



**MUNI**

# **Kartografické modelování IV - analýzy terénu jaro 2023**

**Petr Kubíček**

**kubicek@geogr.muni.cz**

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

**Kartografické modelování**



# Opakování - matka moudrosti

```
OutRas = Lookup(InRas1, "Category")
```

```
OutRas=ZonalGeometry(InRas1,"VALUE","PERIMETER")
```

```
OutRas = CellStatistics(["InRas1",  
"InRas2", "InRas3"], "Mean")
```

```
OutRas = Rank(ConstRas, [InRas1,  
InRas2, InRas3])
```

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



# Topografické funkce a DMT

## Zdroje DMT

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

## Cíl:

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

## Hlavní topo funkce:

- Sklon a expozice
- Zakřivení – horizontální a vertikální
- Osvětlení terénu
- Potenciální solární radiace

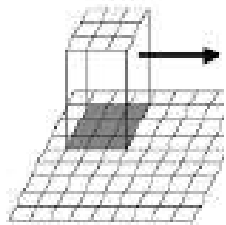
## Kartografické modelování

# Sklon svahu

- U **planární** metody se sklon měří jako maximální intenzita změny hodnoty od buňky k jejím bezprostředním sousedům.
- Technicky řešeno pohybem okna 3x3 nebo 5x5 pixelů
- Mnoho metod, ale všechny na principu 1. derivace

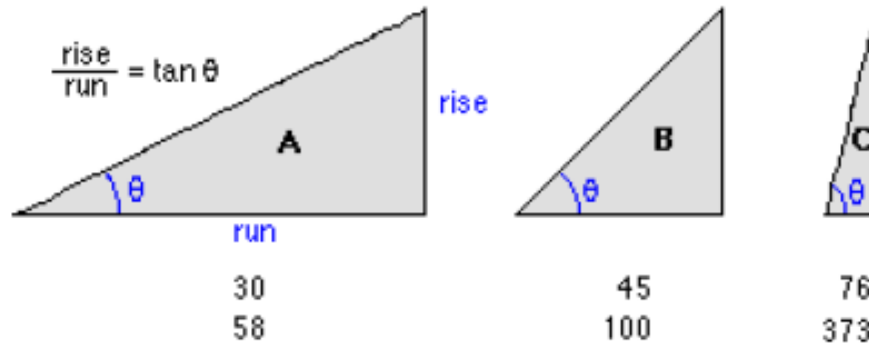
Degree of slope =  $\theta$

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



Degree of slope =

Percent of slope =



*Comparing values for slope in degrees versus percent*

- 100procentní svah znamená, že na jednom metru vodorovné délky svah překoná výškový rozdíl také jednoho metru (neboli 100% vodorovné délky – proto 100% svah). Jde tedy o sklon 45 °.

**Kartografické modelování**

**Realizace výpočtu pomocí fokální funkce.**

a	b	c
d	e	f
g	h	i

Surface scanning  
window

# Výpočet

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

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

## 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 50	b 45	c 50
30	30	30
8	10	10

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

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

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

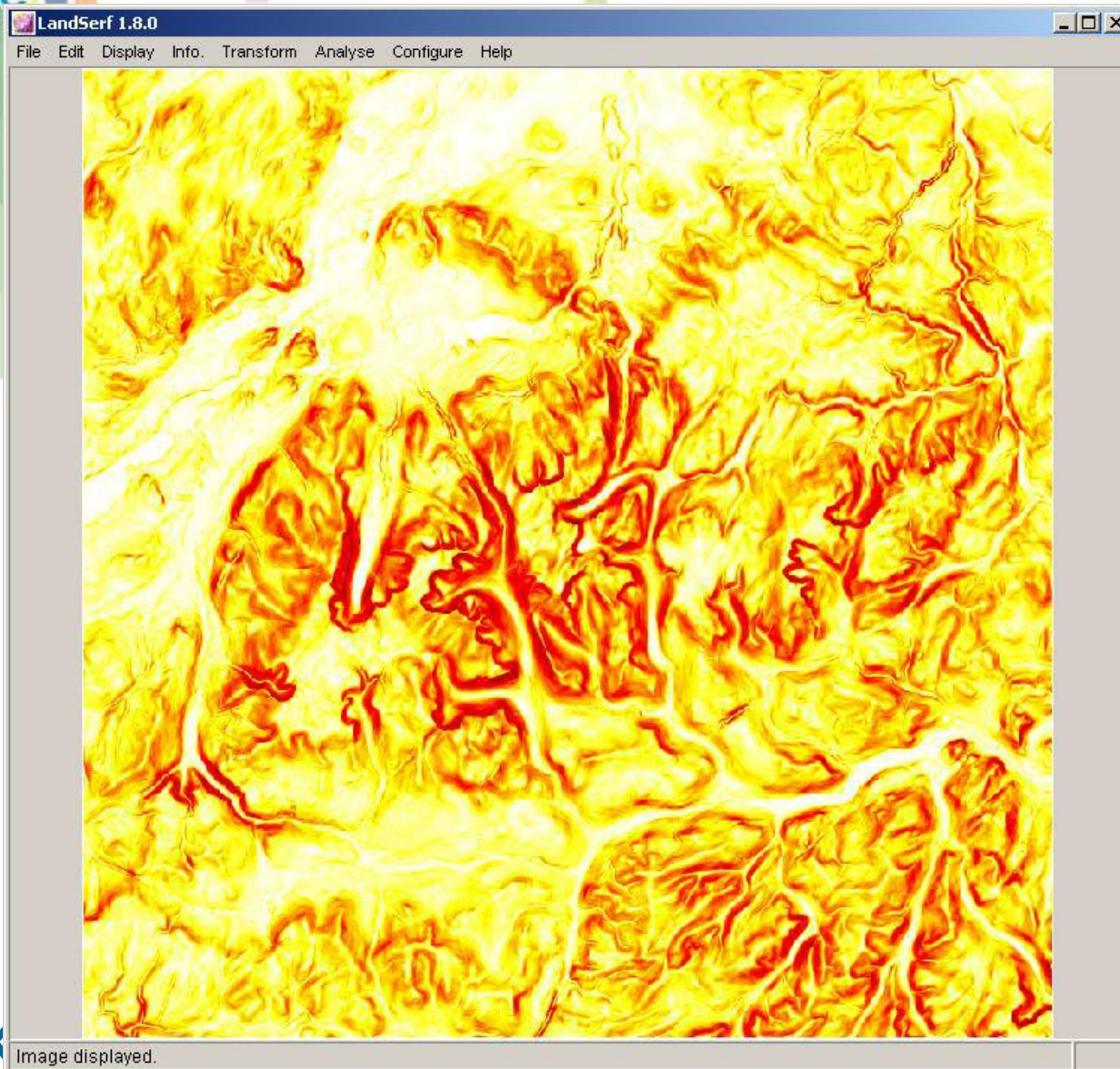
$$\begin{aligned}
 slope\_degrees &= ATAN(rise\_run) * 57.29578 \\
 &= ATAN(3.80032) * \mathbf{57.29578} \\
 &= 1.31349 * 57.29578 \\
 &= 75.25762
 \end{aligned}$$

**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 ( $0^\circ$ ) ve stupních po směru hodinových ručiček

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



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

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





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

$cell = 90.0 - aspect$

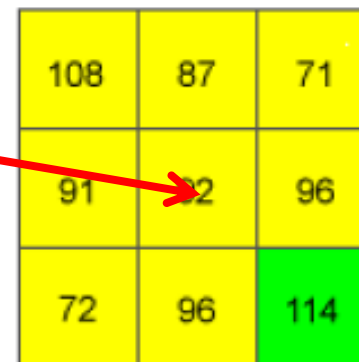
# Příklad

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

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

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

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



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)

