

Topografické funkce

VEKTOR

RASTR

- Sklonitost
- Expozice
- Analýza viditelnosti
 - Viditelnost
 - Osvětlení (vizualizace)
 - Potenciální radiace
- Členitost terénu
- Morfometrické charakteristiky
- Profil
- Hydrologické analýzy

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 je:
 - dobrá reprezentace singulatur (hřbety a toky)
 - Hydrologicky korektní model (eliminace bezodtokých oblastí)
- Panuje shoda na použití kombinace doplňkových informací o singularitách a thin-plate splines interpolace v iterativního postupu od hrubšího po finální model, kdy jsou v každém kroku vyhodnoceny odtokové možnosti.
 - Popsáno Hutchinsonem (1988, 1996) jako **ANUDEM**
 - Implementace v ArcInfo **TOPOGRID**

DMT – Ještědský hřbet



Sklon (slope)

- Vychází z definice první parciální derivace povrchu (vektorů)
- Technicky řešeno pohybem okna 3x3 nebo 5x5 pixelů

$$d = \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{z_3 + z_6 + z_9 - z_1 - z_4 - z_7}{6 \cdot \Delta s}$$

$$e = \frac{\partial z}{\partial y} = \frac{z_1 + z_2 + z_3 - z_7 - z_8 - z_9}{6 \cdot \Delta s}$$

$$\text{SLOPE} = \arctan(\sqrt{d^2 + e^2})$$

Mnoho metod, ale všechny na stejném principu 1. derivace

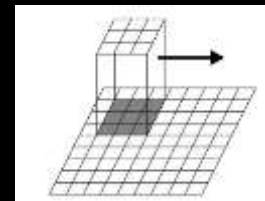
- Evans
- Zevenbergen-Thorn
- Pennock
- Evans – Yang
- Horn (1981) v ArcGIS



$$p = \frac{(z_3 + 2 \cdot z_6 + z_9) - (z_1 + 2 \cdot z_4 + z_7)}{8 \cdot \Delta s}$$

$$q = \frac{(z_1 + 2 \cdot z_2 + z_3) - (z_7 + 2 \cdot z_8 + z_9)}{8 \cdot \Delta s}$$

