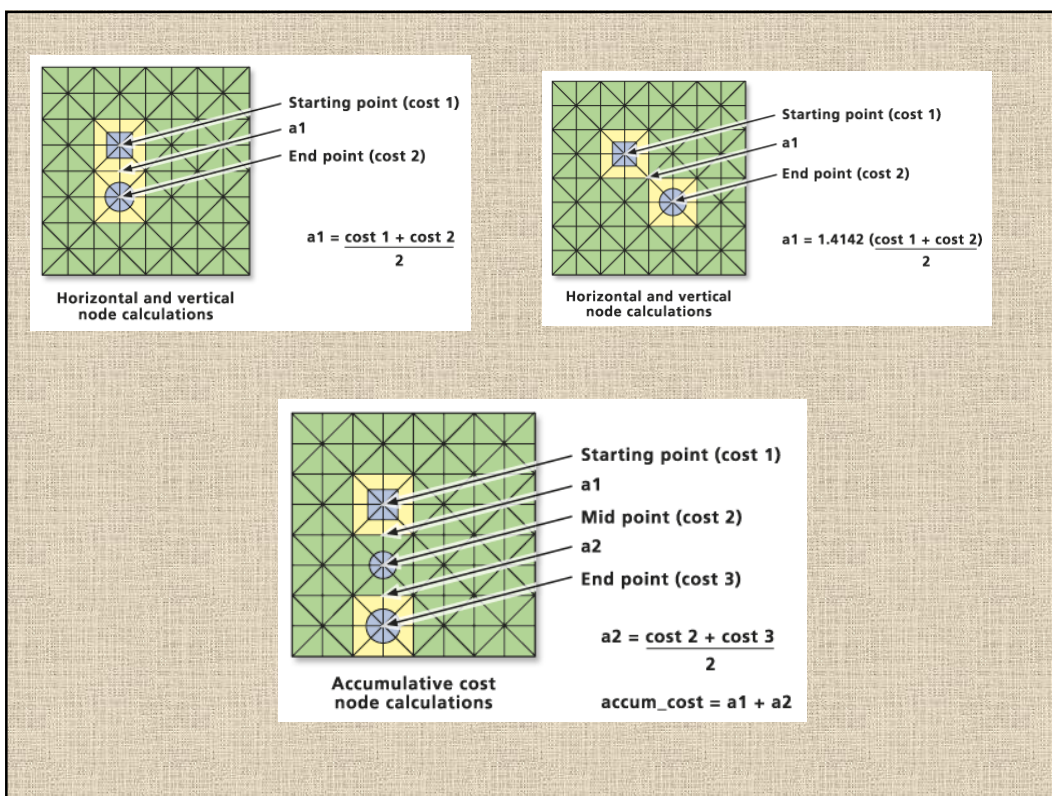
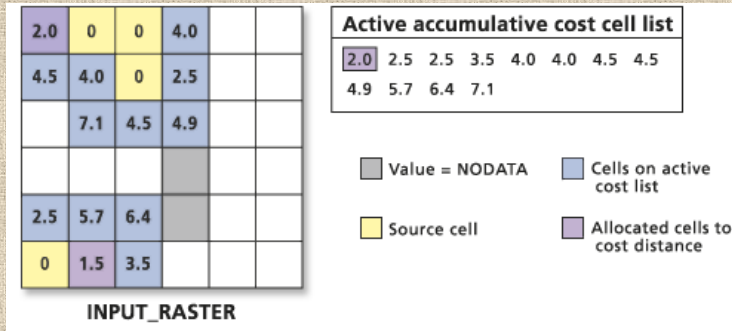


| Tool                            | Description   |
|---------------------------------|---|
| <b>Corridor</b>                 | Calculates the sum of accumulative costs for two input accumulative cost rasters.   |
| <b>Cost Allocation</b>          | Calculates for each cell its nearest source based on the least accumulative cost over a cost surface.   |
| <b>Cost Back Link</b>           | Defines the neighbor that is the next cell on the least accumulative cost path to the nearest source.   |
| <b>Cost Distance</b>            | Calculates the least accumulative cost distance for each cell to the nearest source over a cost surface.  |
| <b>Cost Path</b>                | Calculates the least-cost path from a source to a destination.  |
| <b>Euclidean Allocation</b>     | Calculates, for each cell, the nearest source based on Euclidean distance.  |
| <b>Euclidean Direction</b>      | Calculates, for each cell, the direction, in degrees, to the nearest source.  |
| <b>Euclidean Distance</b>       | Calculates, for each cell, the direction, in degrees, to the nearest source.  |
| <b>Path Distance</b>            | Calculates, for each cell, the least accumulative cost distance to the nearest source, while accounting for surface distance and horizontal and vertical cost factors.                |
| <b>Path Distance Allocation</b> | Calculates the nearest source for each cell based on the least accumulative cost over a cost surface, while accounting for surface distance and horizontal and vertical cost factors. |
| <b>Path Distance Back Link</b>  | Defines the neighbor that is the next cell on the least accumulative cost path to the nearest source, while accounting for surface distance and horizontal and vertical cost factors. |



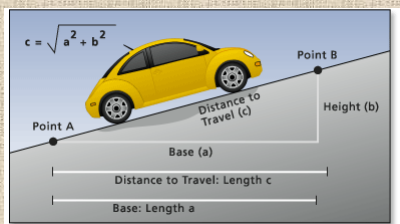


**Perpendicular:**

$$\text{Cost\_distance} = (((\text{Cost\_Surface}(a) * \text{Horizontal\_factor}(a)) + (\text{Cost\_surface}(b) * \text{Horizontal\_factor}(b)))/2) * \text{Surface\_distance}(ab) * \text{Vertical\_factor}(ab)$$

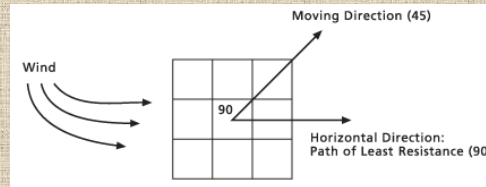
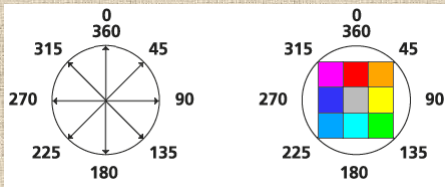
**Diagonal:**

$$\text{Cost\_distance} = (((\text{Cost\_Surface}(a) * \text{Horizontal\_factor}(a)) + (\text{Cost\_surface}(b) * \text{Horizontal\_factor}(b)))/2) * 1.414214 * \text{Surface\_distance}(ab) * \text{Vertical\_factor}(ab)$$

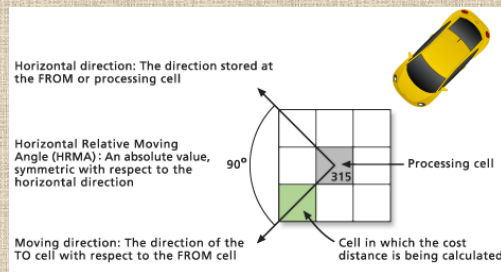
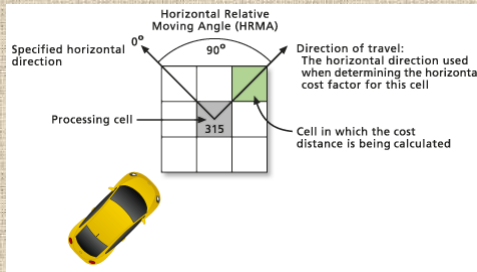