Kartografické modelování

Aspect example output

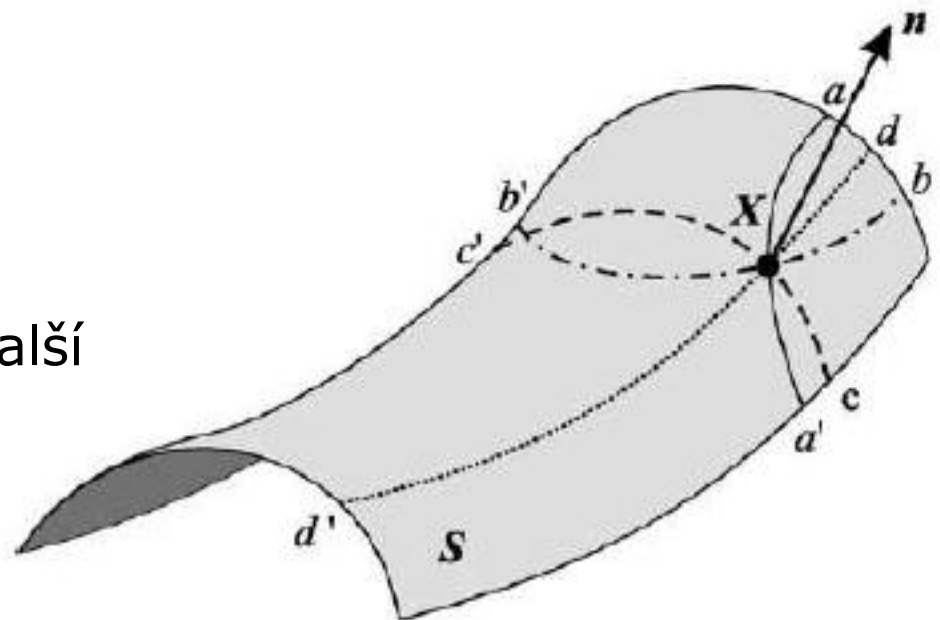
**if aspect < 0**  
**cell = 90.0 -**  
**aspect**



# 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

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



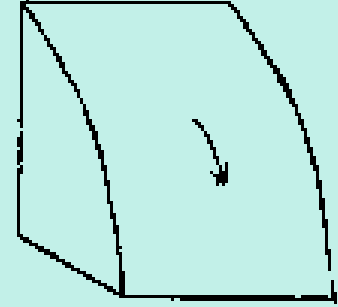
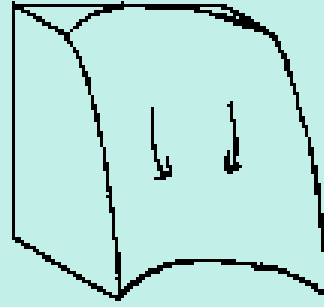
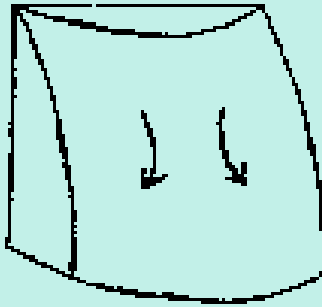


Convex

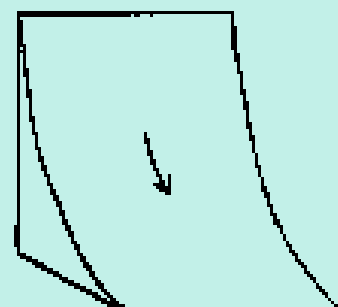
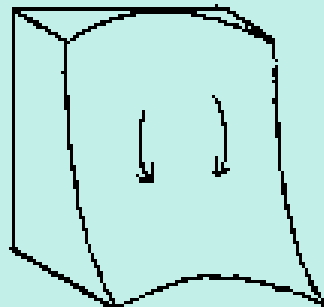
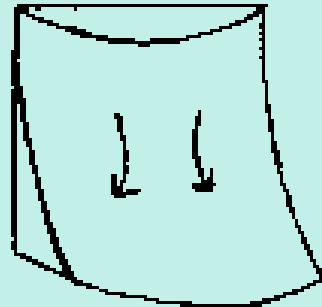
Concave

Plane

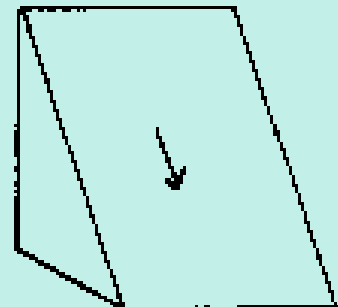
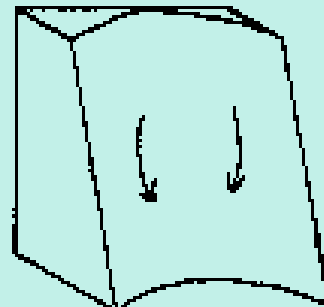
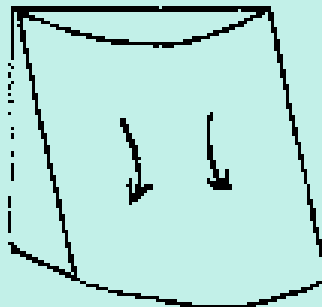
Convex

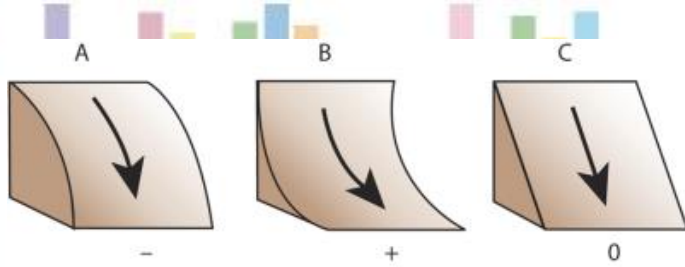


Concave



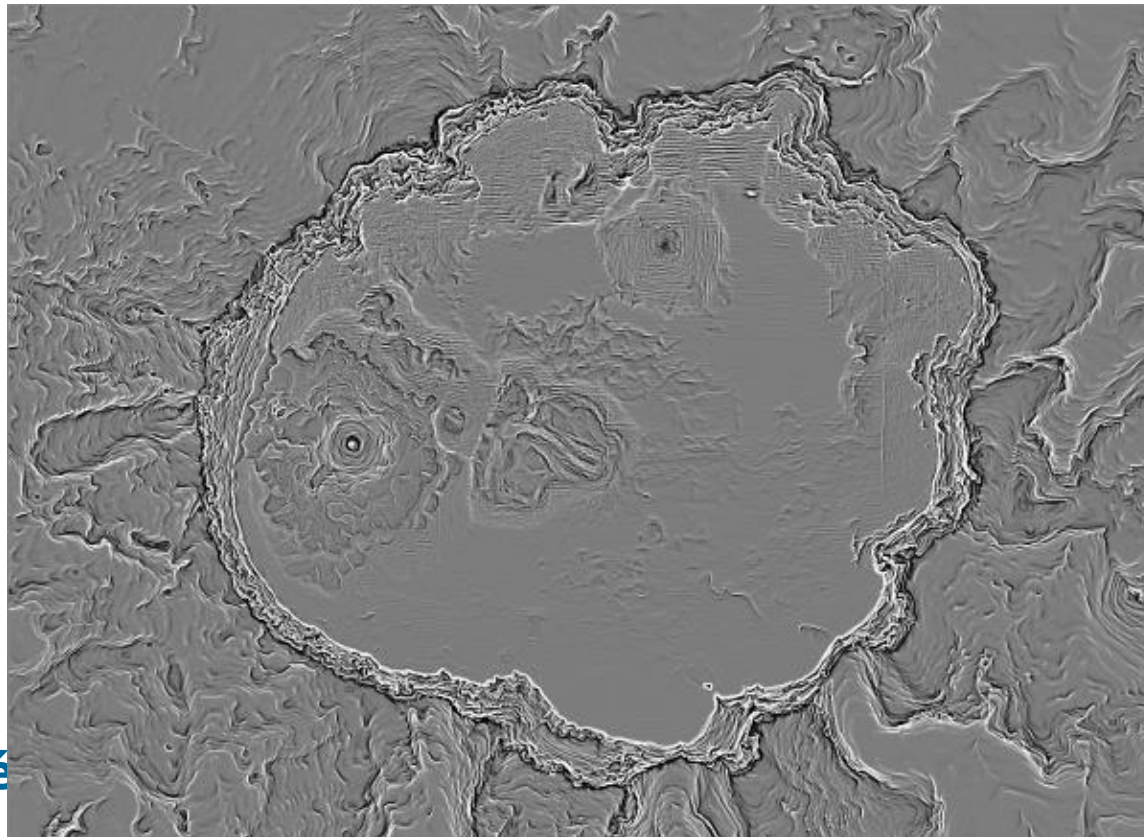
Plane

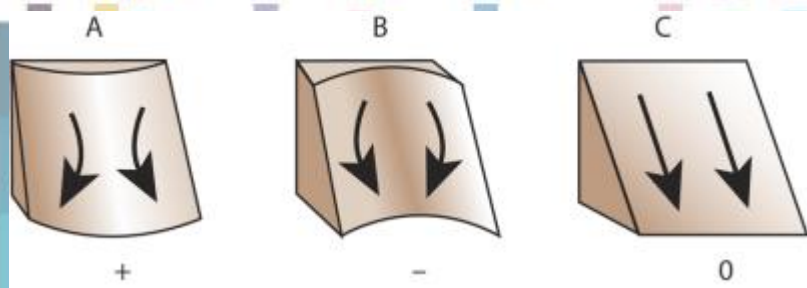




# Příklady a užití – vertikální (profile)

Paralelní se směrem maximálního sklonu. **Negativní** hodnota = svah je směrem nahoru **konvexní**; **pozitivní** hodnota = svah je směrem nahoru **konkávni**; 0 = svah je lineární (rovný).  
Ovlivňuje zpomalení či zrychlení povrchového odtoku. Terasy!