$$\text{SLOPE} = \arctan(\text{sqr}(p^2 + q^2))$$

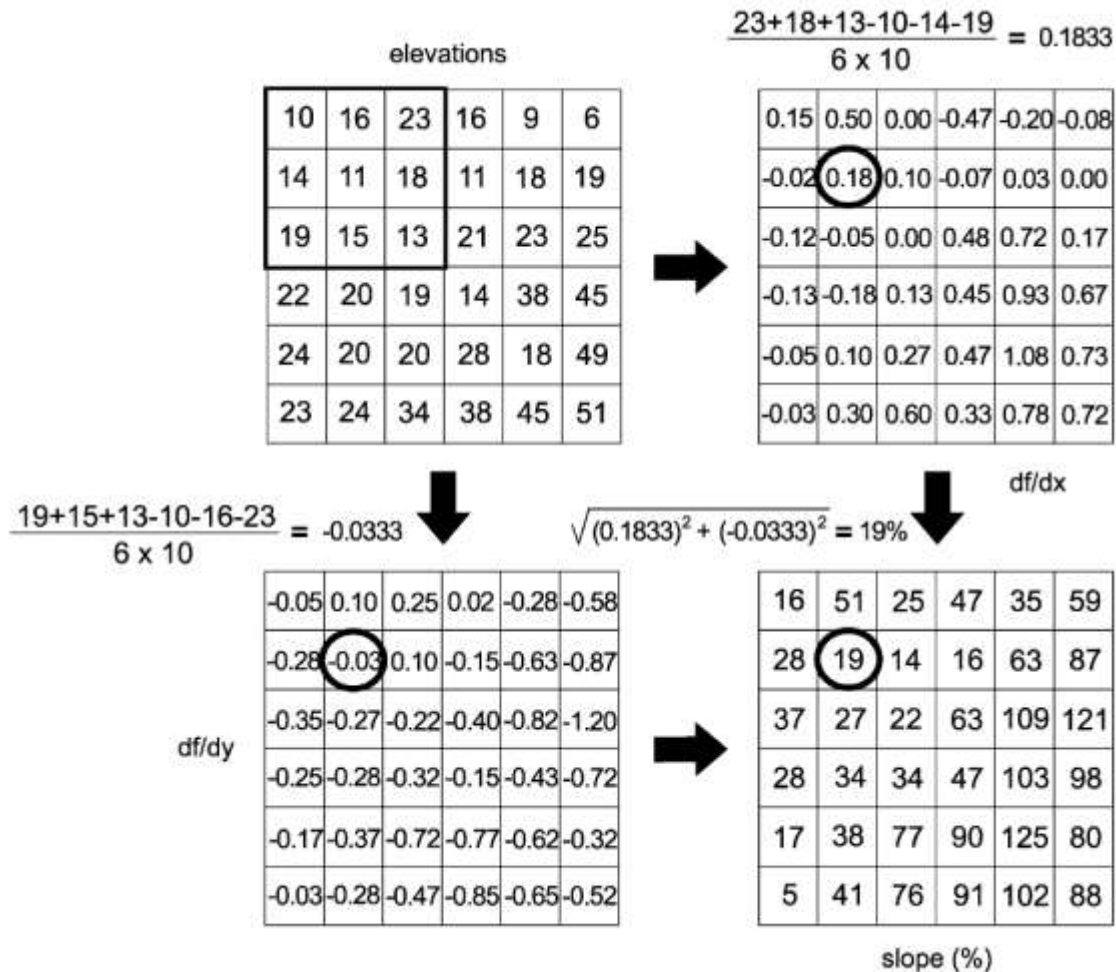


Realizace výpočtu pomocí fokální funkce

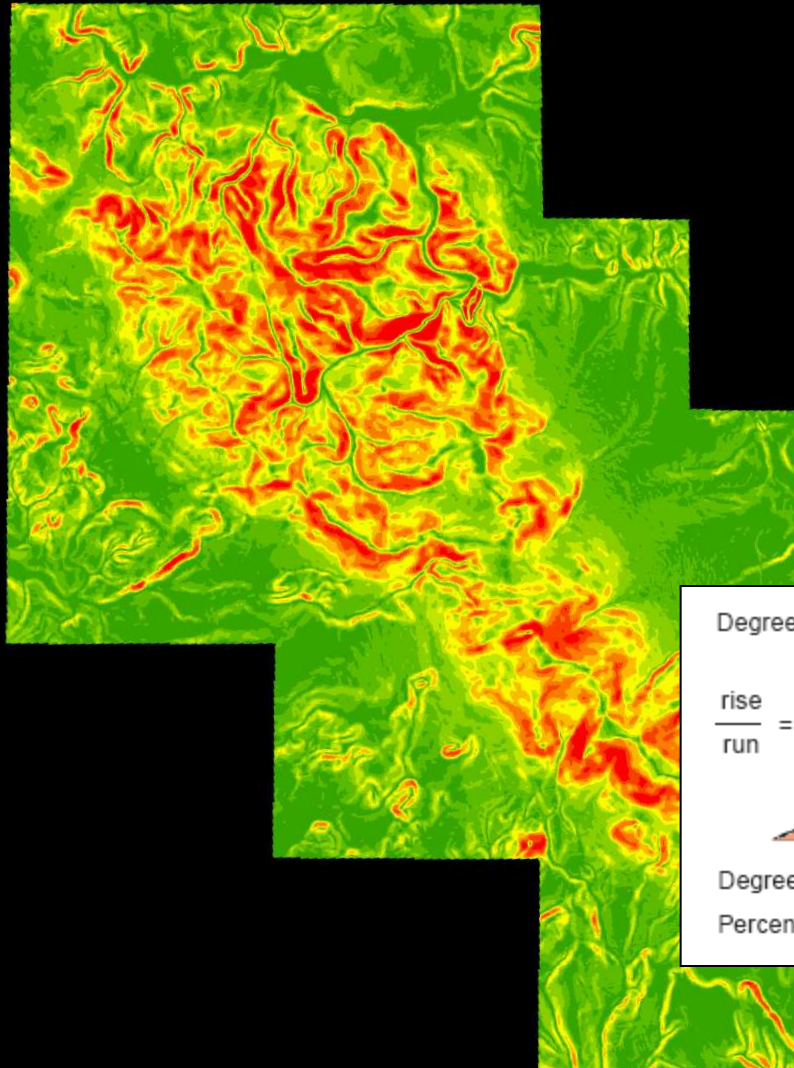
$\frac{1}{-6 \cdot \Delta s}$	0	$\frac{1}{6 \cdot \Delta s}$
$\frac{1}{-6 \cdot \Delta s}$	0	$\frac{1}{6 \cdot \Delta s}$
$\frac{1}{-6 \cdot \Delta s}$	0	$\frac{1}{6 \cdot \Delta s}$

$\frac{1}{-6 \cdot \Delta s}$	$\frac{1}{-6 \cdot \Delta s}$	$\frac{1}{-6 \cdot \Delta s}$
0	0	0
$\frac{1}{6 \cdot \Delta s}$	$\frac{1}{6 \cdot \Delta s}$	$\frac{1}{6 \cdot \Delta s}$

Výpočet sklonitosti



Sklon (slope) - ukázka



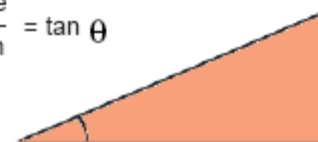
stupně

0 - 3.6