## Określanie kosztów przemieszczania się w płaszczyźnie poziomej (Horizontal Factor)

### 1. Określenie preferowanego kierunku

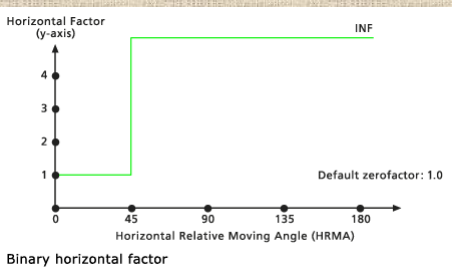
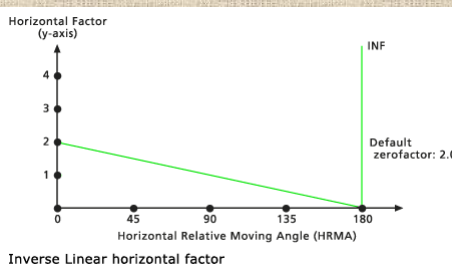
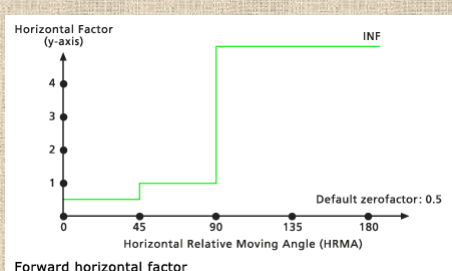
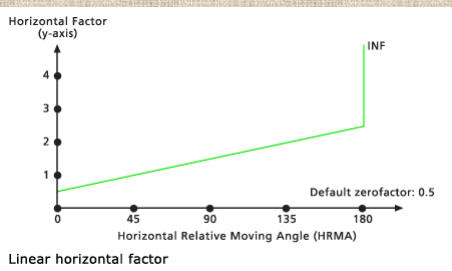


### 2. Określenie położenia komórki względem preferowanego kierunku



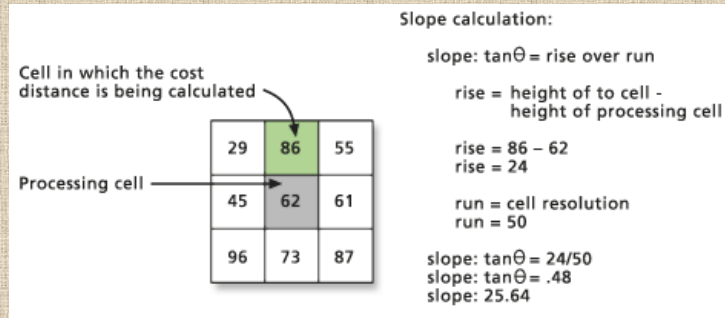
## Określanie kosztów przemieszczania się w płaszczyźnie poziomej (Horizontal Factor)

### 3. Określenie współczynnika związanego z kierunkiem ruchu



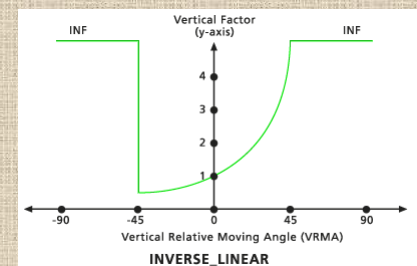
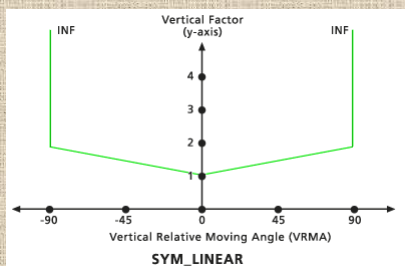
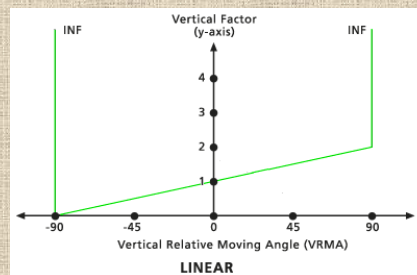
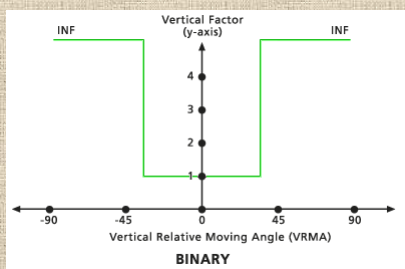
Określanie kosztów przemieszczania się w płaszczyźnie pionowej (Vertical Factor)

1. Określenie nachylenia pomiędzy komórkami



Określanie kosztów przemieszczania się w płaszczyźnie pionowej (Vertical Factor)

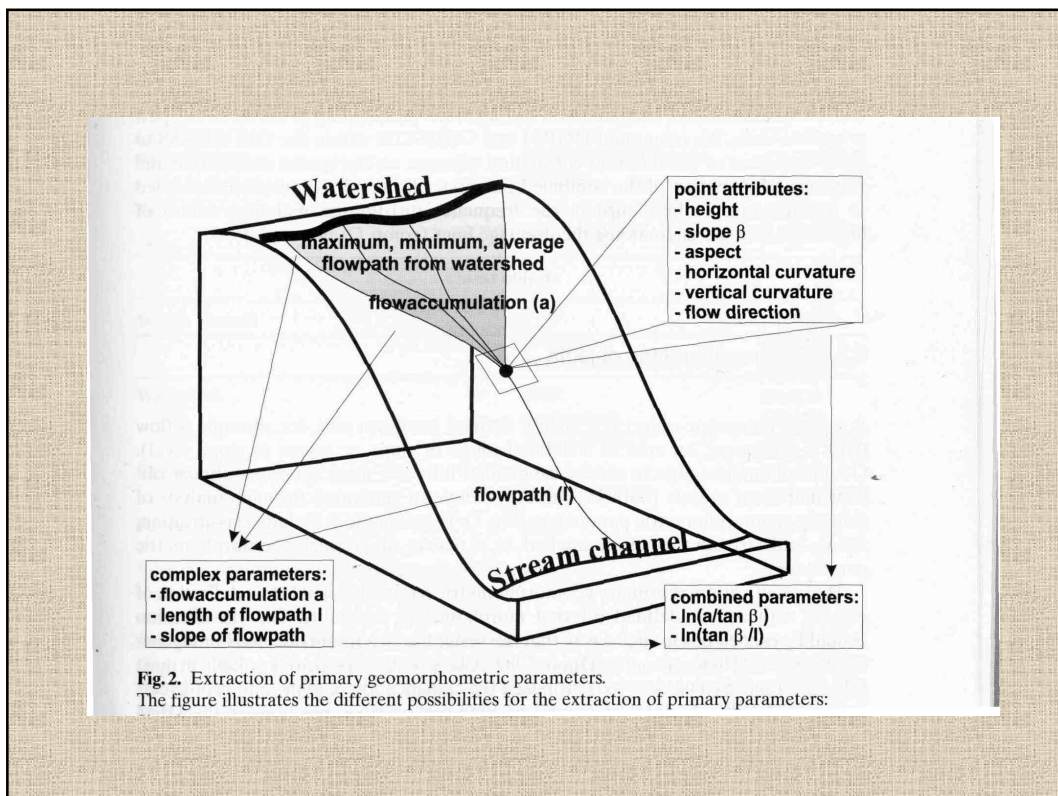
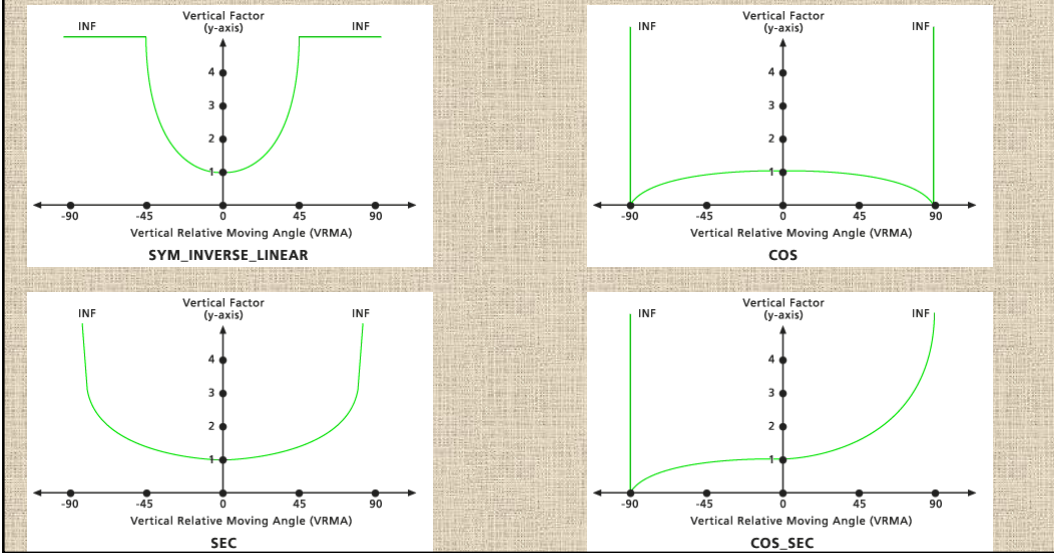
2. Określenie współczynnika związanego z nachyleniem