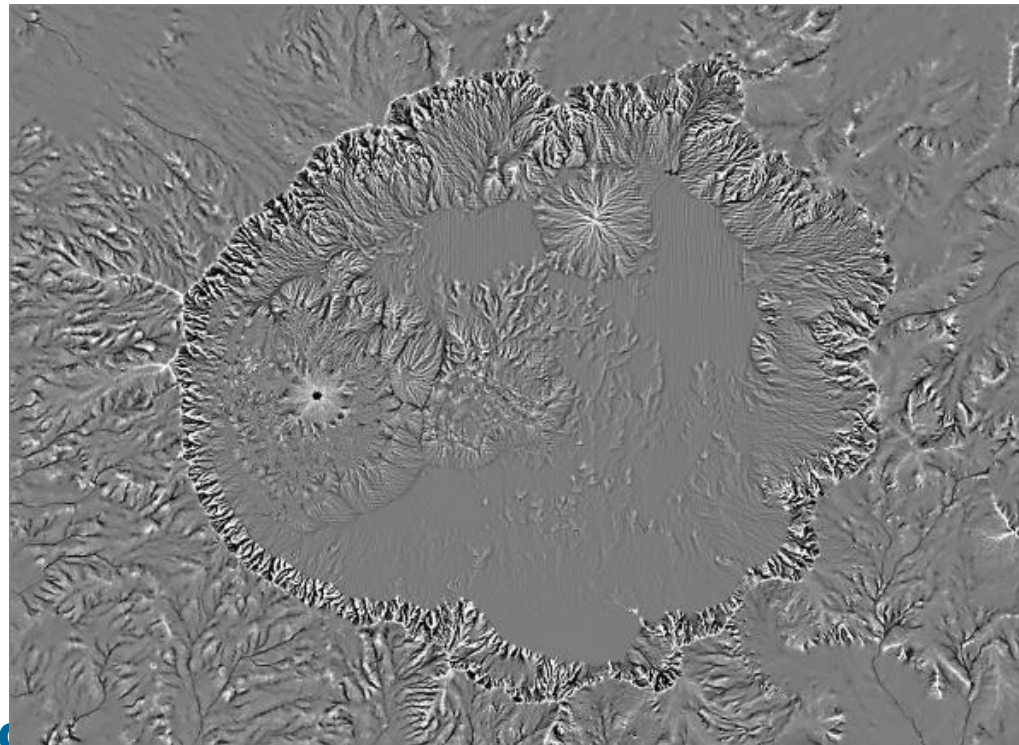




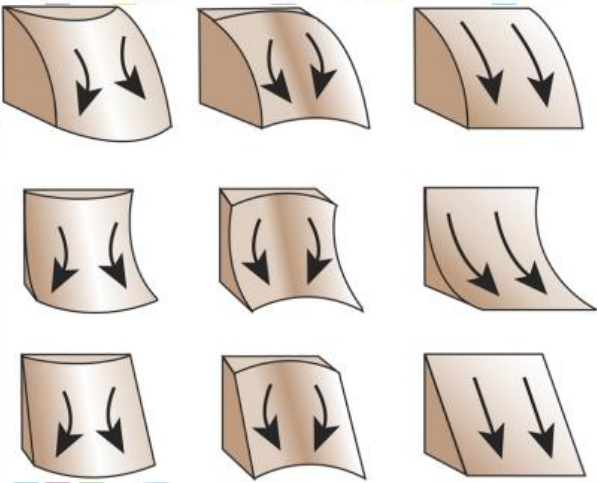
## Příklady a užití – horizontální (plan)

Kolmá na směr maximálního sklonu. **Negativní** hodnota = svah je směrem do boků **konkávní**; **pozitivní** hodnota = svah je směrem do boků **konvexní**; 0 = svah je lineární (rovný).

Ovlivňuje konvergenci či divergenci povrchového odtoku. Údolnice a hřbetnice!

