

# Kartografické modelování VI - analýzy terénu jaro 2015

**Petr Kubíček**

**kubicek@geogr.muni.cz**

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

**Kartografické modelování**



# Topografické funkce a DMT

## Zdroje DMT

- DPZ (radar, fotogrametrie, LiDAR)
- Pozemní měření (geodetická, vrstevnice z map) -> nutná interpolace
- Neexistuje jediný nejlepší interpolátor pro DMT

## Cíl:

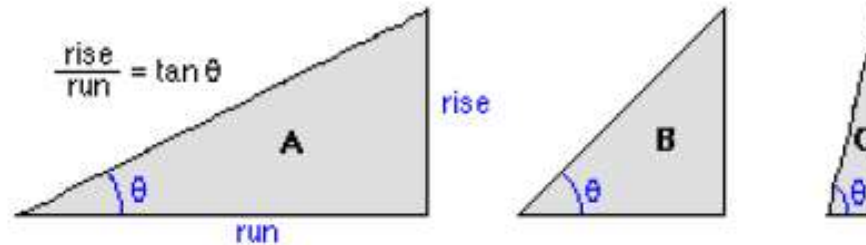
- dobrá reprezentace významných prvků (hřbety a toky)
- Hydrologicky korektní model (eliminace bezodtokých oblastí)

# Sklon svahu

- Vychází z definice první parciální derivace povrchu (vektorů)
- Technicky řešeno pohybem okna 3x3 nebo 5x5 pixelů
- Mnoho metod, ale všechny na stejném principu 1. derivace

Degree of slope =  $\theta$

Percent of slope =  $\frac{\text{rise}}{\text{run}} * 100$



Degree of slope =

Percent of slope =

30

58

45

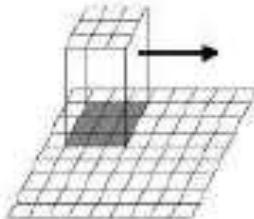
100

76

373

*Comparing values for slope in degrees versus percent*

**Kartog**



**delování**

**Realizace výpočtu pomocí fokální funkce.**

a	b	c
d	e	f
g	h	i

Surface scanning  
window

# Výpočet

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / (8 * x\_cellsize)$$

$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / (8 * y\_cellsize)$$

## Radiány a stupně – oblouková a stupňová míra

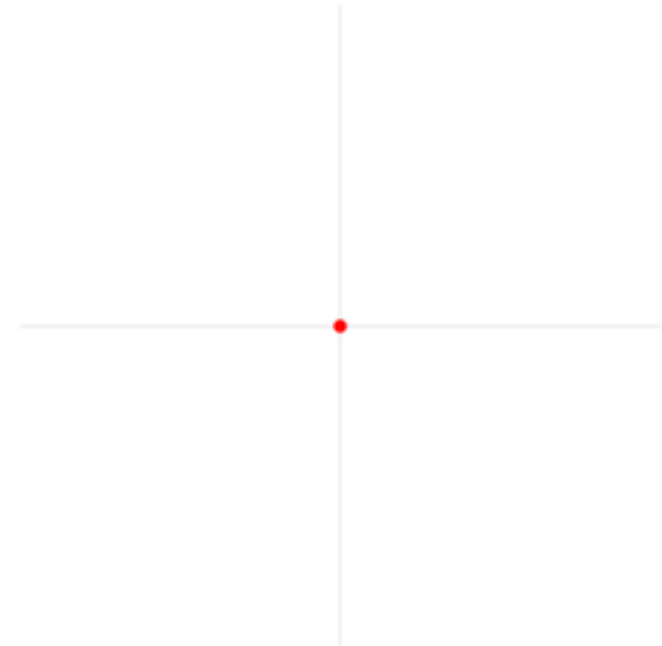
Výseč kruhu s délkou stejnou jako poloměr toho kruhu má *úhel* rovný 1 radiánu. Plný kruh odpovídá úhlu  $2\pi$  radiánů

$$\alpha = \frac{a \cdot 180}{\pi}$$

$$a = \frac{\alpha \cdot \pi}{180}$$

Tedy:

**Kart**  $1 \text{ rad} = \frac{180^\circ}{\pi} \approx 57,296^\circ \approx 57^\circ 17' 45''$



a	b	c
50	45	50
30	30	30
8	10	10

$$\begin{aligned}
 [dz/dx] &= ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / (8 * x\_cellsize) \\
 &= ((50 + 60 + 10) - (50 + 60 + 8)) / (8 * 5) \\
 &= (120 - 118) / 40 \\
 &= 0.05
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [dz/dy] &= ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / (8 * y\_cellsize) \\
 &= ((8 + 20 + 10) - (50 + 90 + 50)) / (8 * 5) \\
 &= (38 - 190) / 40 \\
 &= -3.8
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 rise\_run &= \sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2} \\
 &= \sqrt{(0.05)^2 + (-3.8)^2} \\
 &= \sqrt{0.0025 + 14.44} \\
 &= 3.80032
 \end{aligned}$$