Określanie kosztów przemieszczania się w płaszczyźnie pionowej (Vertical Factor)

2. Określenie współczynnika związanego z nachyleniem



## Krzywizna

$$s_x = \frac{\partial h}{\partial x} \quad - \text{spadek w przekroju pionowym XH}$$

$$s_y = \frac{\partial h}{\partial y} \quad - \text{spadek w przekroju pionowym YH}$$

$$k_x = \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \quad - \text{krzywizna w przekroju pionowym XH}$$

$$k_y = \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \quad - \text{krzywizna w przekroju pionowym YH}$$

$$k_{xy} = \frac{\partial^2 h}{\partial x \partial y} \quad - \text{krzywizna wypadkowa}$$

Przekroje XH, YH nie muszą być reprezentatywne  
Dlatego liczy się krzywizny w kierunkach największego spadku i kierunku prostopadłym

$$\kappa_s = \frac{k_x s_x^2 + 2k_{xy} s_x s_y + k_y s_y^2}{p \sqrt{q^3}} \quad \begin{array}{l} \text{krzywizna przekroju pionowego wzdłuż linii} \\ \text{spadu} \quad \text{Profile curvature} \end{array}$$

$$\kappa_t = \frac{k_x s_x^2 - 2k_{xy} s_x s_y + k_y s_y^2}{p \sqrt{q}} \quad \begin{array}{l} \text{krzywizna w przekroju pionowym} \\ \text{prostopadłym do linii spadku} \quad \text{Plan curvature} \end{array}$$

$$\kappa_h = \frac{k_x s_x^2 - 2k_{xy} s_x s_y + k_y s_y^2}{\sqrt{p^3}} \quad \text{krzywizna pozioma (przekrój XY)}$$

$$p = s_x^2 + s_y^2 \quad q = p + 1$$

$$s_{xy} = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}$$

**Profile Curvature:** Profile curvature is parallel to the direction of the maximum slope. A negative value (figure 16.20A) indicates that the surface is upwardly convex at that cell. A positive profile (figure 16.20B) indicates that the surface is upwardly concave at that cell. A value of zero indicates that the surface is linear (figure 16.20C.) Profile curvature affects the acceleration or deceleration of flow across the surface. Note that this is the same as the linear, convex, and concave slopes shown in figure 16.22.

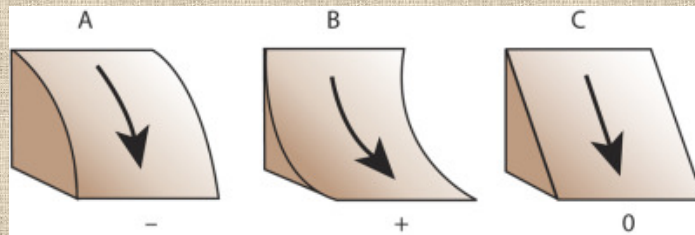


Figure 16.20 Profile curvature is parallel to the slope and indicates the direction of maximum slope. It affects the acceleration and deceleration of flow across the surface.

**Planform Curvature:** Planform curvature (commonly called plan curvature) is perpendicular to the direction of the maximum slope. A positive value (figure 16.21A) indicates the surface is sidewardly convex at that cell. A negative plan (figure 16.21B) indicates the surface is sidewardly concave at that cell. A value of zero indicates the surface is linear (figure 16.21C.) Profile curvature relates to the convergence and divergence of flow across a surface.

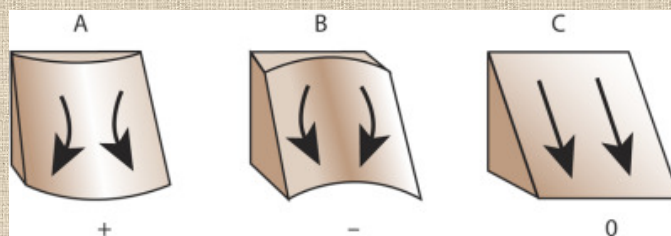


Figure 16.21 Plan curvature is perpendicular to the slope and affects the convergence and divergence of flow across the surface.

**Combinations of Curvature:** Understanding the combinations of plan and profile curvature is important (figure 16.22.) The slope affects the overall rate of movement downslope. Aspect defines the direction of flow. The profile curvature affects the acceleration and deceleration of flow and, therefore, influences erosion and deposition. The plan curvature influences convergence and divergence of flow. Considering both plan and profile curvature together allows us to understand more accurately the flow across a surface.

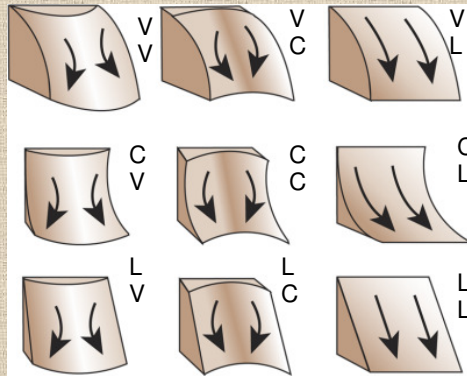
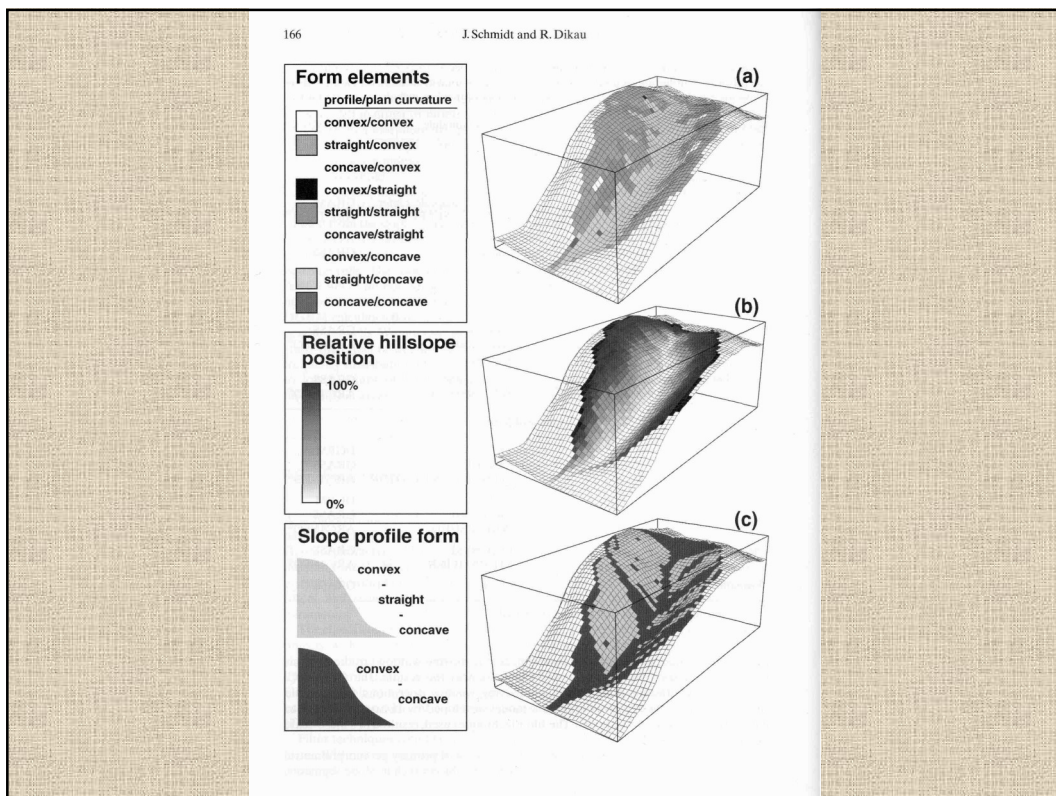
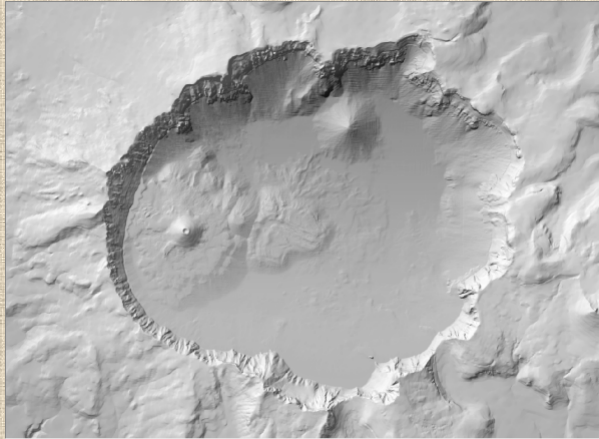


