

**Analizy przestrzenne** - zbiór działań na jednej bądź kilku warstwach informacyjnych SIP, przeprowadzonych w oparciu o przyjęty algorytm badania zjawiska, w celu uzyskania wyników analizy w postaci liczb, zestawień tabelarycznych geometrii i/lub nowych warstw informacyjnych.

**Analizy przestrzenne** - zbiór procedur, których wynik działania zależy od położenia danych wejściowych w przestrzeni  
(jeśli zmieni się lokalizacja danych, zmianie ulegnie wynik analizy)

**Analizy przestrzenne** stanowią istotę systemu informacji przestrzennej, umożliwiają zamianę danych na użyteczną informację, wspomagają nasze możliwości percepcji, umożliwiając odkrycie prawidłowości, trendów czy anomalii, które bez nich nie zostałyby zauważone.



Istnieją różnorodne klasyfikacje analiz przestrzennych

### **Analizy przestrzenne**

- zapytania do bazy danych,
- pomiary,
- przekształcenia,
- statystyki i charakterystyki opisowe,
- modelowanie (w tym optymalizacja i symulacja)



## **Zapytania do bazy danych:**

**- nie następuje żadna zmiana danych, a wyszukiwane są jedynie dane spełniające odpowiednie kryteria**

## **Zapytania do bazy danych:**

- poprzez atrybut,**
- poprzez lokalizację.**

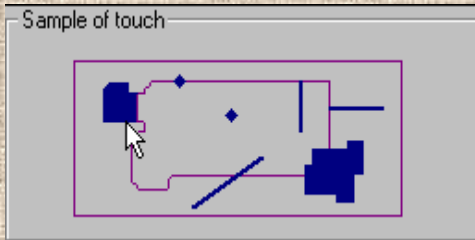
# Zapytania do bazy danych

## podział

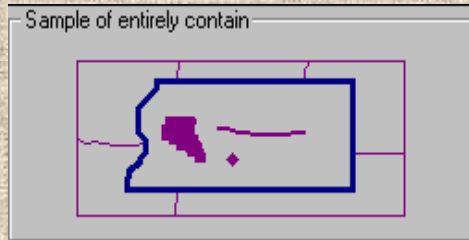
	Przez lokalizację	Przez atrybut
Proste	Co znajduje się we wskazanym miejscu?	Gdzie znajdują się obiekty o wybranym atrybucie?
Złożone	Gdzie znajdują się obiekty w określonych relacjach?	Jakie obiekty spełniają zdefiniowane warunki?

# Zapytania do bazy danych

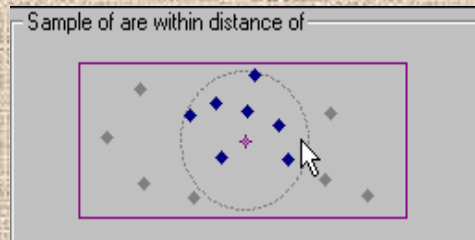
## przez lokalizację, złożone – relacje przestrzenne



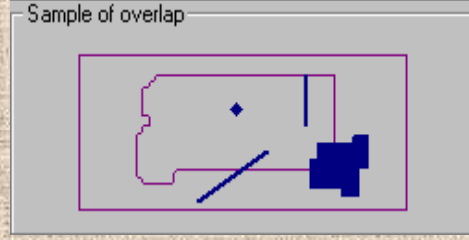
Wszystkie  $p_1$  mające część wspólną z  $p_2$



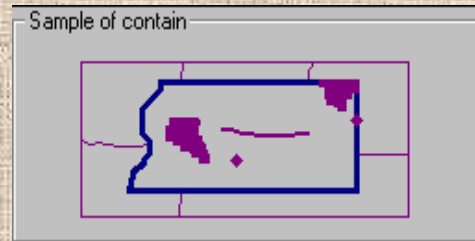
Wszystkie  $p_1$  zawierające się w całości w  $p_2$



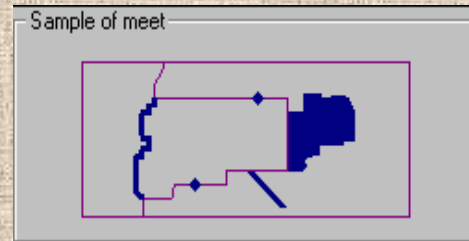
Wszystkie  $p_1$  w odległości  $d$  od  $p_2$



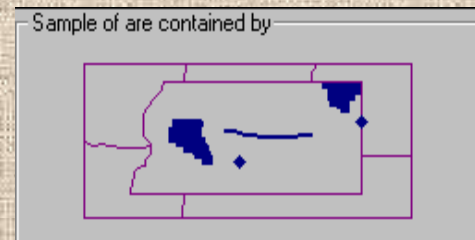
Wszystkie  $p_1$  mające część wspólną z  $p_2$  (bez uwzględnienia krawędzi)



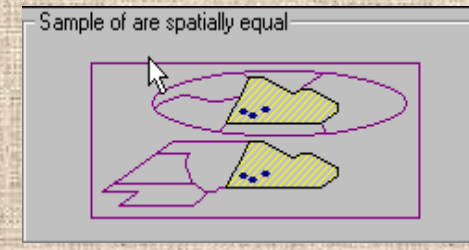
Wszystkie  $p_1$  zawierające  $p_2$



Wszystkie  $p_1$  mające wspólny krawędź z  $p_2$



Wszystkie  $p_1$  zawarte w  $p_2$



Wszystkie  $p_1$  o tym samym kształcie i lokalizacji co  $p_2$

# Zapytania do bazy danych

przez atrybut, proste

	Przez lokalizację	Przez atrybut
Proste	Co znajduje się we wskazanym miejscu?	Gdzie znajdują się obiekty o wybranym atrybucie?
Złożone	Gdzie znajdują się obiekty w określonych relacjach?	Jakie obiekty spełniają zdefiniowane warunki?

**Attribute Query**

Select features in:  
G\_GMIN\_182 Filter...

Filter:  
Nazwa = 'Kraków';

Output attribute query as:  
Query name: Attribute Query of G\_GMIN\_182  
Description:

Display query in map window  
Map window name: MapWindow1 Style: [ ]

Display query in data window  
Data window name: DataWindow2

oprogramowanie: GeoMedia

OK Cancel

wektorowy  
model danych



# Zapytania do bazy danych

przez atrybut

W wektorowym modelu danych zapytania atrybutowe są realizowane poprzez SQL (Structured Query Language)



## **SQL** (*ang. Structured Query Language*)

### **Struktura zapytania w SQL**

**SELECT** - definiujemy co wybieramy (działa jak filtr): kolumna, pole, wszystkie kolumny: \*,tabela,\* lub nazwy pól, kolumn

**FROM** - nazwa tabeli

**WHERE** - warunek wyboru, używany jako filtr

warunki: >, <, =, >=, =<, IS NULL

logiczne: AND, OR, NOT

**LIKE**: WHERE nazwa LIKE 'kowl\*'

**ORDER BY** pole DESC - malejąco

ASC - rosnąco

Wybór – najczęściej używana instrukcja języka SQL.

Proste zapytanie składa się z trzech podstawowych składników:

- wyrażenia SELECT ... FROM,
- klauzuli WHERE
- klauzuli ORDER BY.

Nazwy pól, jakie zapytanie ma zwracać, są wpisane po słowie kluczowym SELECT, a tabele, do których pola te należą – o słowie FROM. Następnie do jednego lub większej liczby pól możemy zastosować kryteria wyboru wpisane w klauzuli WHERE, a wyniki posortować według zawartości dowolnego pola (lub pól) stosując klauzulę ORDER BY.

**Np. Jaki jest czynsz wszystkich mieszkań o powierzchni > 100m2 ?**

**Zapytanie w SQL**

**SELECT Powierzchnia, Czynsz**

**FROM Mieszkanie**

**WHERE Powierzchnia >=100**

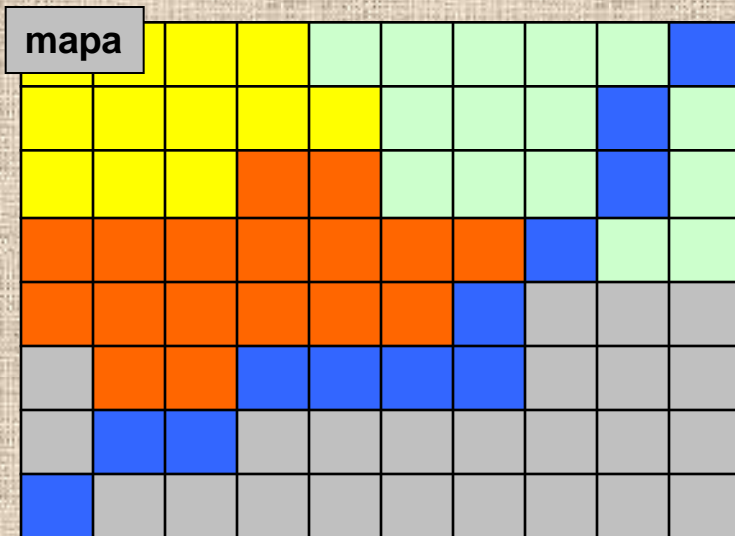
**ORDER BY Czynsz ASC**

# Zapytania do bazy danych

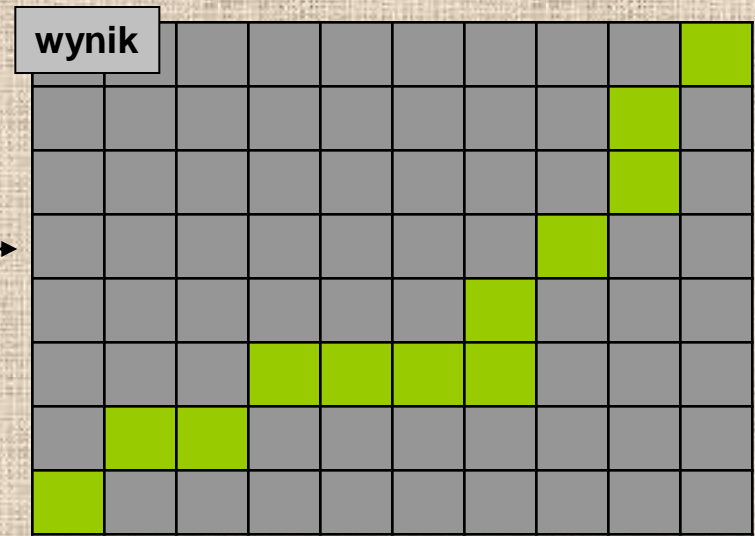
przez atrybut, proste

Tego typu operacje noszą nazwę reklasyfikacji. Prowadzi ona do ograniczenia ilości informacji, poprzez zmianę atrybutów pikseli.

W najprostszym przypadku reklasyfikacja realizuje proste zapytania atrybutowe dając na wyniku mapę „dwustanową” (np. prawdę/falsz lub 0/1).



- 1 grunty orne
- 2 łąki
- 3 wody
- 4 zabudowa
- 5 tereny przemysłowe



- T prawda (*True*) – warunek spełniony
- F fałsz (*False*) – warunek niespełniony

wynik = IFF (mapa=„wody”, True, False)

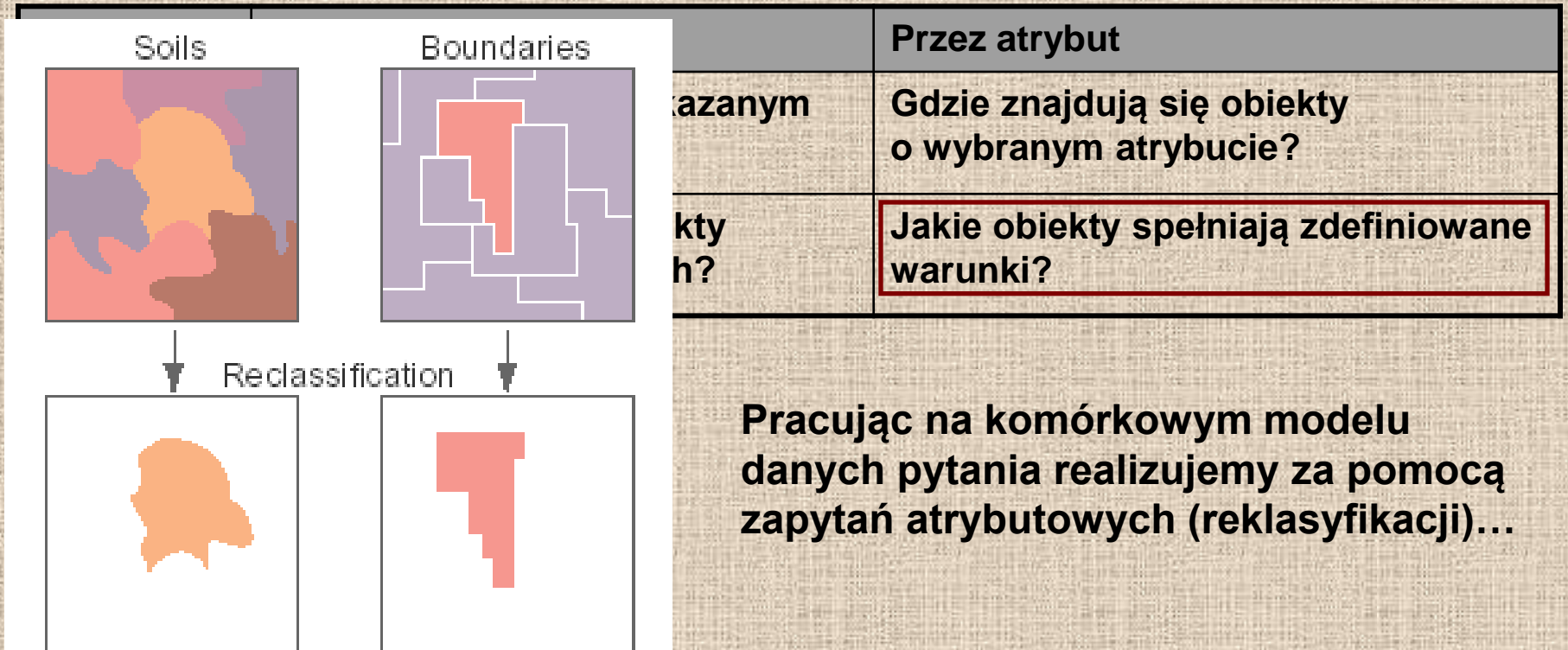
oprogramowanie: ILWIS

komórkowy  
model danych



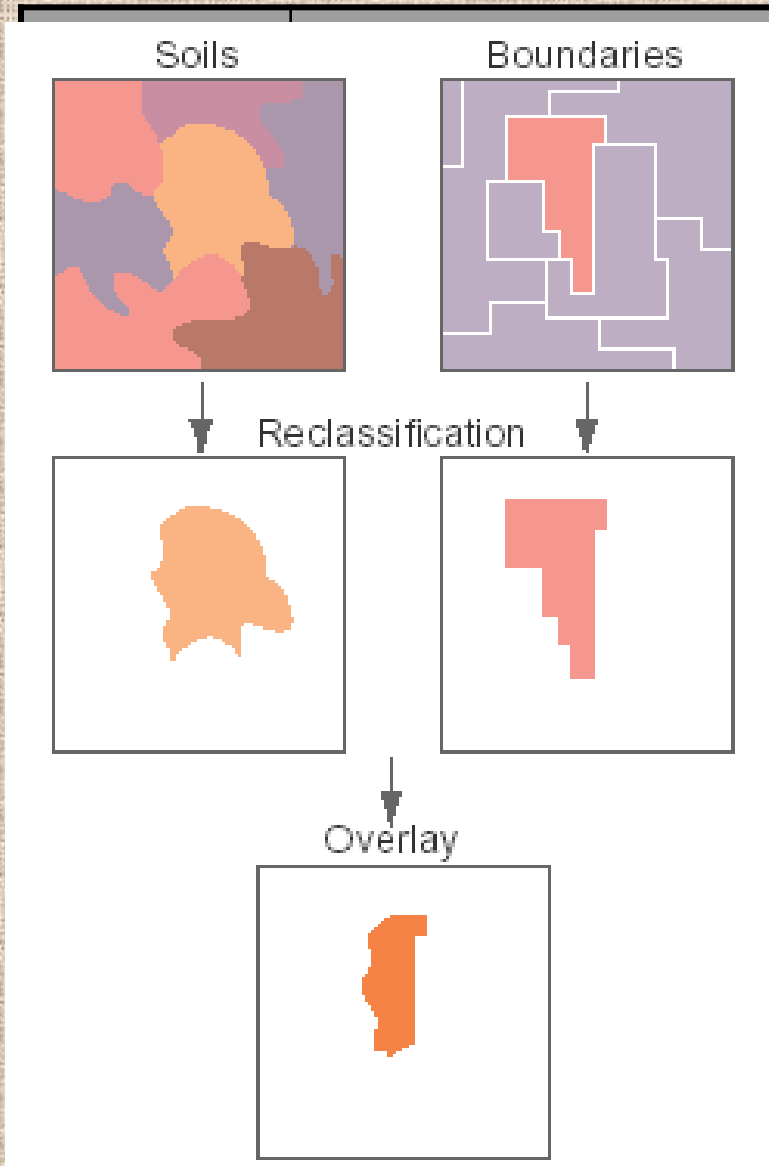
# Zapytania do bazy danych

przez atrybut, złożone



# Zapytania do bazy danych

przez atrybut, złożone



	Przez atrybut
zaznanym	Gdzie znajdują się obiekty o wybranym atrybucie?
które spełniają warunki?	Jakie obiekty spełniają zdefiniowane warunki?

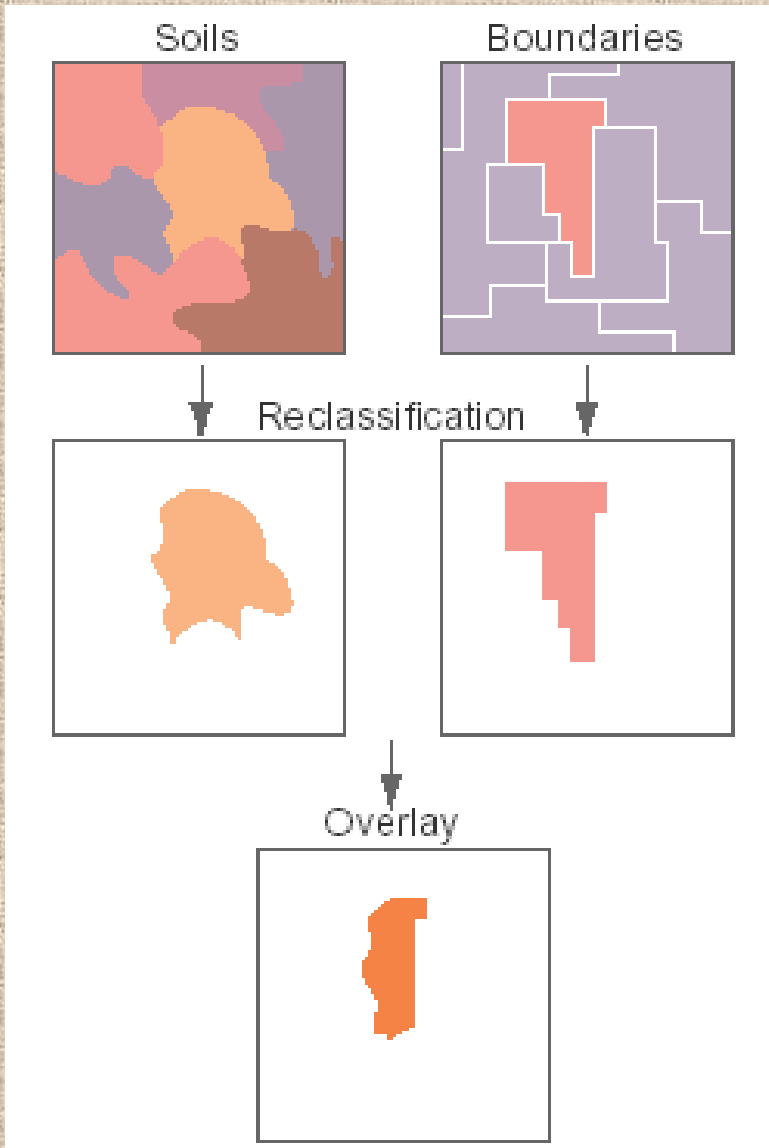
Pracując na komórkowym modelu danych pytania realizujemy za pomocą zapytań atrybutowych (reklasyfikacji)...

...a ich wyniki łączymy „nakładając” na siebie obrazy (ang. overlay) tj. za pomocą operacji logicznych lub operacji algebraicznych, poszukuje się części wspólnej, czyli komórek spełniających oba zapytania

komórkowy  
model danych

# Zapytania do bazy danych

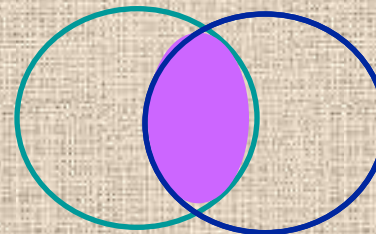
przez atrybut, złożone



Część wspólna jest realizowana poprzez:

- warunek logiczny „i” („and”)
- działanie arytmetyczne – iloczyn „\* ”

Jest to przykład wykorzystania tzw. algebry boolowskiej (logicznej)

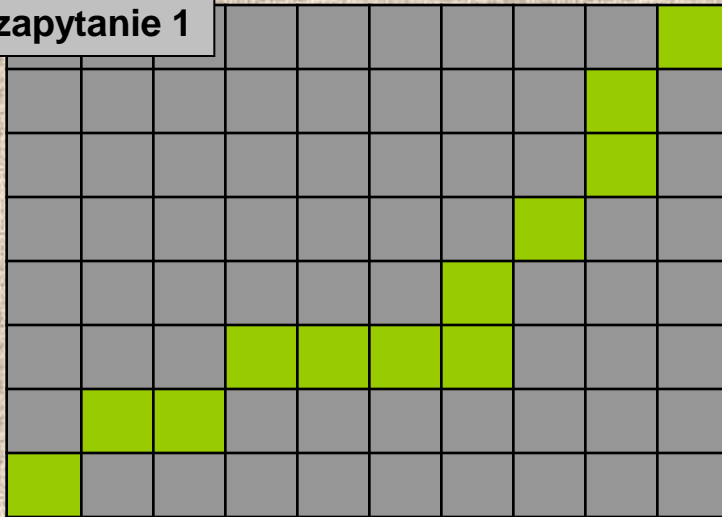


komórkowy  
model danych

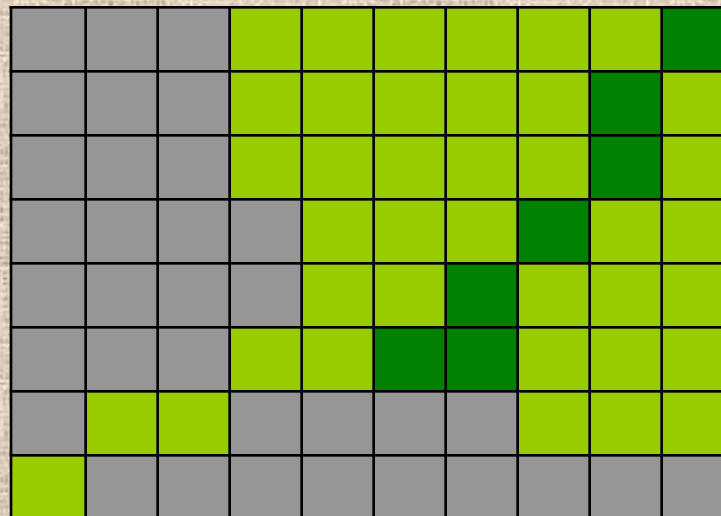
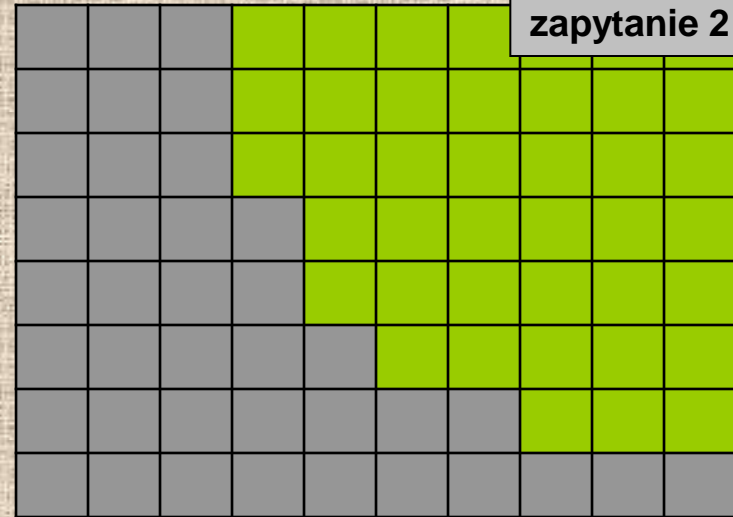
# Zapytania do bazy danych