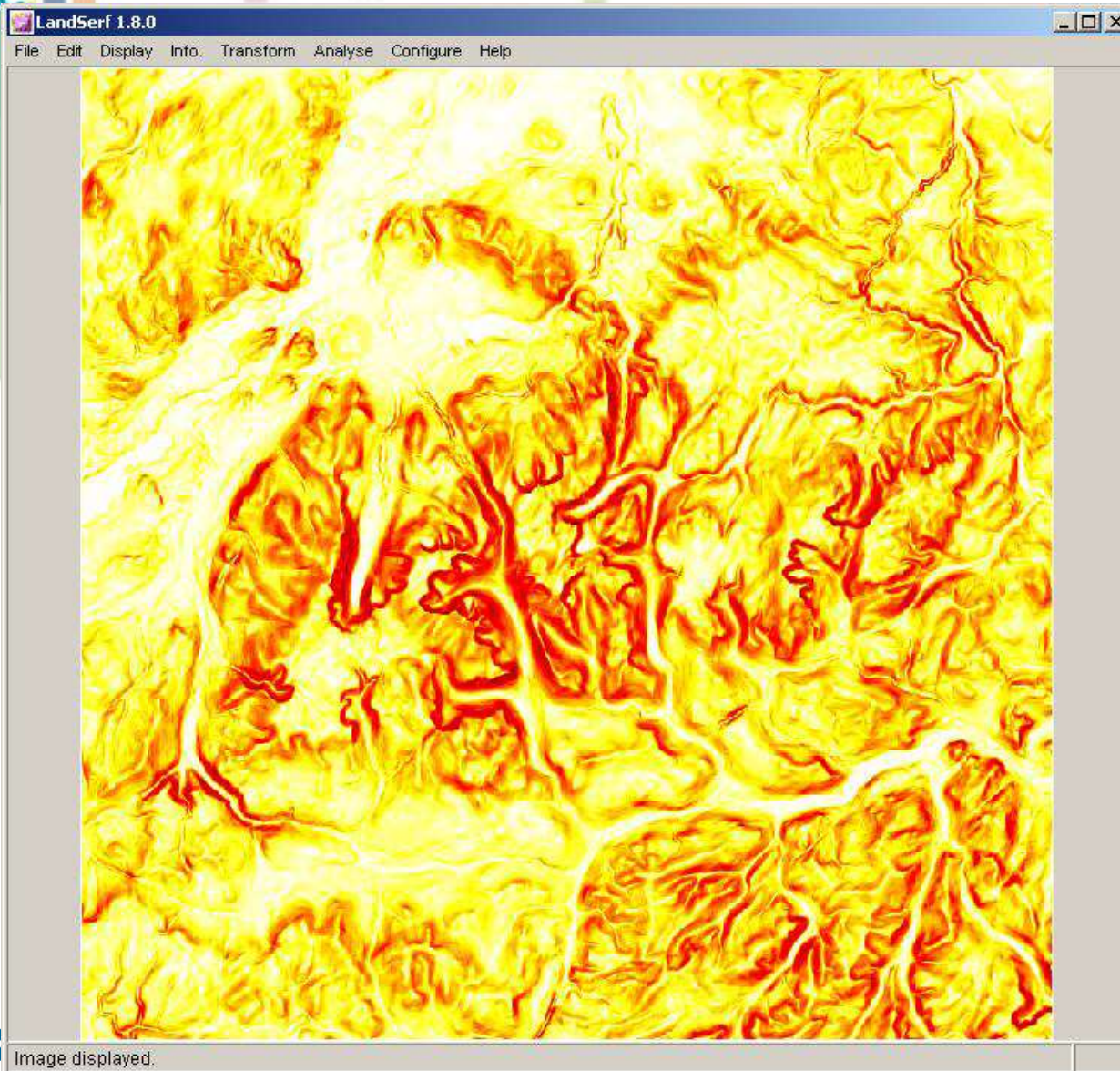
$$\begin{aligned}
 slope\_degrees &= ATAN(rise\_run) * 57.29578 \\
 &= ATAN(3.80032) * 57.29578 \\
 &= 1.31349 * 57.29578 \\
 &= 75.25762
 \end{aligned}$$

**Kartografické modelování**

59	56	59
71	75	70
60	63	57



# Příklad



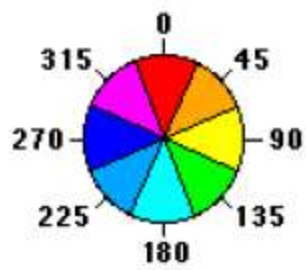
# Expozice (aspect)

- Opět založeno na první derivaci ve dvou směrech x a y.
- Měřeno od severu (0°) ve stupních po směru hodinových ručiček
- Nejen pro určení orientace svahu, ale také základní algoritmus pro určení směru proudění v buňce – základ hydrologických analýz

$$\text{ASPECT} = 180 - \arctan\left(\frac{q}{p}\right) + 90 \cdot \frac{p}{|p|}$$

$$p = \frac{\partial z}{\partial x'}$$

$$q = \frac{\partial z}{\partial y}$$



Aspect directions

a	b	c
d	e	f
g	h	i

Surface window

# Výpočet expozice

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / 8$$

$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / 8$$

$$\mathbf{aspect} = 57.29578 * \mathbf{atan2} ([dz/dy], -[dz/dx])$$

if  $aspect < 0$

$cell = 90.0 - aspect$

else if  $aspect > 90.0$

$cell = 360.0 - aspect + 90.0$

else

$cell = 90.0 - aspect$



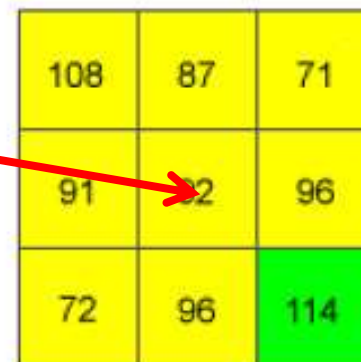
# Příklad

$$\begin{aligned} [dz/dx] &= ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / 8 \\ &= ((85 + 170 + 84)) - (101 + 202 + 101)) / 8 \\ &= -8.125 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [dz/dy] &= ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / 8 \\ &= ((101 + 182 + 84) - (101 + 184 + 85)) / 8 \\ &= -0.375 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} aspect &= 57.29578 * atan2 ([dz/dy], -[dz/dx]) \\ &= 57.29578 * atan2 (-0.375, 8.125) \\ &= -2.64 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} cell &= 90.0 - aspect \\ &= 90 - (-2.64) \\ &= 90 + 2.64 \\ &= 92.64 \end{aligned}$$



Aspect of elevation

- Flat (-1)
- North (0-22.5)
- Northeast (22.5-67.5)
- East (67.5-112.5)
- Southeast (112.5-157.5)
- South (157.5-202.5)
- Southwest (202.5-247.5)
- West (247.5-292.5)
- Northwest (292.5-337.5)
- North (337.5-360)