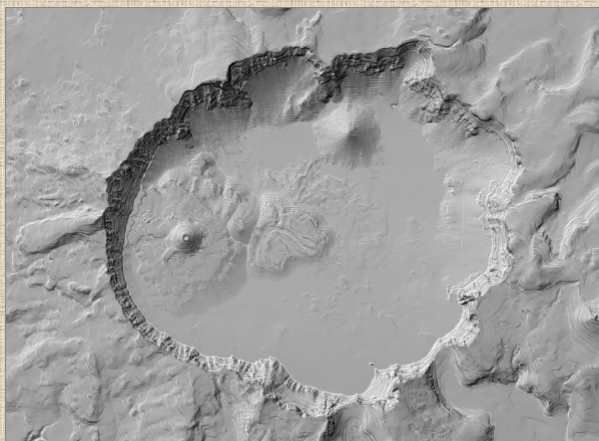
Figure 16.22 Combinations of profile and plan curvatures helps us understand flow across a surface.



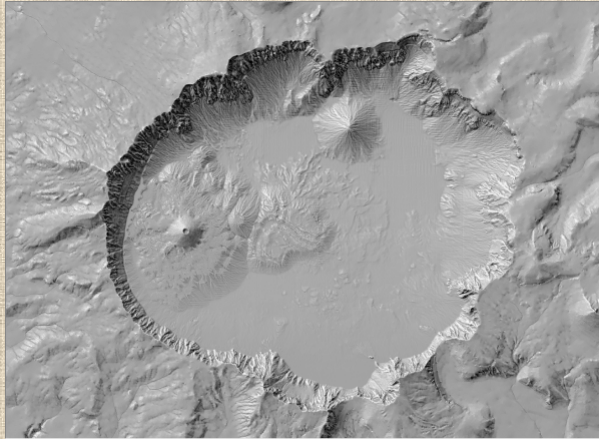




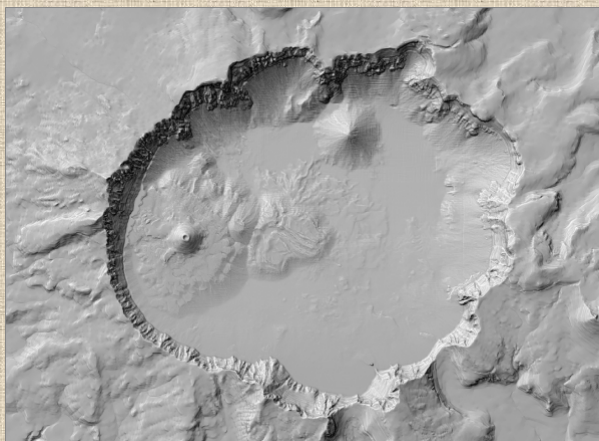
*The default hillshade*



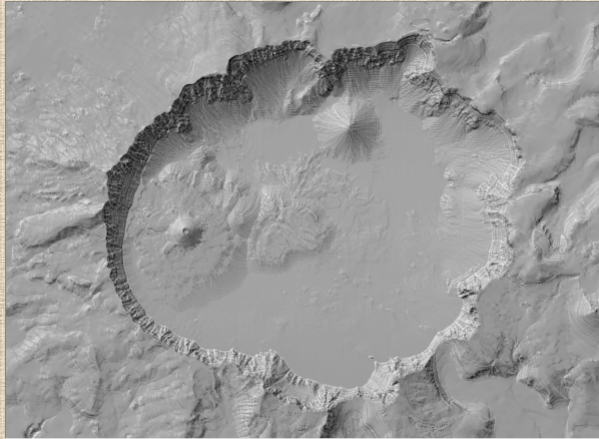
*The profile curvature raster displayed along with the hillshade*



*The plan curvature raster displayed along with the hillshade*



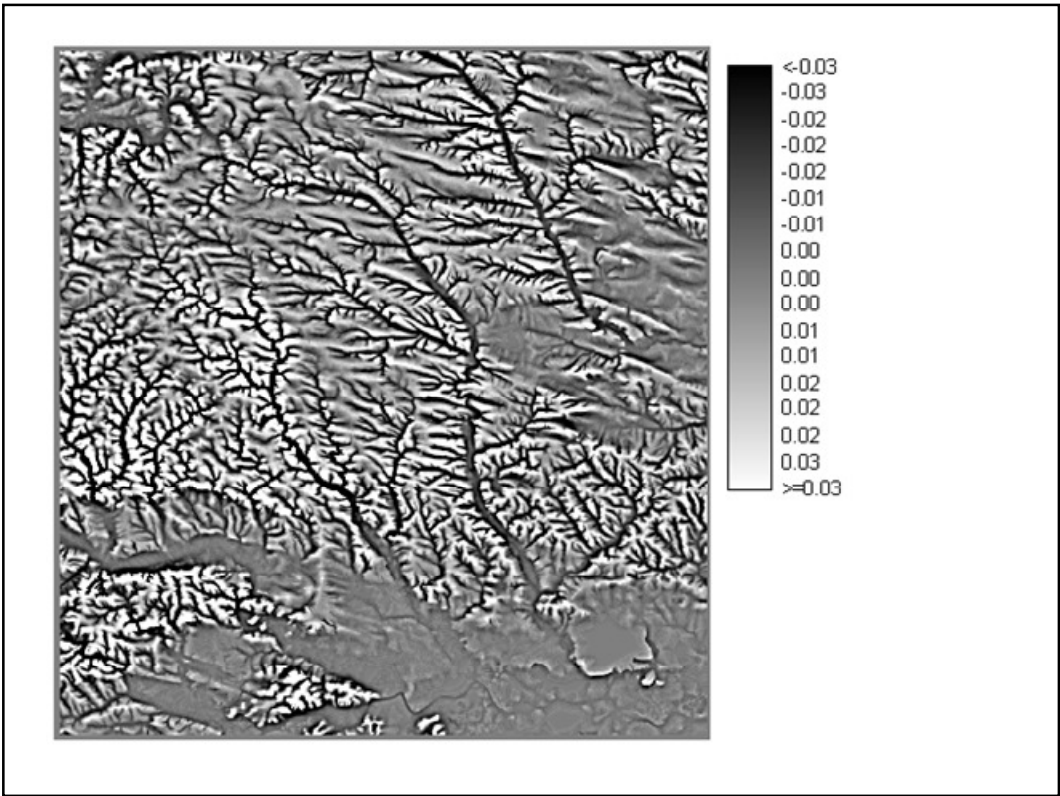
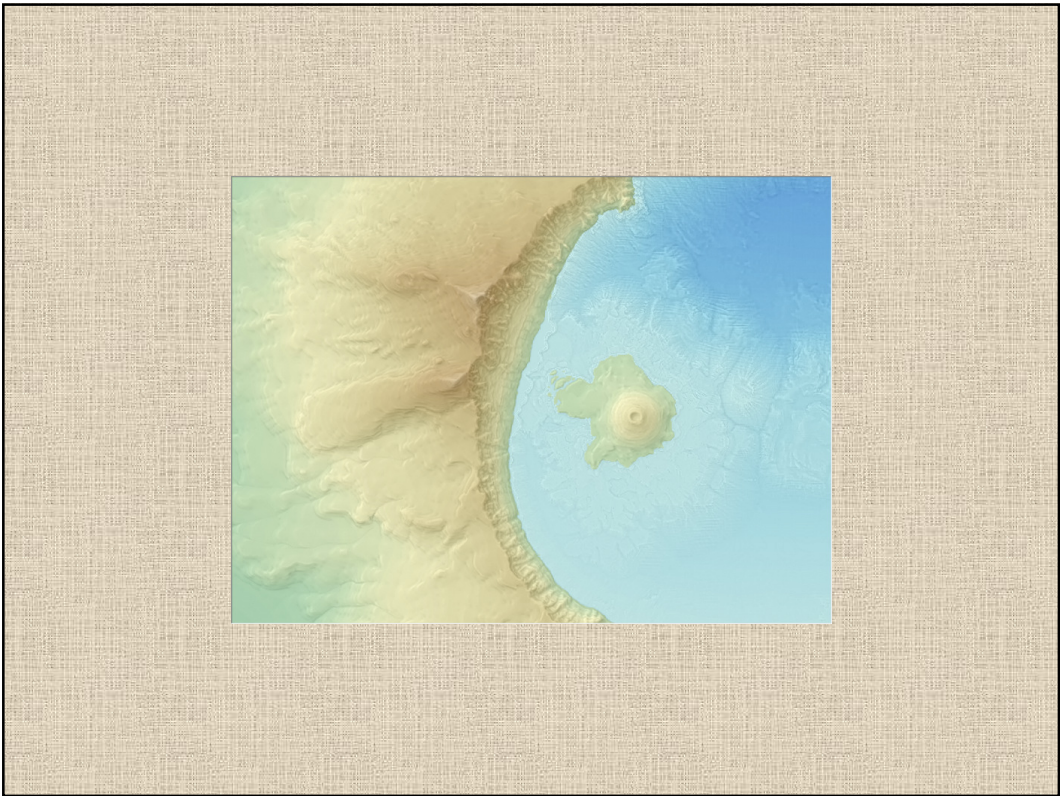
*The curvature raster displayed along with the hillshade*