przez atrybut, złożone – „nakładanie” map

zapytanie 1



zapytanie 2

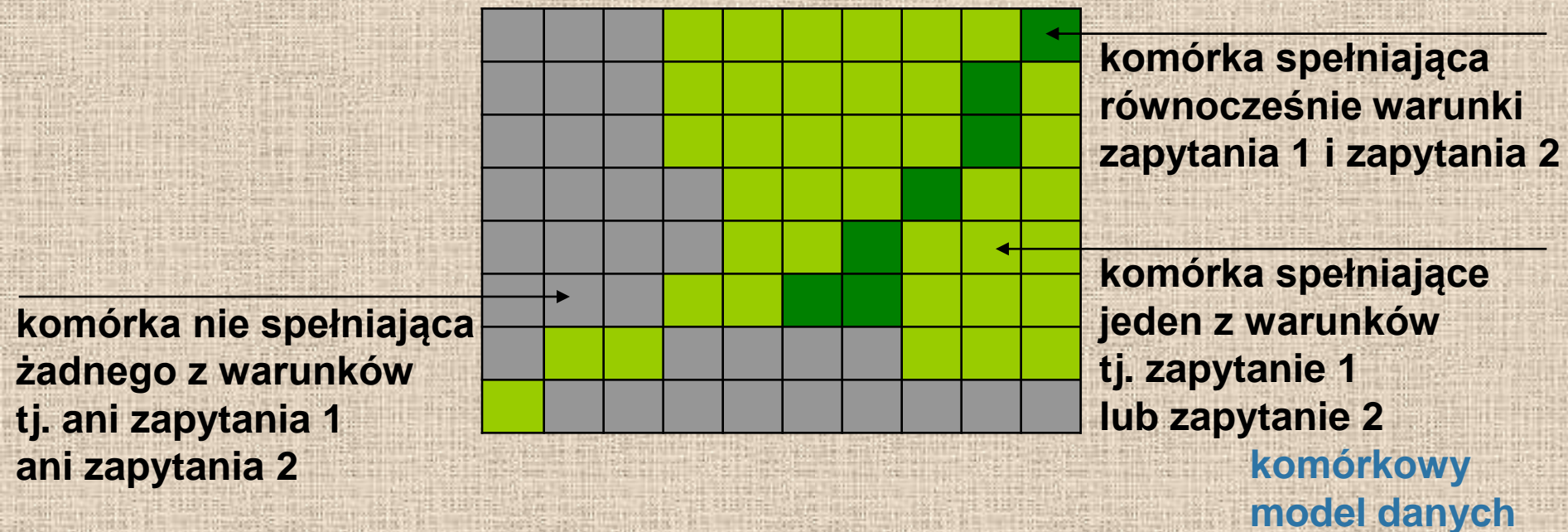


komórkowy  
model danych



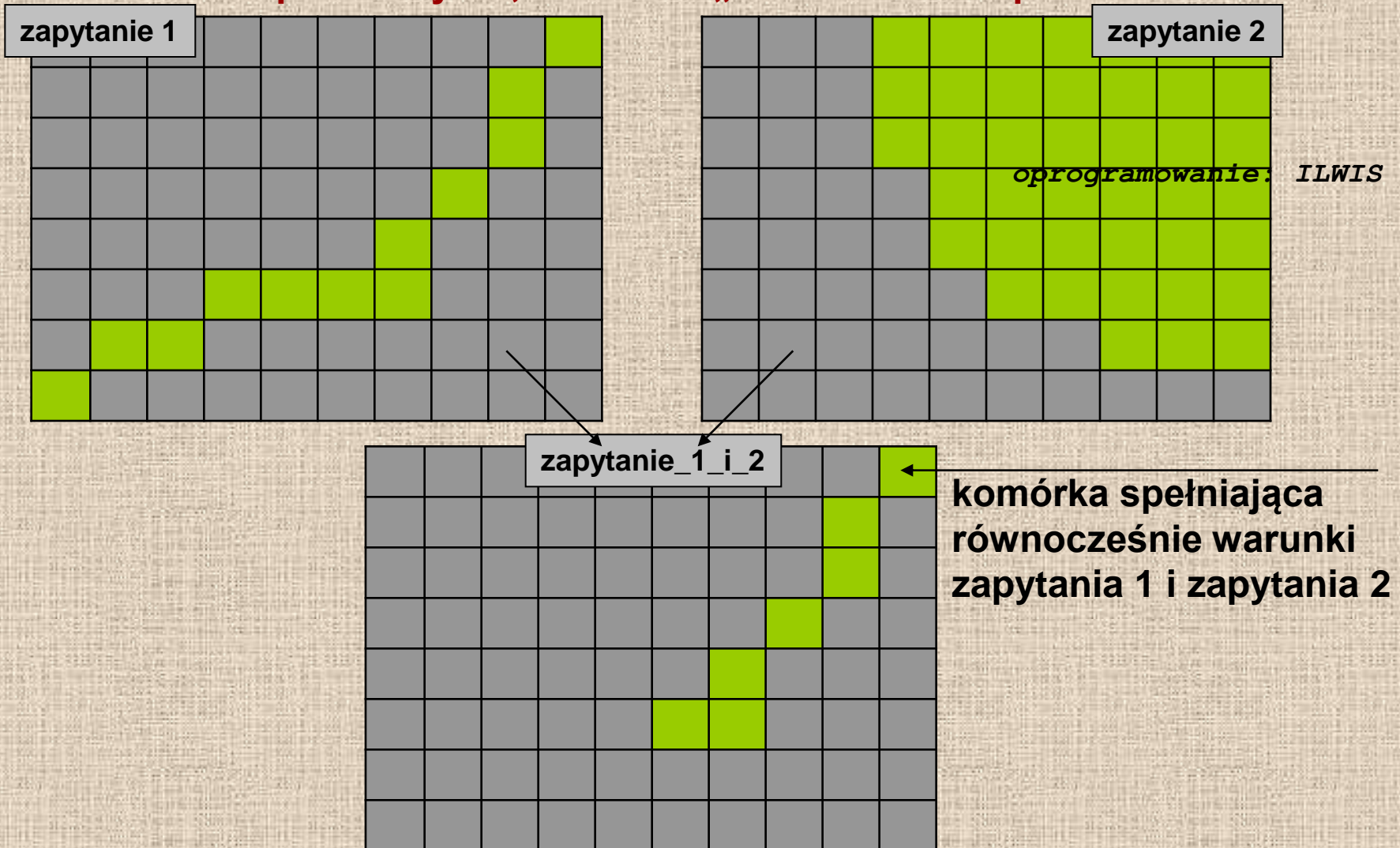
# Zapytania do bazy danych

przez atrybut, złożone – „nakładanie” map



# Zapytania do bazy danych

przez atrybut, złożone – „nakładanie” map



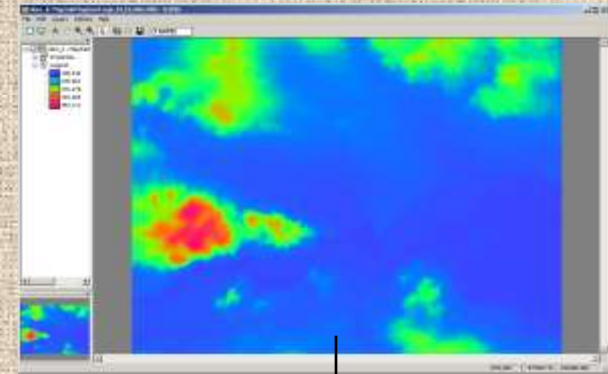
**T** prawda (*True*) – warunek spełniony  
**F** fałsz (*False*) – warunek niespełniony

komórkowy  
model danych

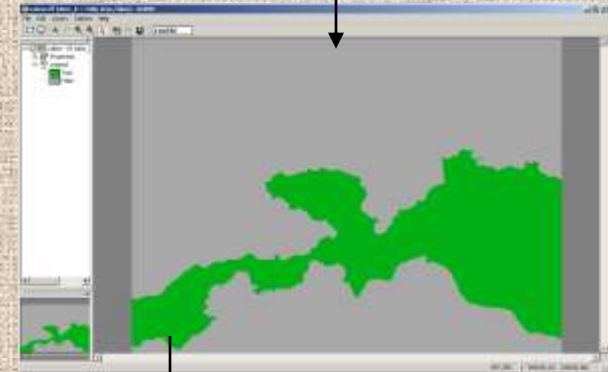
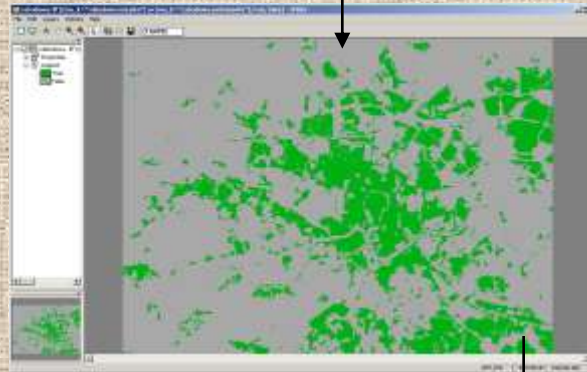
# Analizy przestrzenne – przykłady

metoda „boolowska” – nakładkowania, „strefa zalewowa”

dane wejściowe

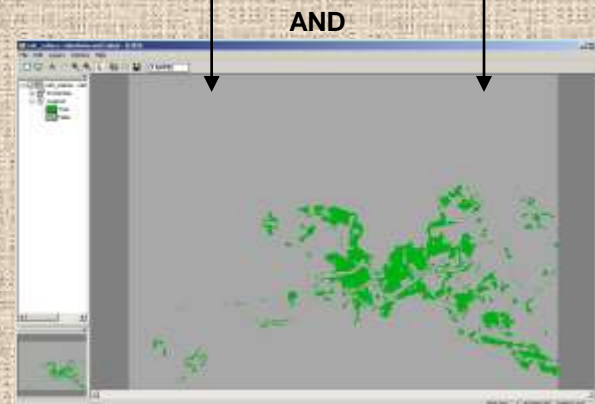


warunki



T prawda (*True*) – warunek spełniony  
F fałsz (*False*) – warunek niespełniony

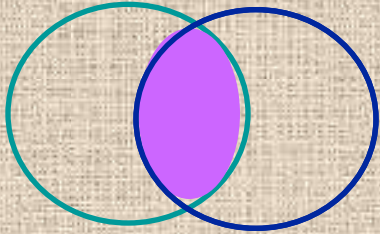
wynik



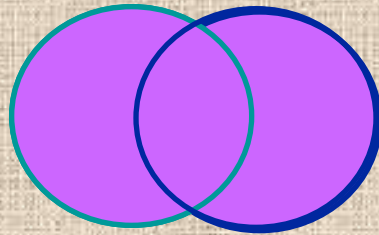
T prawda (*True*) – wszystkie warunki spełnione  
F fałsz (*False*) – nie wszystkie warunki spełnione



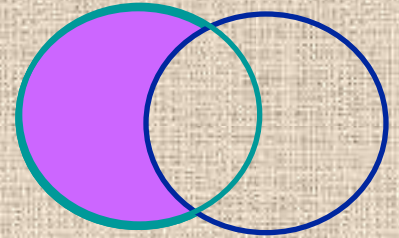
# Boolean Operators



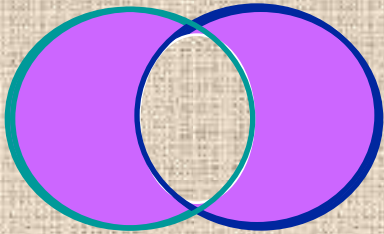
A AND B



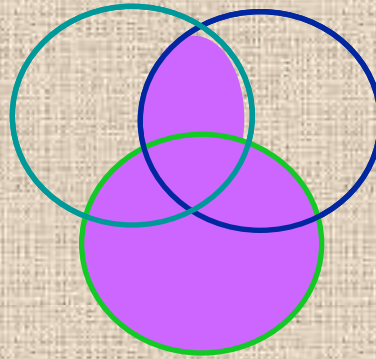
A OR B



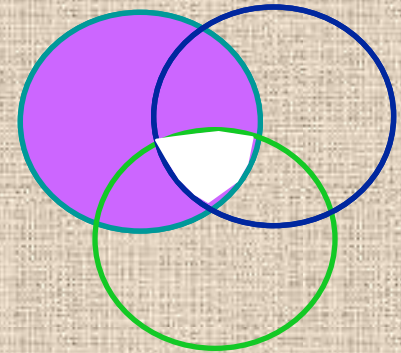
A NOT B



A XOR B



(A AND B) OR C

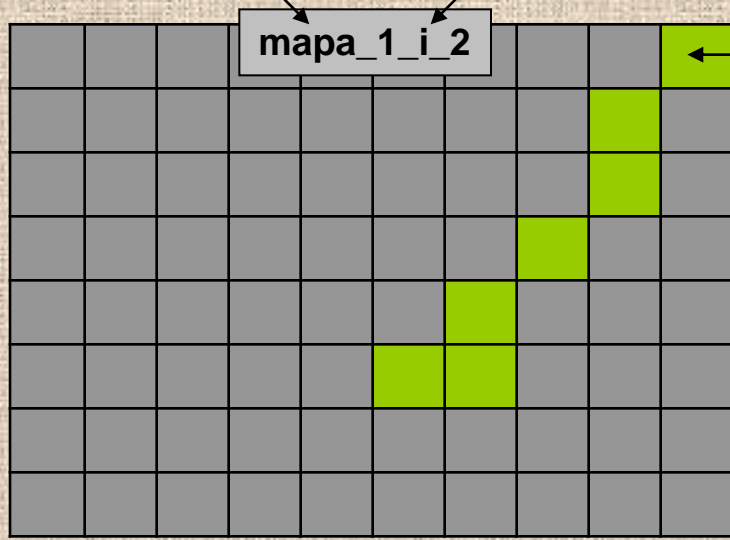
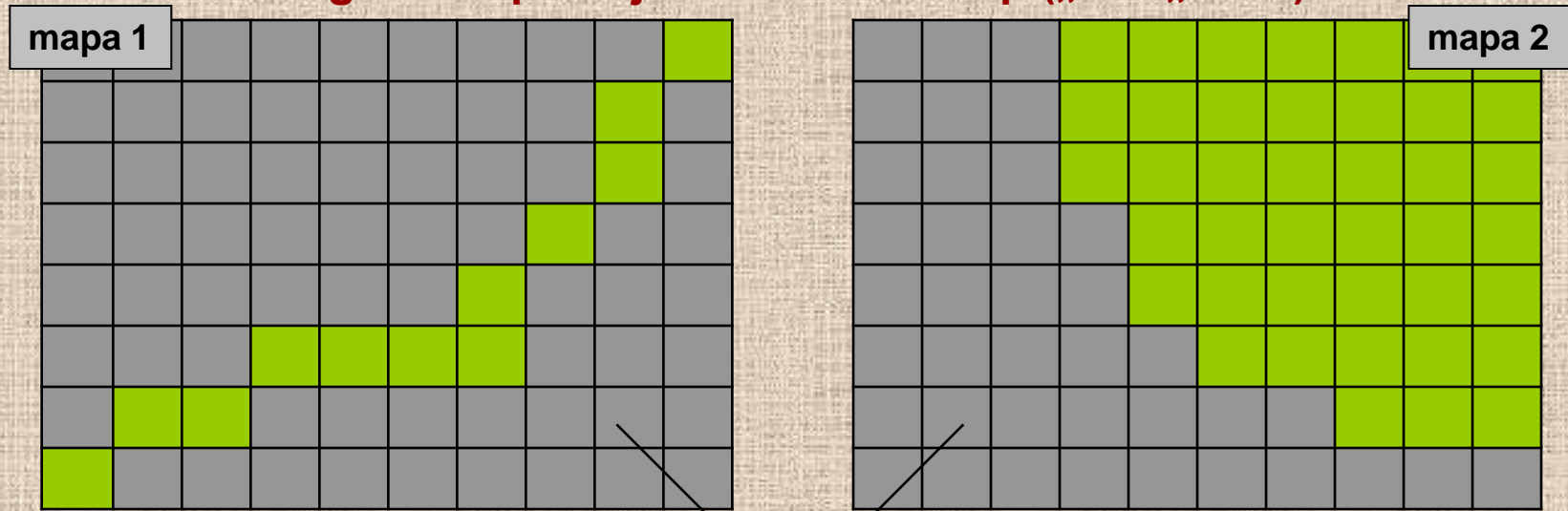


A AND (B OR C)

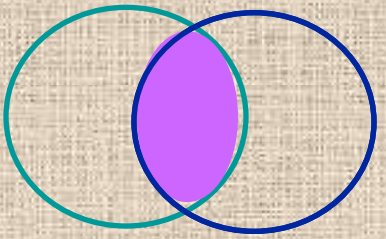


# Algebra map

## logiczne operacje nakładanie map („i” – „and”)



komórka spełniająca  
równocześnie warunki  
mapy 1 i mapy 2

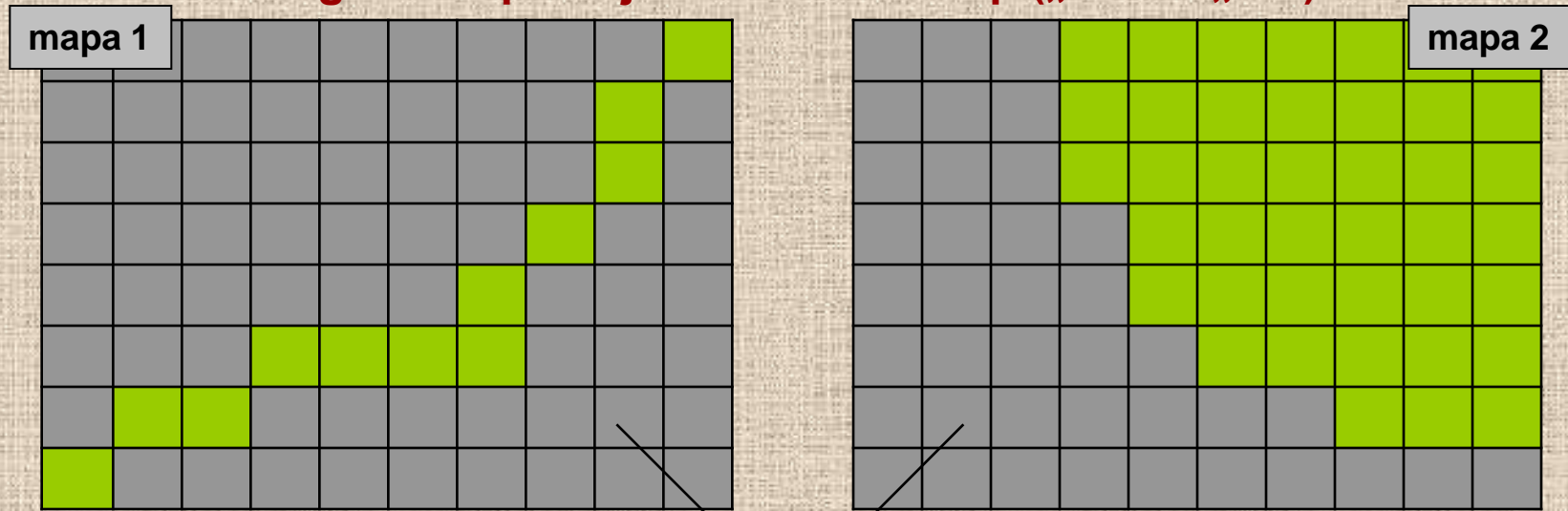


**T** prawda (*True*) – warunek spełniony  
**F** fałsz (*False*) – warunek niespełniony

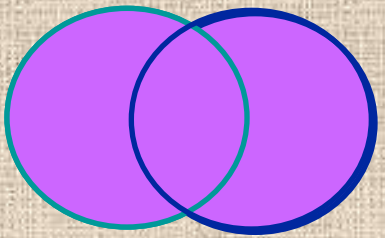
komórkowy  
model danych

# Algebra map

## logiczne operacje nakładanie map („lub” – „or”)



komórka spełniająca jeden lub oba warunki mapy 1 i mapy 2

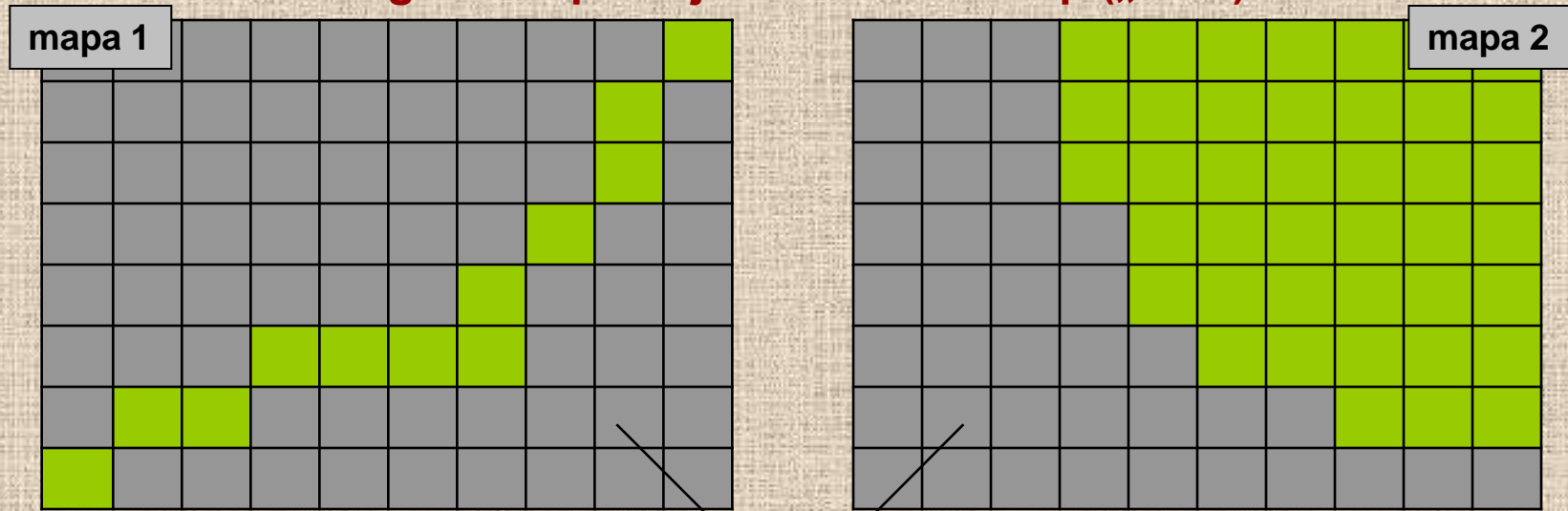


- T prawda (*True*) – warunek spełniony
- F fałsz (*False*) – warunek niespełniony

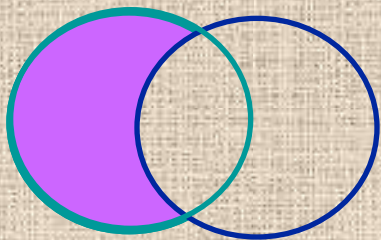
komórkowy model danych

# Algebra map

## logiczne operacje nakładanie map („not”)



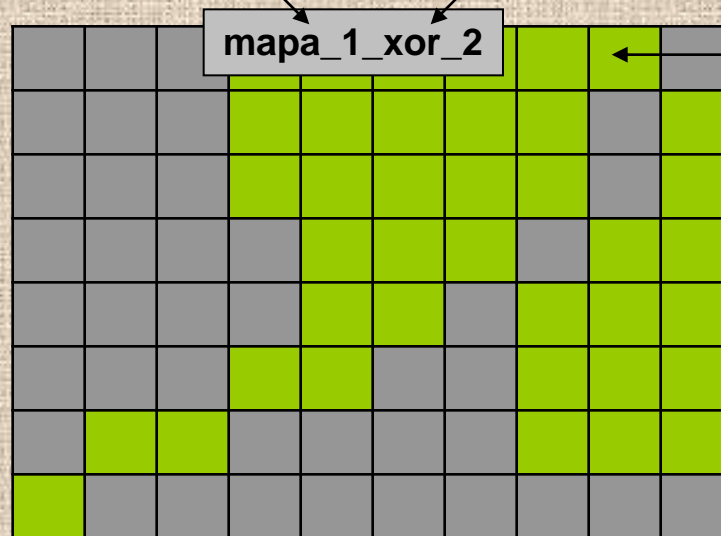
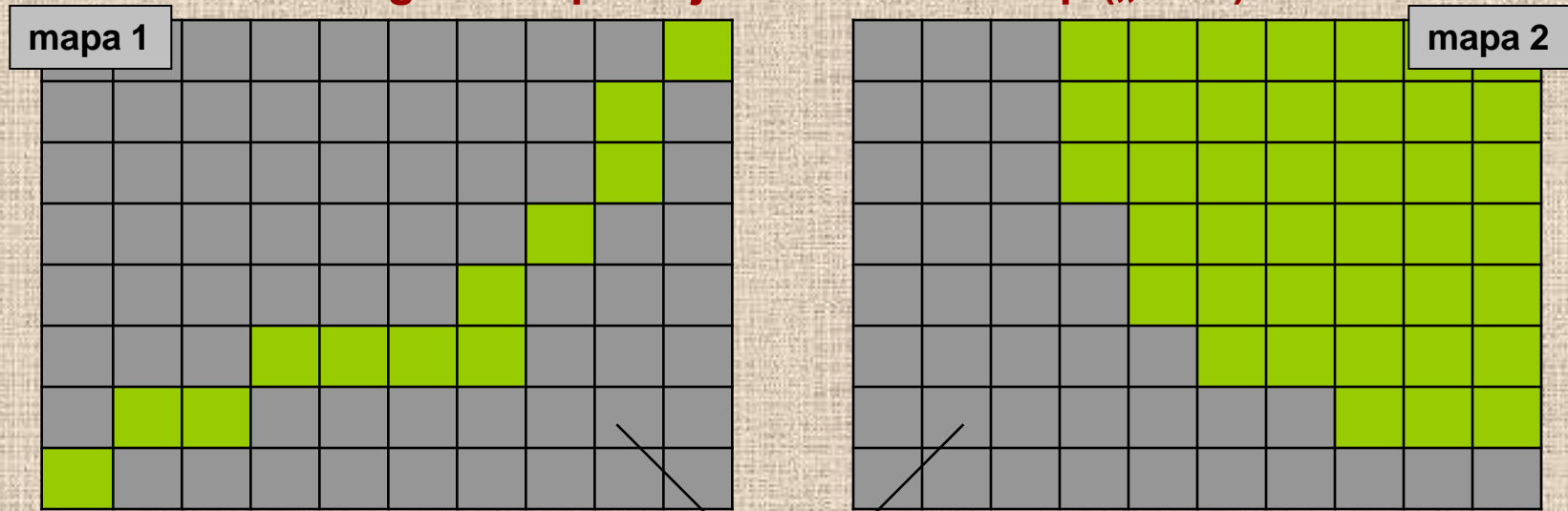
komórka spełniająca warunek mapy 1 i nie spełniająca warunku mapy 2



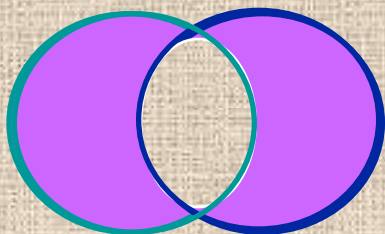
- T prawda (*True*) – warunek spełniony
- F fałsz (*False*) – warunek niespełniony

# Algebra map

## logiczne operacje nakładanie map („xor”)



komórka spełniająca jeden z dwóch warunków (mapy 1 lub mapy 2)



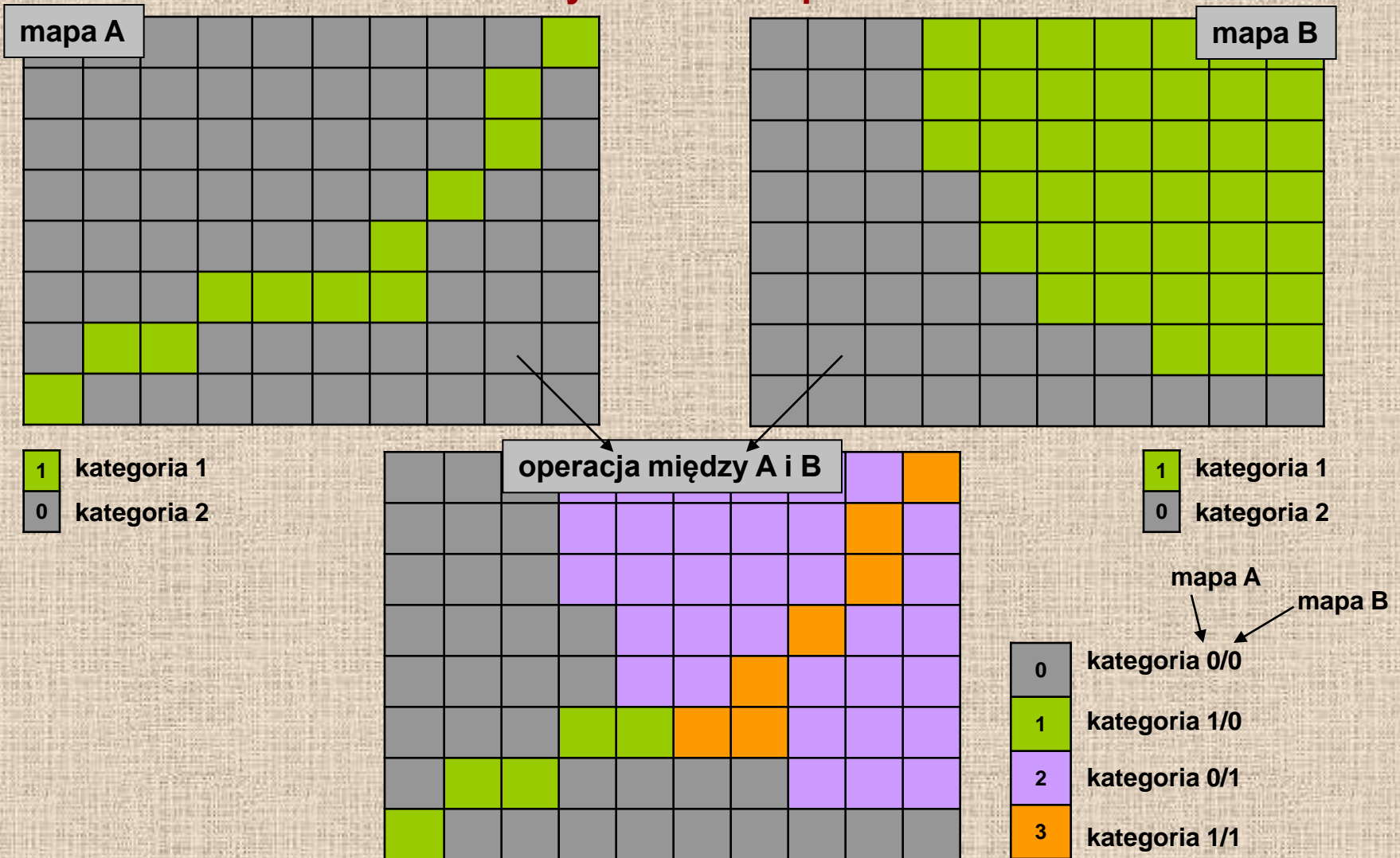
T prawda (*True*) – warunek spełniony  
F fałsz (*False*) – warunek niespełniony