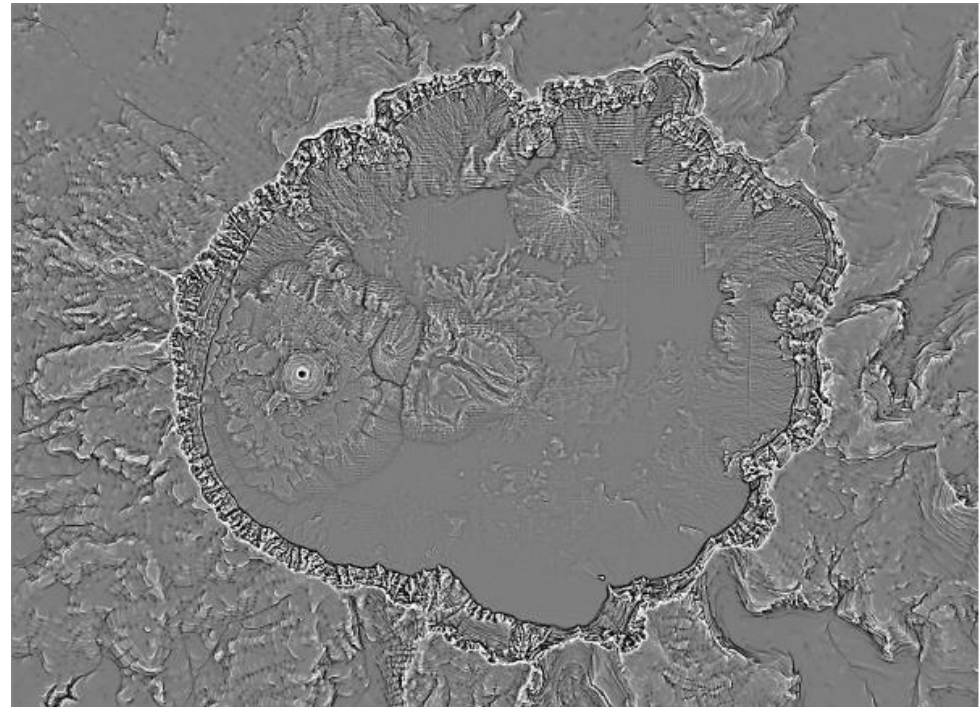


# Příklady a užití - kombinace

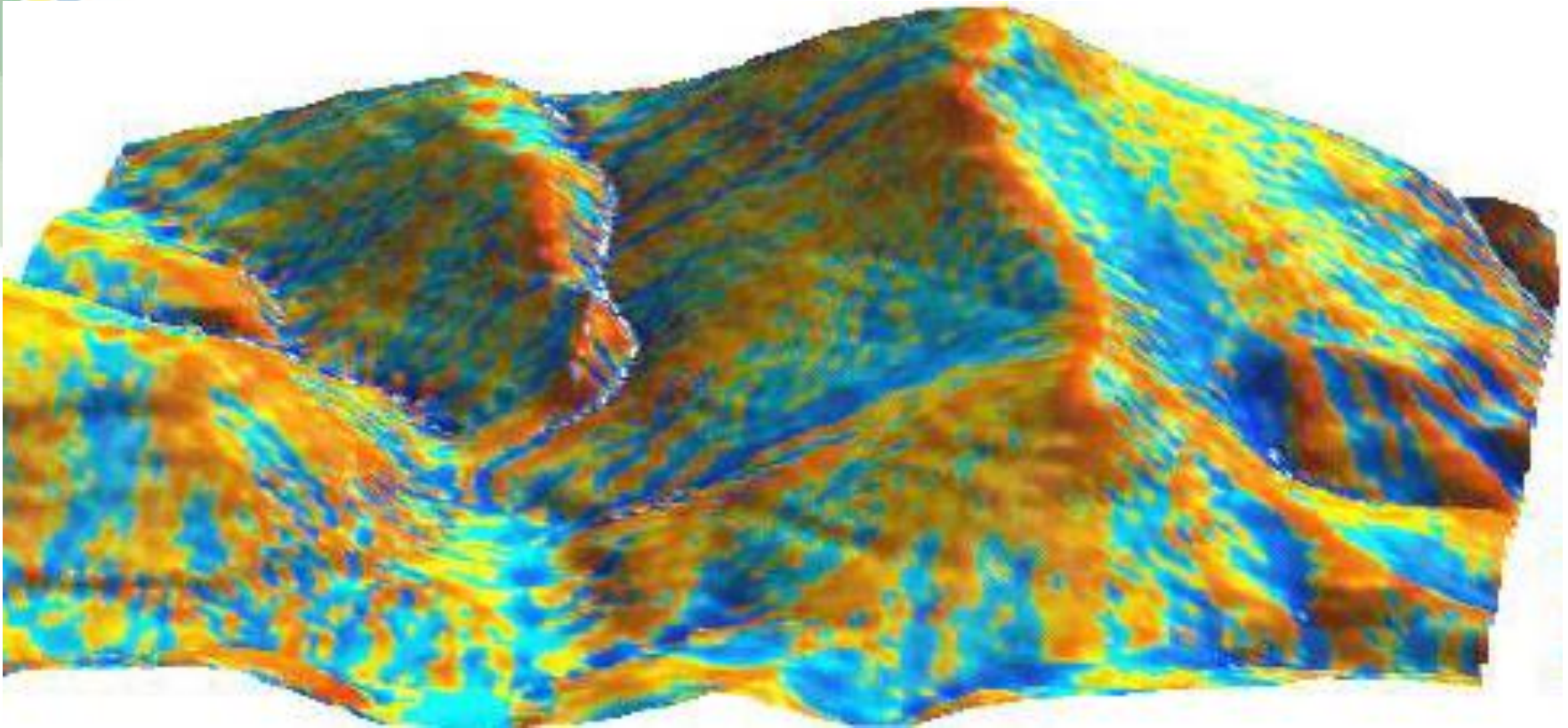


- Zásadní pro hydrologické analýzy:
  - Akumulace vody ale i substrátu – eroze
  - Přímá souvislost s vlhkostí stanoviště (vertikální zakřivení)
- Zjištění konkávních (chráněných) a konvexních (exponovaných povrchů) může být využito i v mnoha jiných oborech (např. predikce výskytu druhů, akumulace apod.)

**Kartografické modelování**



# Zakřivení (ukázka)



**Kartografické modelování**



# New – ArcGIS Pro – Surface Parameters

- Funkce „**Slope**“ nahrazuje okolí zkoumané buňky plochou o rozsahu 3x3 buňky. Plocha nemusím mít dostatečnou vypovídací hodnotu o charakteru reliéfu – můžu shlazovat či nadhodnocovat skutečný vzhled reliéfu.
- Nástroj **Surface Parameters** nabízí nový přístup k řešení problému.
- Pracuje s větším množstvím okolních buněk v rozsahu 3 – 15 buněk.
- Využívá zejména místního detailu reliéfu a je schopen pracovat také s tzv. **adaptivním** okolím. Adaptivní parametr automaticky analyzuje okolí buňky s ohledem variability hodnot a vybírá vhodnou velikost (3 – 15 buněk).
- Vhodné zejména tehdy, pokud se střídají homogenní formy reliéfu s náhlými změnami sklonu (strže, zlomy...).



# 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

$$(2) \textit{Zenith\_deg} = 90 - \textit{Altitude}$$

Convert to radians:

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

Směr osvětlení

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

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

$$(5) \textit{Azimuth\_math} = \textit{Azimuth\_math} - 360.0$$

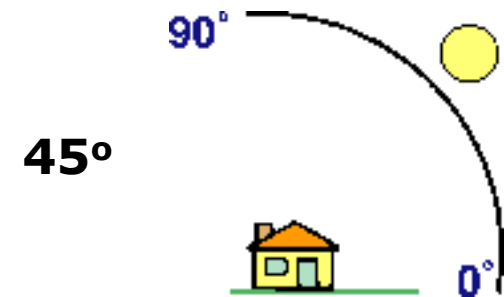
Convert to radians:

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

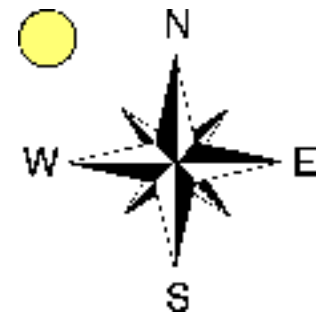
*Sklon svahu*

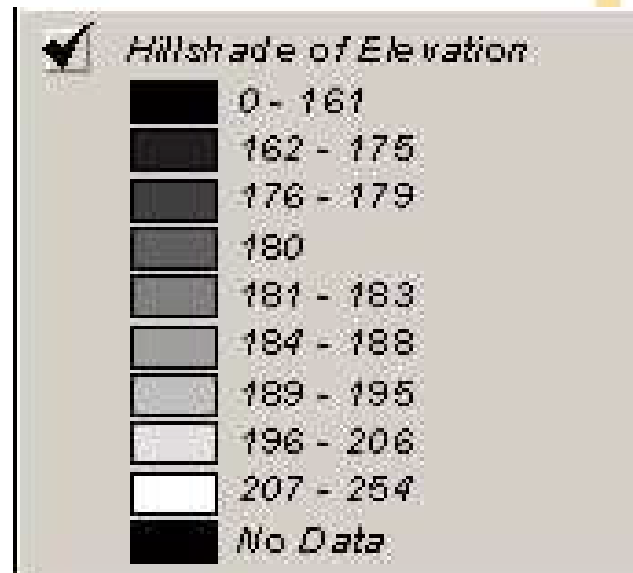
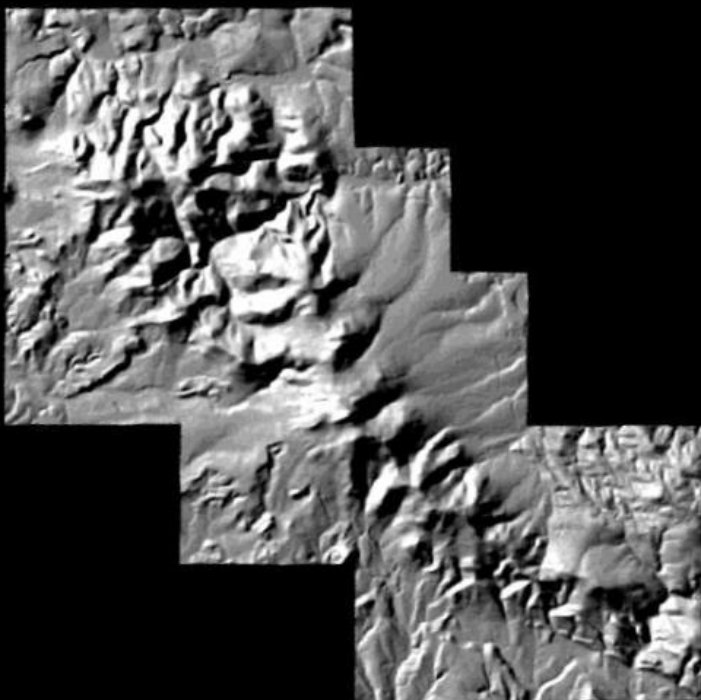
*Orientace svahu*