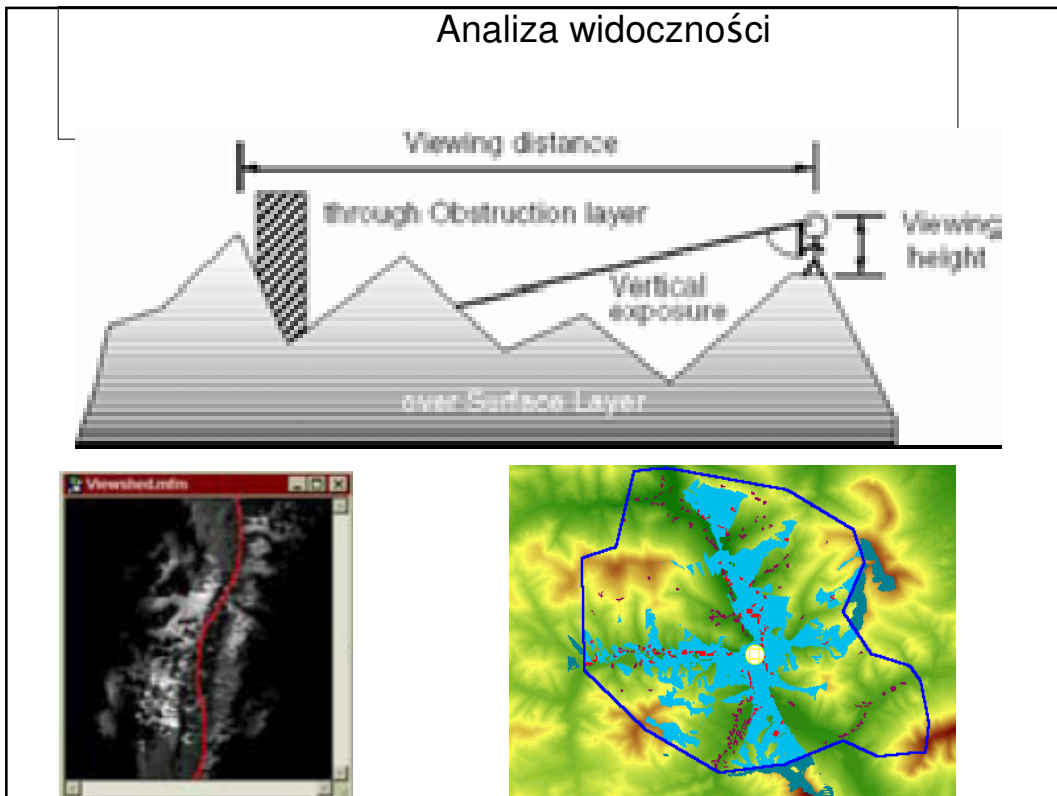
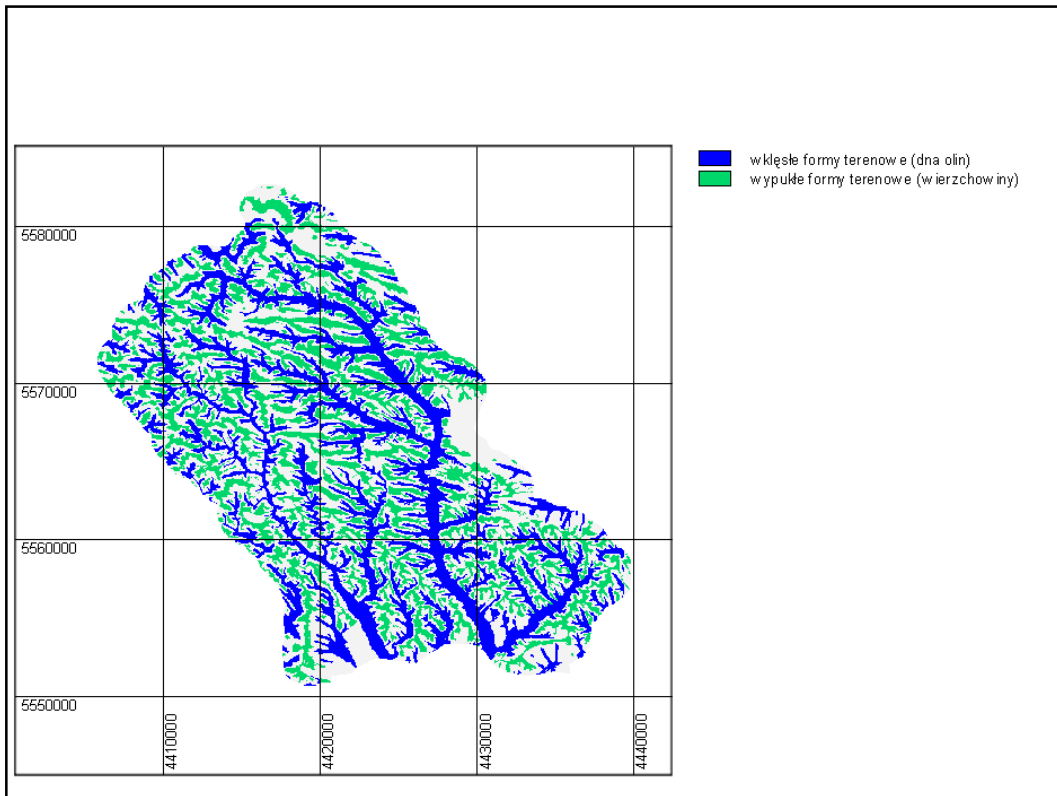
*The separate plan and profile curvature rasters displayed along with the hillshade*







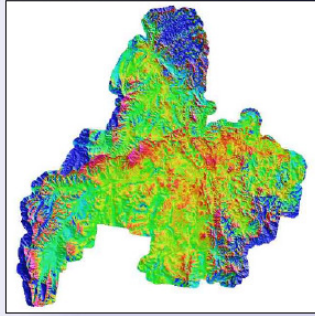




## Analiza widoczności

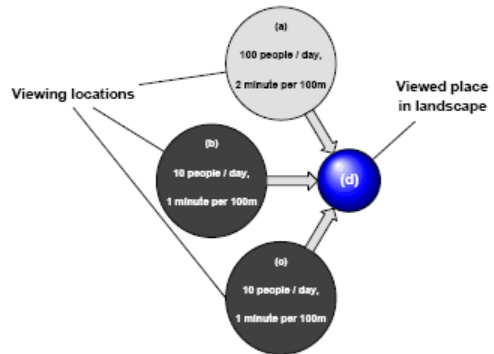
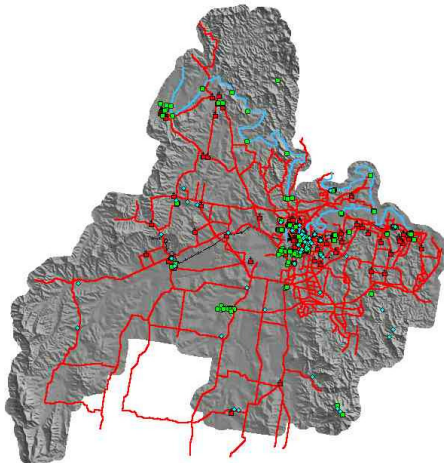
### Visual Exposure of Landscapes in the Bremer River Catchment and the Middle Brisbane River Catchment