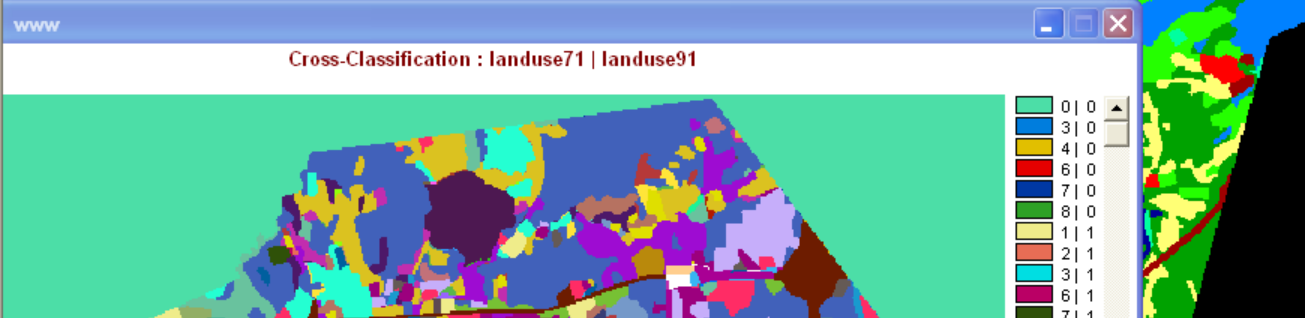
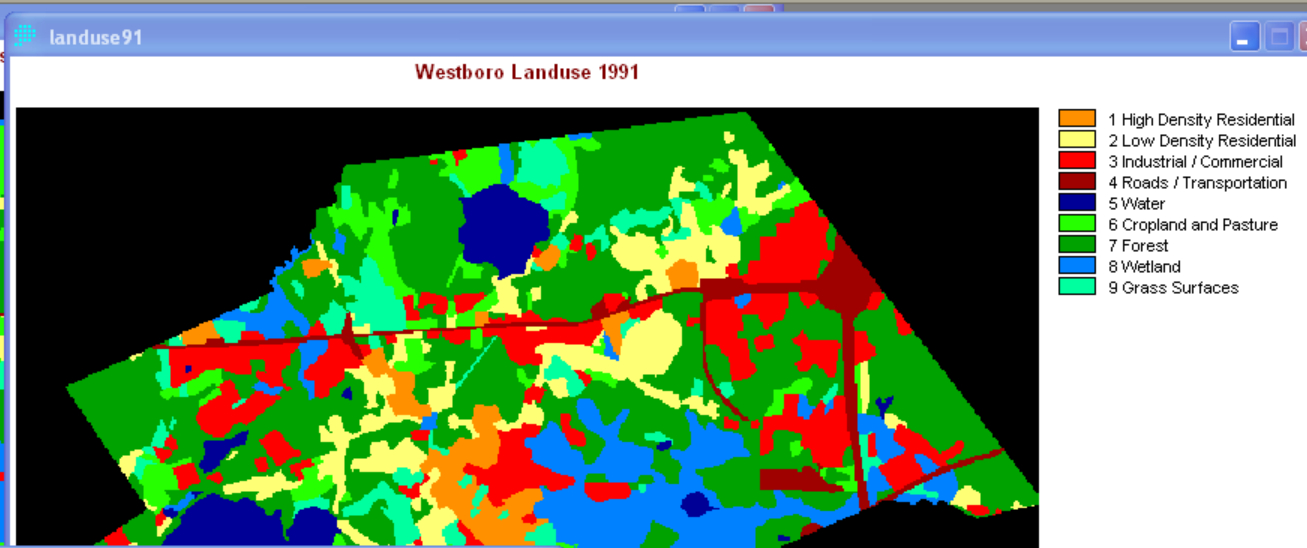
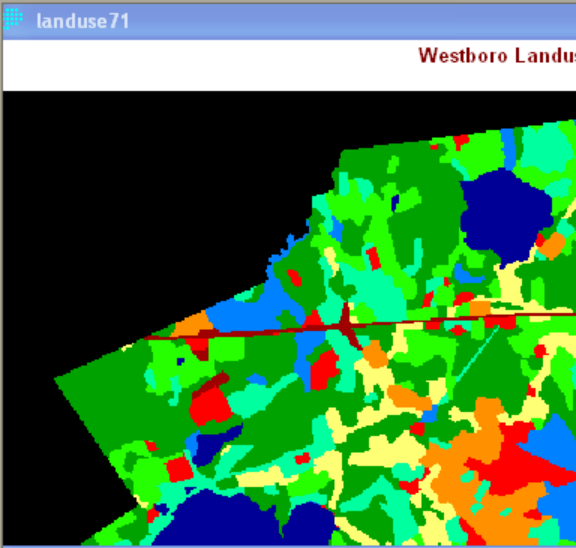
komórkowy model danych



# Reklasyfikacja i krzyżowanie map

## krzyżowanie map





**CROSTAB - cross-tabulation & cross-clas...**

First image:

Second image:

Output type:

- Cross-classification image
- Full cross-tabulation table
- Both cross-classification and tabulation
- Image similarity / association data only

Output image:

Print Kappa Index of Agreement values per category

OK Cancel Help

Module Results

Cross-tabulation of landuse71 (columns) against landuse91 (rows)

	0	1	2	3	4	5
0	113856	0	0	4	5	0
1	0	3215	37	8	0	0
2	0	11	14069	177	0	0
3	0	30	621	3850	96	0
4	0	0	74	85	3636	0
5	0	0	8	5	0	6362
6	0	33	71	22	49	16
7	0	0	220	162	2	56
8	0	0	2	0	0	1
9	0	18	32	95	0	3
Total	113856	3307	15134	4408	3788	6438

# Analizy przestrzenne – przykłady: modelowanie erozji

## wykorzystanie krzyżowania map

Podatność gleb na splukiwanie	Klasy nachyleń terenu				
	do 3 °	3-6°	6-10°	10-15°	powyżej 15°
	Stopnie nasilenia erozji				
Gleby lessowe i lessowate (ls), pyłowe (pl), pyłowe wodnego pochodzenia	1	2	3	4	5
Piaski luźne (pl), gleby piaszczyste (p), rędziny kredowe (k) i jurajskie (j)	1	1;2	2;3	3;4	5
Piaski słabogliniaste (ps), gliniaste (pg), kompleks piasków gliniastych i słabogliniastych (pgs), gleby żwirowe (ż), rędziny trzeciorzędowe (tr) i starszych formacji geologicznych (ts)	1	1;2	2;3	3;4	4;5
Gleby lekkie – gliny piaszczyste i piaski naglinowe (gl), gleby średnie (gs), gliniaste (g), wytworzone ze skał osadowych o spoiwie węglanowym – niewapiennych	-	1	2	3	4;5
Gleby ciężkie (gc), ilaste (i), skaliste – skały (sk), szkieletowe (sz), wytworzone ze skał o spoiwie niewęglanowym (Θ), wytworzone ze skał krystalicznych (Δ), torfy niskie (n), przejściowe i wysokie (v)	-	1	1;2	2;3	3;4;5

•w przypadku podanych jednocześnie dwóch stopni zagrożenia erozją podaje się przy opadzie poniżej 600 mm mniejszy stopień, a przy opadach powyżej 600 mm – większy;

•dla utworów glebowych grupy piątej na terenie o spadku > 15° przyjmuje się: przy opadach do 600 mm trzeci stopień nasilenia erozji, przy opadach 600-800 mm – czwarty, a przy opadach > 800 mm – piąty

## **Pomiary:**

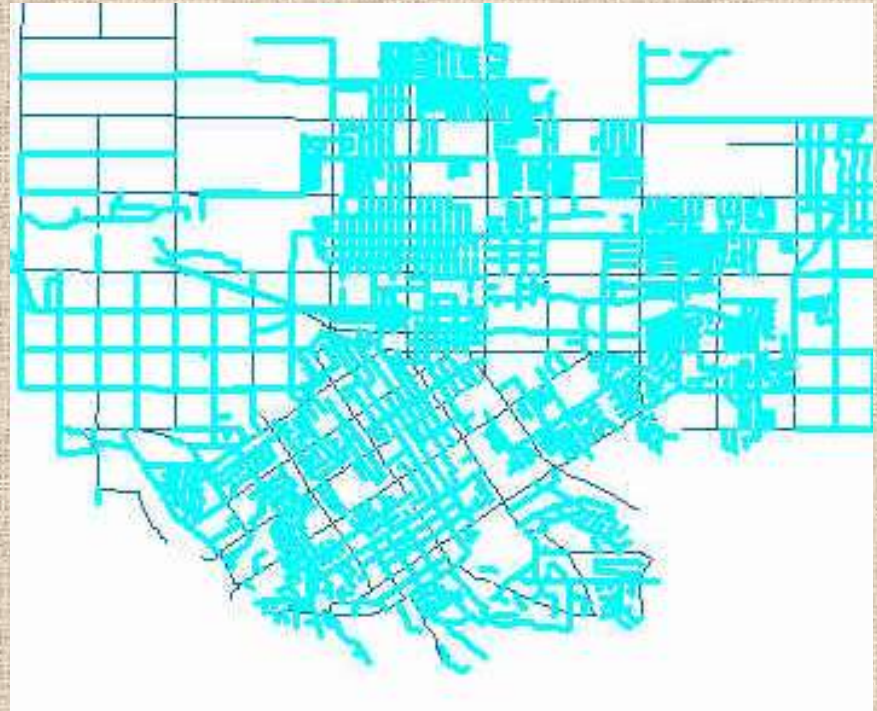
- **analizy, w których wyznaczane są proste charakterystyki geometryczne obiektów (np. długość, pole powierzchni, kształt)**



## Pomiary odległości – wybrane aspekty:

**Kwestia wyboru metryki, czyli zasady wyznaczania odległości pomiędzy punktami, np.:**

- metryka pitagorejska,
- metryka „San Francisco”,
- metryka sferyczna.



## Pomiary odległości – wybrane aspekty:

**Problem różnicy pomiędzy rzeczywistą długością krzywej a długością jej cyfrowej reprezentacji**



## Pomiary odległości – wybrane aspekty:

Różnica długości pomiędzy krzywą biegnącą po powierzchni terenu a jej rzutem na płaszczyznę odniesienia



## **Przekształcenia:**

- operacje, w których dane przestrzenne ulegają zmianie w wyniku zastosowania operatorów geometrycznych, arytmetycznych lub logicznych



## Reklasyfikacja

- Umożliwia dokonywanie zmian atrybutów obiektów znajdujących się na wybranej warstwie
- Może być oparta na atrybutach (również z wykorzystaniem ich porównywania) lub na topologii

### Przykłady:

- Redukcja ilości klas obiektów (np. Pokrycia terenu)
- Podział na klasy powyżej i poniżej jakiejś wartości
- Obszary na różnych brzegach rzeki (topologia)

# Reklasyfikacja i krzyżowanie map

## reklasyfikacja - wprowadzenie

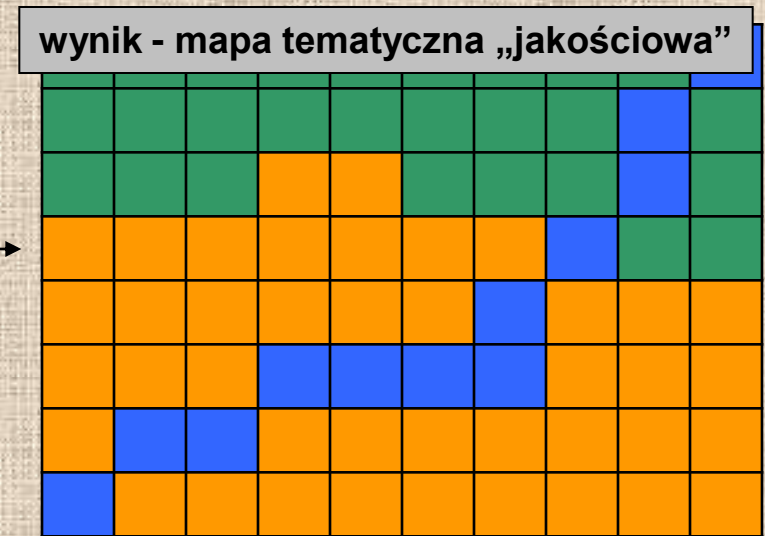
Reklasyfikacja zmienia atrybuty pikseli. Zazwyczaj prowadzi ona do ograniczenia ilości informacji.

Na wyniku otrzymuje się zestaw atrybutów, ograniczony do przydatnych dla użytkownika w ramach realizacji konkretnego zadania.

Wynikiem może być... **nowa mapa tematyczna „jakościowa”**



- 1 grunty orne
- 2 łąki
- 3 wody
- 4 zabudowa
- 5 tereny przemysłowe



- 1 tereny rolnicze
- 2 zabudowa mieszkalna i przemysłowa
- 3 wody

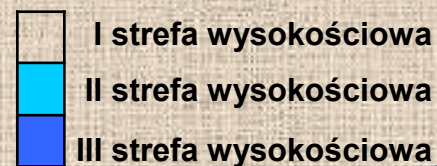
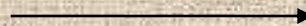
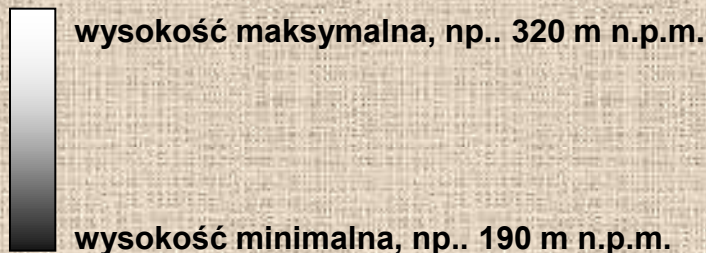
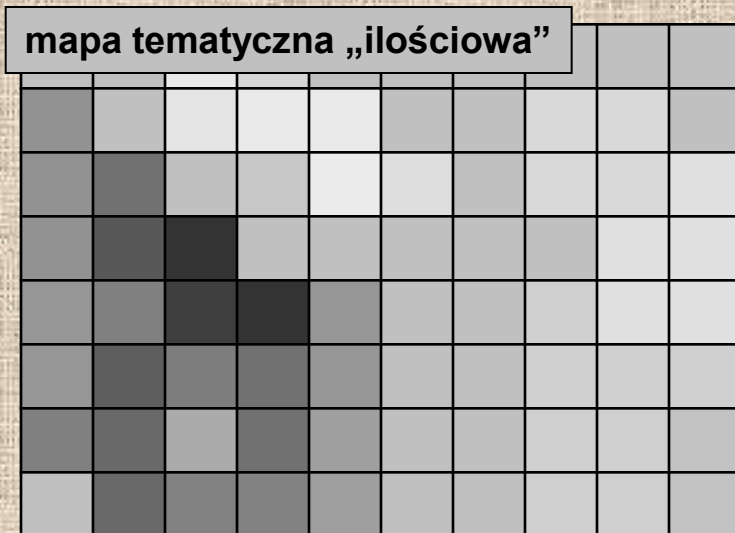
# Reklasyfikacja i krzyżowanie map

## reklasyfikacja - wprowadzenie

Reklasyfikacja zmienia atrybuty pikseli. Zazwyczaj prowadzi ona do ograniczenia ilości informacji.

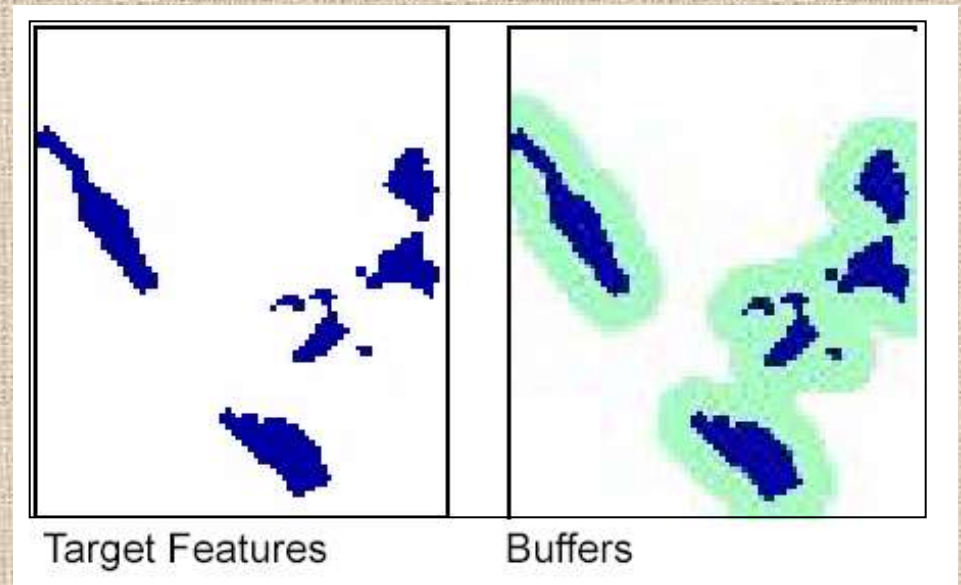
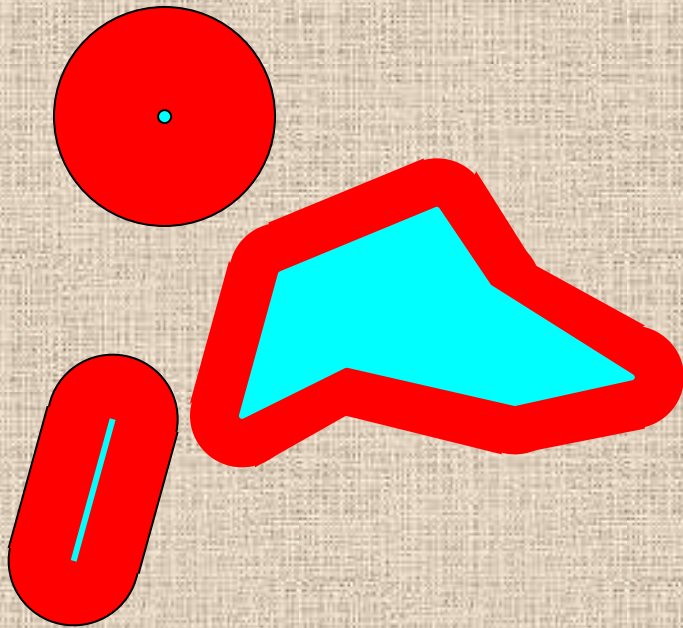
Na wyniku otrzymuje się zestaw atrybutów, ograniczony do przydatnych dla użytkownika w ramach realizacji konkretnego zadania.

Wynikiem może być... **mapa klasyfikująca pewne zjawisko**



## Buforowanie

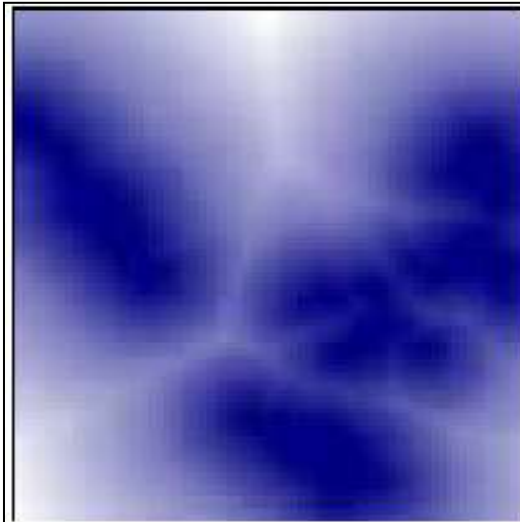
- Umożliwia tworzenie nowych obiektów znajdujących się w określonej odległości od obiektu analizowanego



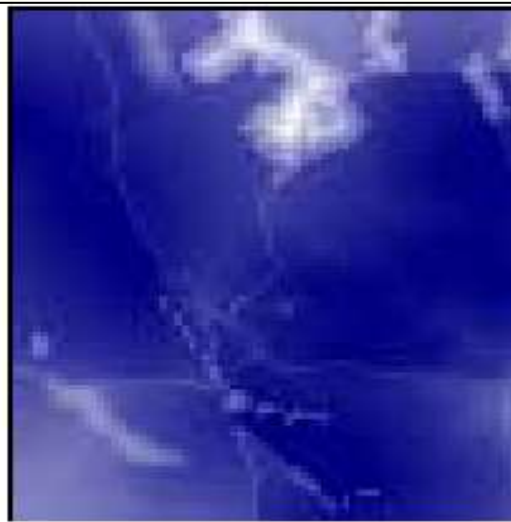


## Buforowanie

- Możliwe jest również modyfikowanie odległości od obiektu przy użyciu dodatkowej informacji (np. zawartej na tzw. „mapie tarcia” (*friction layer*) lub jako dodatkowy atrybut w bazie danych)
- W efekcie możemy zastąpić odległość innymi zmiennymi, np. czasem dotarcia.



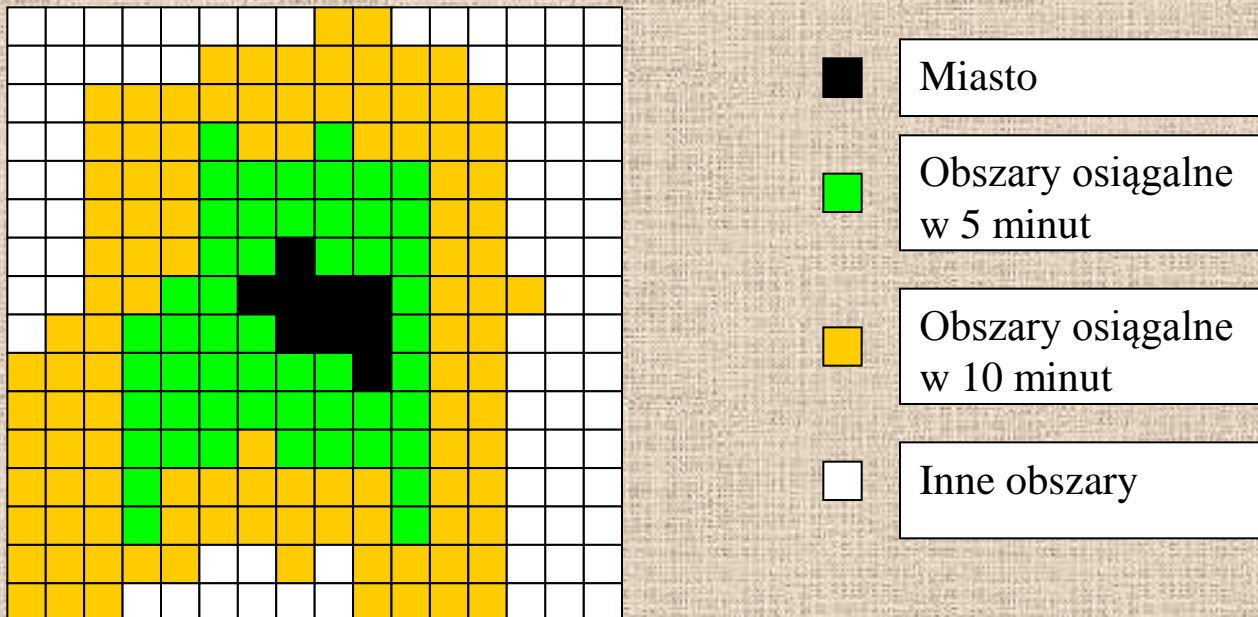
Distance



Cost-Distance

## Buforowanie

- Możliwe jest również modyfikowanie odległości od obiektu przy użyciu dodatkowej informacji (np. zawartej na tzw. „mapie tarcia” (*friction layer*) lub jako dodatkowy atrybut w bazie danych)
- W efekcie możemy zastąpić odległość innymi zmiennymi, np. czasem dotarcia.