3.7 - 6.2
6.3 - 9.1
9.2 - 12
12.1 - 14.9
15 - 17.8
17.9 - 20.8
20.9 - 24.4
24.5 - 33.6

Degree of slope =

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

$$\frac{\text{rise}}{\text{run}} = \tan \theta$$



Degree of slope = 30

Percent of slope = 58



45

100



76

375

Surface area

- GIS měří planimetrickou (projektovanou) plochu do roviny, která v závislosti na členitosti terénu podhodnocuje reálnou velikost povrchu

- Nejjednodušší metoda odvození reálného povrchu je použití sklonu

$$A_{\text{surf}} = A_{\text{plan}} / \cos(\text{SLOPE})$$

(nahodnocuje reálný povrch)

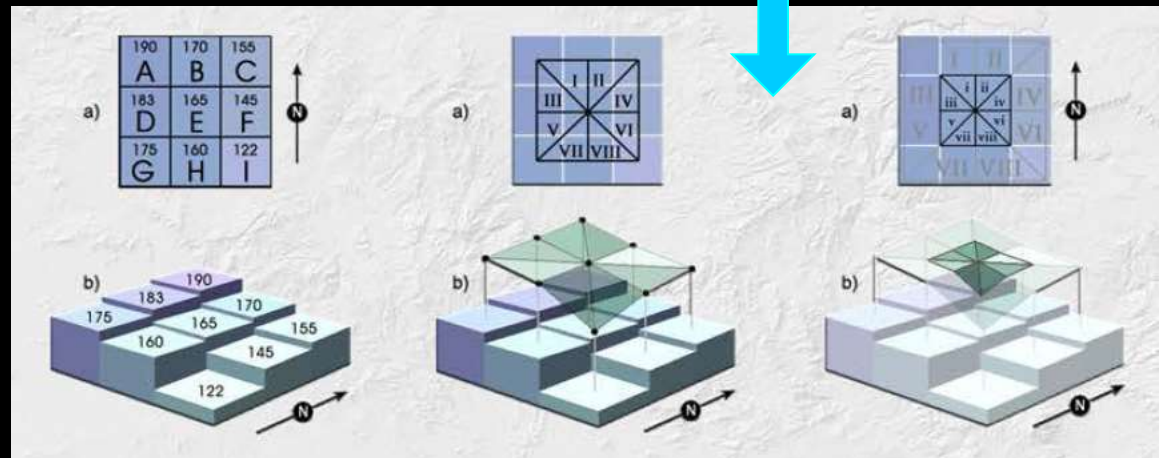
- Alternativní řešení:

- Jeness (2004); řešení pomocí převodu výšek mezi středy sousedních buněk 3x3 na trojúhelníky a výpočet jejich plochy (<http://www.jennessent.com>)

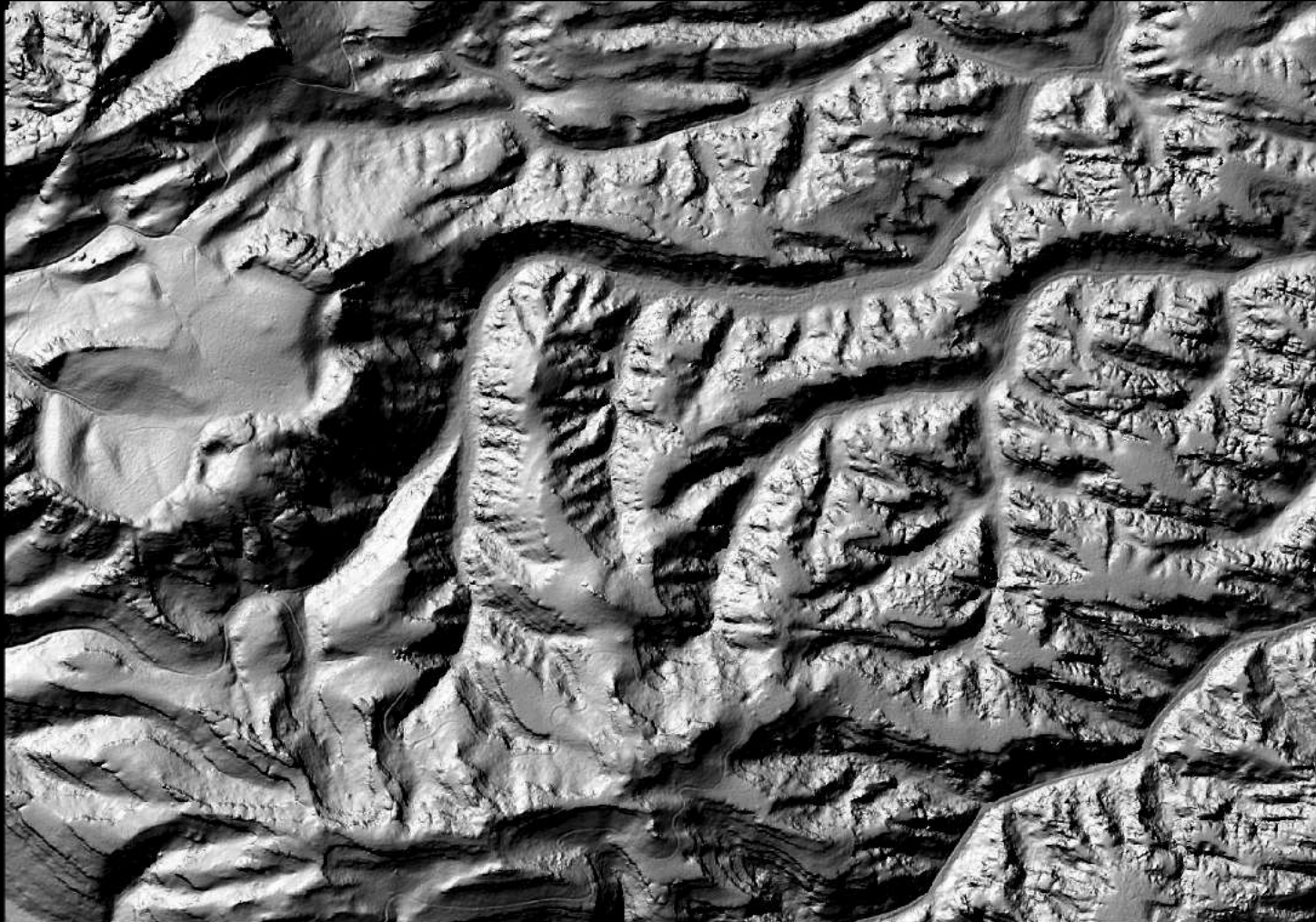
- Výpočet z TINu

Jen zdánlivě nejlepší

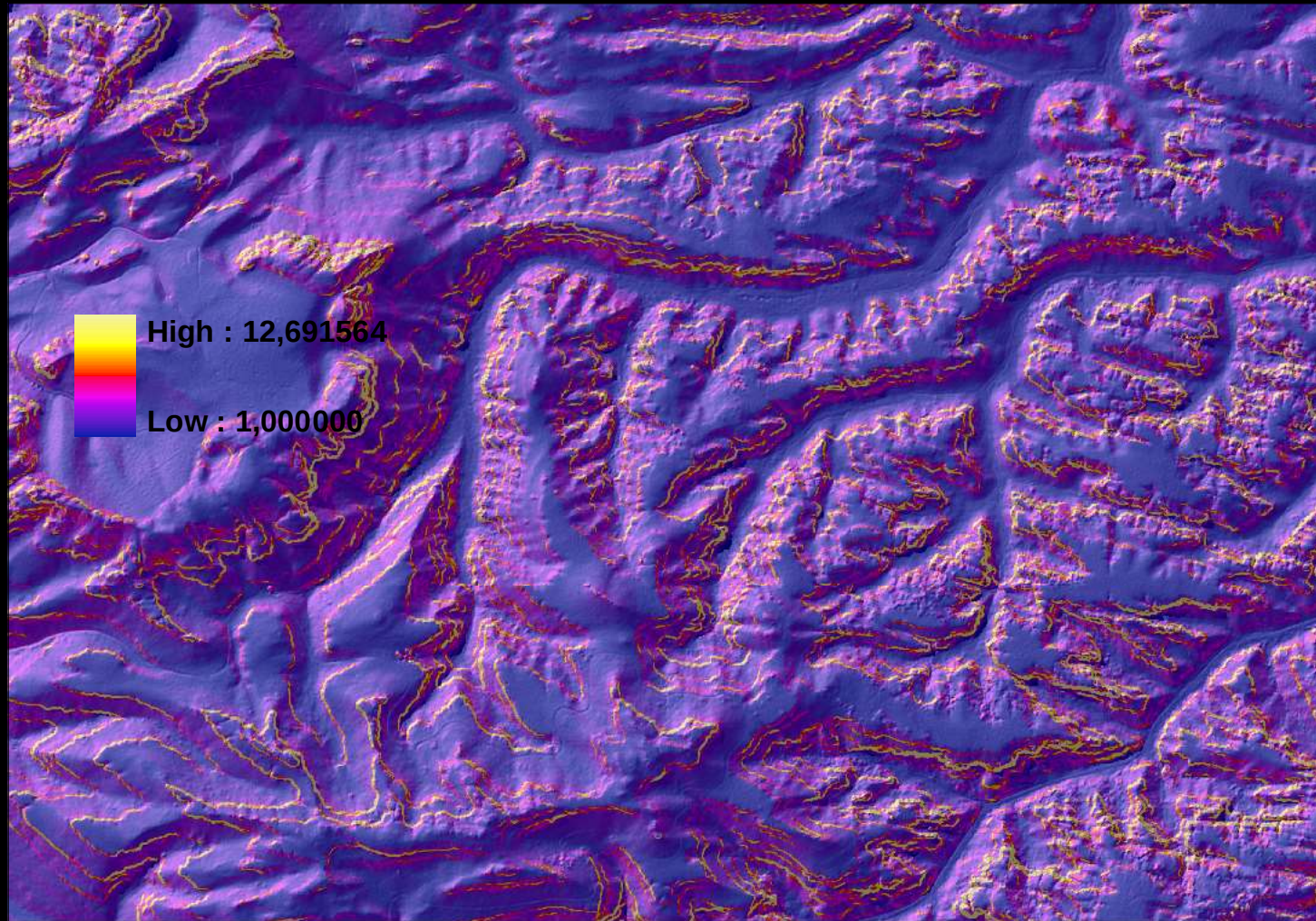
- Nejednoznačný algoritmus
- Omezení pro další analýzy (neighbourhood, surf. area ratio)