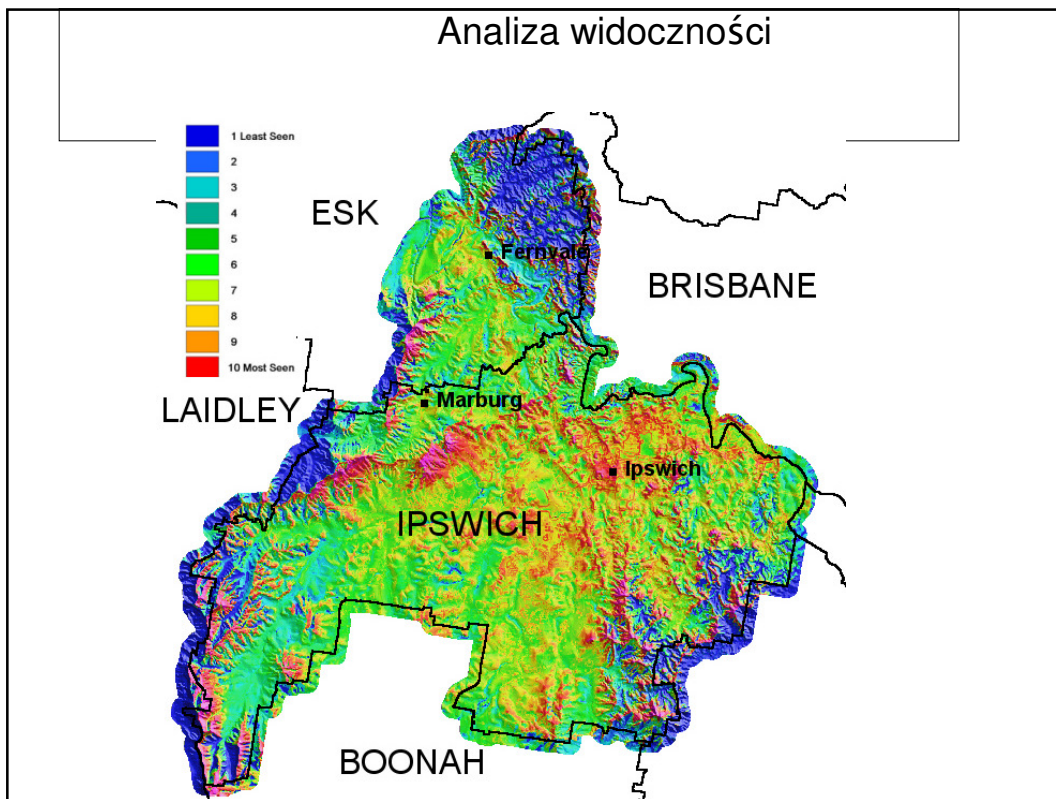
*Including Ipswich City Council and south-eastern Esk Shire*



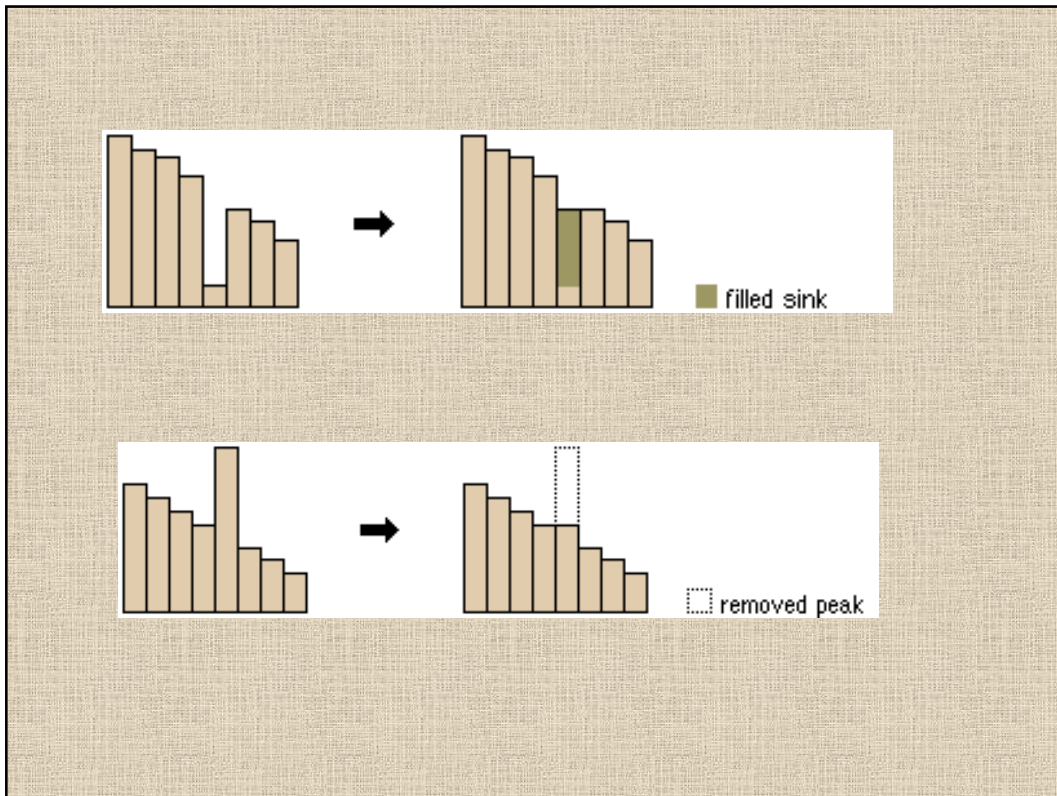
$$\begin{array}{l}
 \text{Viewing Location} \\
 \text{Importance} \\
 \text{(People Viewing} \\
 \text{Time)}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 A \\
 \text{Average} \\
 \text{number of} \\
 \text{people at} \\
 \text{location per day}
 \end{array}
 \times
 \begin{array}{c}
 B \\
 \text{Percentage} \\
 \text{interest in} \\
 \text{scenery}
 \end{array}
 \times
 \begin{array}{c}
 C \\
 \text{Average} \\
 \text{duration spent} \\
 \text{at that location}
 \end{array}$$

## Analiza widoczności





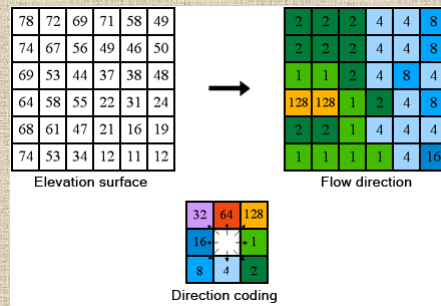
| Tool                     | Description  |
|--------------------------|--|
| <b>Basin</b>             | Creates a raster delineating all drainage basins.  |
| <b>Fill</b>              | Fills sinks in a surface raster to remove small imperfections in the data.                               |
| <b>Flow Accumulation</b> | Creates a raster of accumulated flow into each cell. A weight factor can optionally be applied.          |
| <b>Flow Direction</b>    | Creates a raster of flow direction from each cell to its steepest downslope neighbor.                    |
| <b>Flow Length</b>       | Calculates the upstream or downstream distance, or weighted distance, along the flow path for each cell. |
| <b>Sink</b>              | Creates a raster identifying all sinks or areas of internal drainage.                                    |
| <b>Snap Pour Point</b>   | Snaps pour points to the cell of highest flow accumulation within a specified distance.                  |
| <b>Stream Link</b>       | Assigns unique values to sections of a raster linear network between intersections.                      |
| <b>Stream Order</b>      | Assigns a numeric order to segments of a raster representing branches of a linear network.               |
| <b>Stream to Feature</b> | Converts a raster representing a linear network to features representing the linear network.             |
| <b>Watershed</b>         | Determines the contributing area above a set of cells in a raster.                                       |