# Operatory odległości

**obliczanie dostępności – izochrony, najszybsze ścieżki**

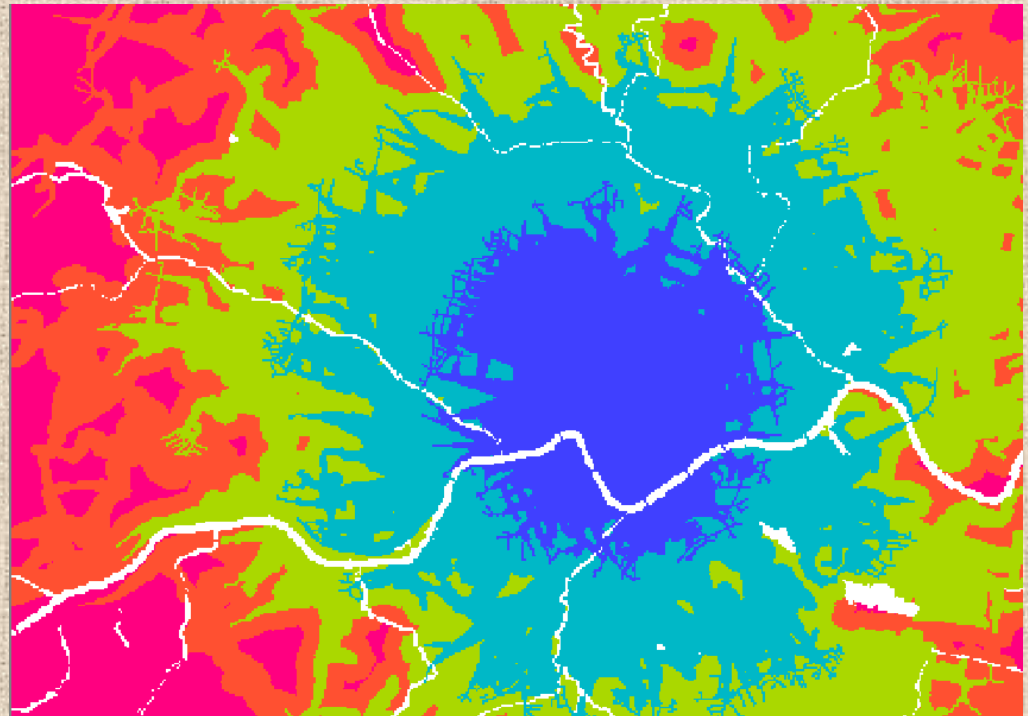
**Etap I** → modelowanie prędkości przemieszczania się (mapa „tarcia”)

**Etap II** → wyznaczenie punktu startu obliczeń

**Etap III** → obliczenie skumulowanego czasu przemieszczania się (mapa „kosztów”)

**Etap IV** → przeliczenie „kosztów” na jednostki czasu, reklasyfikacja do stref

Kategoria	Rodzaj dróg	Modelowanie	
		Tarcie	Km/h
0.	poza drogami	20	3
1.	krajowe	1	60
2.	wojewódzkie	1	60
3.	drugorzędne	1	60
4.	ul. wojewódzkie	1	60
5.	ulice	1	60
6.	polne	20	3
7.	przesieki	20	3
8.	inne (aleje spacerowe)	20	3
9.	autostrada i obwodnica	1	60
10.	ulice w I obwodnicy	20	3
11.	kraj. i ul. woj. w I i II	1	60
12.	ulice w II obwodnicy	1	60
13.	strefy „korków”	1	60

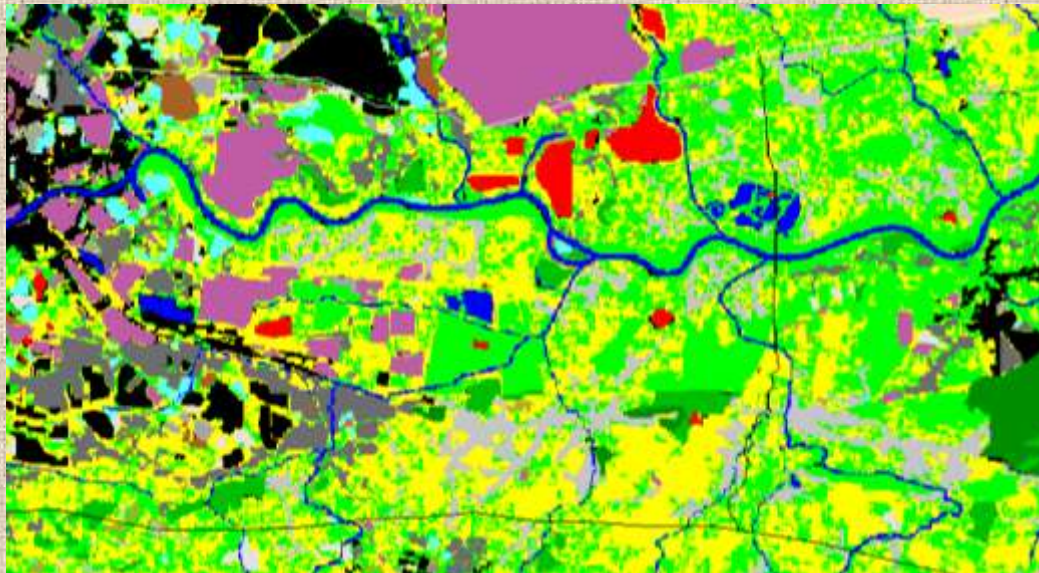




# Operatory odległości

**projektowanie przebiegu inwestycji liniowych (minimalizacja kosztów)**

- Etap I** → modelowanie kosztów budowy i barier inwestycji (mapa „tarcia”)
- Etap II** → wyznaczenie punktu startu obliczeń
- Etap III** → obliczenie skumulowanego kosztu budowy (mapa „kosztów”)
- Etap IV** → wyznaczenie „najtańszego” połączenia (ścieżka”)
- Etap V** → opcjonalnie: przeliczenie „kosztów” na jednostki, profile „kosztów”





## Interpolacja przestrzenna

Interpolacja przestrzenna ma na celu określenie wartości zmiennej, w punkcie w którym nie była ona zmierzona.

Przykładowe zastosowania:

- opracowanie NMRT,
- opracowanie map pola opadu, rozkładu temperatury, itp.,
- resampling danych rastrowych,
- opracowanie map izoliniowych

## Interpolacja przestrzenna

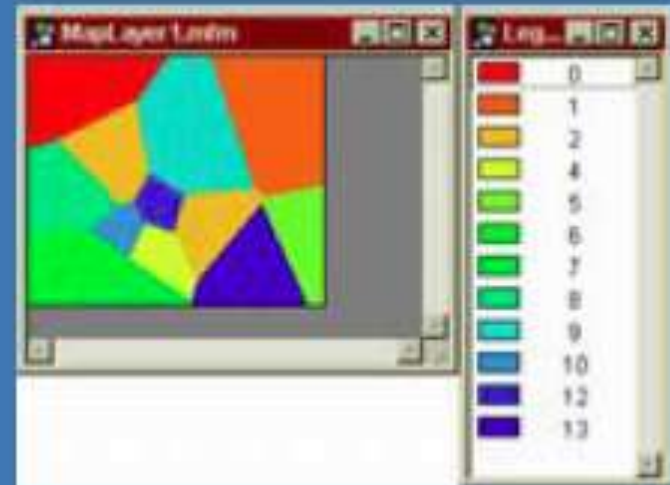
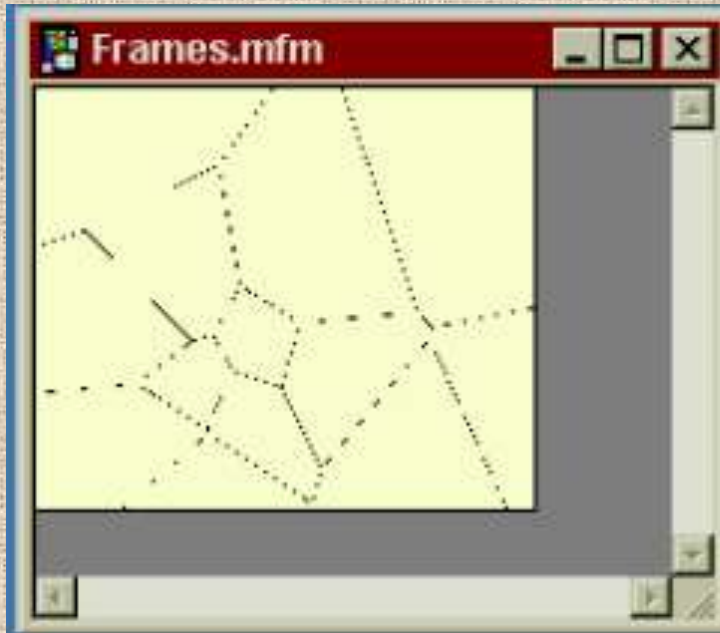
### Poligony Thiessen'a lub Voronoi'a

Poligony są zdefiniowane granicami o równych odległościach od zadanego zbioru danych punktowych. Charakterystyczną właściwością tych poligonów jest to, że ich granice znajdują się dokładnie w środku odległości między sąsiadującymi punktami.

Granice definiują „obszar wpływu” dla każdego punktu. Na przykład punktami mogą być lokalizacje punktów pomiaru opadu, a granice poligonów definiują w tym przypadku tzw. „wieloboki równego zadeszczenia” (oryginalne zastosowanie Thiessen'a).

Zaleta: prostota obliczeń

Wada: skokowa zmiana wartości zmiennej na granicy wieloboku

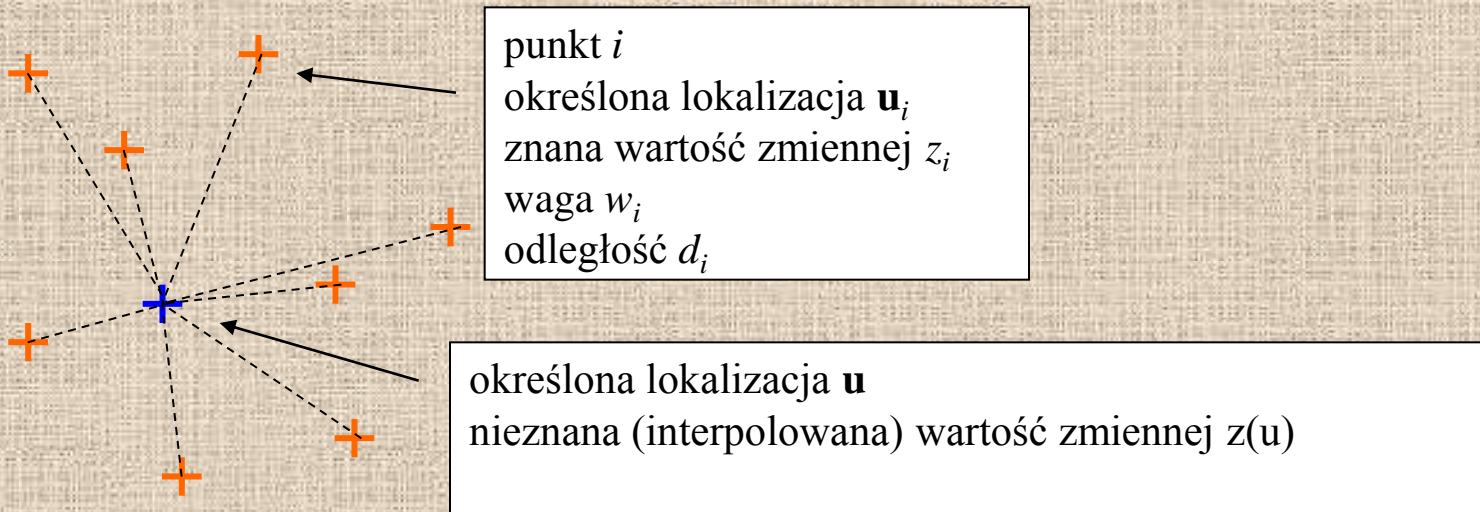


# Interpolacja przestrzenna

## Metoda odwrotnych odległości

Nieznana wielkość zmiennej w dowolnym punkcie szacowana jest poprzez obliczenie średniej ważonej z obserwacji w otoczeniu.

Wagi obserwacji jest odwrotnie proporcjonalna do odległości pomiędzy punktem pomiarowym a punktem interpolowanym.



$$z(\mathbf{u}) = \frac{\sum_i w_i z_i}{\sum_i w_i} \quad \text{Średnia ważona}$$

$$w_i = 1/d_i^n \quad \text{Waga zmniejsza się z odległością}$$



# Interpolacja przestrzenna

## Metoda odwrotnych odległości

Zalety: stosunkowo łatwa do oprogramowania

Wady: Interpolowane wartości muszą mieścić się w zakresie określonym przez punkty pomiarowe

Interpolator dokładny, tzn. wartość określana w punkcie pomiarowym równa jest wartości pomierzonej w tym punkcie.



# Interpolacja przestrzenna

## Kriging

Metoda o mocnych podstawach geostatystycznych.

W metodzie tej najpierw dokonuje się rozpoznania prawidłowości w rozkładzie przestrzennym danych pomiarowych, a następnie prawidłowości te wykorzystuje w interpolacji.

Podobnie jak w metodzie odwrotnych odległości w krigingu zakłada się, iż im bliżej siebie położone są punkty pomiarowe, tym bardziej podobne powinny być dokonywane w nich obserwacje. Dlatego też większą wagę należy przypisywać obserwacjom bliższym niż dalszym.

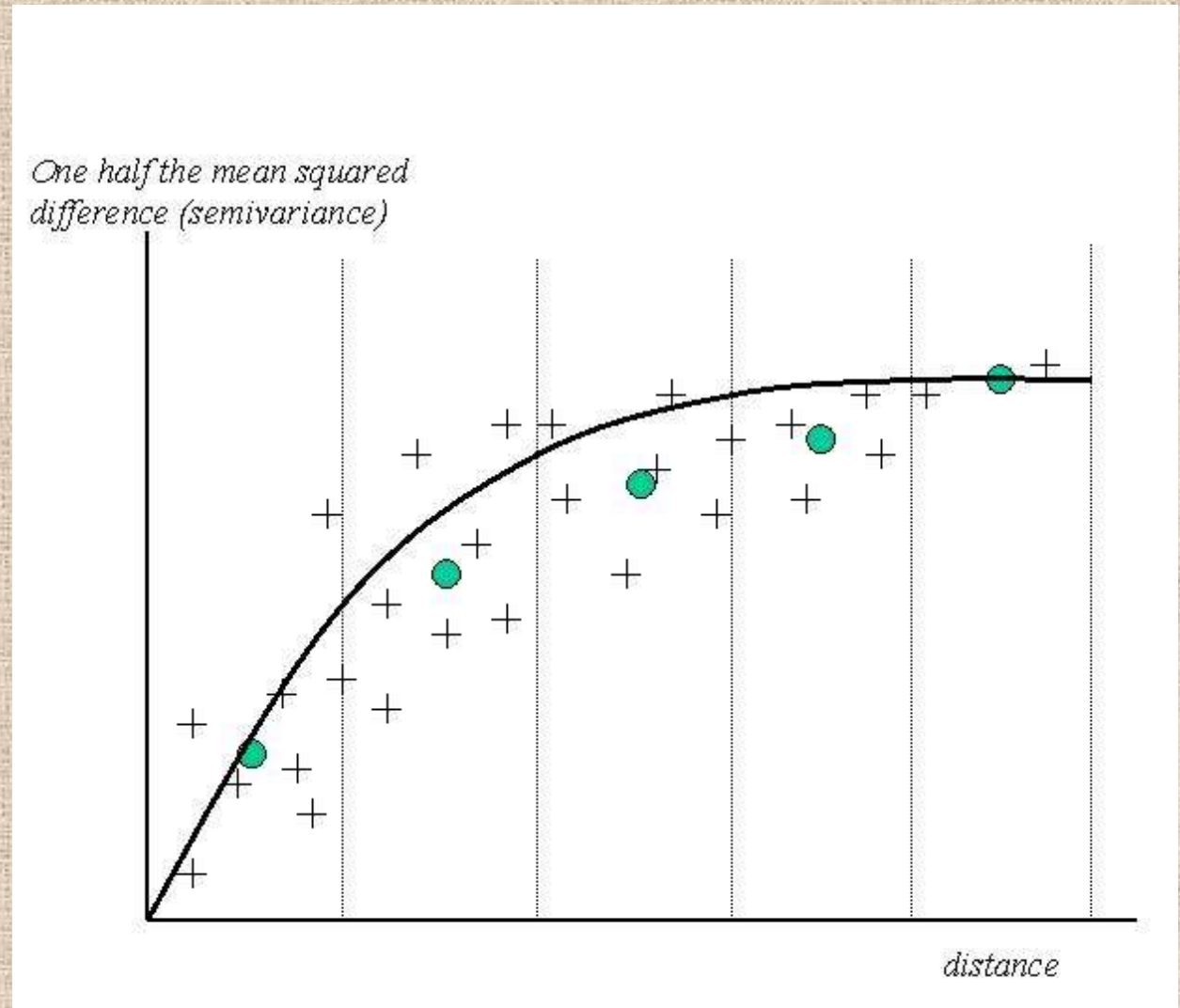
Pierwszym etapem analizy geostatystycznej jest uzyskanie wariogramu eksperymentalnego (empirycznego). Wariogram jest miarą zmienności przestrzennej danych. W praktyce najczęściej używaną funkcją jest semiwariogram. Tradycyjny semiwariogram Matherona ma postać:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{\alpha=1}^{N(h)} [z(u_{\alpha}) - z(u_{\alpha} + h)]^2$$

gdzie:  $N(h)$  – ilość par punktów pomiarowych oddalonych o  $h$ .

# Interpolacja przestrzenna

## Kriging



**Semiwariogram. Krzyże reprezentują pary punktów. Koła są średnimi ważonymi wewnątrz określonych przedziałów odległości. W punkty te wpasowywana jest krzywa, której postać opisana jest jednym ze stosunkowo niewielkiej liczby zaproponowanych w tym celu równań (tzw. semiwariogram teoretyczny).**

# Interpolacja przestrzenna

## Kriging

Etapy postępowania:

1. Analiza danych pomiarowych w celu określenia postaci semiwariogramu.
2. Oszacowanie interpolowanej wartości jako średniej ważonej, z wykorzystaniem wag otrzymanych na podstawie semiwariogramu.

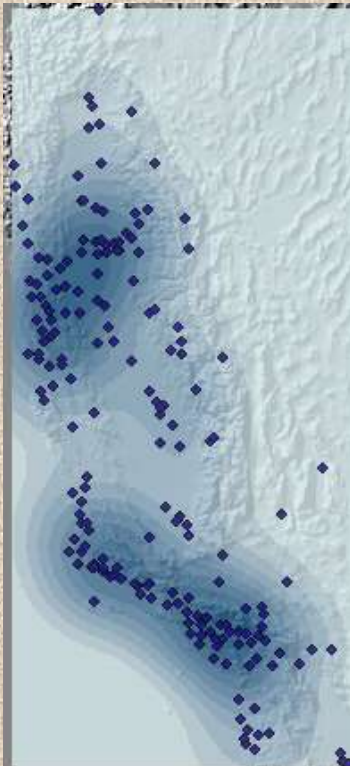
Uwagi:

- Możliwe jest określanie semiwariogramów kierunkowych (obliczanych w określonym zakresie kątów kierunku).\
- Możliwe jest uwzględnienie tzw. efektu samorodka (*nugget effect*)
- Istnieje wiele wariantów krigingu.



## Oszacowanie rozkładu gęstości

- Cel: opisanie poprzez ciągłą powierzchnię zbioru danych reprezentowanych przez obiekty dyskretne (np. gęstość zaludnienia, wystąpienie zachorowań, itp.)  
(Interpolacja przestrzenna: oszacowanie wartości zmiennej o charakterze ciągłym)





## **Operatory sąsiedztwa (kontekstowe)**

- **Grupa narzędzi analitycznych stosowanych w modelu rastrowym**
- **Umożliwiają uzyskiwanie nowej warstwy tematycznej na podstawie informacji na warstwie istniejącej i kontekstu (otoczenia rozważanego piksela)**

**Np. obliczanie nachylenia i ekspozycji z NMT, grupowanie**

## **Operatory sąsiedztwa (kontekstowe)**

**W modelu rastrowym nachylenie i ekspozycja terenu obliczane są dla poszczególnych komórek na podstawie wysokości komórek w otoczeniu.**

**Stosowane mogą być różne algorytmy obliczeniowe.**

# Algorytm Rittera

Fleming M. D., Hoffer R. M.: *Machine processing of Landsat MSS data and DMA topographic data for forest cover type mapping*. LARS Technical Report 062879. Laboratory for Applications of Remote Sensing, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1979

Zaprezentowana w formie algorytmu przez Rittera

Ritter P.: *A vector-based slope and aspect generation algorithm*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1987, 53(8)

$$\text{Spadek}_x = (Z1 - Z3) / (2 * L_x)$$

$$\text{Spadek}_y = (Z4 - Z2) / (2 * L_y)$$

$$\text{Spadek} = (\text{Spadek}_x^2 + \text{Spadek}_y^2)^{-1/2}$$

Z5	Z2	Z6
Z1	Z9	Z3
Z8	Z4	Z7

$Z_i$  – wartość piksela (wysokość)

$L_x$  – rozmiar piksela w kierunku wschód-zachód

$L_y$  – rozmiar piksela w kierunku północ-południe

# Algorytm Horna

Horn B. K. P.: *Hill shading and the reflectance map*. Proceedings of the IEEE, 1981, 69(1)

Poszczególnym pikselom przypisywane są wagi proporcjonalne do odwrotności kwadratu odległości od piksela centralnego:

$$\text{Spadek}_x = [(Z8 + 2*Z1 + Z5) - (Z7 + 2*Z3 + Z6)] / (8 * L_x)$$
$$\text{Spadek}_y = [(Z7 + 2*Z4 + Z8) - (Z6 + 2*Z2 + Z5)] / (8 * L_y)$$
$$\text{Spadek} = (\text{Spadek}_x^2 + \text{Spadek}_y^2)^{-1/2}$$

Z5	Z2	Z6
Z1	Z9	Z3
Z8	Z4	Z7

$Z_i$  – wartość piksela (wysokość)

$L_x$  – rozmiar piksela w kierunku wschód-zachód

$L_y$  – rozmiar piksela w kierunku północ-południe



# Algorytm Sharpnacka i Akina

Sharpnack D. A., Akin G.: *An algorithm for computing slope and aspect from elevations.*  
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1969, 35(3)

$$\text{Spadek}_x = [(Z8 + Z1 + Z5) - (Z7 + Z3 + Z6)] / (6 * L_x)$$
$$\text{Spadek}_y = [(Z7 + Z4 + Z8) - (Z6 + Z2 + Z5)] / (6 * L_y)$$
$$\text{Spadek} = (\text{Spadek}_x^2 + \text{Spadek}_y^2)^{-1/2}$$

Z5	Z2	Z6
Z1	Z9	Z3
Z8	Z4	Z7

$Z_i$  – wartość piksela (wysokość)

$L_x$  – rozmiar piksela w kierunku wschód-zachód

$L_y$  – rozmiar piksela w kierunku północ-południe

# Symulacja oświetlenia

**SURFACE - surface analysis**

Calculate:

Slope                       Slope and aspect

Aspect                          Analytical hillshading

Input elevation model:  ...

Output hillshading image:  ...

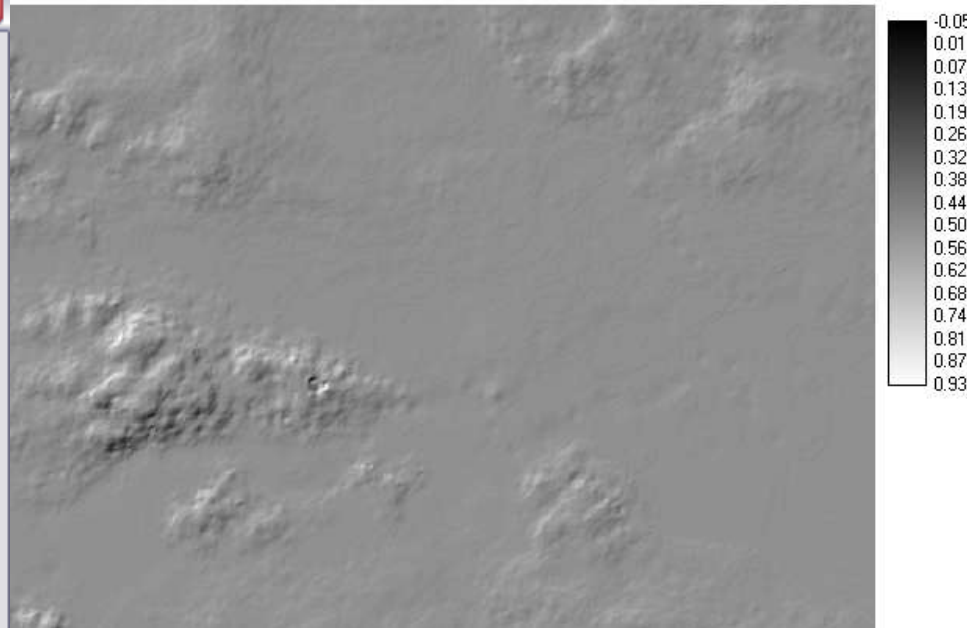
Sun azimuth in degrees clockwise from north (0 to 360):

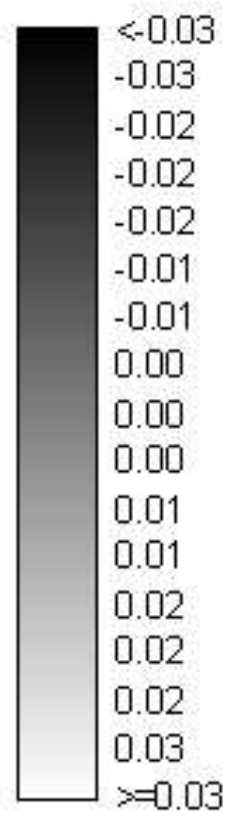
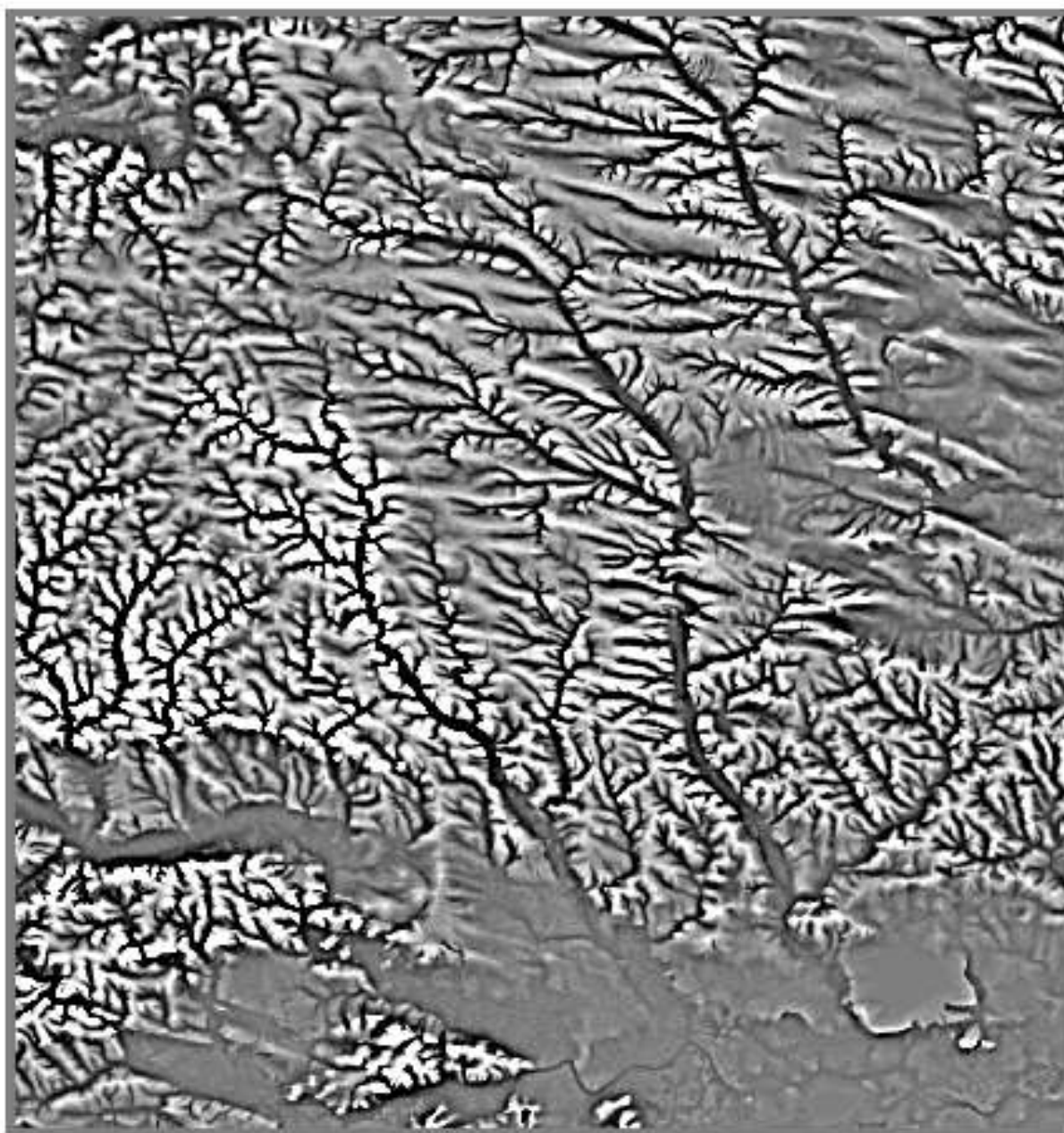
Sun elevation angle in degrees (0 to 90):

Conversion from unspecified to m:



Hillshading image title:

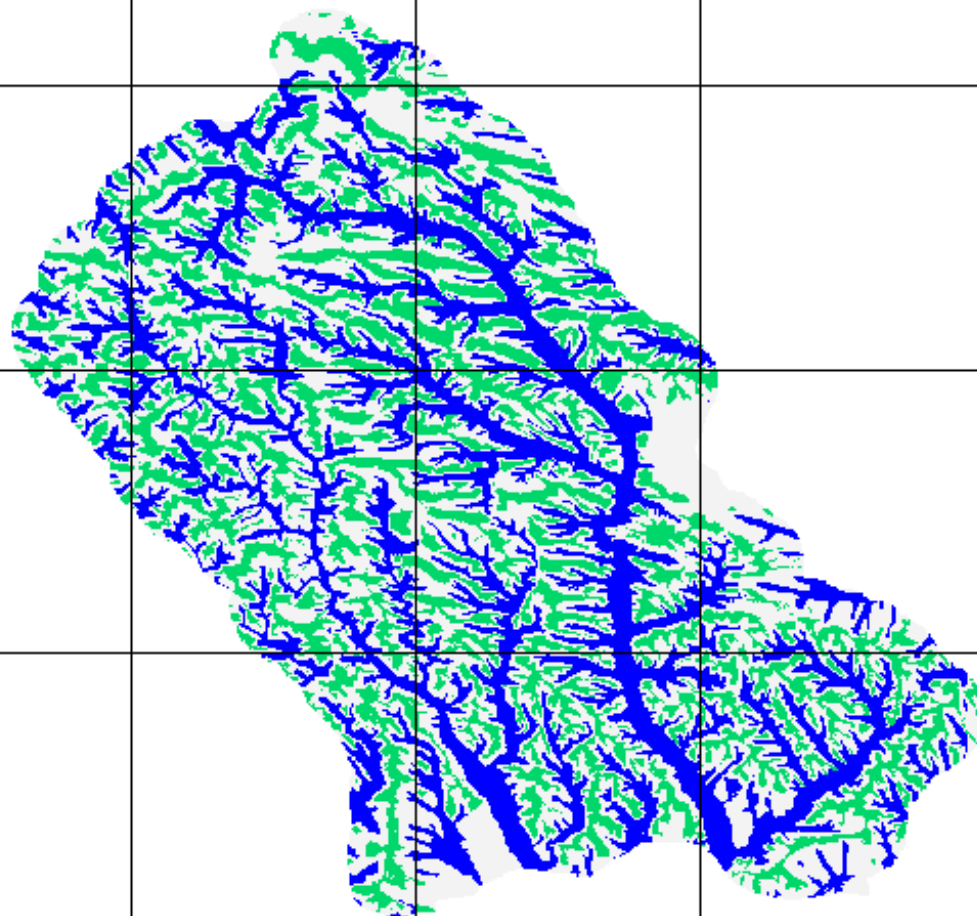
OK    Cancel    Help







-  wklęsłe formy terenowe (dna dolin)
-  wypukłe formy terenowe (wierzchołki)



5580000

5570000

5560000

5550000

4410000

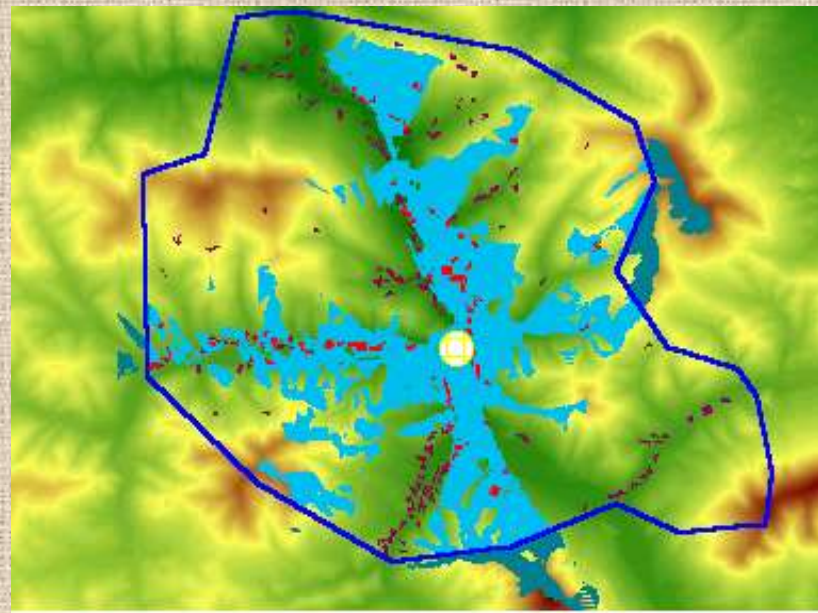
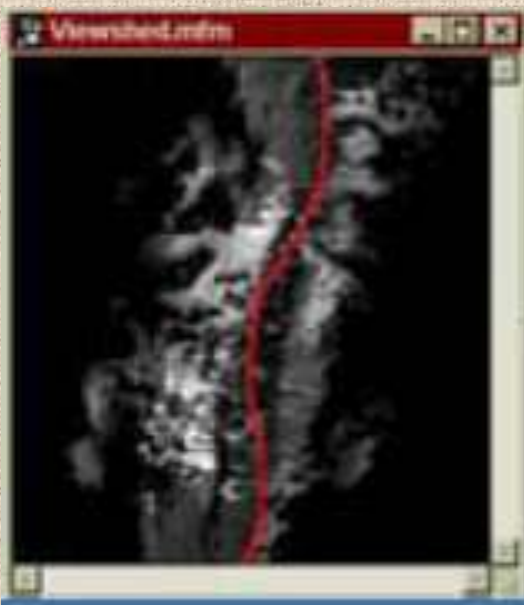
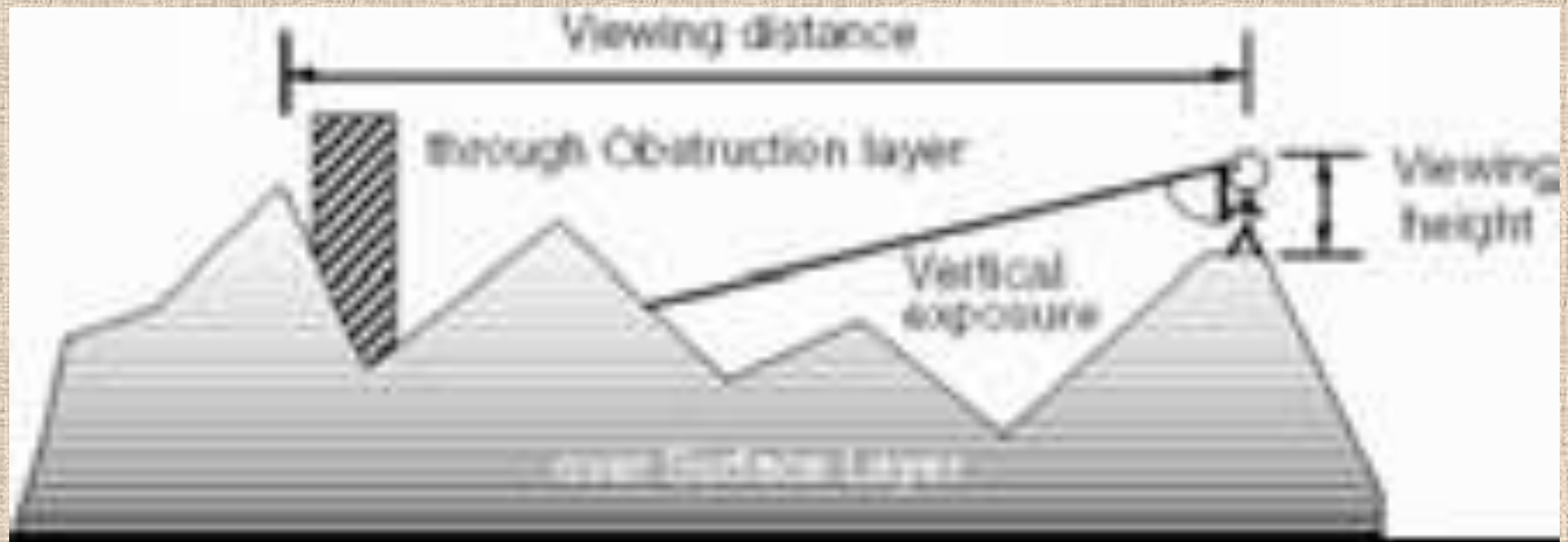
4420000

4430000

4440000



# Analiza widoczności

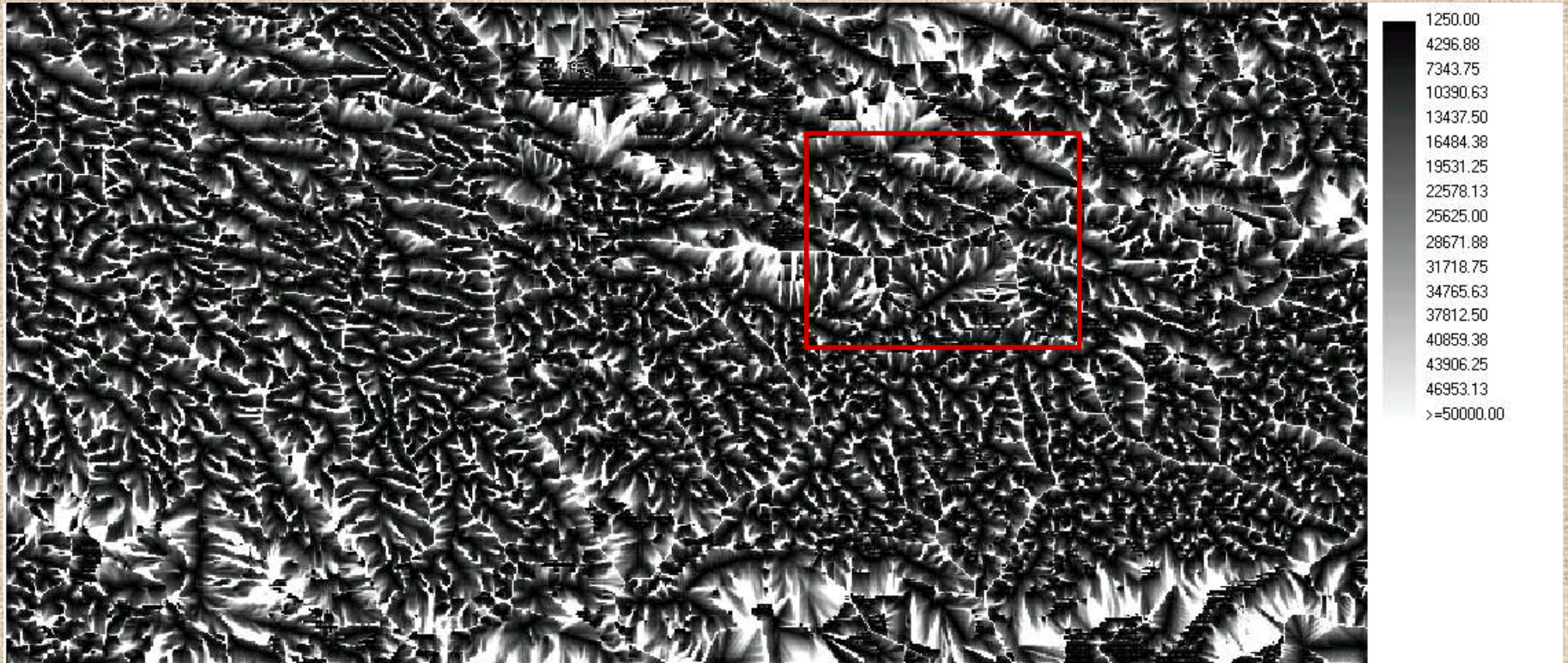


# Określenie kierunku spływu powierzchniowego

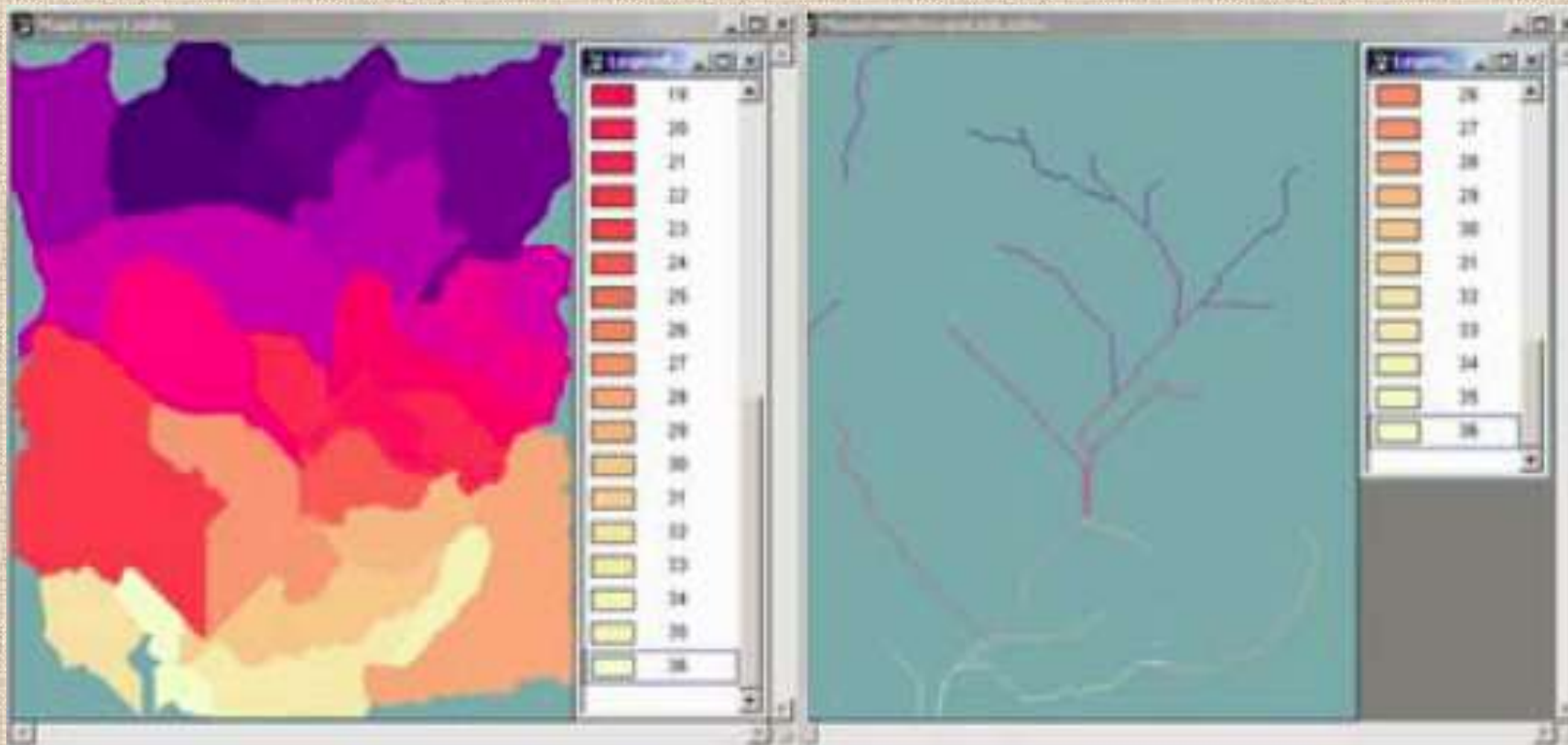




# Algorytmy generujące sieć erozyjno-drenażową

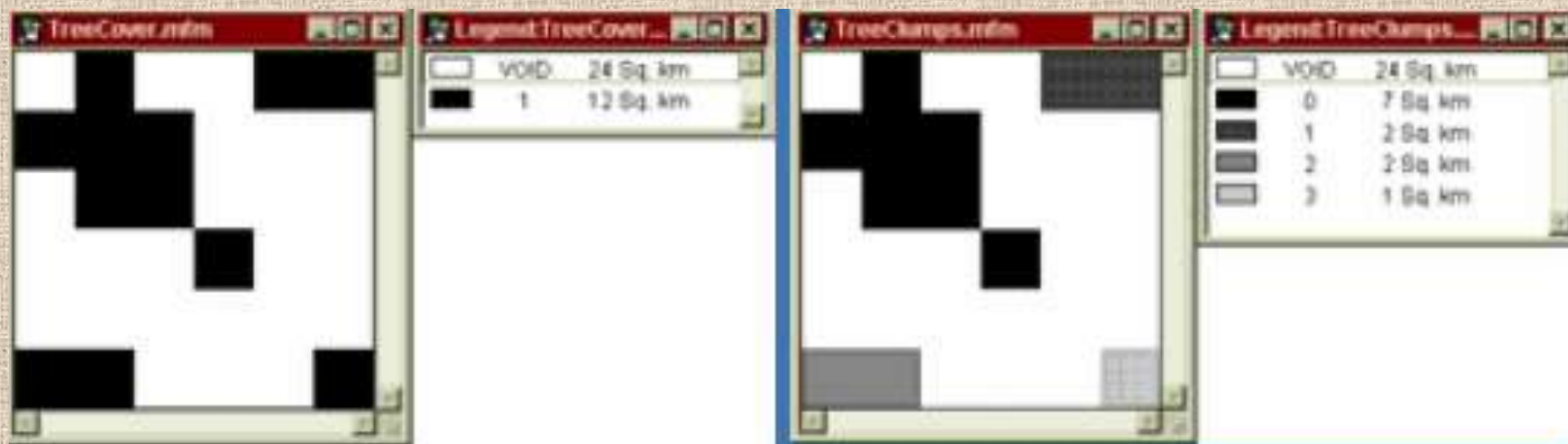


## Określenie zlewni cząstkowych





## Grupowanie przestrzenne

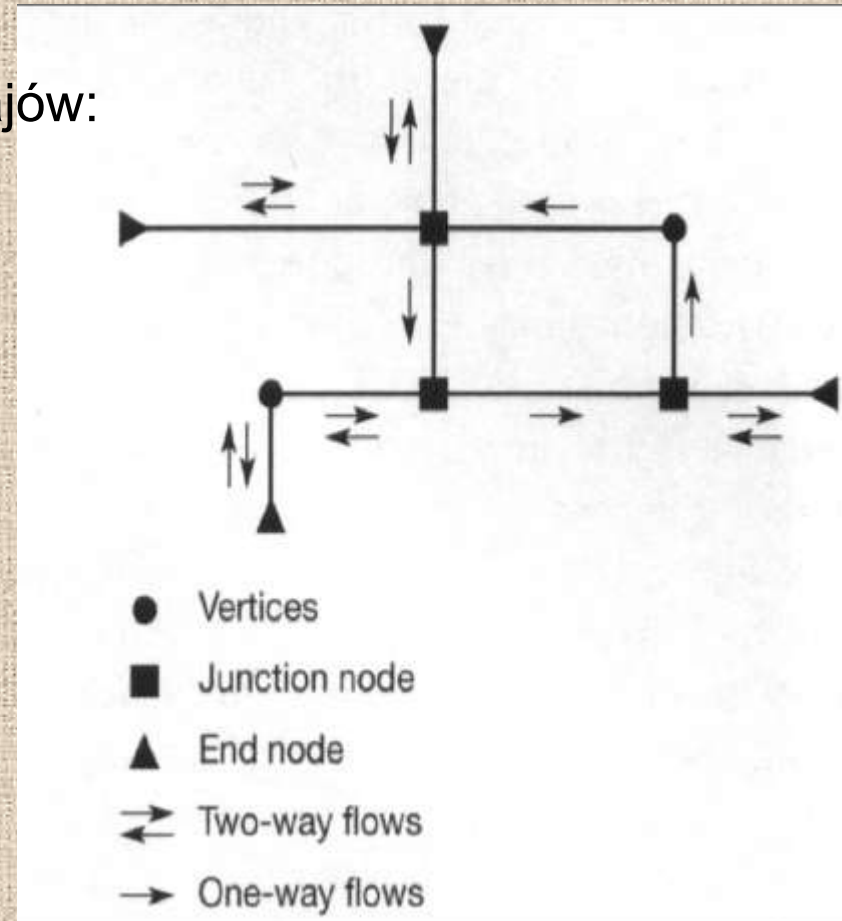


## Analizy sieciowe (network analysis)

Sieci składają się z elementów dwu rodzajów: z krawędzi (linie) i z łączników (węzłów). Elementy te są powiązane topologicznie.

Wzdłuż krawędzi odbywa się przepływ różnych substancji, towarów, środków transportu, ludzi itp.

Łączniki występują na przecięciu dwu lub więcej krawędzi i pozwalają na przepływ pomiędzy różnymi krawędziami.



- analizy sieciowe mogą być przeprowadzane na danych wektorowych lub rastrowych
- węzły odzwierciedlają takie elementy przestrzeni jak skrzyżowania, węzłowe stacje kolejowe, puszki połączeniowe itp.,
- krawędzie (linie) są fragmentami dróg, rur, kabli.
- linie posiadają atrybuty kierunku oraz „oporu pozornego”, które determinują opór właściwy korygujący „koszt” poruszania się po sieci (np. uliczny korek).

## Przykładowe zadania:

- znalezienie optymalnego połączenia pod względem postawionych warunków, np. najkrótszej lub najszybszej drogi pomiędzy określonymi punktami;
- analiza lokalizacji czyli znalezienie najbliższego położonego obiektu (bank, szpital) od wskazanego miejsca;
- analiza alokacji czyli znalezienie wszystkich dróg oddalonych (W CZASIE LUB PRZESTRZENI) od punktu początkowego o zadaną wartość;
- analiza trasowania czyli wyznaczania optymalnej trasy przebiegającej przez  $n$  zadanych punktów.



# Znalezienie najtańszej (optymalnej) drogi

- Koszt przebycia drogi zależy od rodzaju „oporu” który wybierze użytkownik – może nim być czas, odległość, lub wrażenia estetyczne



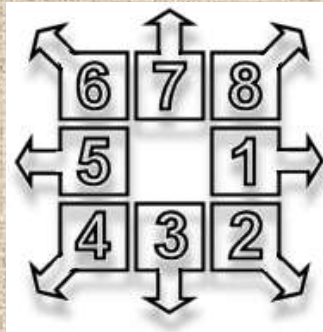
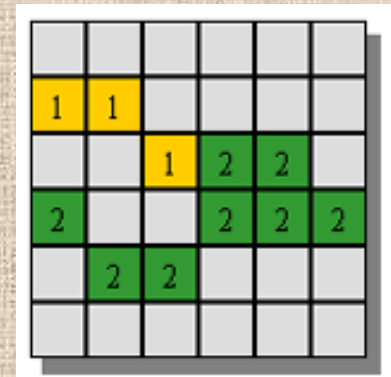
CZAS: 8 min  
Długość: 4,6 km



ODLEGŁOŚĆ: 4,5 km  
Czas: 9 min

# Rastrowe analizy sieciowe

- linie oraz węzły muszą być przechowywane w oddzielnych warstwach
- sieć zbudowana z wykorzystaniem modelu rastrowego zawiera z reguły dużą ilość warstw.
- grid jest grafem przedstawiającym sieć, w której połączenia z jednego węzła mogą nastąpić w 8 kierunkach.



# Znajdowanie najtańszej drogi przy pomocy modelu rastrowego

- Algorytm znajdowania drogi w modelu rastrowym jest podobny do modelu wektorowego.
- Aby znaleźć najkrótszą (najtańszą, najszybszą) drogę należy przygotować raster, który przedstawia skumulowany koszt (lub opór) przebycia drogi od jednej komórki do drugiej.
- Raster kosztów to kombinacja różnych gridów, które opisują różne atrybuty. Jest określany na drodze algebry map.



# Analizy sieciowe na danych wektorowych i rastrowych podsumowanie

- **Model wektorowy** jest właściwszy dla analiz precyzyjnie określających kierunek przepływu między punktami (droga, rzeka, kabel telefoniczny, rura) - dyskretnymi elementami, głównie antropogenicznymi, których atrybuty stanowią kluczową rolę w określaniu całej sieci.
- **Model rastrowy** jest korzystniejszy w przypadku gdy problemem jest znalezienie drogi przez teren, gdzie nie znajdują się określone ścieżki oraz tam gdzie sieć nie składa się z wielu warstw i atrybutowo zdefiniowanych kierunków, co czyni proces modelowania znacznie bardziej złożonym.