Aspect example output

Kartografické modelování

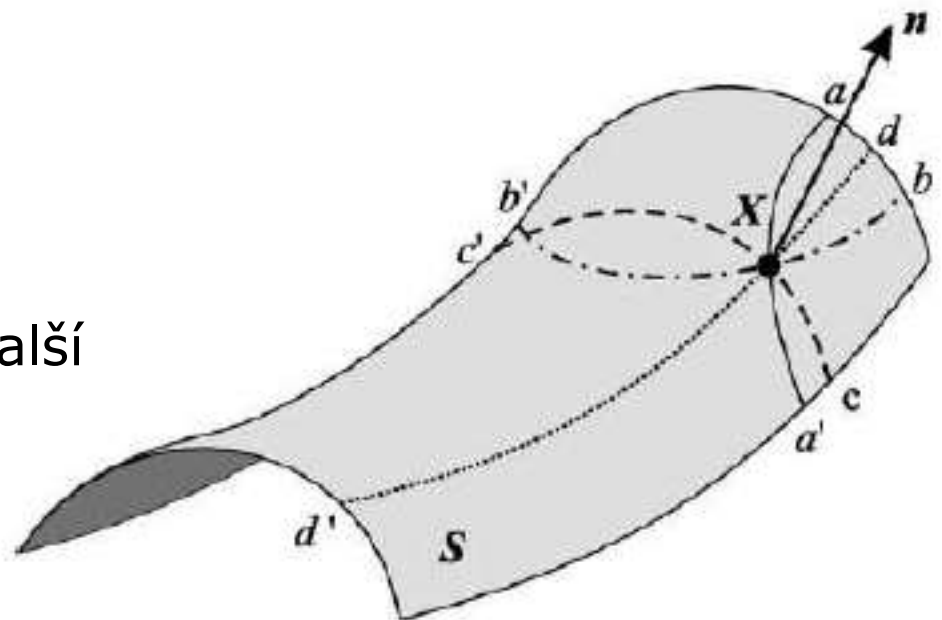
**if aspect < 0  
cell = 90.0 -  
aspect**



# Zakřivení (Curvature)

- Založeno na **druhé derivaci** změn povrchu.
- Lze si představit např. jako křivku vzniklou průsečíkem roviny kolmé k povrchu a tohoto povrchu – záleží na směru roviny vzhledem k povrchu!!!
- Čtyři přirozené směry zakřivení:
  - a) Profil (**vertikální** zakřivení) aa'
  - b) Tangenciální (**horizontální**) bb'
  - c) Maximální cc'
  - d) Minimální dd'
- Na jejich základě definované další typy zakřivení

$$k = \frac{\frac{d^2z}{dz^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{1.5}}$$



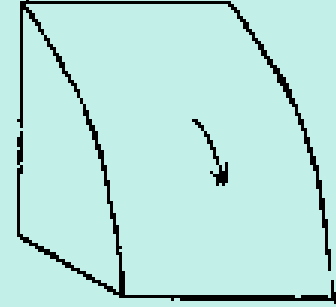
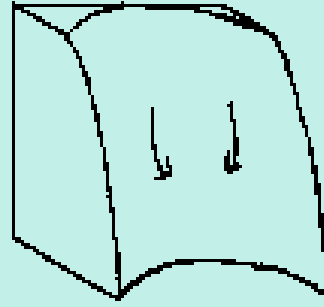
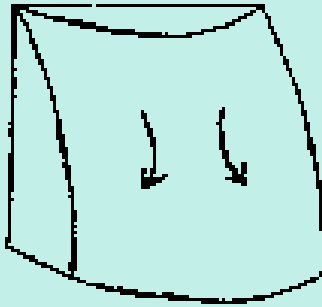


Convex

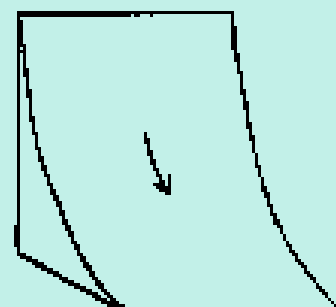
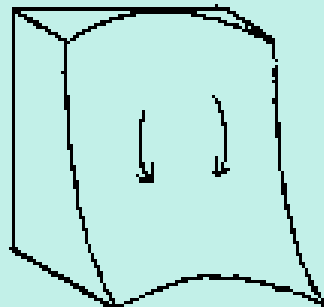
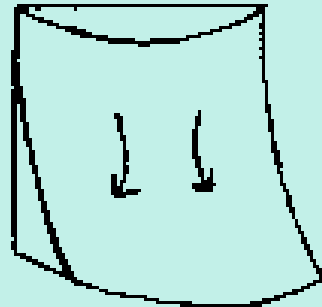
Concave

Plane

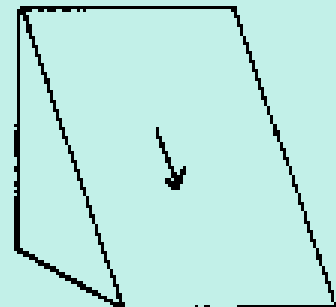
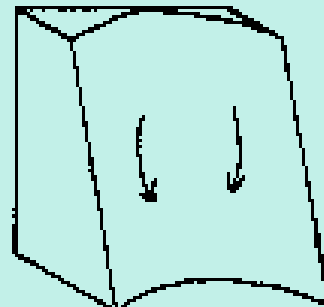
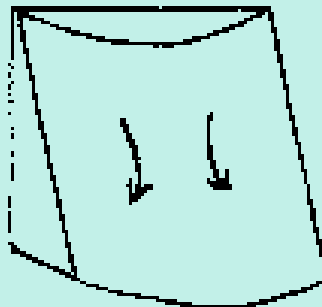
Convex