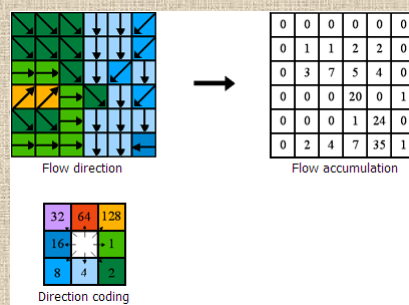
| Flow Direction                |  |                |
|-------------------------------|--|----------------|
| Parameter                     | Explanation  | Data Type      |
| in_surface_raster             | The input raster representing a continuous surface. Specifies if edge cells will always flow outward or follow normal flow rules.  | Raster Layer   |
| force_flow<br>(Optional)      | <ul style="list-style-type: none"> <li>•NORMAL — If the maximum drop on the inside of an edge cell is greater than zero, the flow direction will be determined as usual; otherwise, the flow direction will be toward the edge. Cells that should flow from the edge of the surface raster inward will do so. This is the default.</li> <li>•FORCE — All cells at the edge of the surface raster will flow outward from the surface raster.</li> </ul> | Boolean        |
| out_drop_raster<br>(Optional) | An optional output drop raster. The drop raster shows the ratio of the maximum change in elevation from each cell along the direction of flow to the path length between centers of cells, expressed in percentages.   | Raster Dataset |
| Name                          | Explanation  | Data Type      |
| out_flow_direction_raster     | The output raster that shows the flow direction from each cell to its steepest downslope neighbor.   | Raster         |



## Flow Direction



## Flow Accumulation



in\_weight\_raster  
(Optional)

An optional input raster for applying a weight to each cell.

If no weight raster is specified, a default weight of 1 will be applied to each cell. For each cell in the output raster, the result will be the number of cells that flow into it.

Raster  
Layer

## Flow Length

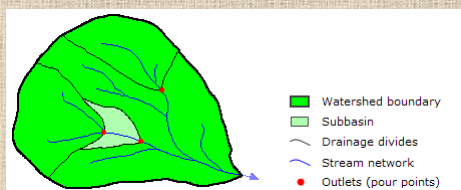
### DOWNSTREAM

Calculates the downslope distance along the flow path, from each cell to a sink or outlet on the edge of the raster.

### UPSTREAM

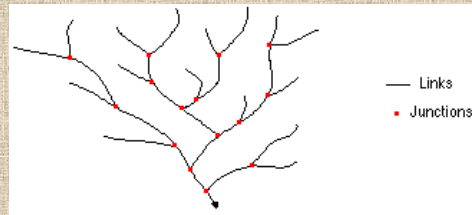
Calculates the longest upslope distance along the flow path, from each cell to the top of the drainage divide.

## Watershed

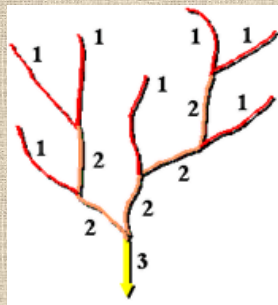


Dane: lokalizacja przekrojów lub minimalna ilość komórek sieci rzecznej

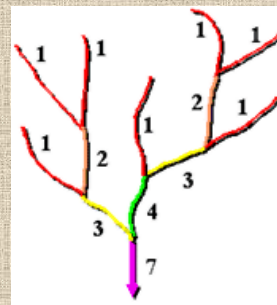
### Stream Link



### Stream Order



Strahler stream ordering method

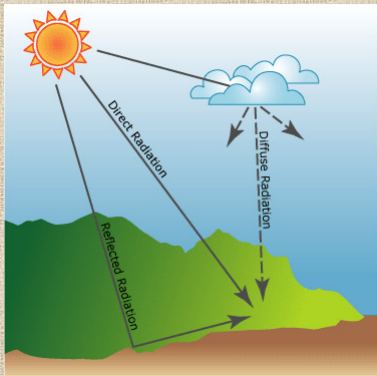


Shreve stream ordering method

### Solar Radiation Tools

| Tool                     | Description  |
|--------------------------|--|
| Area Solar Radiation     | Derives incoming solar radiation from a raster surface   |
| Points Solar Radiation   | Derives incoming solar radiation for specific locations in a point feature class or location table   |
| Solar Radiation Graphics | Derives raster representations of a hemispherical viewshed, sunmap, and skymap, which are used in the calculation of direct, diffuse, and global solar radiation |

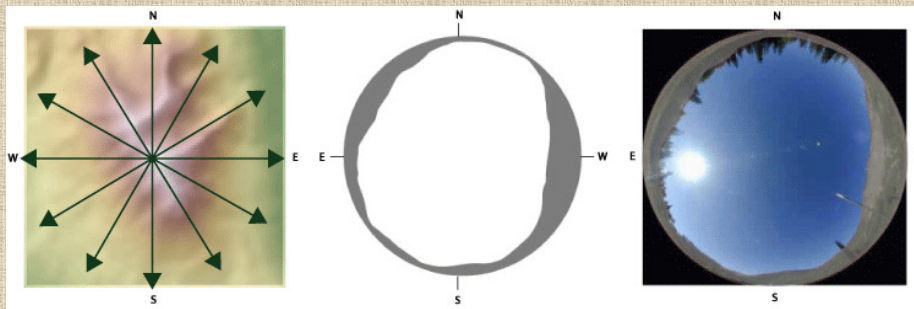
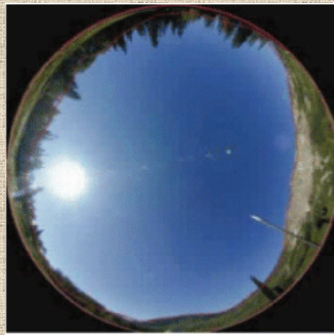
## Solar Radiation Tools



### Etapy obliczeń

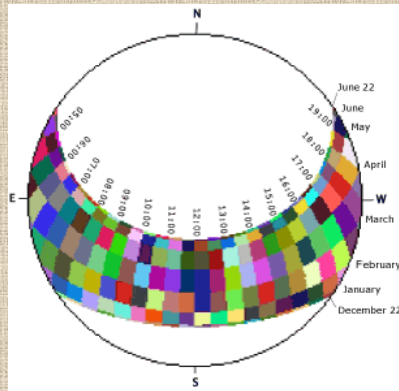
1. Określenie widoczności (upward-looking hemispherical viewshed) na podstawie NMPT (lub NMT)
2. Wykorzystanie obliczonego zakresu widoczności do obliczenia promieniowania bezpośredniego.
3. Wykorzystanie obliczonego zakresu widoczności do obliczenia promieniowania rozproszonego.
4. Powtórzenie procesu dla każdej z lokalizacji.

## Solar Radiation Tools



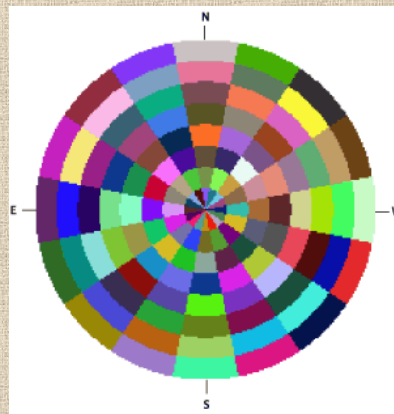


### Solar Radiation Tools



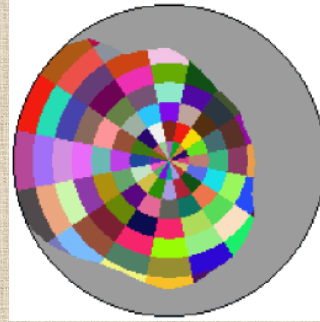
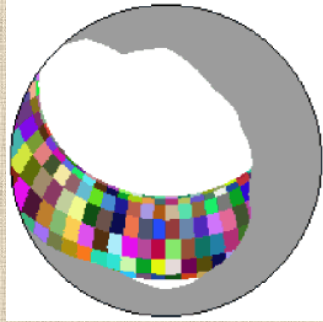
**Sunmap** for 45° N latitude calculated from the winter solstice (December 21) to summer solstice (June 21). Each sun sector (colored box) represents the sun's position using 1/2 hour intervals through the day and monthly intervals through the year.