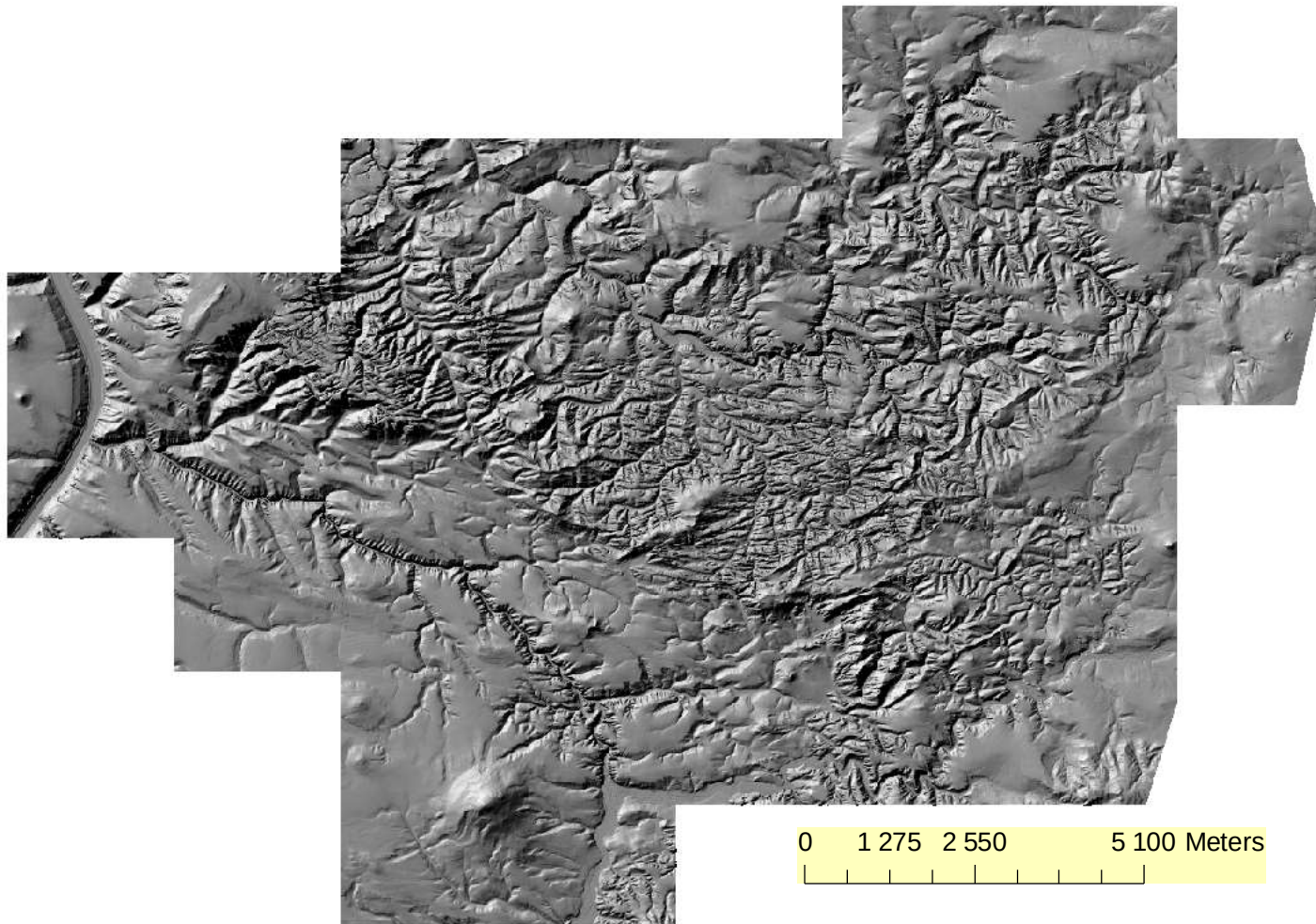
Surface area – 1 m DMT



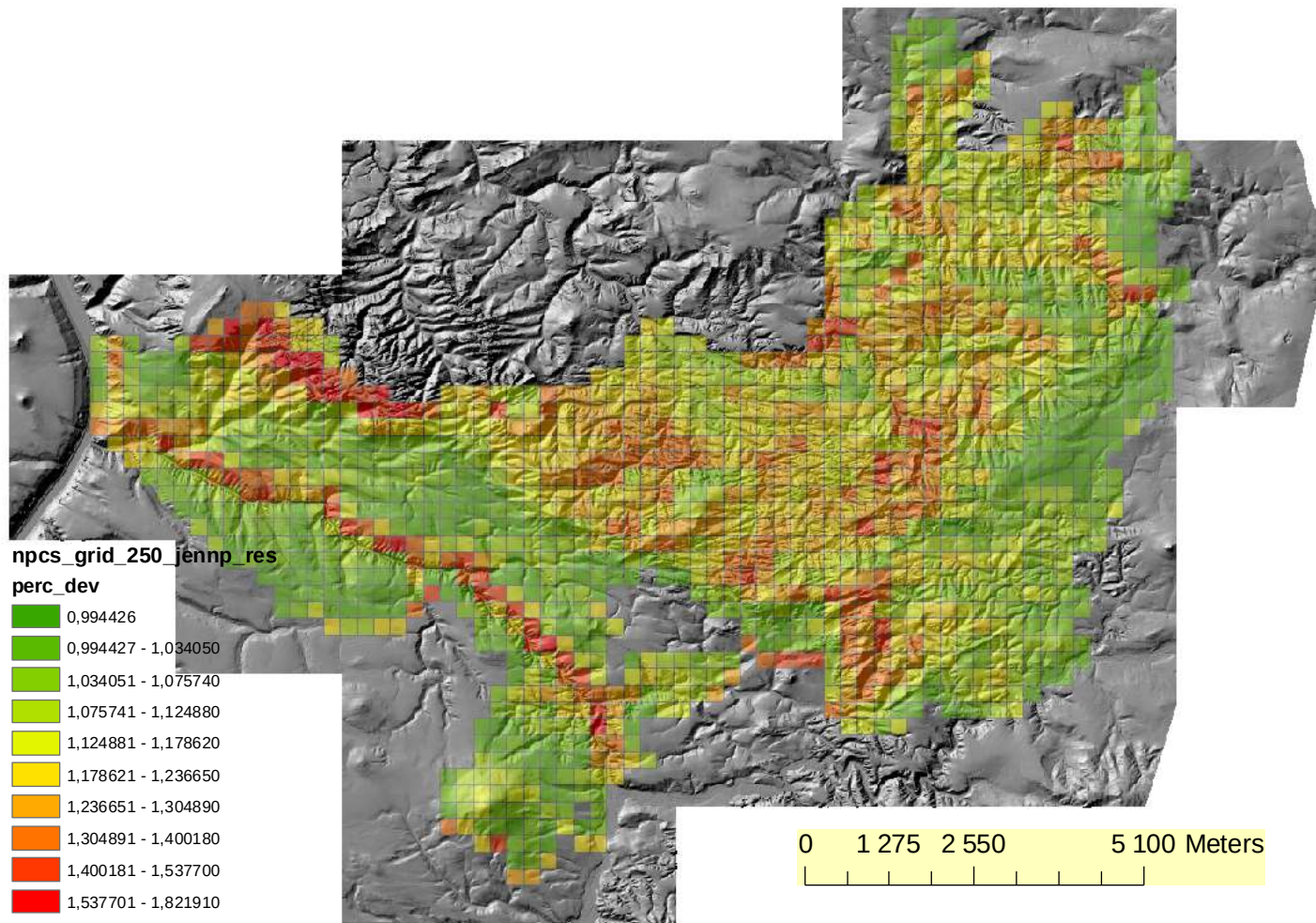
Surface area – 1 m DMT



Surface area



Surface area ratio



Expozice (aspect)

- Opět založeno na první derivaci ve dvou směrech x a y.
- Měřeno od severu (0°) ve stupních po směru hodinových ručiček