Concave



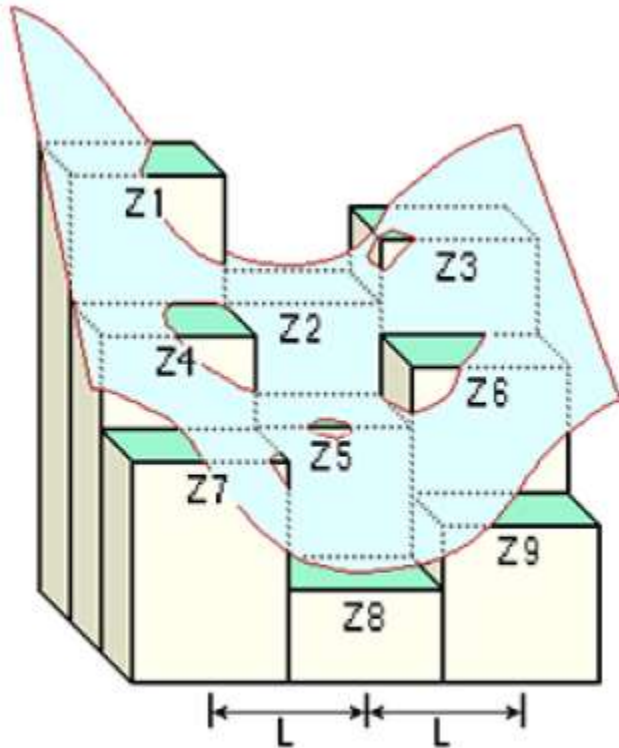
Plane



# Výpočet

Polynomická rovnice pro 3x3 buňky:

$$Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I$$



Curvature values diagram

$$\mathbf{A} = [(Z1 + Z3 + Z7 + Z9) / 4 - (Z2 + Z4 + Z6 + Z8) / 2 + Z5] / L^4$$

$$\mathbf{B} = [(Z1 + Z3 - Z7 - Z9) / 4 - (Z2 - Z8) / 2] / L^3$$

$$\mathbf{C} = [(-Z1 + Z3 - Z7 + Z9) / 4 + (Z4 - Z6) / 2] / L^3$$

$$\mathbf{D} = [(Z4 + Z6) / 2 - Z5] / L^2$$

$$\mathbf{E} = [(Z2 + Z8) / 2 - Z5] / L^2$$

$$\mathbf{F} = (-Z1 + Z3 + Z7 - Z9) / 4L^2$$

$$\mathbf{G} = (-Z4 + Z6) / 2L$$

$$\mathbf{H} = (Z2 - Z8) / 2L$$

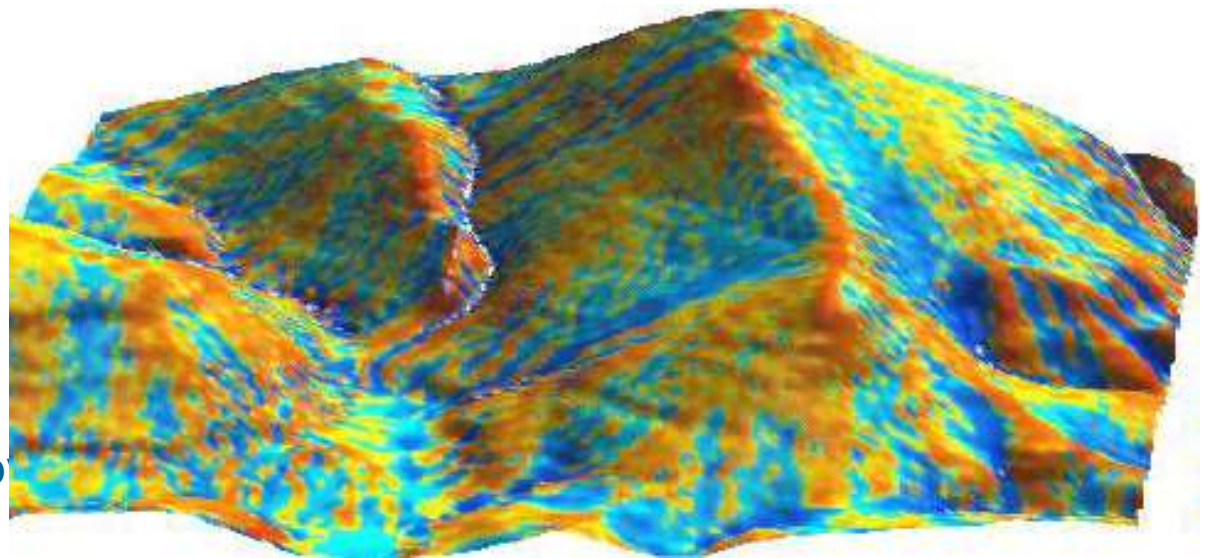
$$\mathbf{I} = Z5$$

$$\mathbf{Curvature} = -2(\mathbf{D} + \mathbf{E}) * 100$$



# Zakřivení (ukázka)

- Horizontální a vertikální křivost reliéfu.
- Hodnocení??
- **+ konvexní směrem vzhůru**
- **- konkávní směrem vzhůru**
- Zásadní pro hydrologické analýzy:
  - Akumulace vody ale i substrátu – eroze
  - Přímá souvislost s vlhkostí stanoviště (vertikální zakřivení)
- Zjištění konkávních (chráněných) a konvexních (exponovaných povrchů) může být využito i v mnoha jiných oborech (např. predikce výskytu druhů, akumulace apod.)