### Solar Radiation Tools



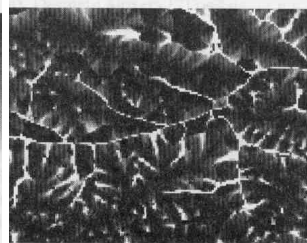
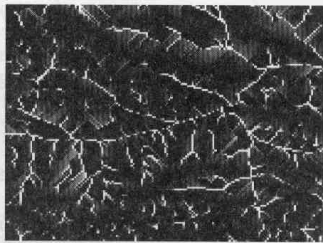
**Skymap** with sky sectors defined by 8 zenith divisions and 16 azimuth divisions. Each color represents a unique sky sector, or portion of the sky, from which diffuse radiation originates

### Solar Radiation Tools



**Wartości czynnika topograficznego zależą od algorytmu zastosowanego na etapie określania dróg spływu powierzchniowego**

*Mendicino G., 1999. Sensitivity Analysis on GIS Procedures for the Estimate of Soil Erosion Risk. Natural Hazards, 20, 231-253*



*Drzewiecki W., Mularz S., 2001. Modelowanie erozji wodnej gleb z wykorzystaniem GIS. [w:] Nowoczesne technologie w geodezji i inżynierii środowiska: konferencja naukowa z okazji jubileuszu 50-lecia Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, AGH, Kraków, 169-186*

## Algorytmy określania dróg spływu powierzchniowego

1. Kierujące całość spływu do jednej położonej niżej komórki (D8, Rho8, KRA)
2. Dokonujące podziału spływu pomiędzy dwie niżej położone komórki ( $D\infty$ )
3. Dopuszczające możliwość podziału spływu pomiędzy wszystkie położone niżej komórki (MFD,  $MD\infty$ , DEMON)

## Algorytmy określania dróg spływu powierzchniowego

### Deterministic 8 (D8)

$$S_{D8} = \max_{i=1,8} \frac{z_9 - z_i}{h \cdot \phi(i)}$$

|       |       |       |
|-------|-------|-------|
| $Z_7$ | $Z_8$ | $Z_1$ |
| $Z_6$ | $Z_9$ | $Z_2$ |
| $Z_5$ | $Z_4$ | $Z_3$ |

$z$  - numer otaczającej komórki;  
 $h$  - rozdzielczość NMT;

$\Phi(i) = 1$  dla komórek  $Z_2, Z_4, Z_6, Z_8$  oraz  $\Phi(i) = \sqrt{2}$  dla komórek  $Z_1, Z_3, Z_5, Z_7$

O'Callaghan, J.F., Mark, D.M. 1984. The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 28, 323-344

# Algorytmy określania dróg spływu powierzchniowego

## **Random eight-neighbor (Rho8)**

Rho8 stanowi modyfikację algorytmu D8 polegającą na wprowadzeniu funkcji stochastycznej na etapie określania kierunku spływu. Prawdopodobieństwo wyboru sąsiada, do którego kierowany jest spływ powiązane jest z kierunkiem spływu (ekspozycją terenu).

Fairfield, J., Leymarie P., 1991. Drainage networks from grid digital elevation model, Water Resources Research, 27(5), 709-717

# Algorytmy określania dróg spływu powierzchniowego

## **Kinematic Routing Algorithm (KRA)**

Spływ kierowany jest w dół stoku wzdłuż ścieżki składającej się z prostoliniowych segmentów o kierunkach zgodnych z kierunkiem ekspozycji poszczególnych komórek rastra.

Lea N. L., 1992. An aspect driven kinematic routing algorithm, [w:] A. J. Parsons i A. D. Abrahams (red.) Overland Flow: Hydraulics and Erosion Mechanics, Chapman and Hall, New York, 147-175



# Algorytmy określania dróg spływu powierzchniowego

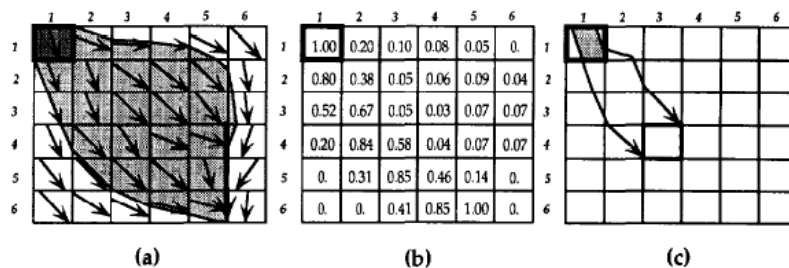
## DEMON (Digital Elevation Model Networks)

Kierunek spływu określany jest według algorytmu KRA, jednak modelowanie ma charakter dwuwymiarowy. Spływ kierowany jest w całości do pojedynczej położonej niżej komórki tylko wtedy, jeśli określony kierunek spływu jest wielokrotnością 90 stopni. W innym przypadku następuje podział strumienia spływu pomiędzy dwie komórki oraz określenie proporcji tego podziału. W efekcie działania algorytmu dla każdej komórki rastra obliczana jest wartość informująca jaka część spływu pochodzącego z komórki startowej do niej dociera. Obliczenia takie powtarzane są dla ścieżek spływu inicjowanych po kolei we wszystkich komórkach rastra. Wielkość akumulacji spływu dla pojedynczej komórki jest sumą wartości wykonanych dla wszystkich realizacji algorytmu.

Costa-Cabral M., S. J. Burges, 1994. Digital elevation model networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas. *Water Resources Research*, 30, 1681-1692

# Algorytmy określania dróg spływu powierzchniowego

## DEMON (Digital Elevation Model Networks)



**Figure 6.** (a) Example of two-dimensional, aspect-driven (arrow directions) flow movement. Flow originates over pixel (1,1). The area shaded is the TDA of pixel (1,1). (b) Influence matrix of pixel (1,1). Each entry in the influence matrix represents the fraction of the area within pixel (1,1) that is drained by a pixel. (c) Illustration of the physical meaning of the value 0.58 of pixel (4,3) in Figure 6b.

Costa-Cabral M., S. J. Burges, 1994. Digital elevation model networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas. *Water Resources Research*, 30, 1681-1692

## Algorytmy określania dróg spływu powierzchniowego

### Deterministic Infinity (D $\infty$ )

Spływ z jednej komórki dzielony jest na dwie z ośmiu ją otaczających. Wybór komórek odbywa się poprzez formowanie ośmiu trójkątów, które tworzy się poprzez połączenie środka rozpatrywanej komórki z środkami komórek ją otaczających. Dla poszczególnych trójkątów obliczane jest nachylenie i ekspozycja (kierunek spływu). Następnie znajdowany jest trójkąt o największym gradiencie. Spływ rozdzielany jest według wzorów:

$$P_1 = \frac{a_1}{a_1 + a_2} \quad P_2 = \frac{a_2}{a_1 + a_2}$$

gdzie:

$P_1, P_2$  – udział komórki w podziale spływu;

$a_1, a_2$  – kąt pomiędzy odcinkiem łączącym środki komórek i wyznaczonym kierunkiem spływu.

Tarboton, D.G., 1997. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models, *Water Resources Research*, 33 (2), 309-319.

## Algorytmy określania dróg spływu powierzchniowego

### Multiple Flow Direction (MFD)

W metodzie tej spływ kierowany być może do wielu komórek. Udział w podziale spływu każdego z sąsiadów posiadających wysokość mniejszą niż wysokość rozpatrywanej komórki określany jest wg wzoru:

$$f_i = \frac{S_i^p}{\sum_{j=1}^8 S_j^p}$$

gdzie:

$S$  – nachylenie kierunkowe;

$p$  – parametr (wartość zalecana 1,1)

Quinn P.F., Beven K.J., Chevallier P., Planchon O., 1991. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain model, *Hydrological Processes*, 5, 59-79

Freeman G.T., 1991. Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid, *Computers and Geosciences*, 17, 413-422

# Algorytmy określania dróg spływu powierzchniowego

**Triangular Multiple Flow Direction (MFD $\infty$ )**

Algorytm ten stanowi połączenie algorytmów MFD i D $\infty$

Seibert J., McGlynn B.L., 2007. A new triangular multiple flow direction algorithm for computing upslope areas from gridded digital elevation models. *Water Resources Research*, 43, doi:10.1029/2006WR005128