## Výpočet

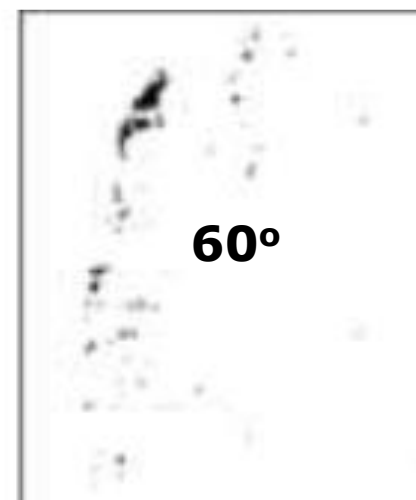
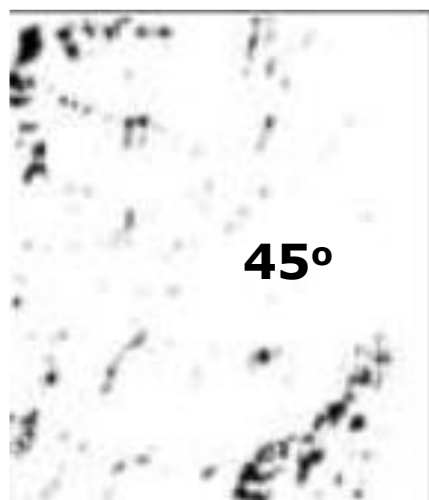


**315°**





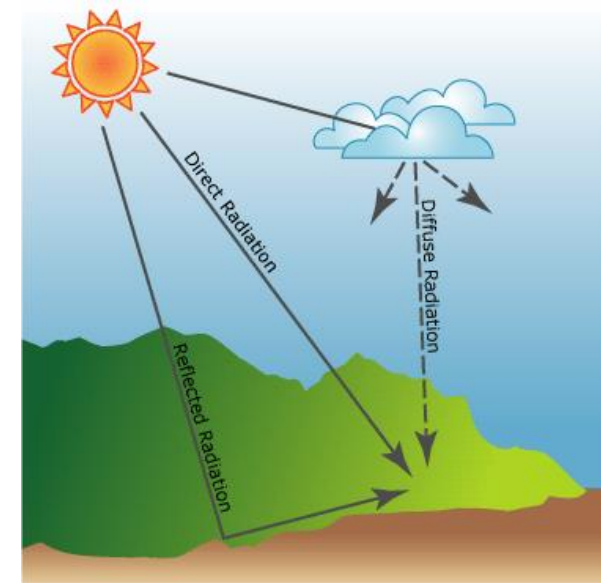
## Kartografické modelování



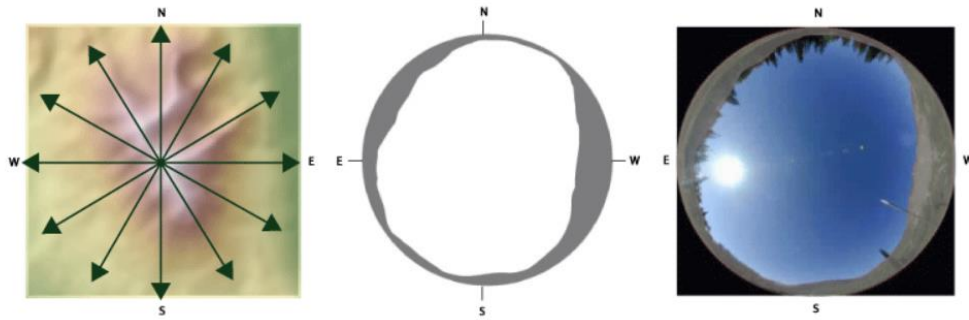
# Solární radiace

- Predikce potenciálního množství radiace dopadající na konkrétní plochu (buňku).
- 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.

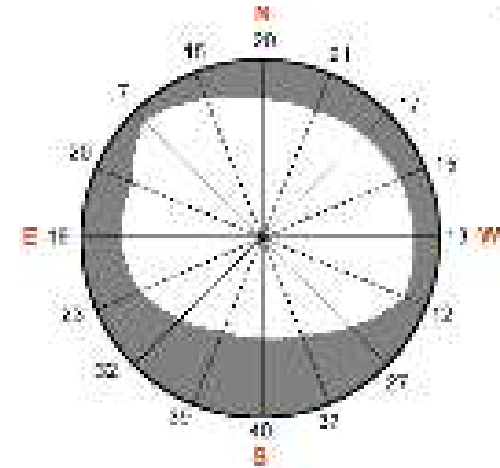
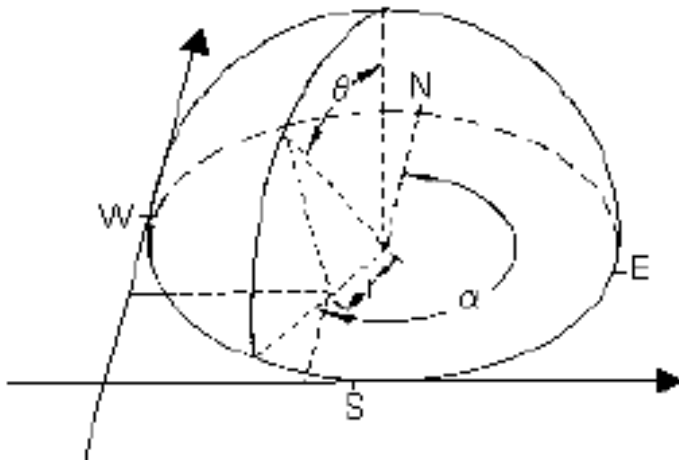
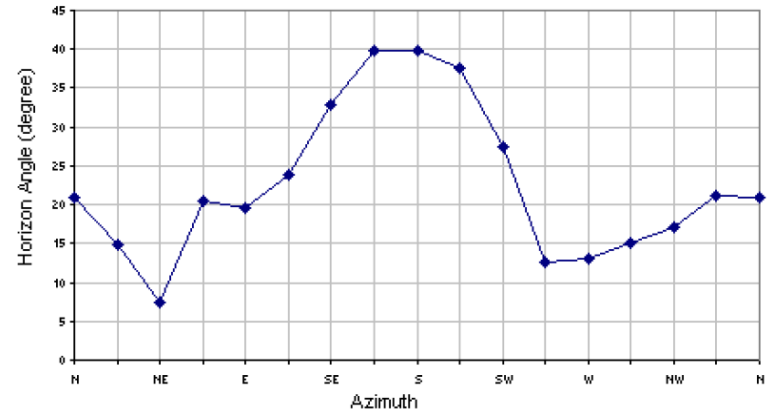
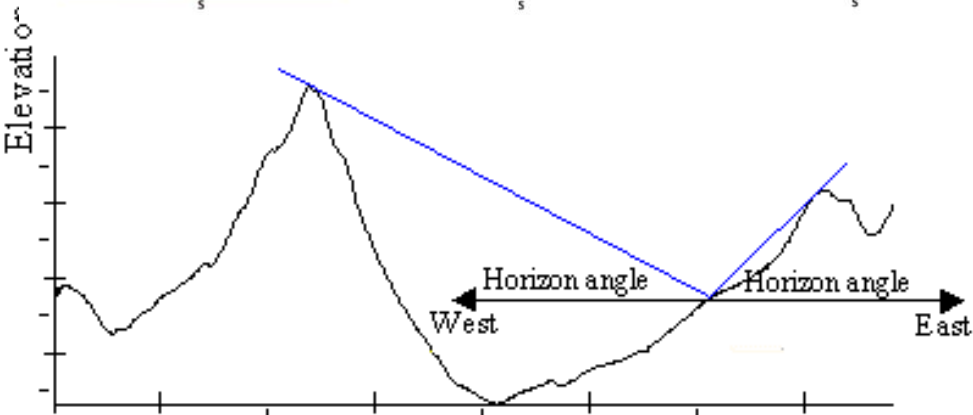
**Kartografické modelování**