Kartografické modelo



# Osvětlení (hillshading)

Cílem je vytvořit dojem plastického (3D) modelu terénu pomocí jeho nasvícení (hillshading = shaded relief map)

Parametry světelného zdroje:

- **Azimut** (typická hodnota 315°)
- **Výška nad horizontem**, jako úhel - elevace (typická hodnota 45°)

Různé postupy výpočtu

- ArcGIS
- **Hillshade = 255.0 \* ((cos(Zenith\_rad) \* cos(Slope\_rad)) + (sin(Zenith\_rad) \* sin(Slope\_rad) \* cos(Azimuth\_rad - Aspect\_rad)))**
- Může být použito ale i pro jednoduchou analýzu zastínění terénu, při dané poloze slunce – předstupeň pro plnohodnotnou analýzu potenciální přímé sluneční radiace (PDSI)

Úhel osvětlení

(2)  $Zenith\_deg = 90 - Altitude$

Convert to radians:

(3)  $Zenith\_rad = Zenith * pi / 180.0$

Směr osvětlení

(4)  $Azimuth\_math = 360.0 - Azimuth + 90$

Note that if  $Azimuth\_math \geq 360.0$ , then:

(5)  $Azimuth\_math = Azimuth\_math - 360.0$

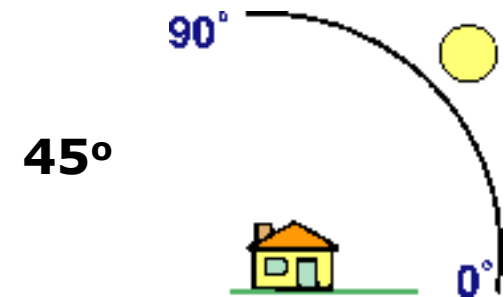
Convert to radians:

(6)  $Azimuth\_rad = Azimuth\_math * pi / 180.0$

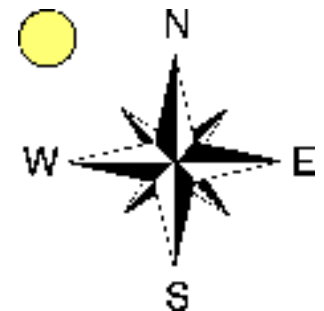
*Sklon svahu*

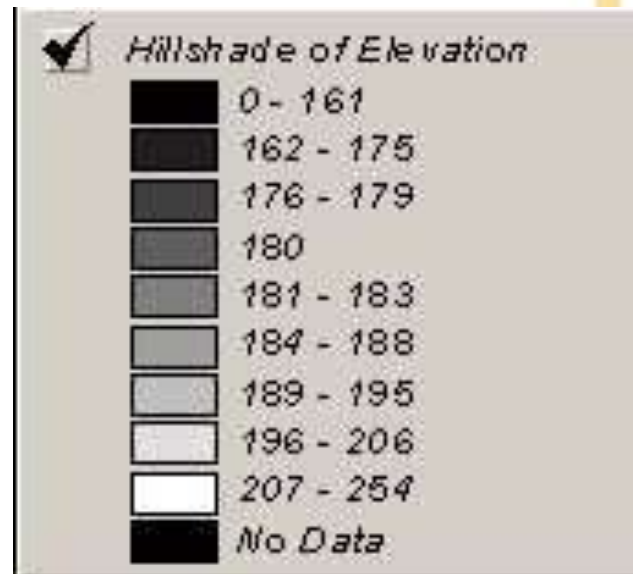
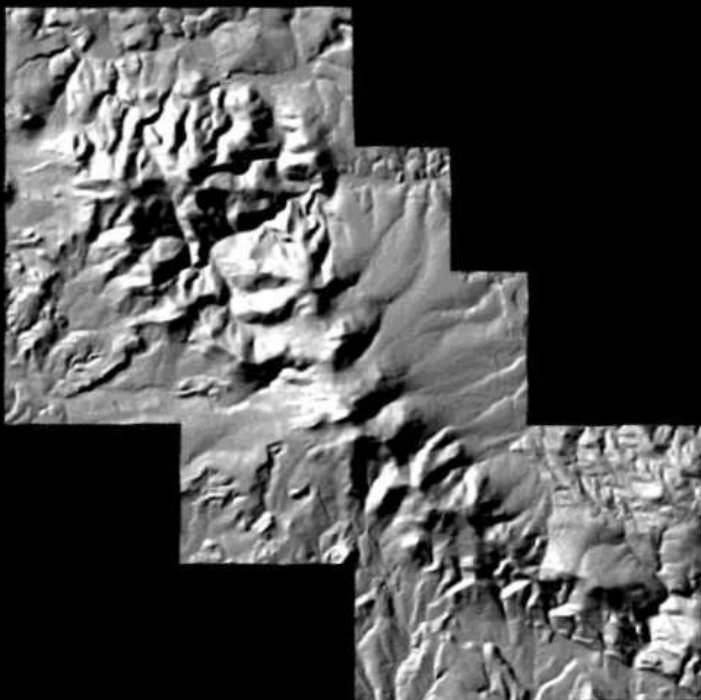
*Orientace svahu*

## Výpočet

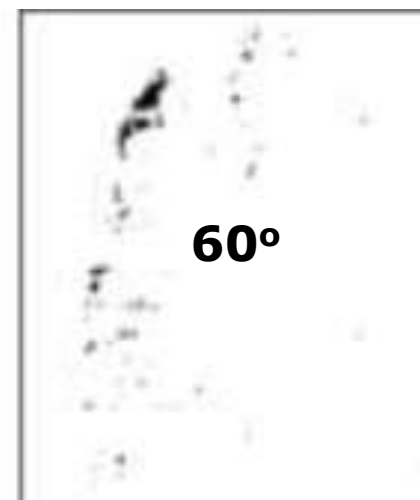
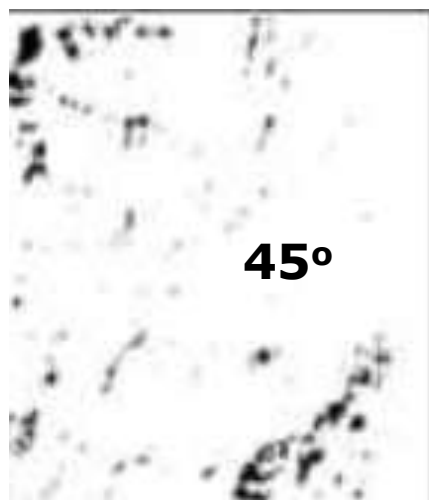