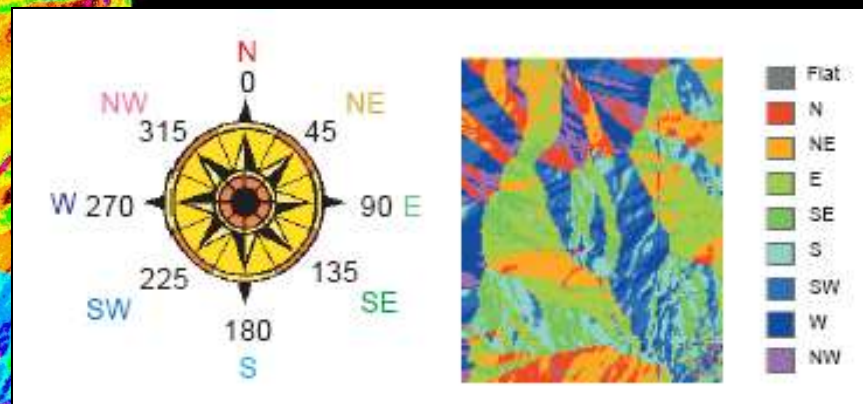
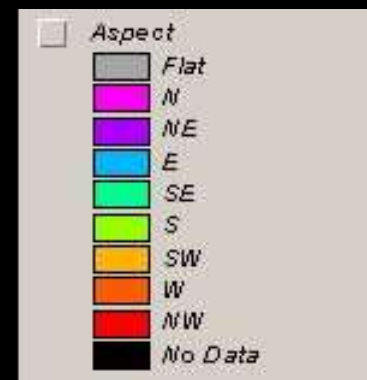
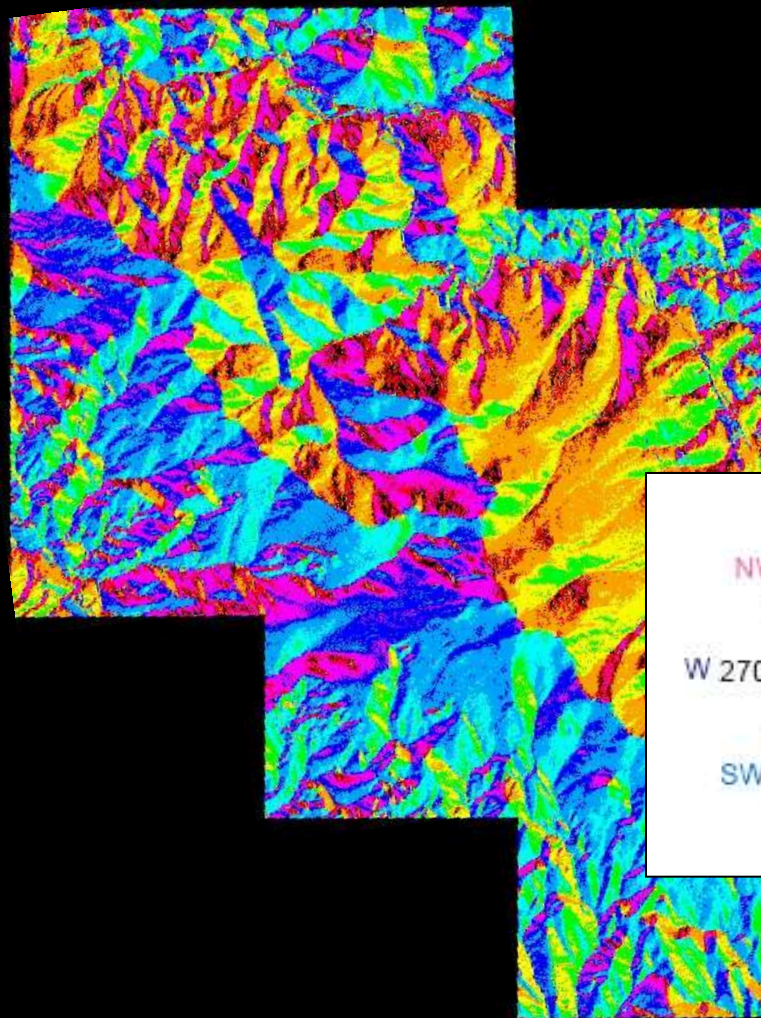
Gallant J.C. and Wilson J.P. (1996) Computers & Geosciences 22 (7), 713–722

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

$$p = \frac{\partial z}{\partial x}, \quad q = \frac{\partial z}{\partial y}$$

- Nejen pro určení orientace svahu, ale také základní algoritmus pro určení směru proudění v buňce – základ hydrologických analýz

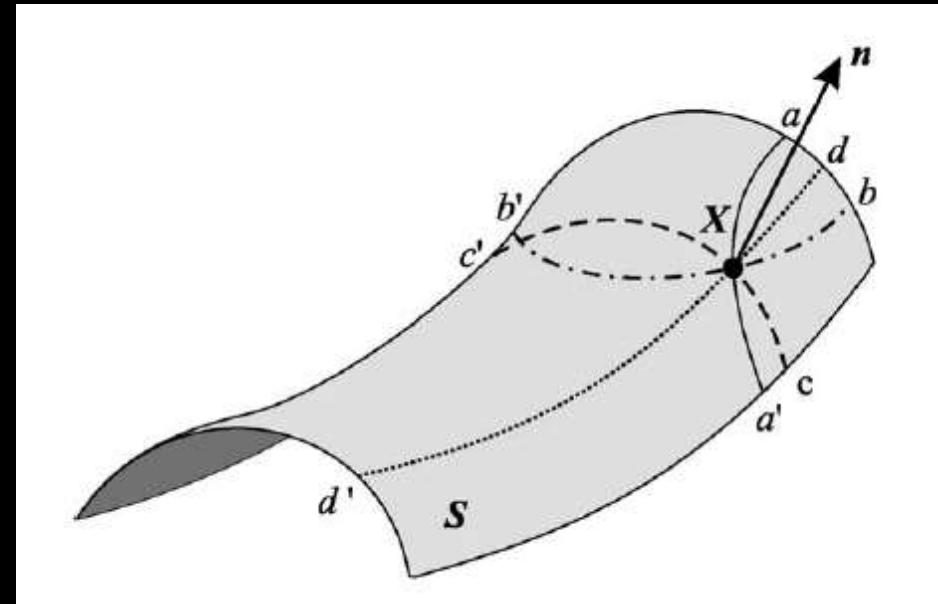
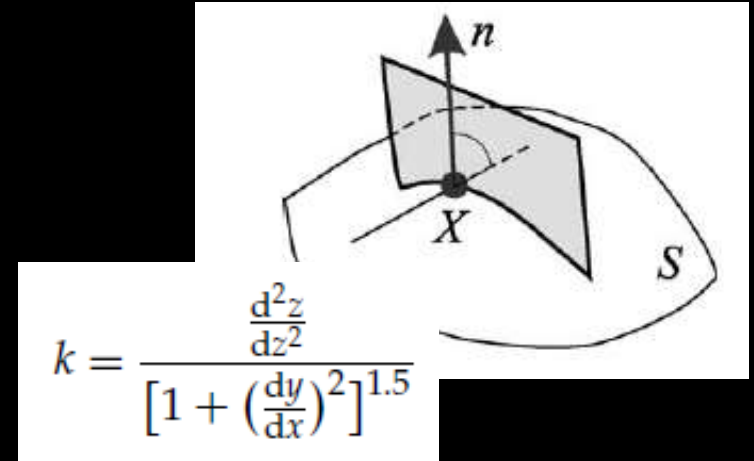
Expozice (aspect) - ukázka