# Model zastínění



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

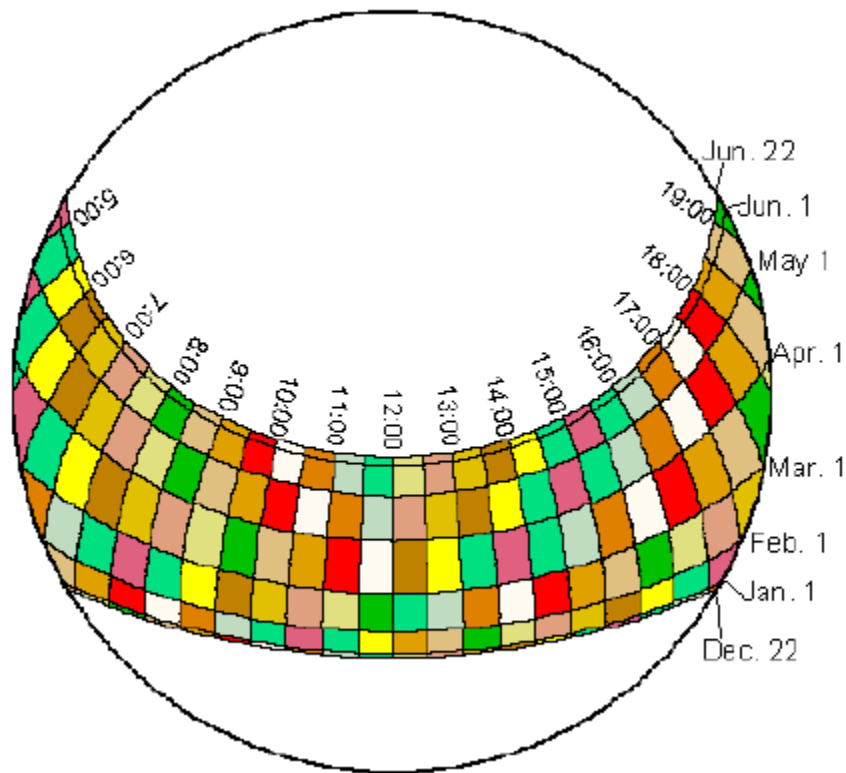


Ka

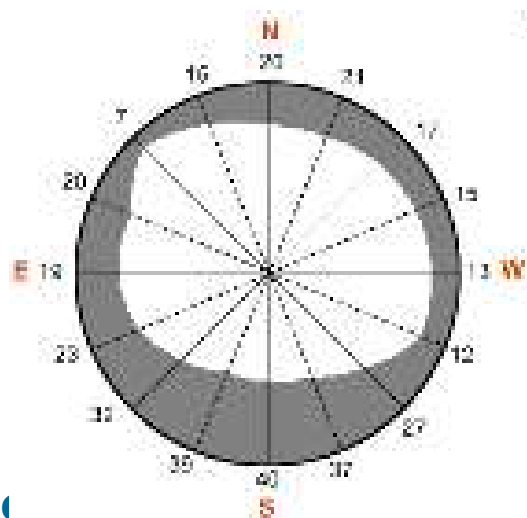
# Potenciální/přímá solární radiace

Kombinace:

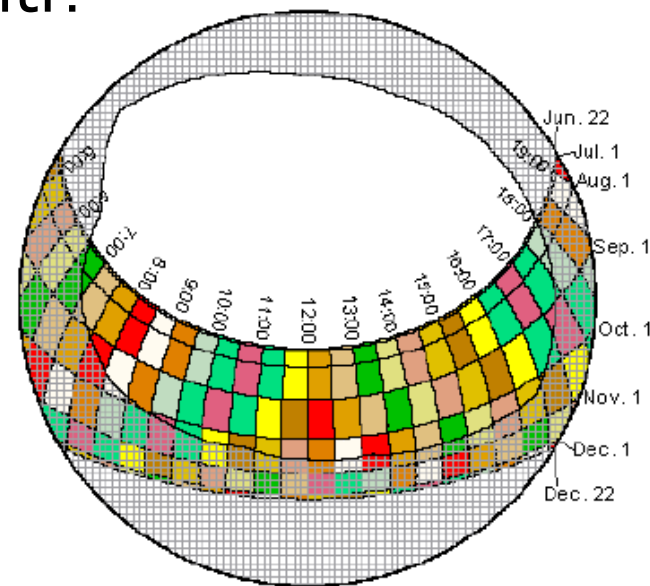
- projektované dráhy slunce (30 min, 12 měsíců) a
- hemisférického zastínění.
- Využití?



+

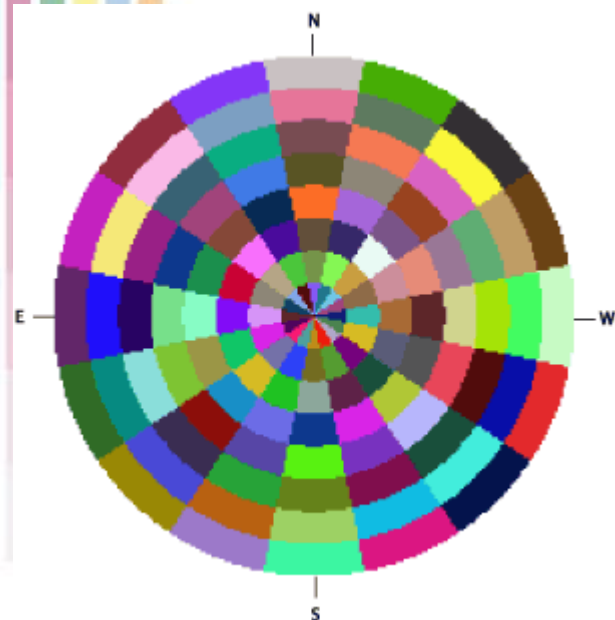


=

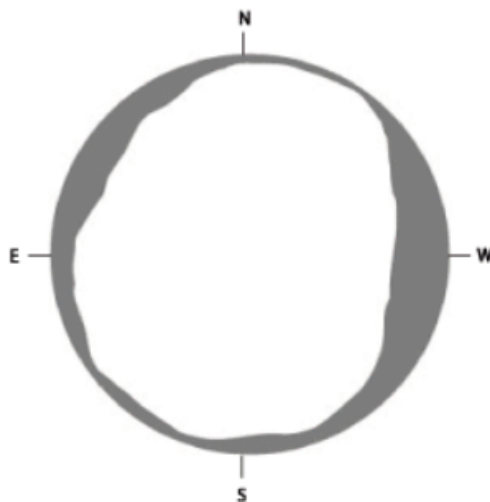




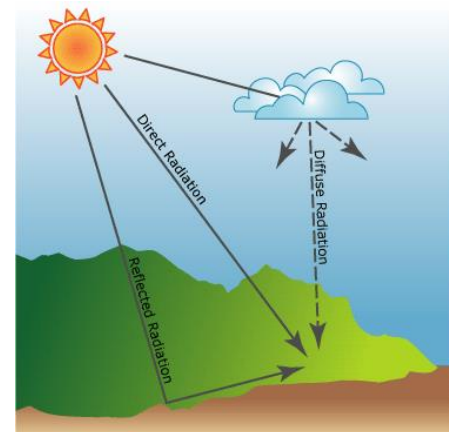
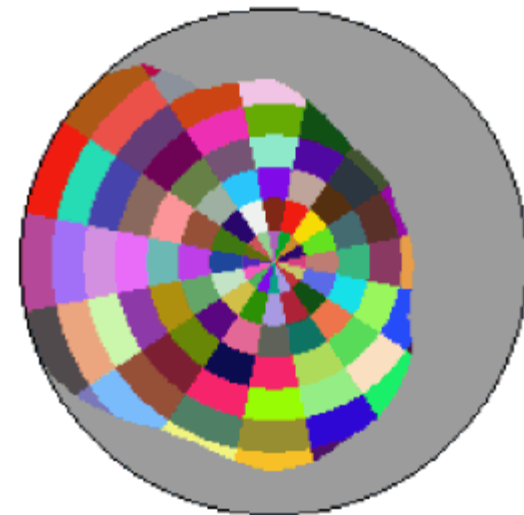
# Rozptýlená/difuzní solární radiace