**315°**





**Kartografické modelování**





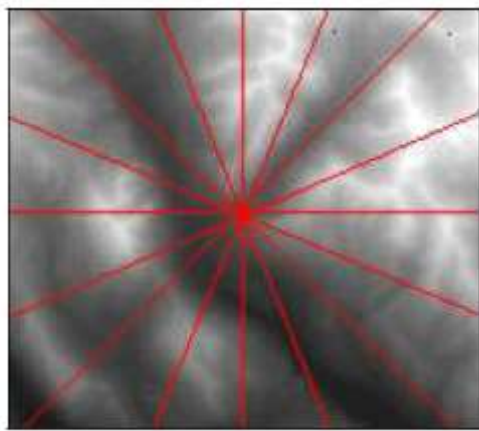


# Potenciální solární radiace

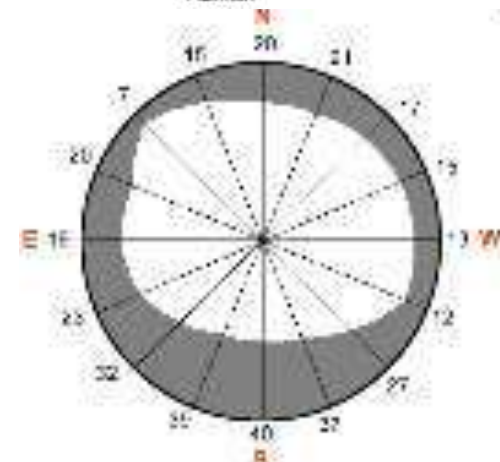
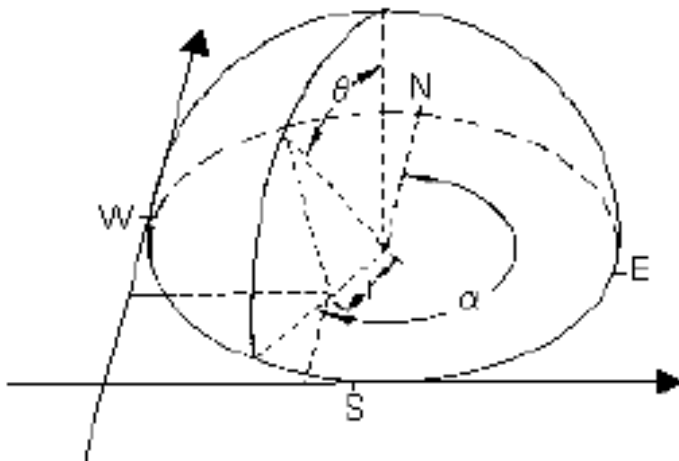
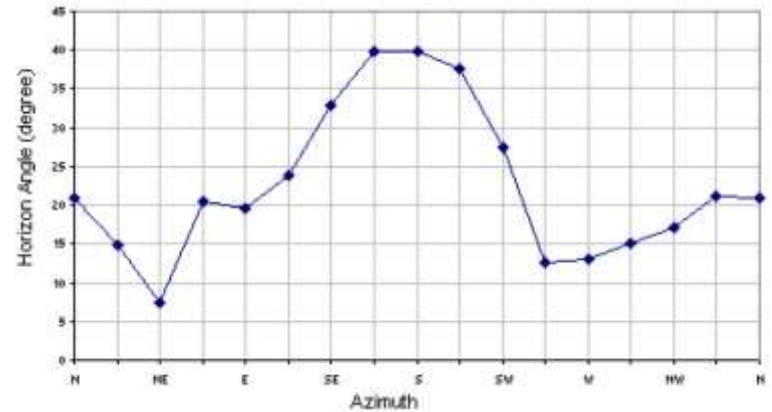
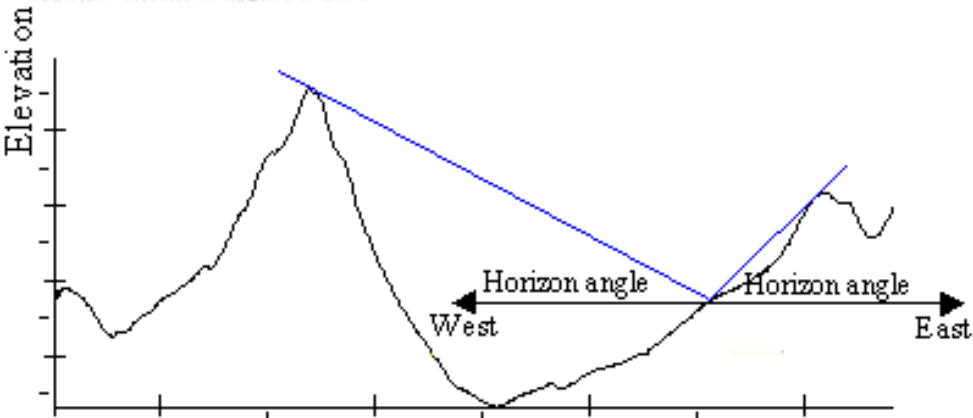
- Predikce potenciálního množství radiace dopadající na konkrétní plochu (pixel).
- Založeno na:
  - 1. Modelu zastínění plochy okolním terénem (hemispherical viewshed, skyview factor)
  - 2. Modelování trajektorie slunce pro danou zeměpisnou šířku
  - 3. Výpočet globálního záření na jednotku plochy jako součet přímé a difusní radiace

# Model zastínění

horizontální úhly ->  
interpolace pro všechny  
směry -> převod úhlů na  
hemisférické souř. ->  
viewshed