## Algebra map

- Modyfikacja wartości atrybutu poprzez operację matematyczną z wykorzystaniem stałej (tzw. operacja skalarna: +, -, \*, /, ^)
- Modyfikacja wartości atrybutu poprzez transformację matematyczną (np. sin, cos, log,..)
- Matematyczna kombinacja wartości atrybutów pochodzących z różnych warstw

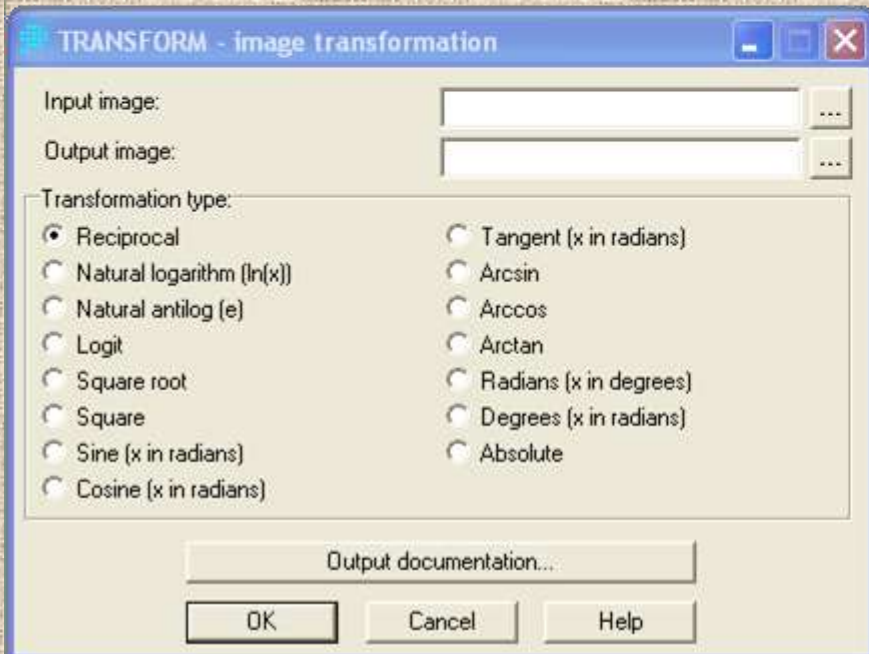
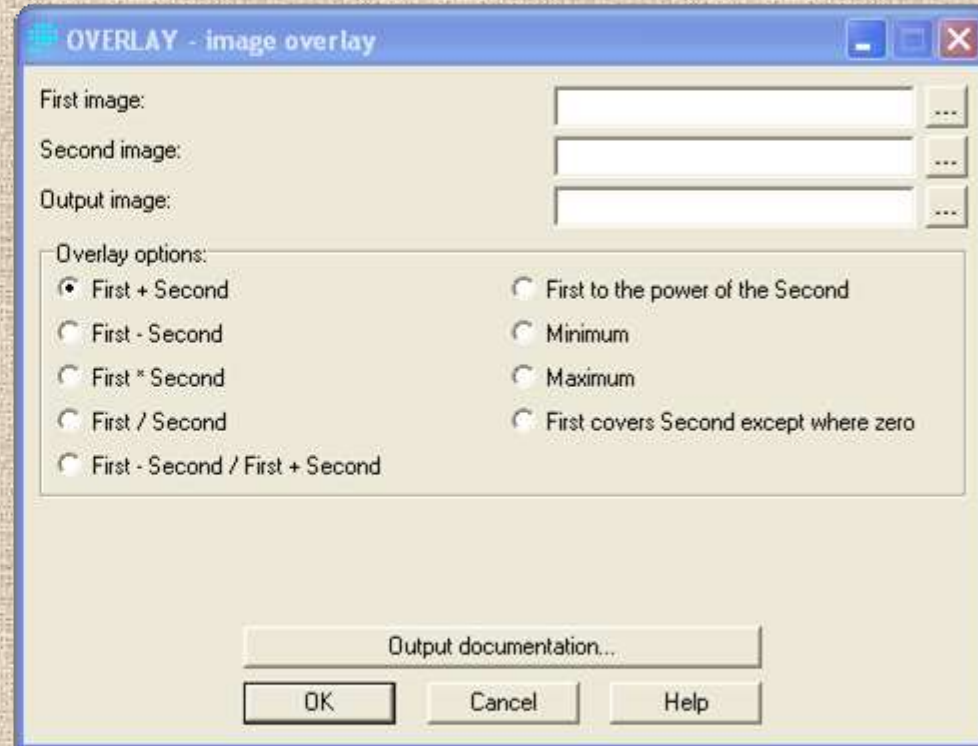
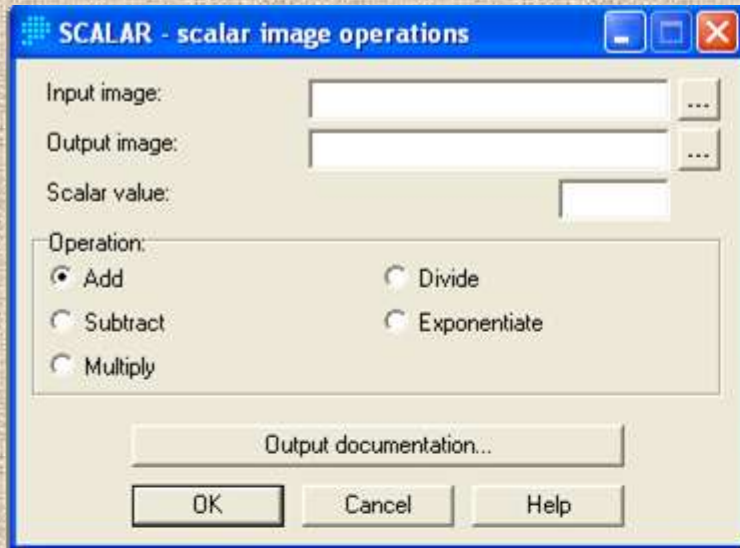
$$T = -0.005 * Z + 27$$

gdzie:

T – temperatura [°C]

Z – wysokość [m]

# Algebra map




# Algebra map

**Image Calculator - Map Algebra and Logic Modeler**

Operation type :  Mathematical expression  Logical expression

Output file name :  = Expression to process :

7	8	9	/	$\wedge X$	COVER	EXP	SIN	ARCCOS
4	5	6	*	NRATIO	NEG	LOGIT	COS	ARCTAN
1	2	3	-	MIN	RECIP	SQRT	TAN	RAD
0	.	-	+	MAX	LN	SQR	ARCSIN	DEG
(	)	[	]	Insert Image 			CLEAR	ABS

Process Expression    Save Expression    Open Expression    Cancel    Help



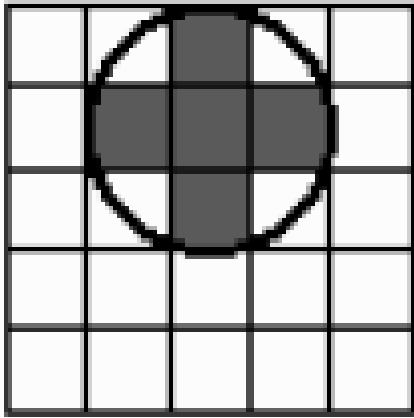
## **Statystyki i charakterystyki opisowe:**

**- celem tego rodzaju analiz jest opisanie zbioru danych za pomocą wskaźników liczbowych (w tym miar statystycznych)**



## Statystyki i charakterystyki opisowe:

**Lokalne:** Jedna warstwa z danymi, które analizujemy w obrębie jakiegoś okna



3X3 round scanning window

Parametry statystyczne:

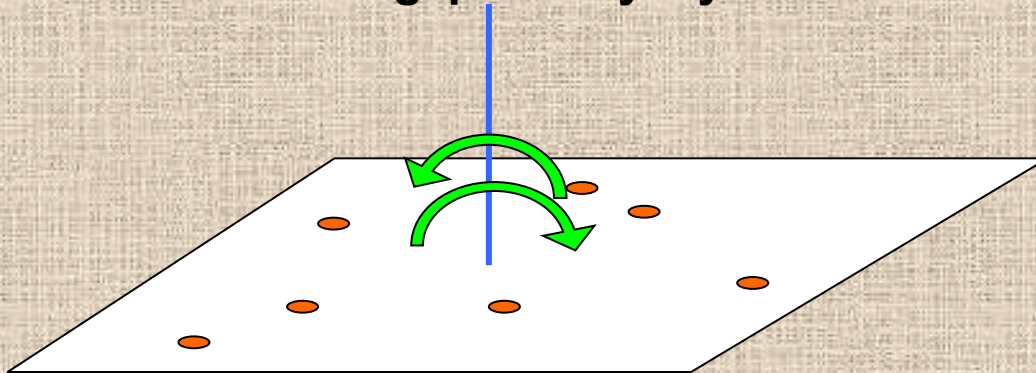
- Średnia,
- Odchylenie standardowe,
- Maksimum
- Minimum
- .....

## Statystyki i charakterystyki opisowe:

Za przestrzenny odpowiednik średniej można uważać **centroid**.

Położenie centroidu określa się obliczając średnią ważoną ze współrzędnych analizowanych punktów.

Centroid jest punktem równowagi płaszczyzny.



Średnia odległość od centroidu jest stosowana jako jedna z miar rozproszenia



## Statystyki i charakterystyki opisowe:

### Rozmieszczenie przestrzenne zjawisk jednorodnych

- Lokalizacje wypadków drogowych, przestępstw, zachorowań, itp.
  - Czy zjawiska mają tendencje do tworzenia skupisk przestrzennych (klastrów)?
  - Czy też ich występowanie ma charakter przypadkowy (losowy)?
  - A może występuje dyspersja (wystąpienie zjawiska w danym punkcie zmniejsza prawdopodobieństwo jego wystąpienia w sąsiedztwie)?

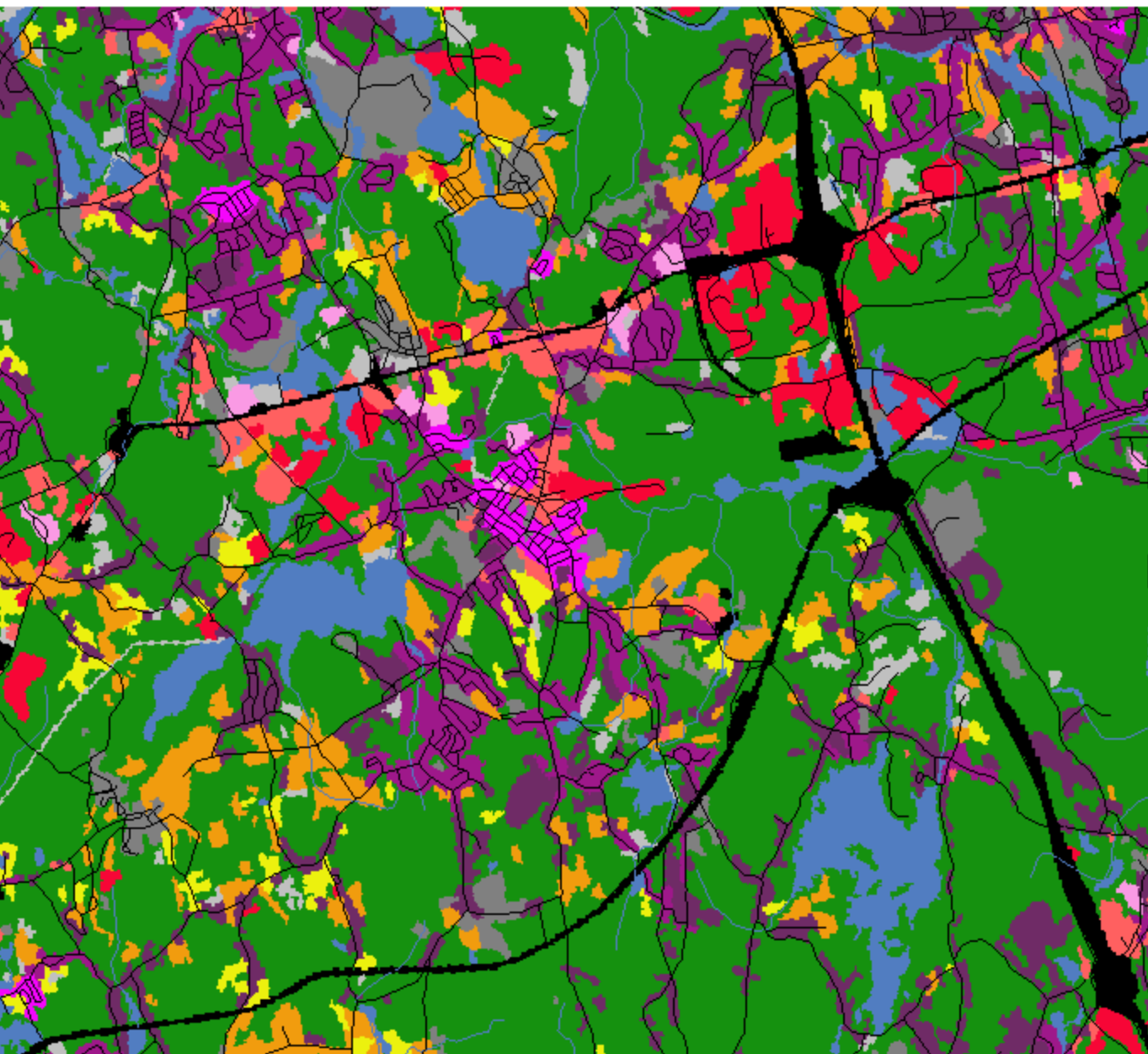
# Ocena przydatności terenu

- Wykonywana w celu określenia ograniczeń i potencjalnych możliwości wykorzystania terenu
  - Ograniczenia i potencjały są zróżnicowane przestrzennie
  - Ograniczenia i potencjały zależą od wielu czynników

# PRZYKŁAD

CEL: Określenie obszarów najbardziej przydatnych dla rozwoju budownictwa mieszkaniowego

# Landuse, Vicinity of Westborough, MA, USA



- Cropland
- Pasture
- Forest
- Open Undeveloped
- Open Developed
- Multi-Family Residential
- Small Lots Residential
- Med. Lots Residential
- Large Lots Residential
- Commercial
- Industrial
- Transportation
- Open Water



# PRZYKŁAD

CEL: Określenie obszarów najbardziej przydatnych dla rozwoju budownictwa mieszkaniowego

Różne interesy:

- Deweloperzy,
- „Zieloni”
- Władze (regulacje prawne)

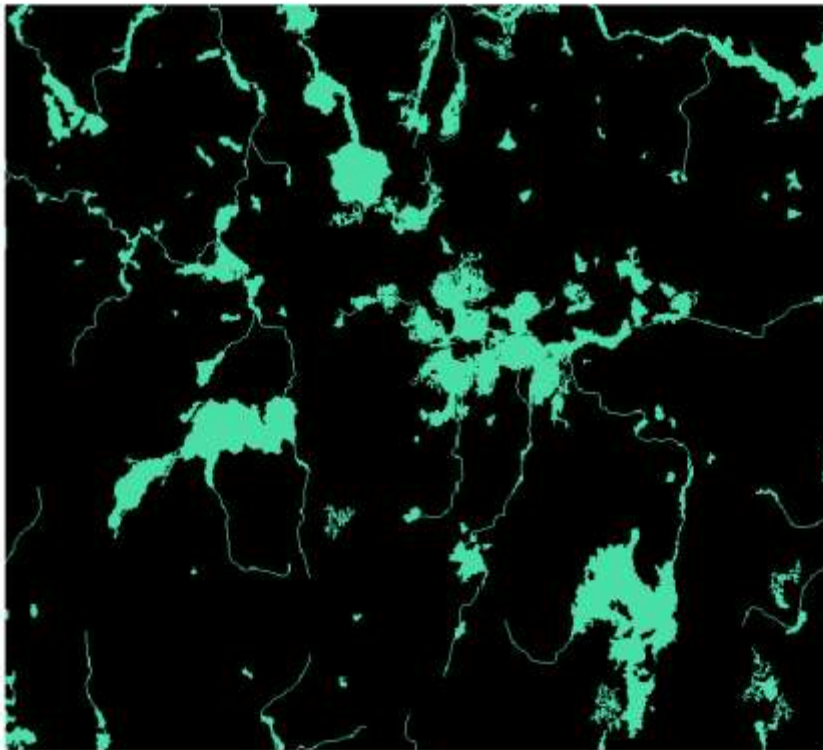
KROK 1: Określenie kryteriów

# KROK 1: Określenie kryteriów

Ograniczenia:

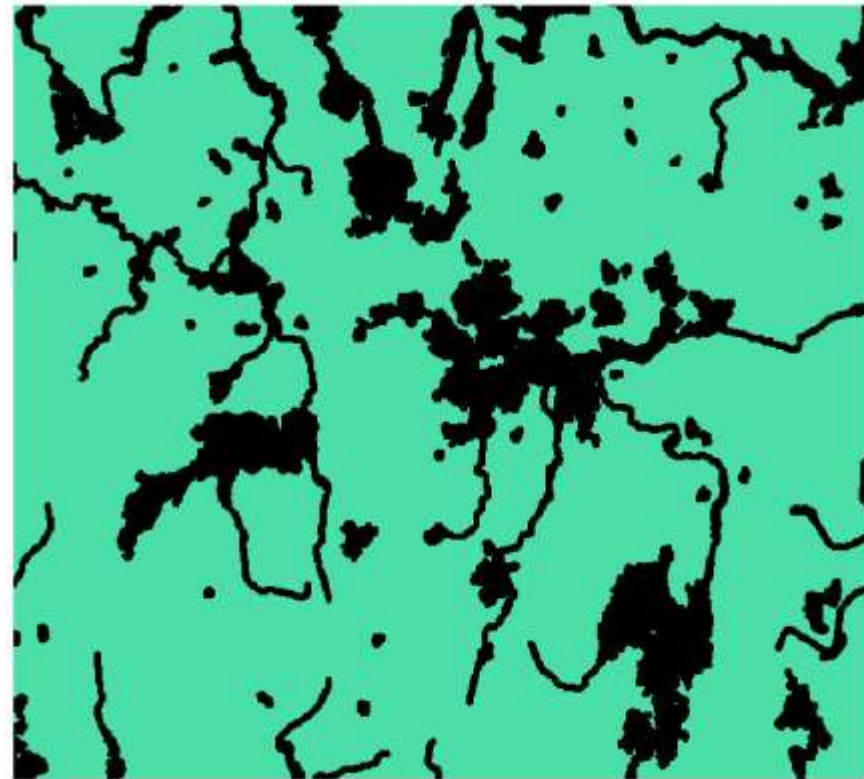
1. Teren musi być położony ponad 50 m od wody i mokradel

Open Water, Streams and Wetlands



Water

50 m Buffer Zone around Water (Open Water, Streams, Wetlands)



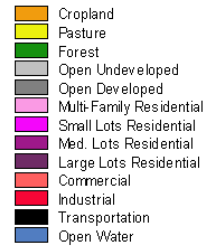
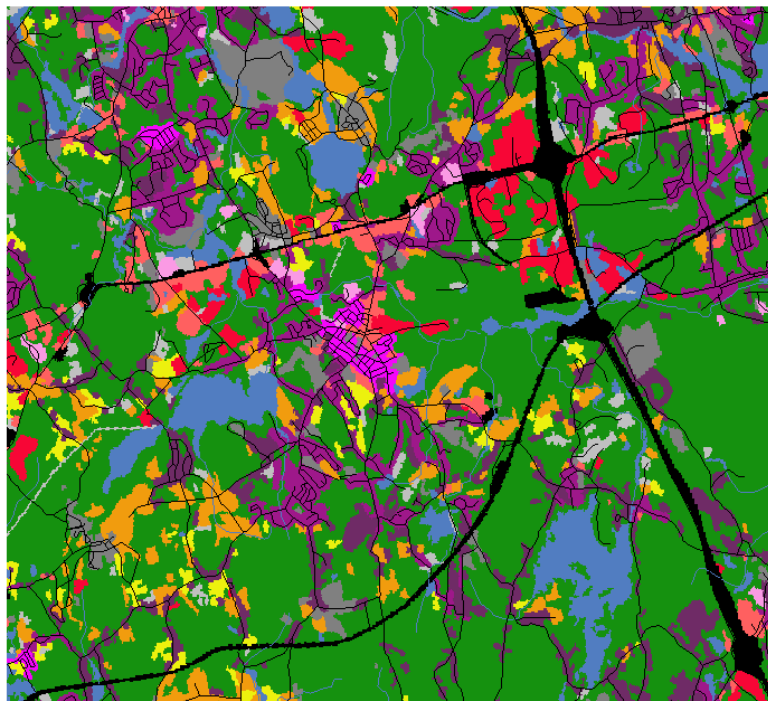
0  
1

# KROK 1: Określenie kryteriów

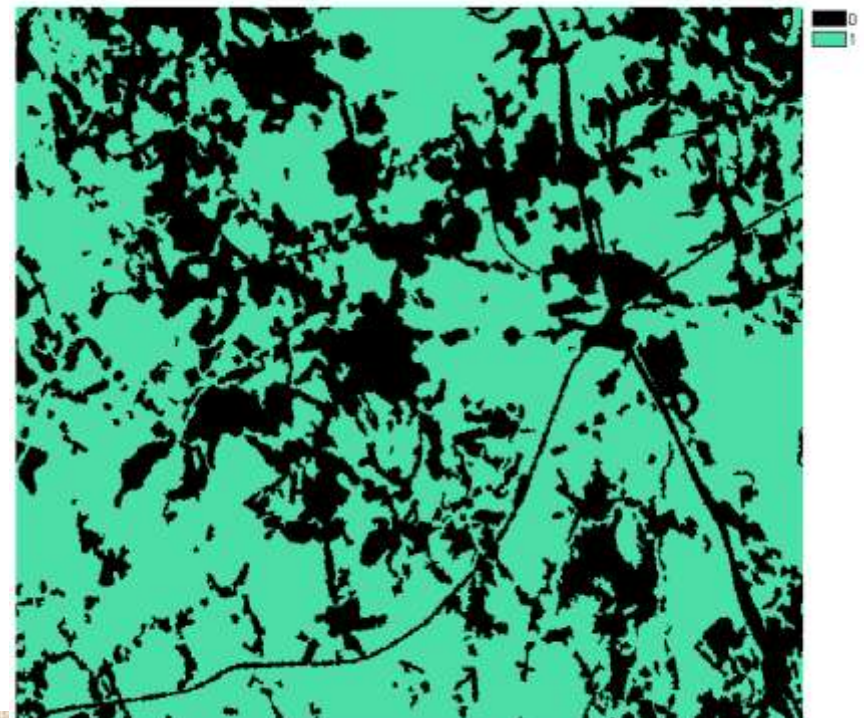
Ograniczenia:

2. Teren musi być niezagospodarowany

Landuse, Vicinity of Westborough, MA, USA



Unsuitable Areas Constrained by Current Landuse





# KROK 1: Określenie kryteriów

Czynniki:

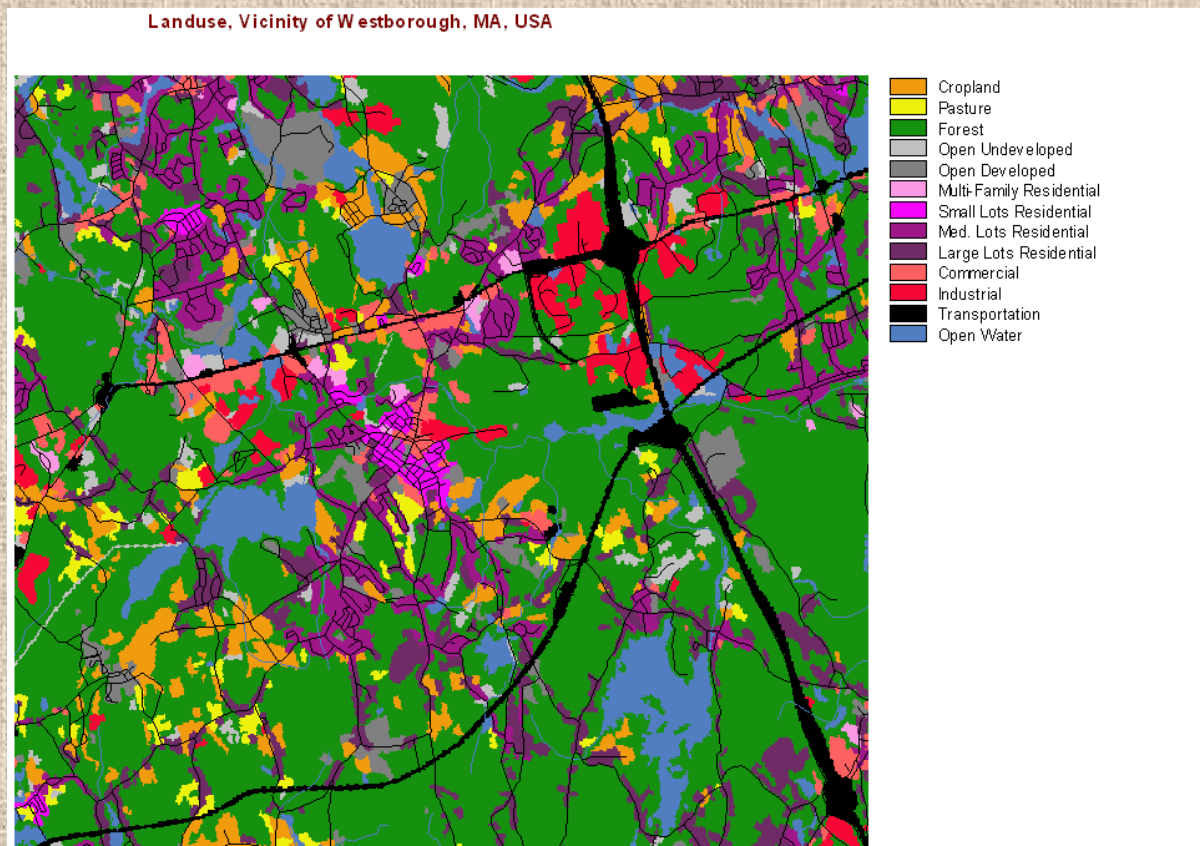
1. Dotychczasowe użytkowanie
2. Odległość od dróg
3. Odległość od miasta
4. Nachylenie terenu
5. Odległość od wód i mokradeł
6. Bliskość obszarów zagospodarowanych



# KROK 1: Określenie kryteriów

Czynniki:

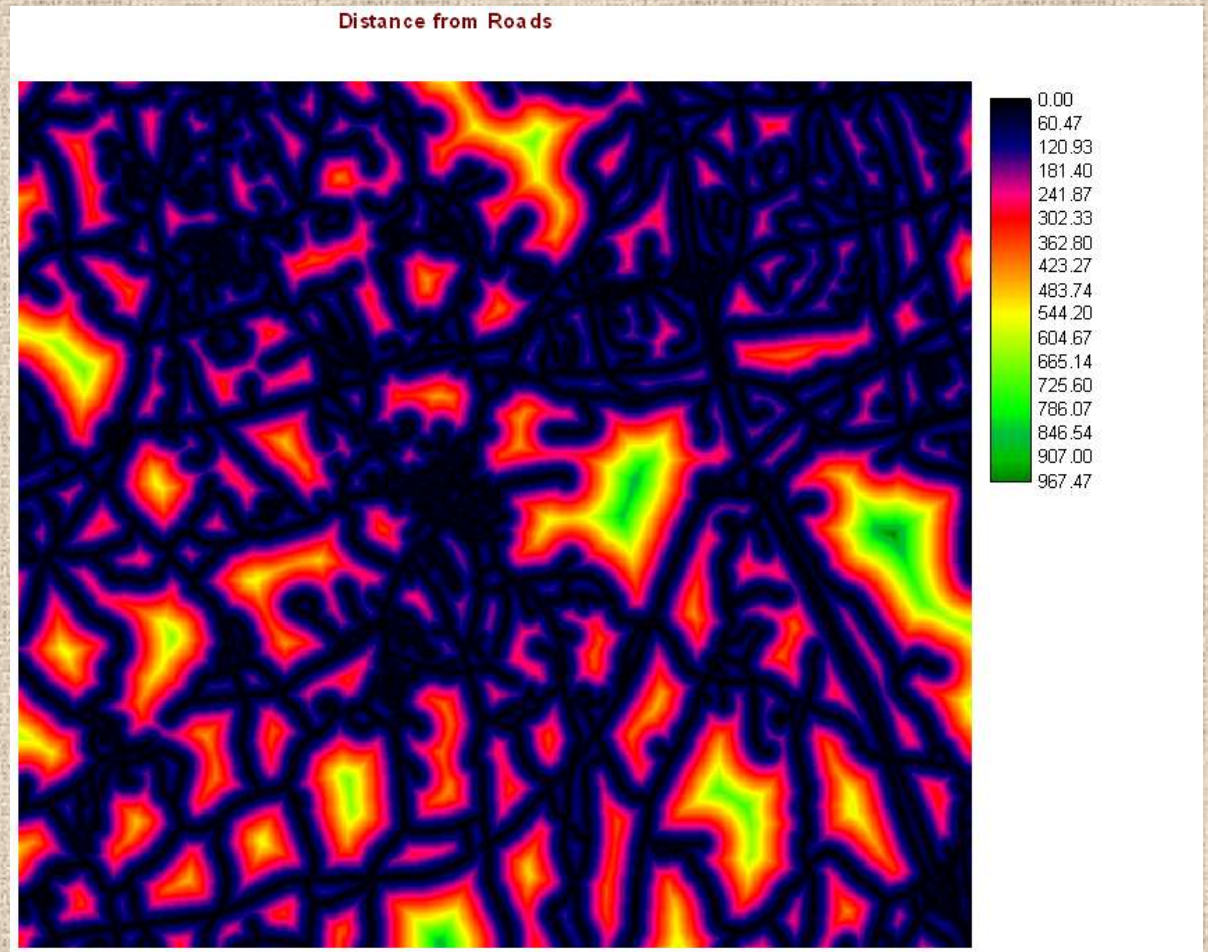
## 1. Dotychczasowe użytkowanie



# KROK 1: Określenie kryteriów

Czynniki:

1. Odległość od dróg

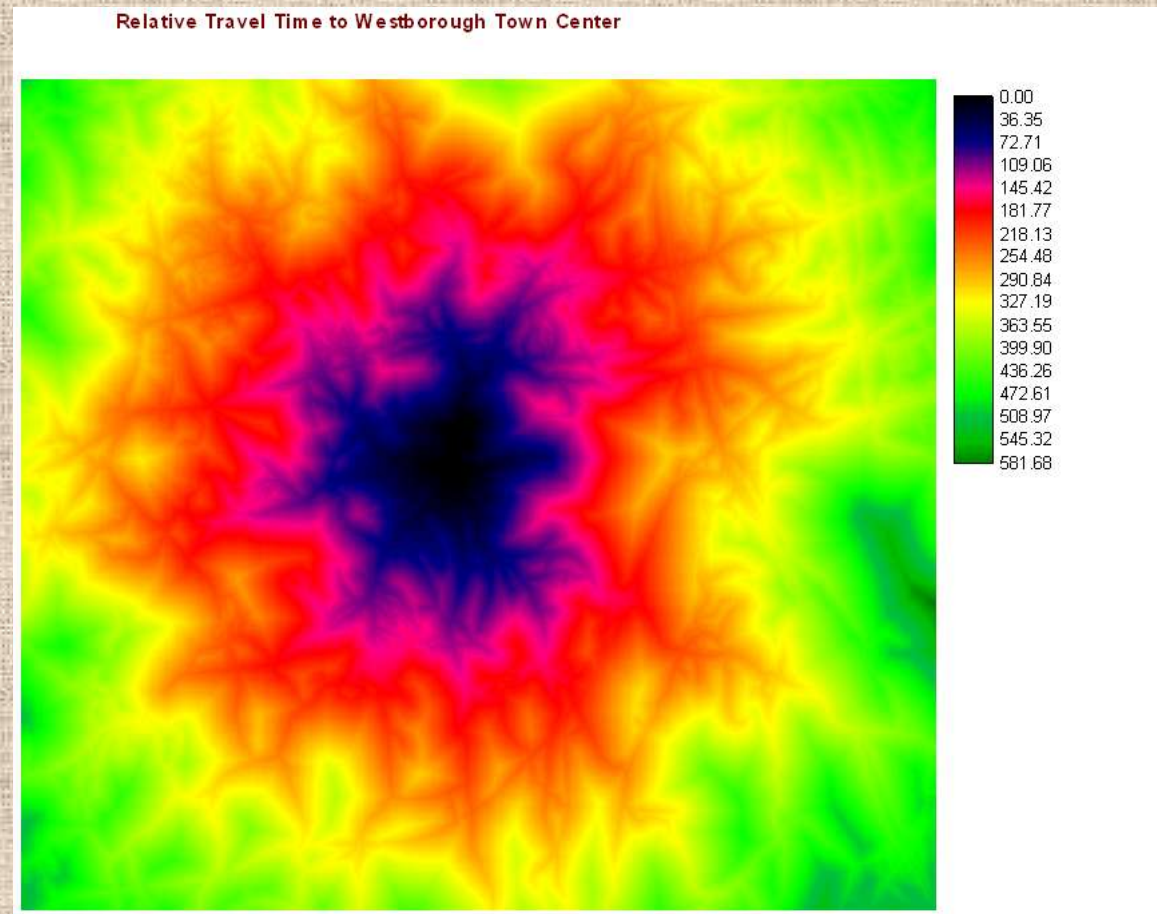




# KROK 1: Określenie kryteriów

Czynniki:

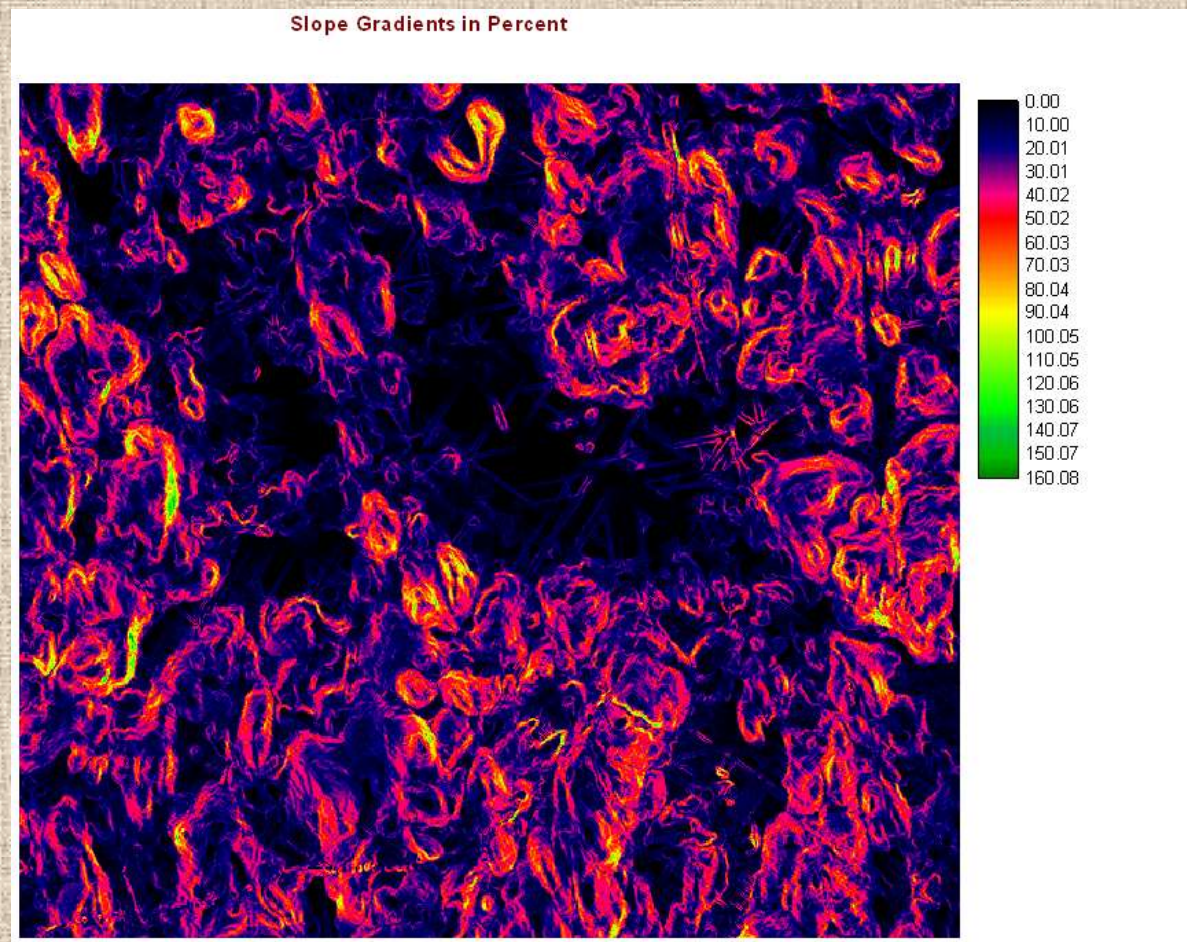
1. Odległość od miasta



# KROK 1: Określenie kryteriów

Czynniki:

## 1. Nachylenie terenu

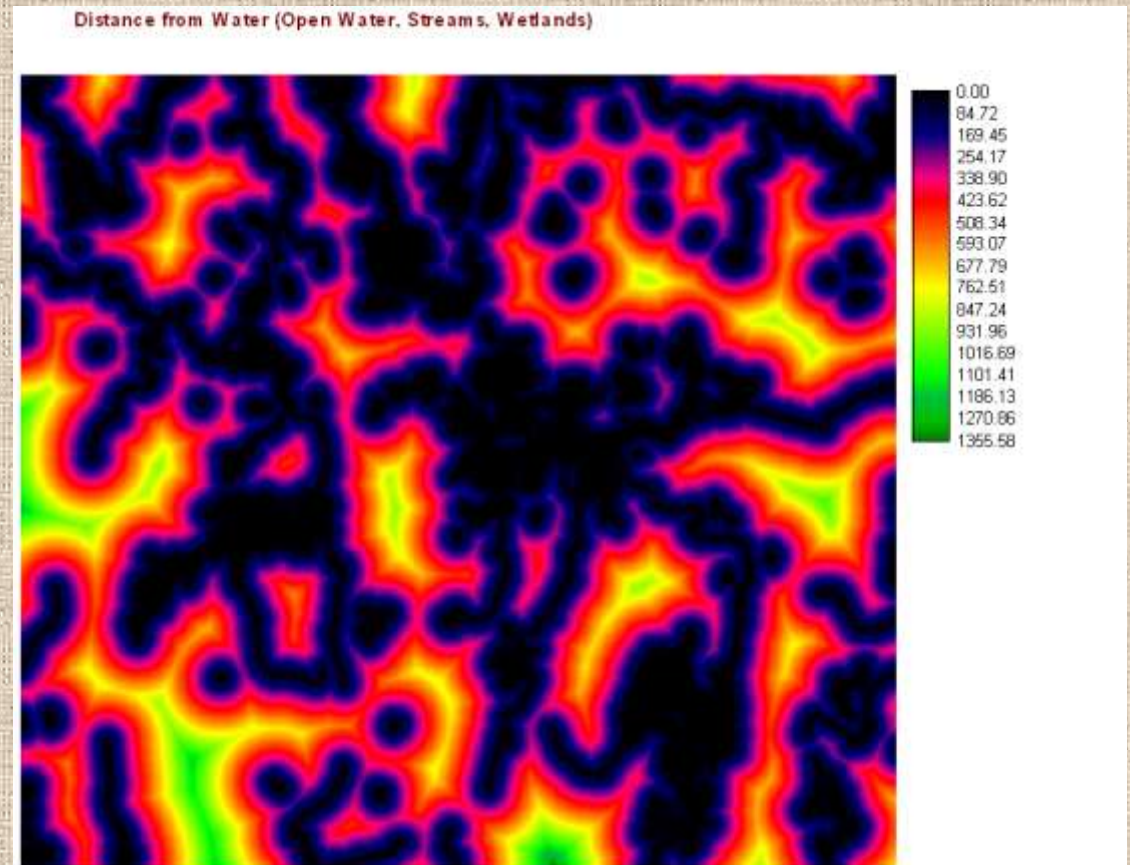




# KROK 1: Określenie kryteriów

Czynniki:

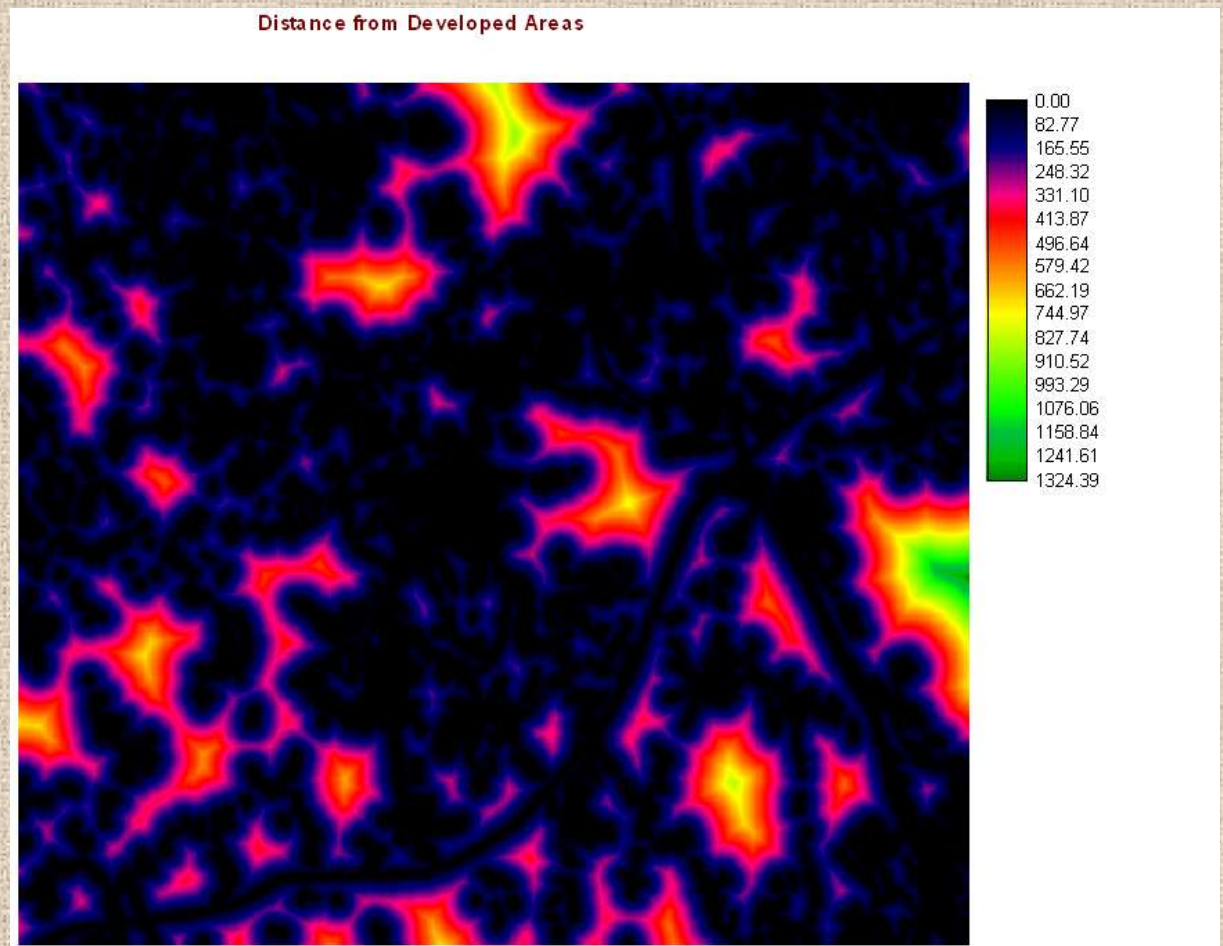
1. Odległość od wód i mokradeł



# KROK 1: Określenie kryteriów

Czynniki:

1. Bliskość obszarów zagospodarowanych



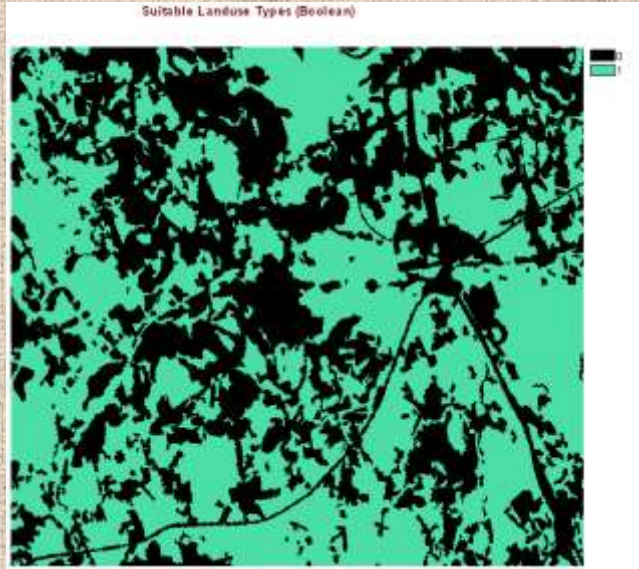
## Metoda boolowska

Wszystkie kryteria (zarówno ograniczenia jak i czynniki) standaryzowane są do postaci map zerojedynekowych (boolowskich), przy czym zero oznacza tereny nieprzydatne a jeden – przydatne.

Następnie określane jest logiczne przecięcie – część wspólna – zbiór lokalizacji spełniających wszystkie kryteria przydatności.



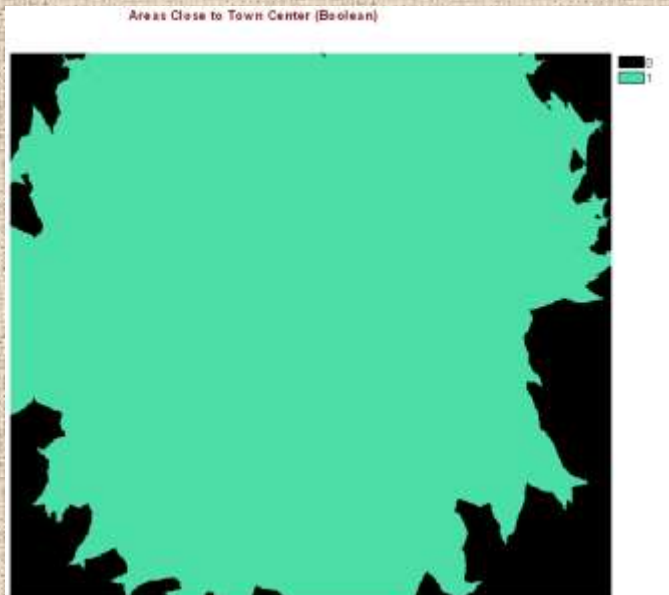
Użytkowanie – las i tereny otwarte



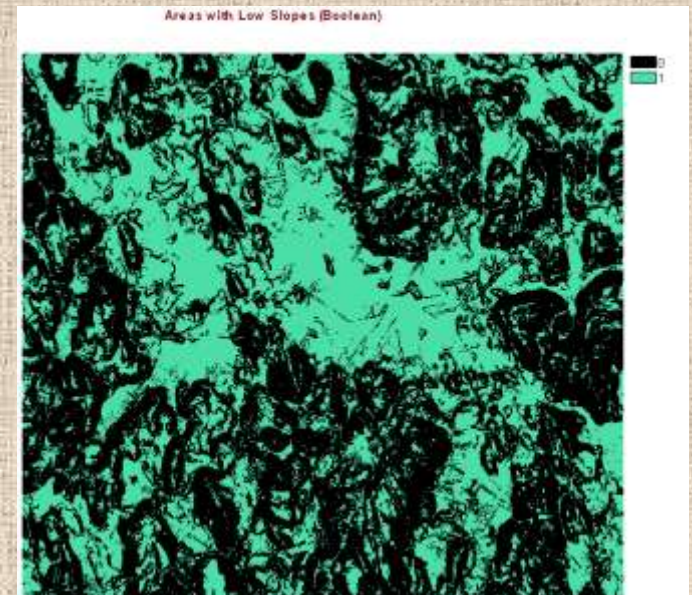
Odległość od dróg < 400 m



Czas dojazdu do centrum < 10 min

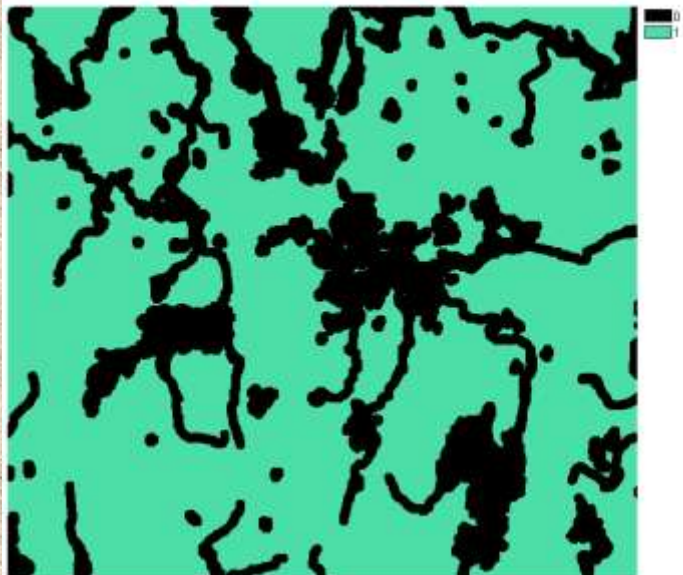


Nachylenie < 15%



Odległość od wody > 100 m

Areas Far from Open Water, Streams and Wetlands (Boolean)

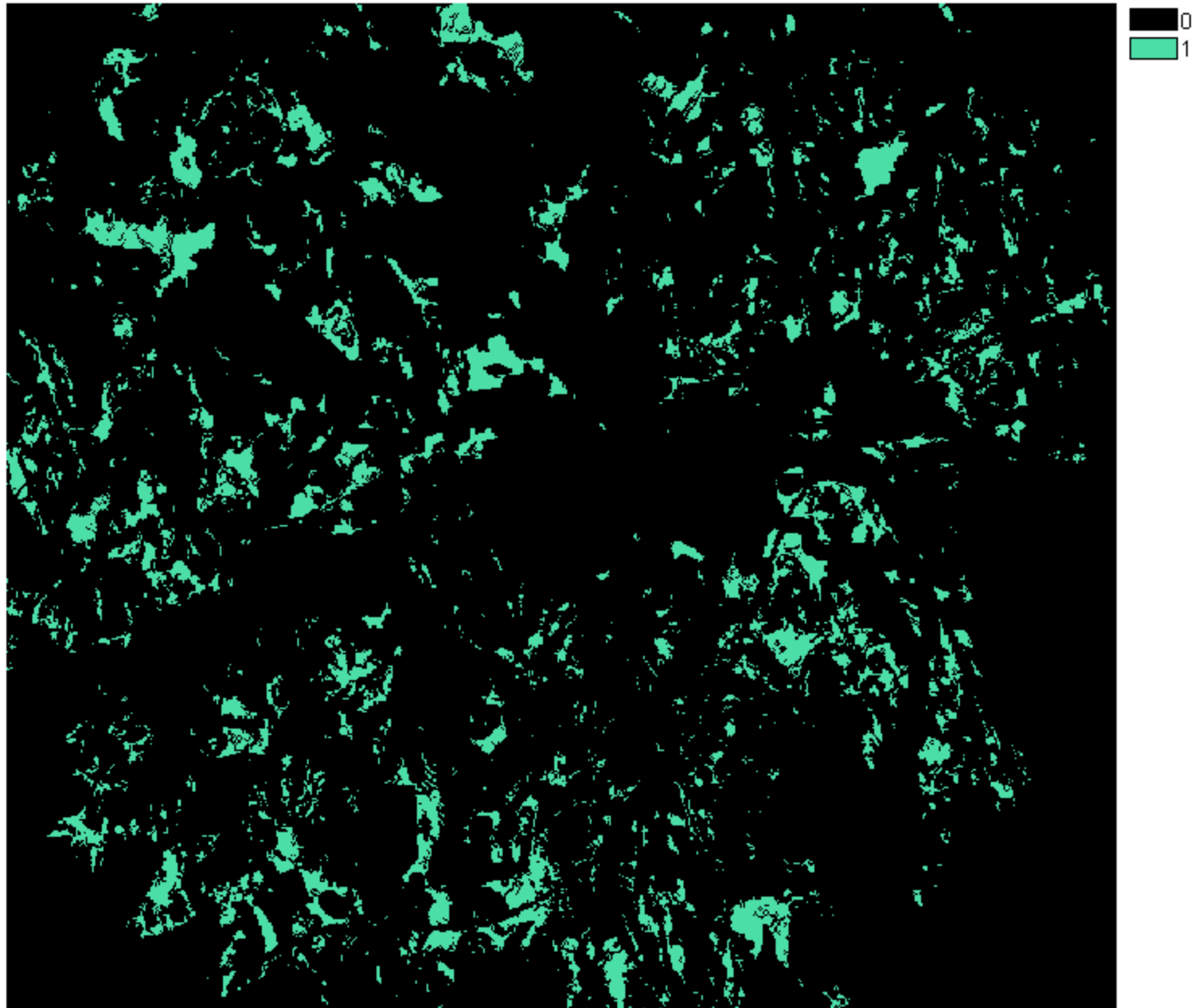


Odległość od obszarów zagospodarowanych < 300 m

Areas Close to Developed Land (Boolean)



## MCE Suitability Map: Boolean Intersection





## Metoda boolowska - ograniczenia

Strategia całkowitej eliminacji ryzyka – brak kompensacji czynników

Równy poziom istotności poszczególnych kryteriów

Problem rozmiaru i ciągłości przestrzennej obszarów spełniających kryteria

# Metoda boolowska – tereny o powierzchni ponad 20 ha



# Metoda ważonej kombinacji liniowej

**Multi-Criteria/Multi-Objective Decision Wizard**

Objective 1: residential

Specify factor standardization:

Factor number: 2

Input factor name: towndist

Minimum data value: 0.0000

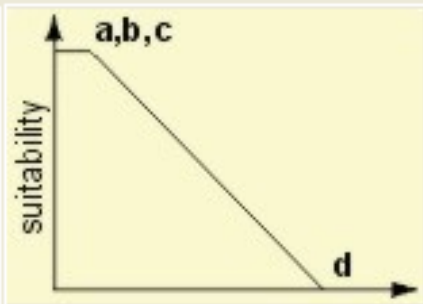
Maximum data value: 581.6760

Factors to standardize with FUZZY

- towndist
- waterdist
- roaddist
- slopes
- developdist

Membership Function Shape:

- Monotonically increasing
- Monotonically decreasing
- Symmetric



Membership Function Type:

- Sigmoidal
- J-shaped
- Linear

Control points:

c: 0.0000

d: 582.0000

Help Save as ... Cancel << Back Next >>



# Metoda ważonej kombinacji liniowej

**Multi-Criteria/Multi-Objective Decision Wizard**

Objective 1: residential

Specify factor standardization:

Factor number: 3

Input factor name: waterdist

Minimum data value: 0.0000

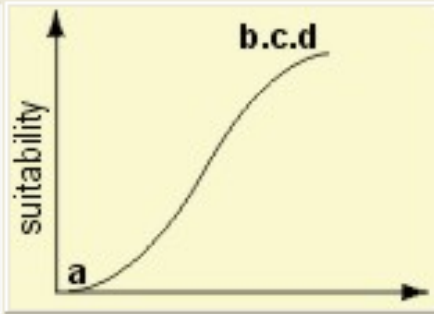
Maximum data value: 1355.5800

Factors to standardize with FUZZY

- towndist
- waterdist**
- roaddist
- slopes
- developdist

Membership Function Shape:

- Monotonically increasing
- Monotonically decreasing
- Symmetric



Membership Function Type:

- Sigmoidal
- J-shaped
- Linear

Control points:

a: 100.0000

b: 800.0000

Help Save as ... Cancel << Back Next >>

# Metoda ważonej kombinacji liniowej

**Multi-Criteria/Multi-Objective Decision Wizard**

Objective 1: residential

Specify factor standardization:

Factor number: 4

Input factor name: roaddist

Minimum data value: 0.0000

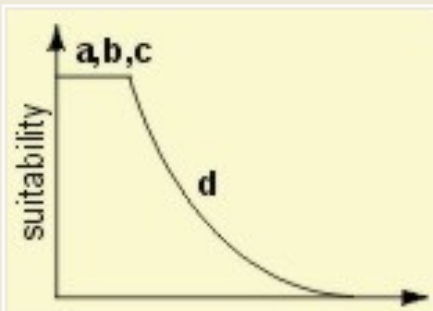
Maximum data value: 967.4710

Factors to standardize with FUZZY

- towndist
- waterdist
- roaddist
- slopes
- developdist

Membership Function Shape:

- Monotonically increasing
- Monotonically decreasing
- Symmetric



Membership Function Type:

- Sigmoidal
- J-shaped
- Linear

Control points:

c: 50.0000

d: 400.0000

Help Save as ... Cancel << Back Next >>

# Metoda ważonej kombinacji liniowej

**Multi-Criteria/Multi-Objective Decision Wizard**

Objective 1: residential

Specify factor standardization:

Factor number: 5

Input factor name: slopes

Minimum data value: 0.0000

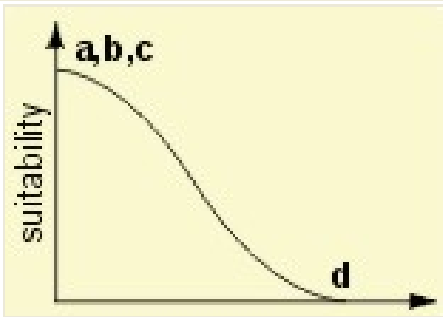
Maximum data value: 160.0780

Factors to standardize with FUZZY

- towndist
- waterdist
- roaddist
- slopes
- developdist

Membership Function Shape:

- Monotonically increasing
- Monotonically decreasing
- Symmetric



Membership Function Type:

- Sigmoidal
- J-shaped
- Linear

Control points:

c: 0.0000

d: 15.0000

Help Save as ... Cancel << Back Next >>



# Metoda ważonej kombinacji liniowej

**Multi-Criteria/Multi-Objective Decision Wizard**

Objective 1: residential

Specify factor standardization:

Factor number: 6

Input factor name: developdist

Minimum data value: 0.0000

Maximum data value: 1324.3900

Factors to standardize with FUZZY

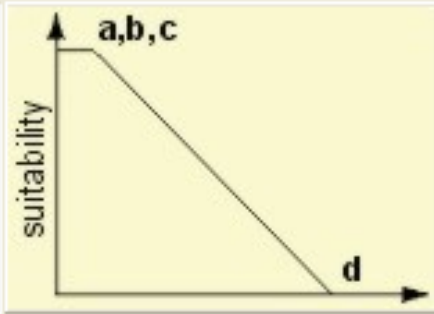
- towndist
- waterdist
- roaddist
- slopes
- developdist**

Membership Function Shape:

Monotonically increasing

Monotonically decreasing

Symmetric



Membership Function Type:

Sigmoidal

J-shaped

Linear

Control points:

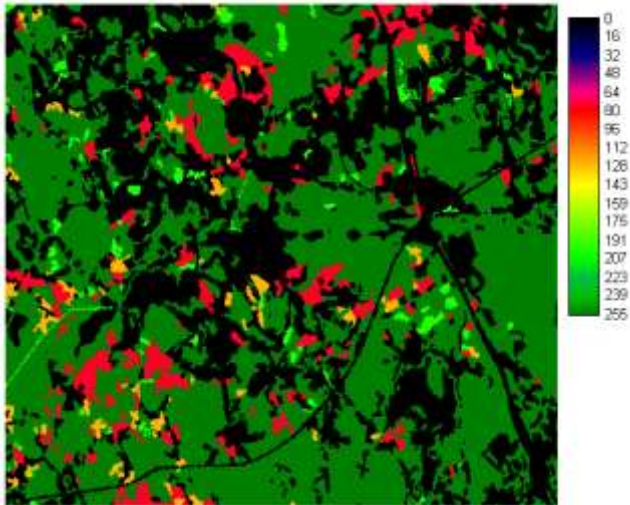
c: 0.0000

d: 1324.400

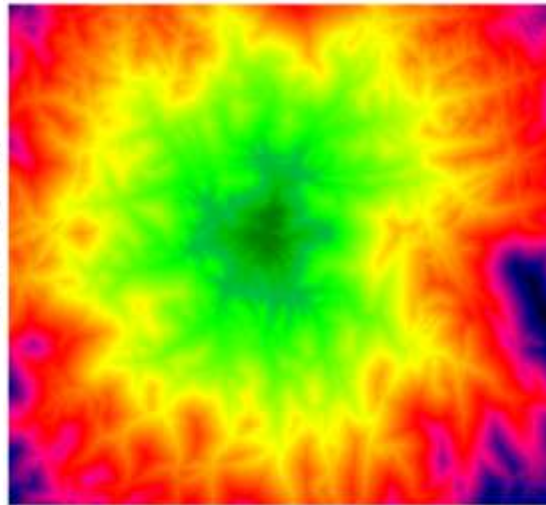
Help Save as ... Cancel << Back Next >>

# Metoda ważonej kombinacji liniowej

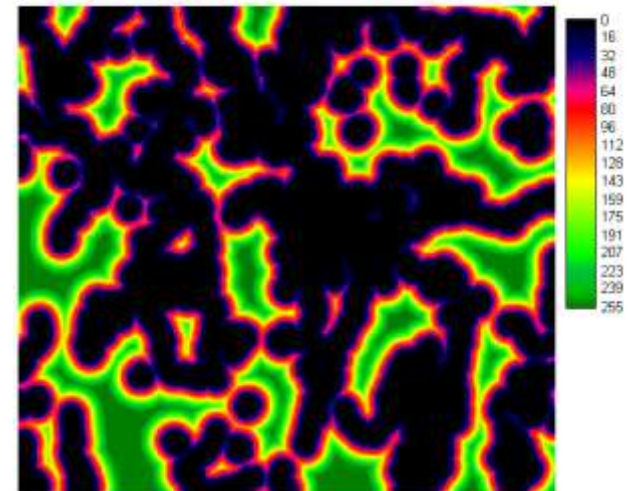
Standardized Landuse Suitability Scores



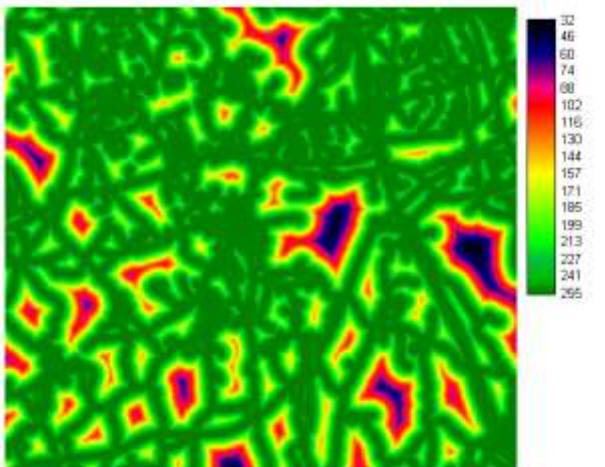
Factor image for factor 'towndist'.



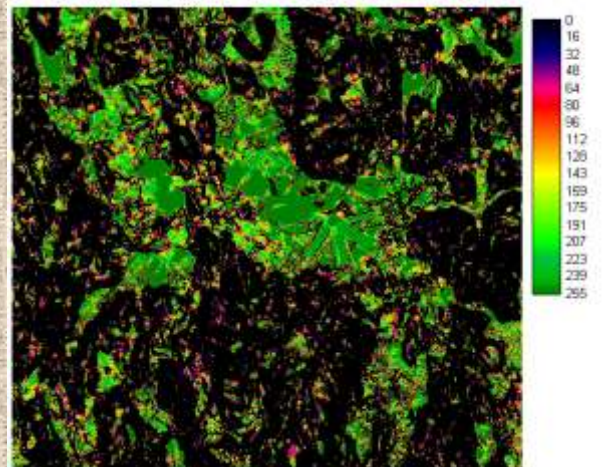
Factor image for factor 'waterdist'.



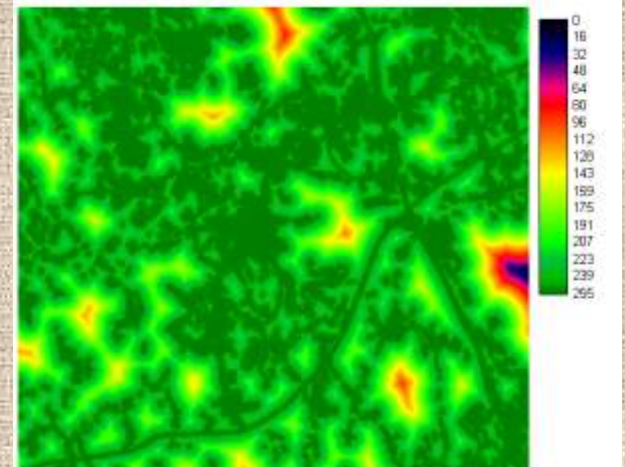
Factor image for factor 'roaddist'.



Factor image for factor 'slopes'.



Factor image for factor 'developdist'.





# Analiza wieloparametryczna

## Multi-Criteria Evaluation – MCE

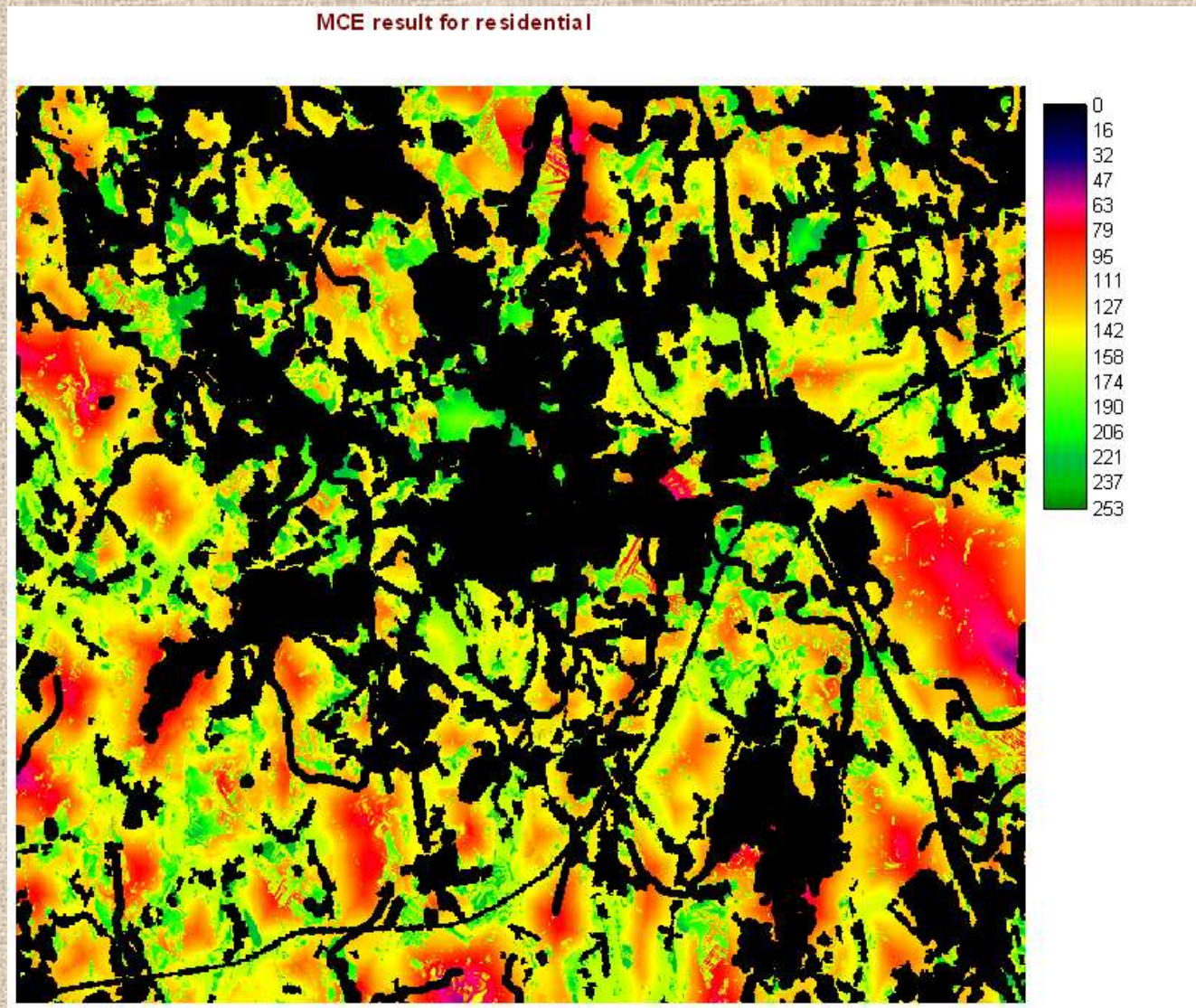
- $S$ -przydatność
- $w$  – waga kryterium
- $x$  – wartość parametru
- $i$  – kryterium
- $n$ - ilość kryteriów
- $c$  – bariera (ograniczenie)

$$S = \sum_{i=1}^n w_i x_i$$

$$S = \sum_{i=1}^n w_i x_i \prod c_j$$



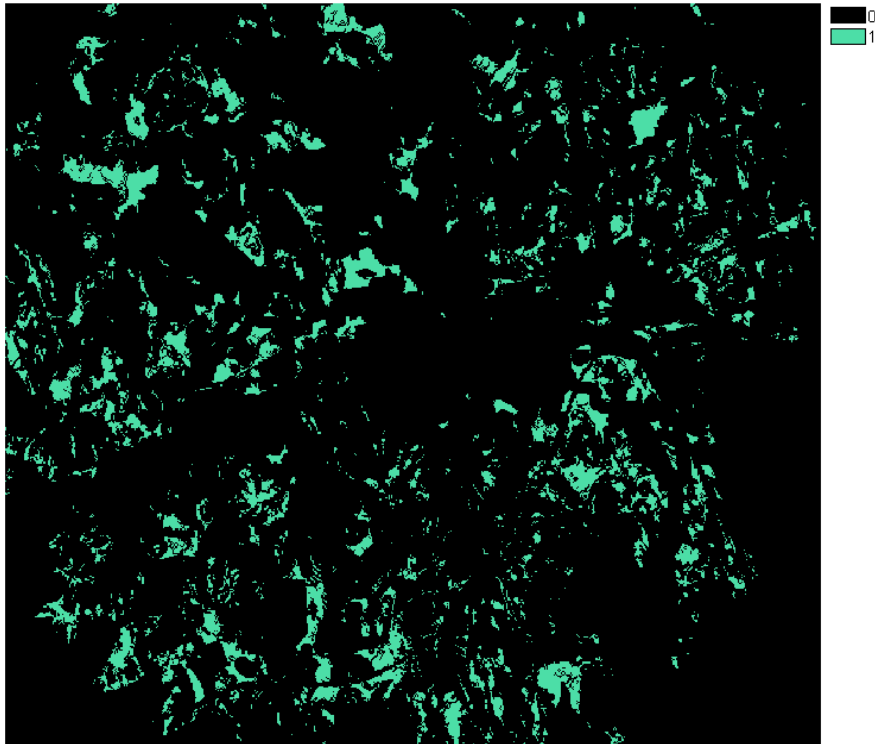
# Metoda ważonej kombinacji liniowej



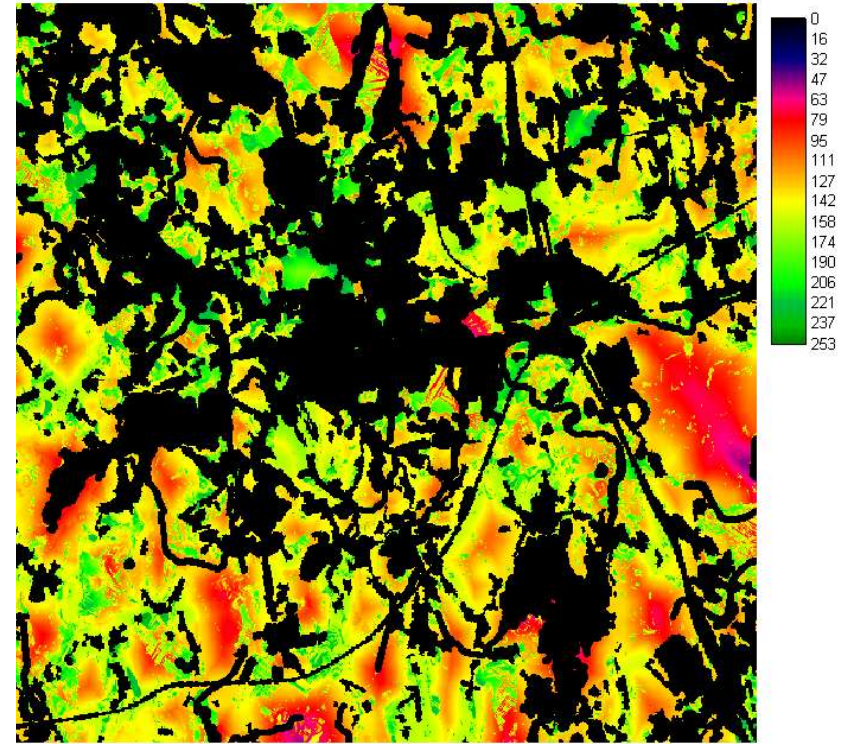


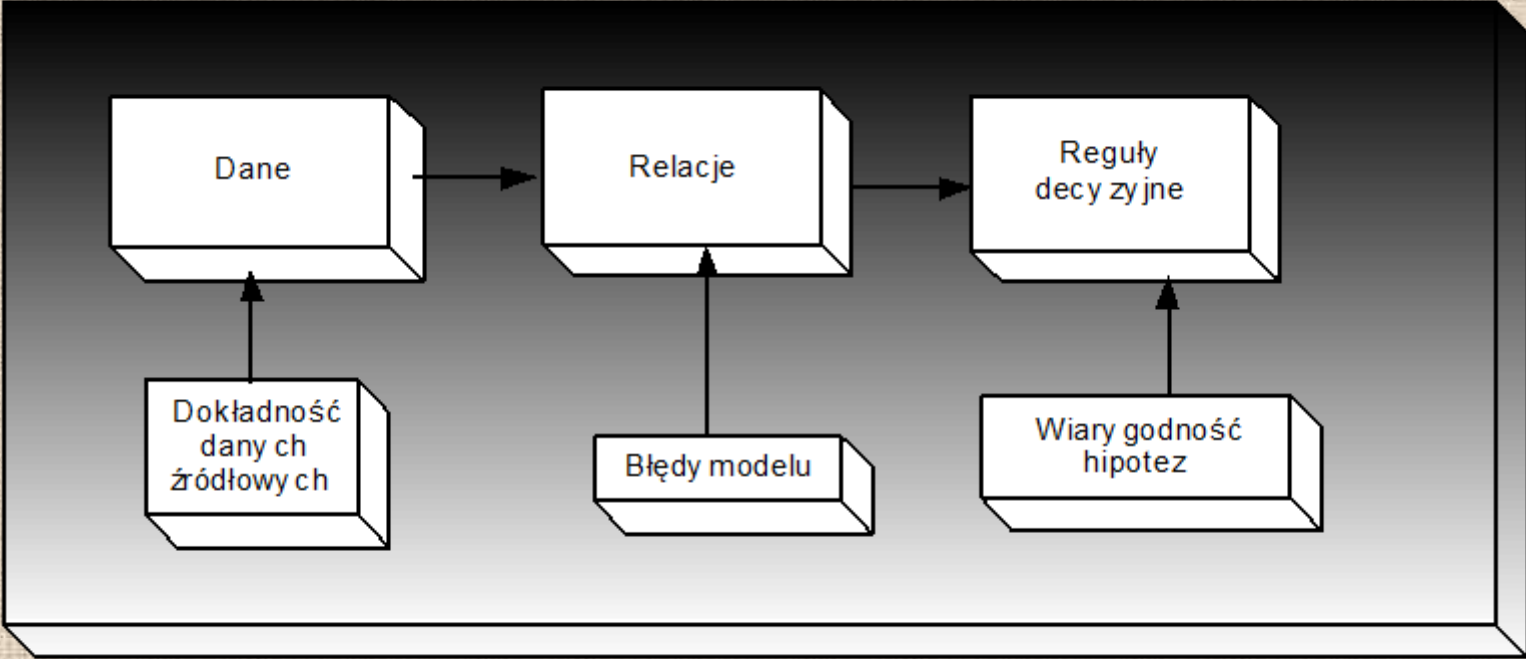
# Metoda ważonej kombinacji liniowej

MCE Suitability Map: Boolean Intersection



MCE result for residential







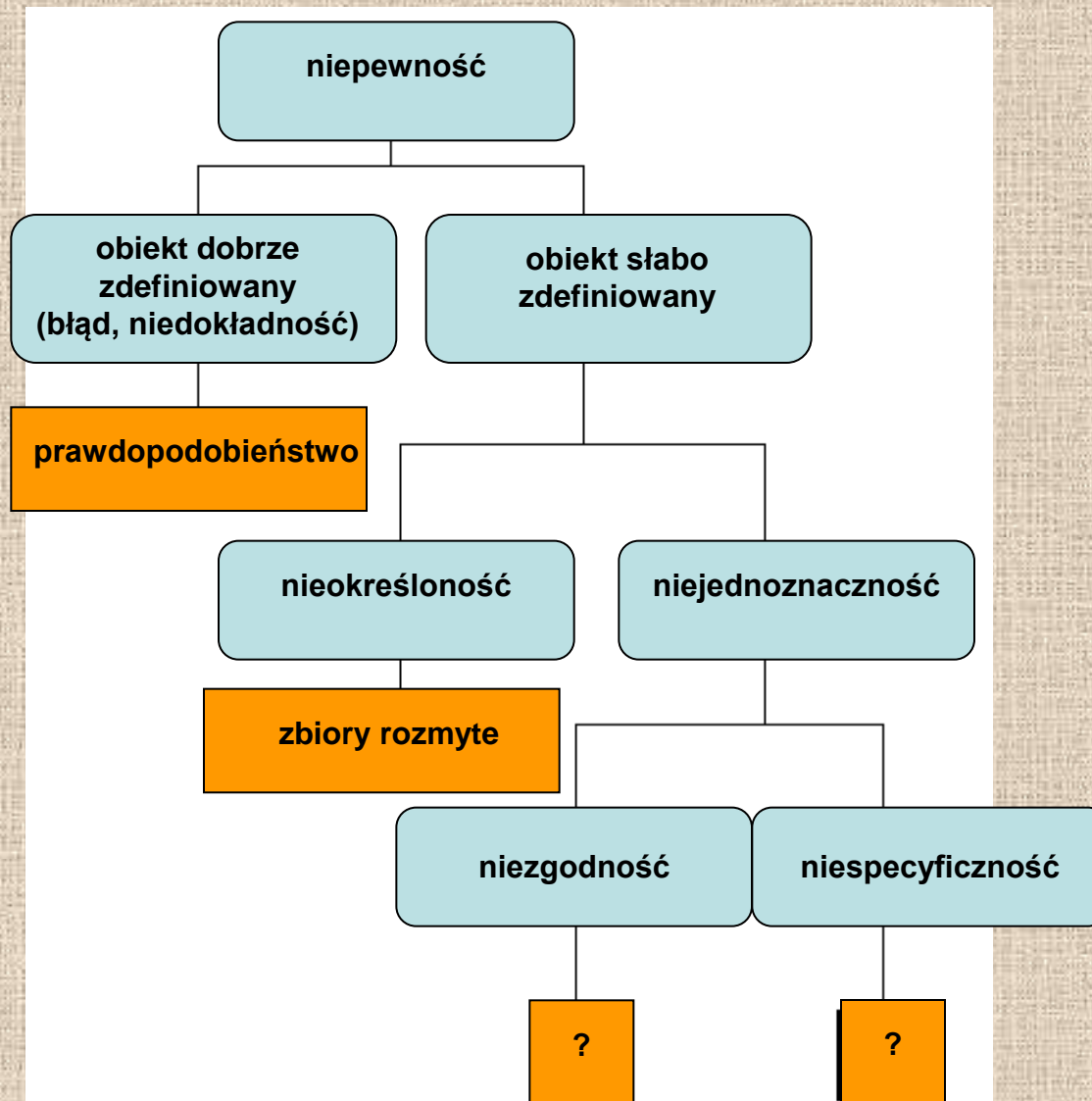


Fig 1. A conceptual model of uncertainty in spatial data

Fisher, 2005

Pojęcie niedokładności odnosi on do obiektów dobrze zdefiniowanych, czyli takich które można oddzielić od innych w oparciu o posiadane przez nie atrybuty i które posiadają określone granice przestrzenne.

Błędy dotyczyć mogą zarówno własności przestrzennych (położenie, przebieg granicy) jak i atrybutowych obiektu.

Źródła błędów i niedokładności danych przestrzennych mogą być różne.

Do najczęściej występujących należą (Fisher, 2005):

- błędy pomiarowe,
- błędy w klasyfikacji,
- błędy wynikające z generalizacji przestrzennej,
- błędy podczas wprowadzania danych,
- błędy związane z upływem czasu (nieaktualność danych),
- błędy powstające podczas przetwarzania danych (np. powstałe w wyniku zaokrągleń).

Ich istnienie powoduje, że wartość atrybutu czy położenie obiektu w przestrzeni nie są pewne i mogą być określone jedynie z pewnym prawdopodobieństwem.

**Podobnie jak niedokładność, nieokreśloność dotyczyć może zarówno własności przestrzennych jak i atrybutów.**

**W pierwszym przypadku wynika ona z braku wyraźnych granic obiektu, w drugim – z braku jednoznacznych kryteriów klasyfikacji (Longley i in. 2006).**

**Przykładem obiektu, z którym może wiązać się nieokreśloność jest las.**

**Granica lasu posiada często charakter ekotonalny i trudno jednoznacznie określić jej przebieg.**

**Problemy sprawiać może również zaklasyfikowanie konkretnego obiektu do określonej podklasy, czyli na przykład decyzja czy mamy do czynienia z lasem liściastym (z niewielką ilością drzew iglastych) czy mieszanym (o ogromnej przewadze drzew liściastych).**

**Jedną z metod postępowania w przypadku występowania nieokreśloności danych przestrzennych jest zastosowanie teorii zbiorów rozmytych.**



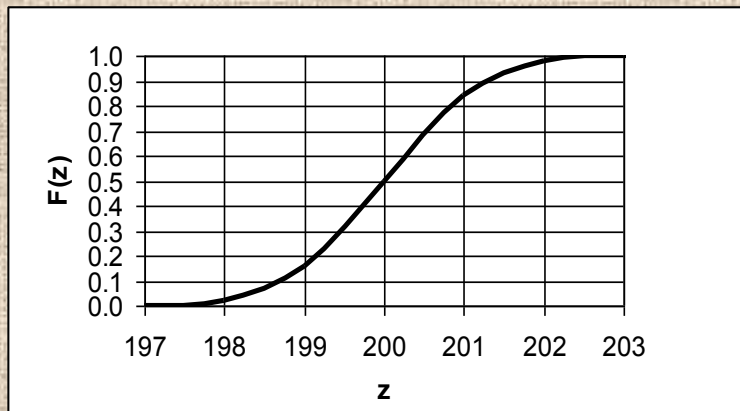
**Niejednoznaczność pojawia się w przypadku, gdy wątpliwość do jakiej klasy należy zaliczyć dany obiekt pojawia się z powodu różniących się między sobą definicji klas (systemów klasyfikacji).**

**Przykład stanowią różniące się w poszczególnych krajach systemy klasyfikacji gleb. W sytuacji kiedy następuje konieczność przekształcenia mapy glebowej z jednego systemu klasyfikacyjnego do innego (np. w obszarach przygranicznych) mogą wystąpić problemy związane z nakładaniem się klas (profile glebowe należące do jednej klasy w określonym systemie klasyfikacyjnym należałyby do dwóch różnych klas w innym systemie).**

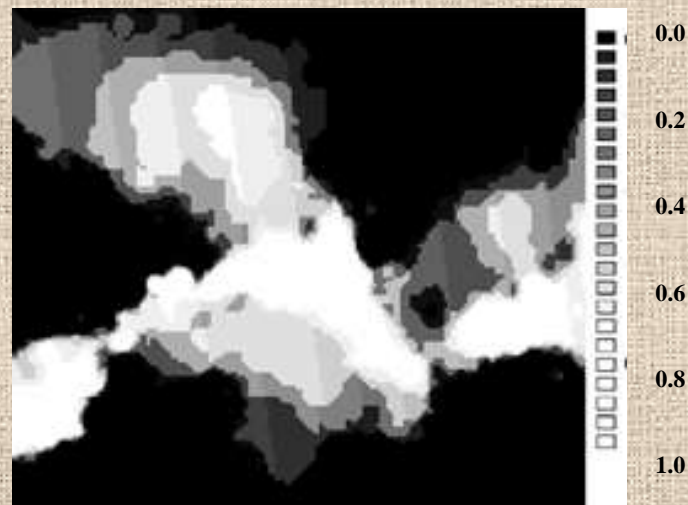
**Niejednoznaczność powstawać może również w wyniku stosowania różnych kryteriów dla określania tej samej klasy obiektów.**

**Niepewność dotycząca danych wejściowych w procesie analizy przestrzennej propaguje na wyniki prowadzonych analiz, które często wzbogacają bazę systemu i jako istniejące w niej dane mogą być wykorzystywane w kolejnych analizach**

Wykres dystrybuanty rozkładu normalnego (200,1)



Mapa prawdopodobieństwa,  
że obszar zostanie zalany



Obszar zalany  
z prawdopodobieństwem 90%



Metoda "twarda" (kolor ciemno szary)  
metoda "miękka" z pozostawieniem  
10% ryzyka (kolor szary)