+



=

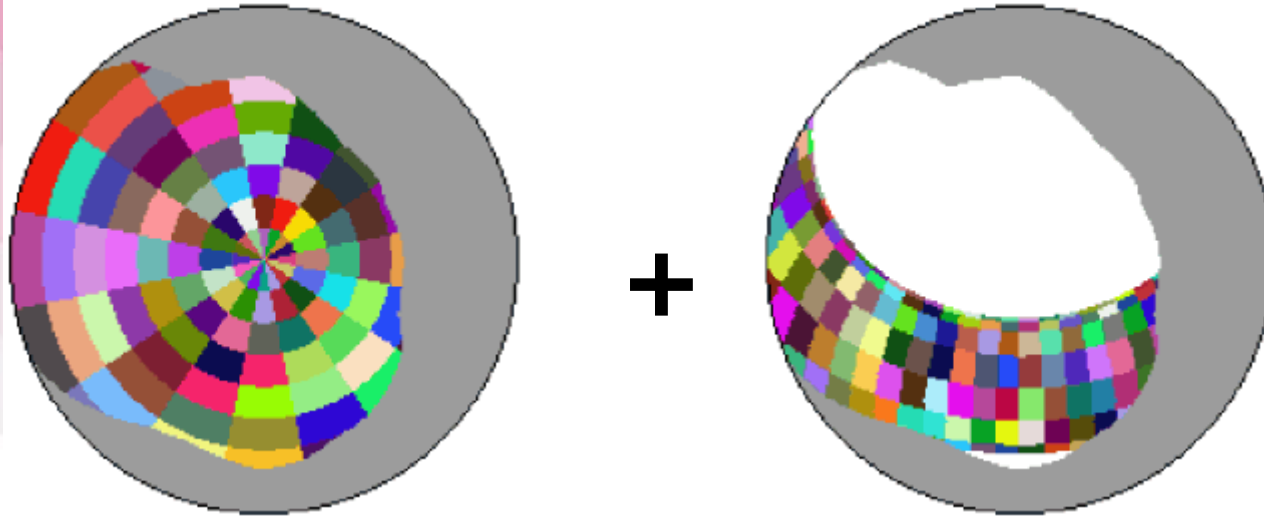


Mapa oblohy se sektory oblohy definovanými **8 díly zenitu a 16 díly azimutu**. Každá barva představuje jedinečný sektor oblohy nebo část oblohy, ze které pochází difúzní záření

**Kartografické modelování**



# Celková solární radiace



**Kartografické modelování**



# 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**

# 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](#)



# Geomorfon Landforms – new ArcGIS Pro

Classes	Representation
Flat	
Peak	
Ridge	
Shoulder	
Spur	
Slope	
Hollow	
Footslope	
Valley	
Pit	

**Geomorfon** je reprezentace reliéfu založená na výškových rozdílech v okolní oblasti cílové buňky.

Celkem 498 unikátních geomorfonových vzorů lze klasifikovat do **10 běžných tvarů reliéfu**: plošina, vrchol, hřeben, rameno, hrana svahu, svah, prohlubeň/deprese, úpatí, údolí a bezodtoká sníženina (Jasiewicz a Stepiski, 2012).



# Analýzy výškopisu na Geoportále ČÚZK

Změnit mapu Produkty Hledaný výraz...

Analýzy výškopisu  
Režim celé obrazovky ukončíte stisknutím klávesy F11

- ☐ Základní mapy
  - ☒ Základní mapa ČR 1:10 000 (1:7143)
  - ☒ Základní mapa ČR 1:25 000 (1:14287)
  - ☒ Základní mapa ČR 1:50 000 (1:28575)
  - ☒ Základní mapa ČR 1:100 000 (1:57150)
  - ☒ Základní mapa ČR 1:200 000 (1:114300)
- ☐ Katastrální mapa
  - ☒ Katastrální mapa (1:3571)
- ☐ ZABAGED® - polohopis
  - ☒ ZABAGED® - polohopis (1:14287)
- ☐ ZABAGED® - výškopis
  - ☒ ZABAGED® - výškopis - vrstevnice (1:14287)
  - ☒ Digitální model reliéfu ČR 4. generace
  - ☒ Digitální model reliéfu ČR 5. generace
  - ☒ Digitální model povrchu ČR 1. generace
- ☐ Ortofoto
  - ☒ Ortofoto ČR
  - ☒ Archivní ortofoto
  - ☒ Ortofoto CIR
- ☐ Státní mapa 1:5 000
  - ☒ Vektorová data nové podoby SM 5 (1:3571)
  - ☒ Rastrová data katastrální složky SM 5 (1:3571)
- ☐ Data50
  - ☒ Data50 (1:28575)
- ☐ Data200
  - ☒ Data200
- ☐ Bodová pole
  - ☒ Bodová pole
- ☐ Geonames
  - ☒ Geonames (1:14287)
- ☐ Archivní mapy
  - ☒ Archivní mapy
- ☐ Správní jednotky
  - ☒ Správní hranice a hranice KÚ
  - ☒ Územní jednotky (UX)
- ☐ INSPIRE
  - ☒ INSPIRE - Parcely (CP) (1:3571)
  - ☒ INSPIRE - Zeměpisná jména (GN) (1:14287)
  - ☒ INSPIRE - Vodstvo (HY) (1:14287)
  - ☒ INSPIRE - Dopravní sítě (TN) (1:14287)
  - ☒ INSPIRE - GGS - Grid\_ETRS89-GRS80 (1:3657600)
  - ☒ INSPIRE - GGS - Grid\_ETRS89-LAEA
  - ☒ INSPIRE - Adresy (AD) (1:28575)
  - ☒ INSPIRE - Územní správní jednotky (AU)
  - ☒ INSPIRE - Budovy (BU) (1:14287)
  - ☒ INSPIRE - Nadmořská výška (EL)
  - ☒ INSPIRE - Ortofotosnímky (OI)

Strukturované vrstvy

- ☐  Prohlížeč služba WMTS - Základní mapy ČR

1:1828804 20 km S-JTSK: Y=797312.32 X=866745.21 | ETRS89: B=51°35'6.59" L=13°17'45.08" | ETRS89-TM33: N=5716276.64 E=381935.32

Základní mapy ČR (WMTS) | MČR 2mil

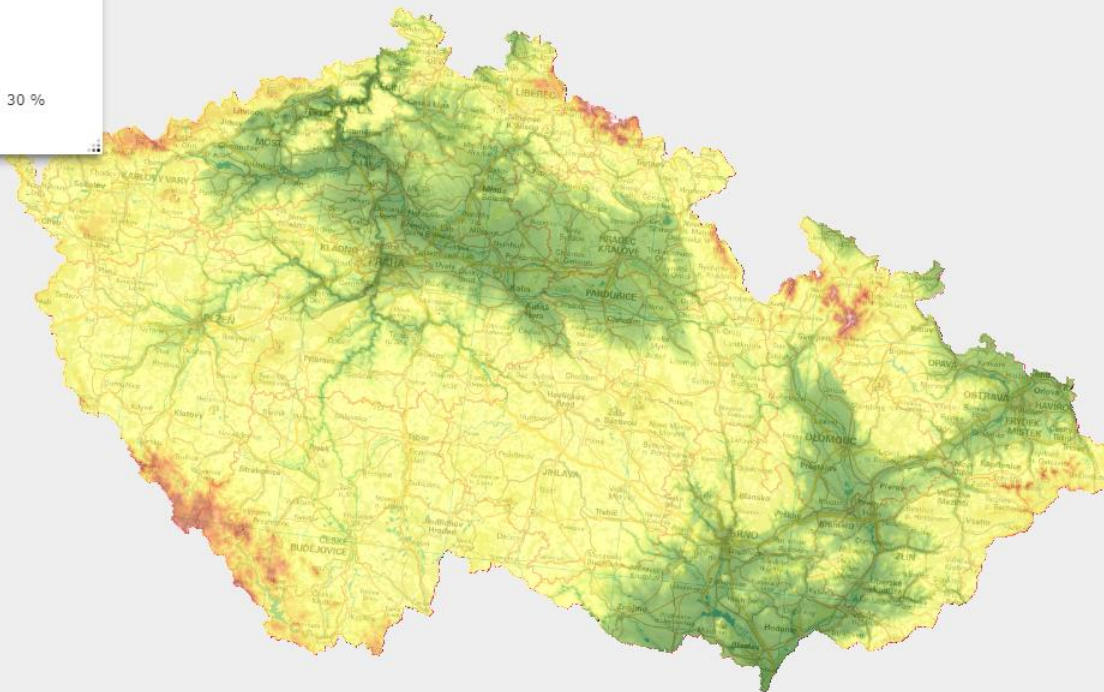
Zdroj výškopisných dat

DMR 4G DMR 5G DMP 1G

Obarvený stínovaný reliéf

Nastavení průhlednosti

30 %



60 km

Zapněte režim Výpis souřadnic bodu

DMR DMP

Map navigation and tool icons: Home, Layers, Full Screen, Print, Share, Info.