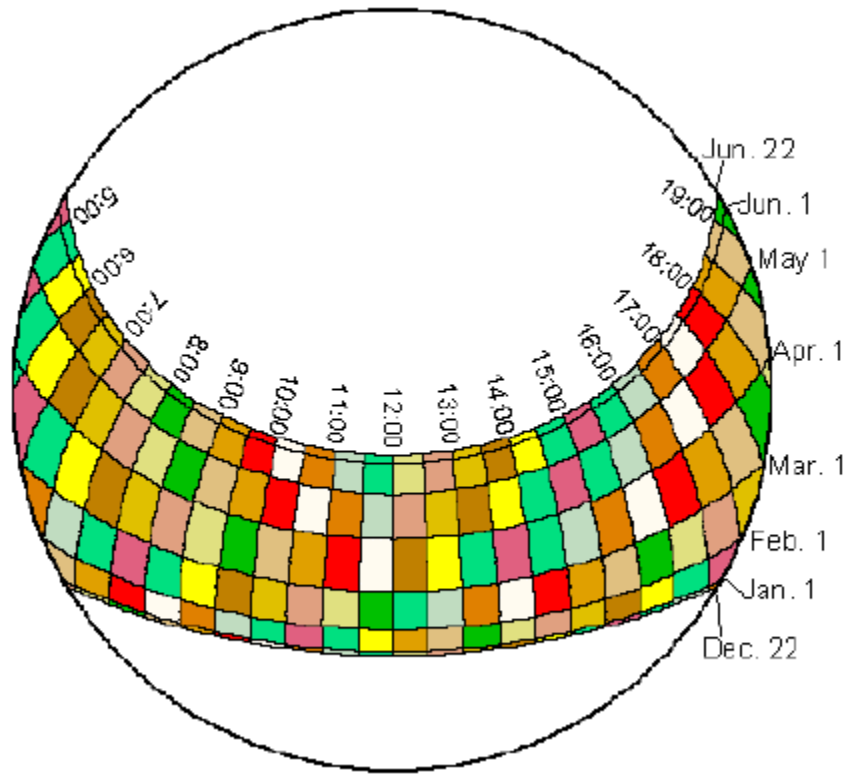
A) Directions for Horizon Angle Calculations



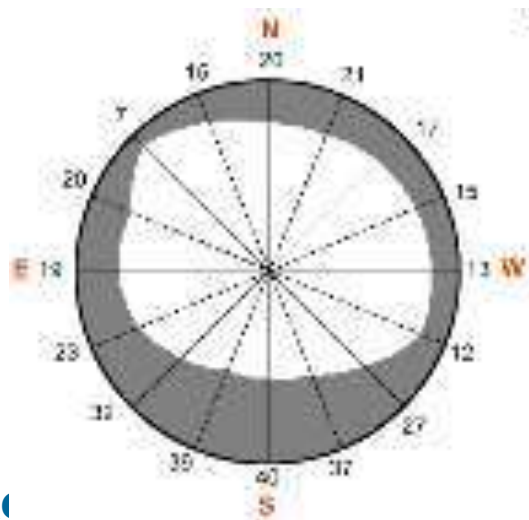
Ka

# Potenciální solární radiace

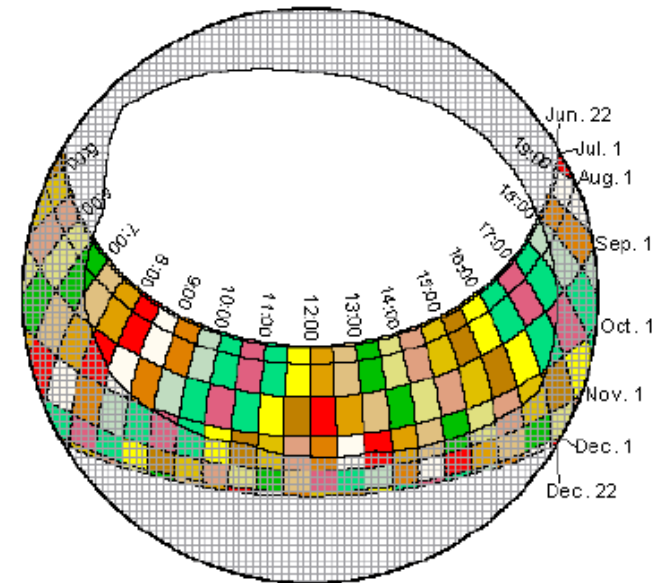
- Kombinace:
  - projektované dráhy slunce (30 min, 12 měsíců) a
  - hemisférického zastínění



+



=





# Typy reliéfu – kvantitativní přístup (Morgan 2005)

- Edward H. Hammond (1954, 1964) klasifikace typů reliéfu založenou na kvantifikaci – opakovatelnost kdekoliv na světě. Později upraveno – Dikau (1989).
- Kombinace tří charakteristik terénu – sklon svahu (slope), členitost terénu (relief), křivost (profile).
- **Hammond: Landform (terrain type) = Slope + Relief + Profile**



# Typy reliéfu – kvantitativní přístup

Širší kategorie typů reliéfu (co berou v úvahu??):

- nearly flat plains,
- rolling and irregular plains,
- plains with widely-spaced hills or mountains,
- partially dissected tablelands,
- hills,
- low mountains,
- high mountains.



# Typy reliéfu – kvantitativní přístup – výpočet sklonu svahu

## Sklon svahu:

- Determine the number of cells within the 20 pixel radius circular window surrounding each pixel (**Map3**) - **different for border pixels**.
- Create slope map (**Map4**).
- Reclassify *slope* (**Map4**) :
  - 0 Areas of greater than 8% slope
  - 1 Areas of less than 8% slope
- This is the *slope categories map* (**Map5**).
- Run the **sum (focal statistics)** of the *slope categories map* (**Map5**) within a 1.5 kilometer circular window (**Map6**).
- Calculate the *percent of near level land* by dividing **Map6** by **Map3** (**Map7**).
- Reclassify the *percent of near level land* (**Map7**) to the following categories:
  - 400 0.00 - 0.2%
  - 300 0.20 - 0.50%
  - 200 0.50 - 0.80%
  - 100 0.80 - 1.0%
- *Hammond's slope parameter map* (**Map8**).