Zakřivení (Curvature)

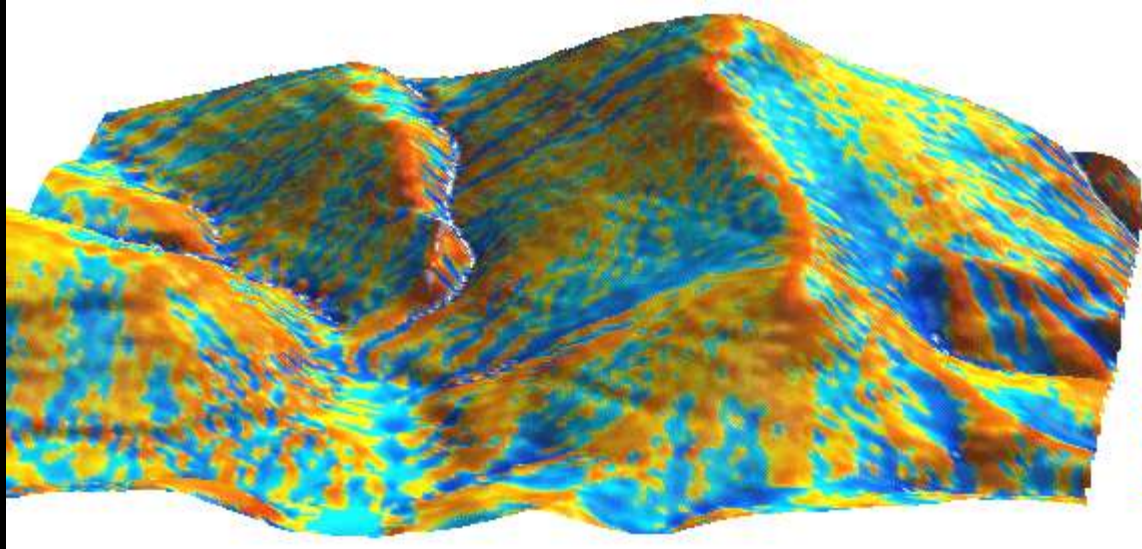
- Založeno na druhé derivaci změn povrchu
- Lze si představit např. jako křivku vzniklou průsečíkem roviny kolmé k povrchu a tohoto povrchu – záleží na směru roviny vzhledem k povrchu!!!
- Čtyři přirozené směry zakřivení
 - a) Profil (vertikální zakřivení) aa'
 - b) Tangenciální (horizontální) bb'
 -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

Na jejich základě definované další typy zakřivení

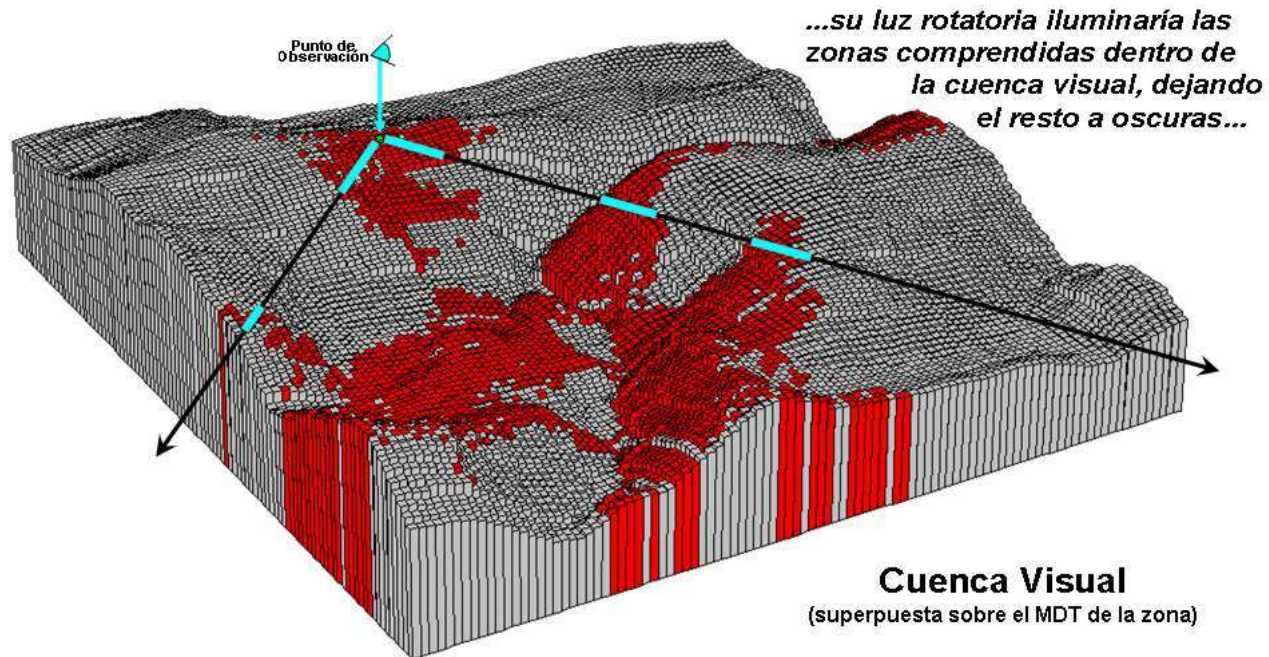
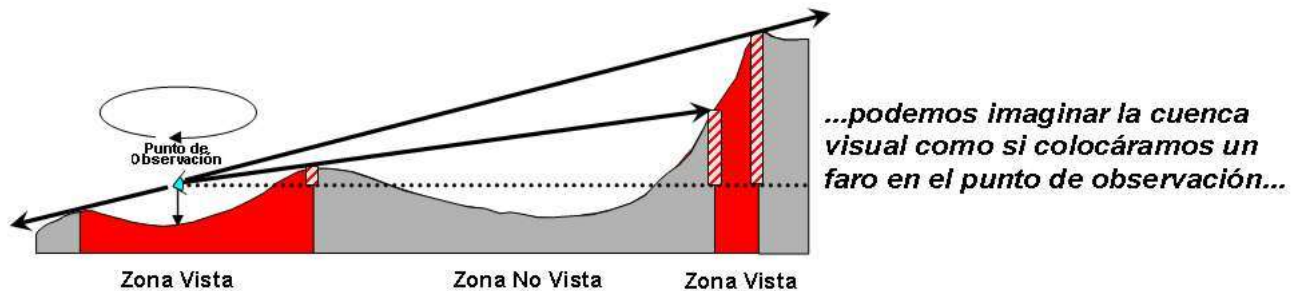