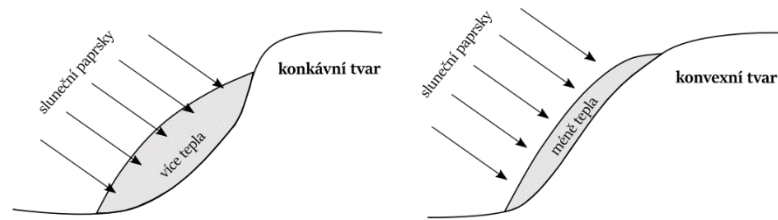
<https://ags.cuzk.cz/dmr/>

## Kartografické modelování



# Pilotní studie – Vliv tvarů reliéfu na tvorbu konvektivních bouřek (Ryglová, 2019)

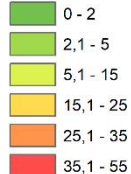
- Cíl - identifikace terénních tvarů, které mají největší vliv na vznik a vývoj atmosférické konvekce.
- **Teplotní vlivy** - potencionální spouštěcí mechanismy, které ovlivňují počáteční vliv konvekce.
- Větrné vlivy a orografické faktory - souvisí s obtékáním povrchu vzduchem.
- Souvisí s denním a ročním chodem teploty zemského povrchu.
- Nejvýznamnějšími faktory
  - sklonitost,
  - orientace,
  - zakřivení reliéfu
  - šířka údolí...



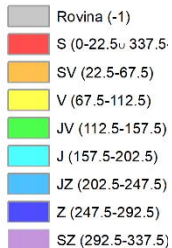


# Výpočty vybraných parametrů pro pilotní území - DMP1- analytické mapy

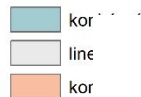
## Sklonitost [°]



## Orientace svahů



## Tvar svahu



— údolnice

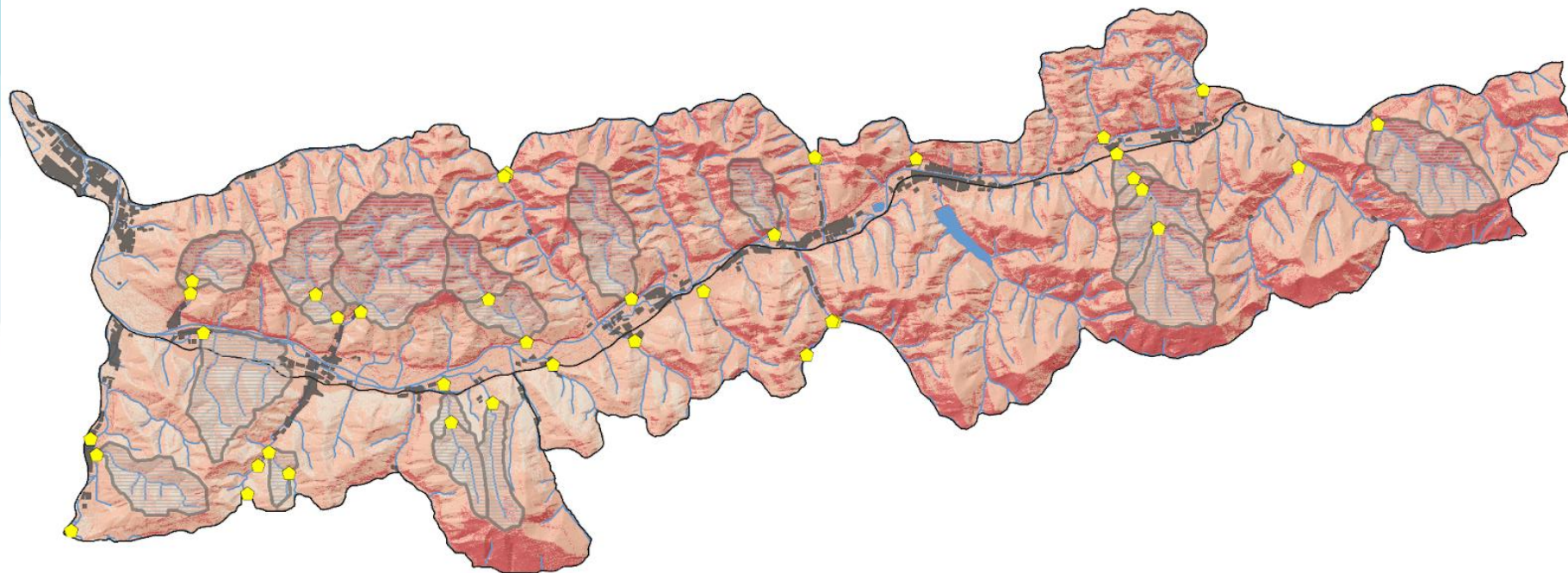
— hřbetnice

0 3 6 km

0 0.5 1 km





# Syntetická mapa




 kritické body

 vodní toky

 intravilán

 vodní plochy

 přispívající plocha kritických bodů

0 5 10 km

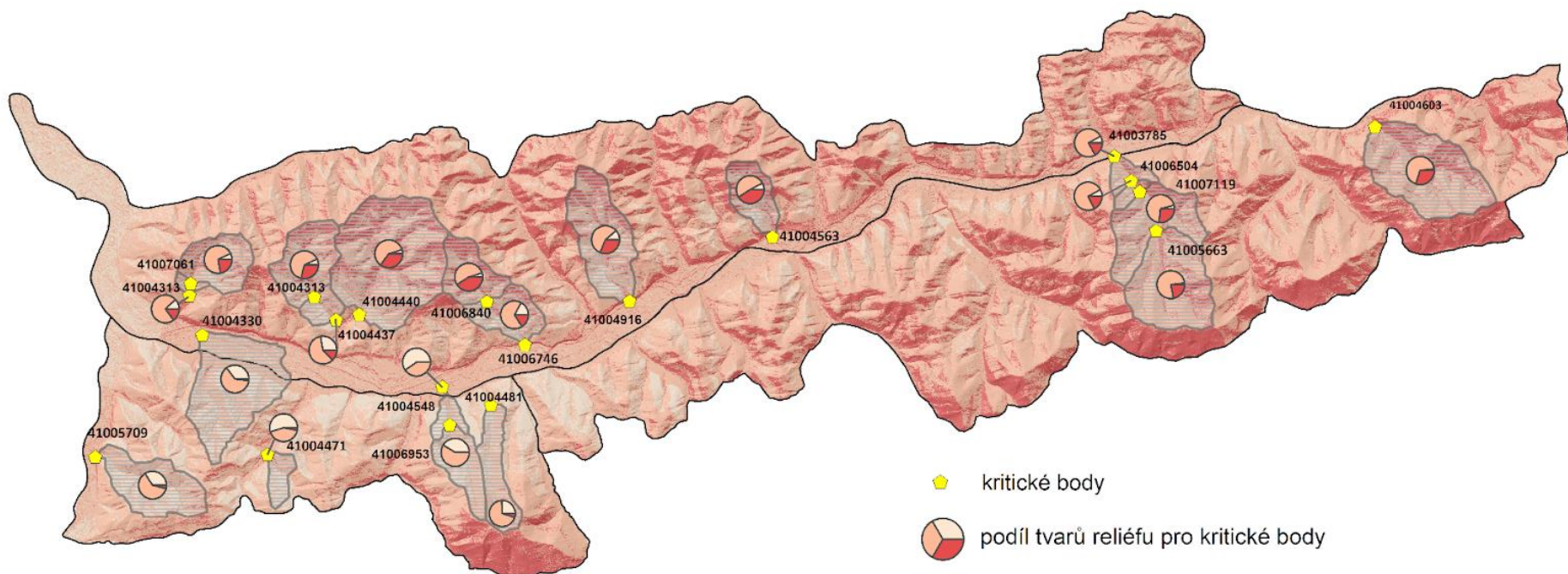
 vysoký vliv tvarů reliéfu



 střední vliv tvarů reliéfu

 nízký vliv tvarů reliéfu



# Verifikace výsledků



-  kritické body
-  podíl tvarů reliéfu pro kritické body
-  vysoký vliv tvarů reliéfu
-  střední vliv tvarů reliéfu
-  nízký vliv tvarů reliéfu
-  přispívající plocha kritických bodů
- 41201200 ID kritických bodů