# Typy reliéfu – kvantitativní přístup – výpočet vertikální členitosti

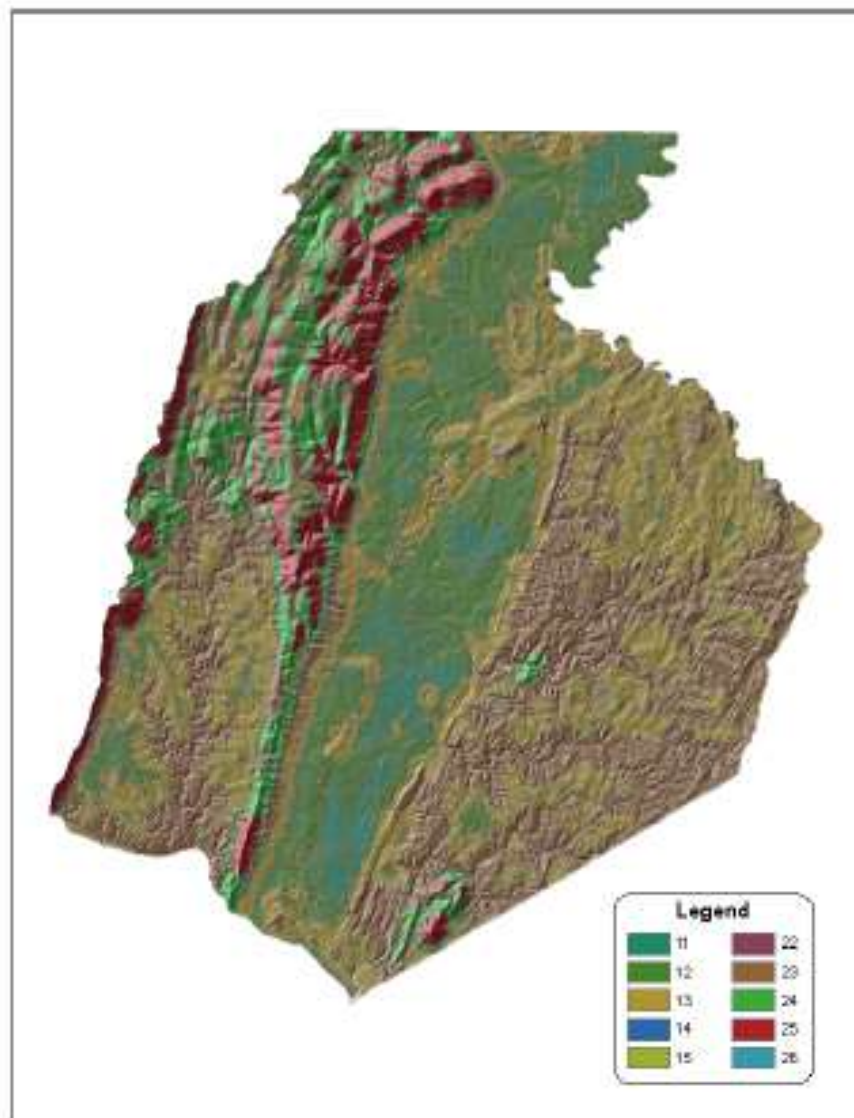
## Sub model vertikální členitosti:

- Determine the **maximum NED** value within a 20 pixel circular window  
(**Map9**).
- Determine the **minimum NED** value within a 20 pixel circular window  
(**Map10**).
- Calculate the relief by subtracting the minimum **NED** value (**Map10**) from the maximum NED value (**Map9**) to create a *relief map* (**Map11**).
- Reclassify the relief map (**Map11**) into the following categories:
  - 10 0 - 30 meters
  - 20 30 – 90 meters
  - 30 90 – 150 meters
  - 40 150 – 300 meters
  - 50 300 – 900 meters
  - 60 900 – 99999 meters
- *Hammond's relief parameter map* (**Map12**).

## Kartografické modelování

# Typy reliéfu – kvantitativní přístup

- |    |                           |
|----|---------------------------|
| 11 | Flat plains               |
| 12 | Smooth plains             |
| 13 | Irregular plains          |
| 14 | Plains with low hills     |
| 15 | Plains with hills         |
| 16 | Plains with low mountains |
| 17 | Plains with mountains     |
| 21 | Rough plains              |
| 22 | Rugged plains             |
| 23 | Breaks                    |
| 24 | Low hills                 |
| 25 | Hills                     |
| 26 | Low mountains             |
| 27 | Mountains                 |





# GIS 4 Geomorphology

Geomorphometry of Mountain Landscapes & Upland Watersheds... a little Wildlife, too



[Welcome !](#)

[Ask a Question](#)

[GIS Consulting & Training](#)

## Landforms I: Hammond

Hammond-type macro landform mapping is accomplished using a DEM and the Spatial Analyst extension. Hammond's method was created for region-scale landform delineation. The steps below were reworked from Morgan et al. (2005). I have retained Morgan's workflow, but modified the neighborhood operator (changed from a 20×20 pixel radius to a 50×50 pixel rectangle), clarified several reclassification routines, and added language to match that used in the latest version of ArcGIS. The tools you need are: Spatial Analyst Extension, Focal Statistics, Reclassify, Slope, Raster Calculator, Project Raster, and Clip (raster). Input and output filenames are in quotes. We'll do the Hammond/Dikau landform model here. Look for the MORAP model in its own lesson.

**LANDFORM = SLOPE + RELIEF + PROFILE**

### Tools You Will Use:

*Focal Statistics - Spatial Analyst tools > Neighborhood > Focal Statistics*

## GIS LESSONS

[Channel Analysis Project](#)

[Interested in a GIS Career?](#)

[DEM Data Sources](#)

[Tips for ArcGIS](#)

[Useful GIS Links](#)

[Watershed Delineation](#)

[Minimum Eroded Volume](#)

[Terrain Roughness - 12 Ways](#)

[LIDAR: Acquire Data & Process](#)

[Vineyard Prospecting](#)