Zakřivení (ukázka)

- 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 propagulí apod.)



Viditelnost (viewshed)



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

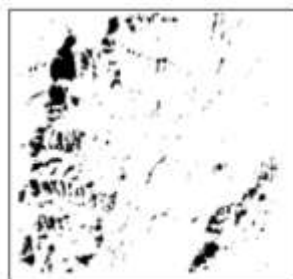
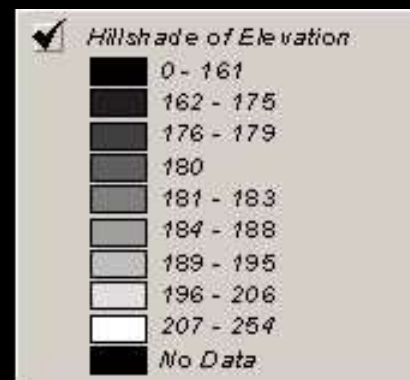
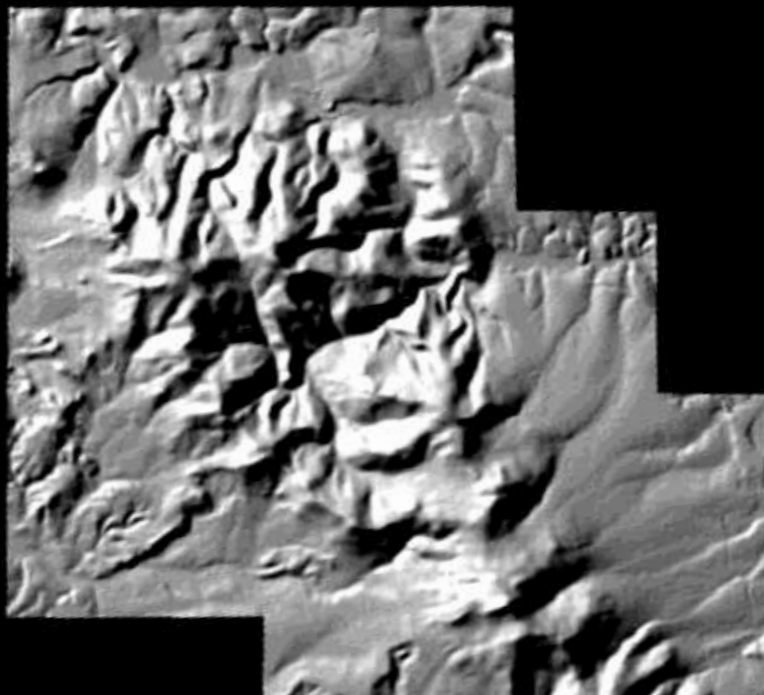
Hillshade = $255.0 * ((\cos(\text{Zenith_rad}) * \cos(\text{Slope_rad})) + (\sin(\text{Zenith_rad}) * \sin(\text{Slope_rad}) * \cos(\text{Azimuth_rad} - \text{Aspect_rad})))$

- Shary et al. (2005)
 Φ - azimut, θ – elevace
 a - expozice, s - sklon

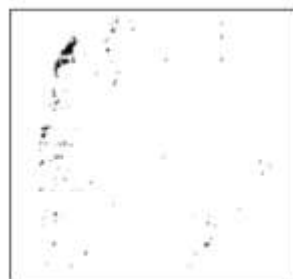
$$F = \frac{100 \cdot \tan(s)}{\sqrt{1 + \tan^2(s)}} \left[\frac{\sin(\theta)}{\tan(s)} - \cos(\theta) \cdot \sin(\phi - a) \right]$$

- Může být použito ale i pro jednoduchou analýzu zastínění terénu, při dané poloze slunce – předstupeň pro plnohodnotnou analýzu potenciální přímé sluneční radiace (PDSI)

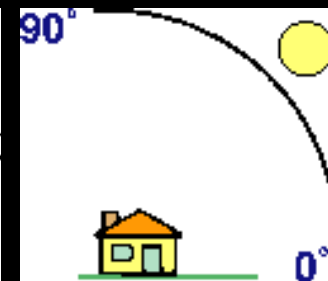
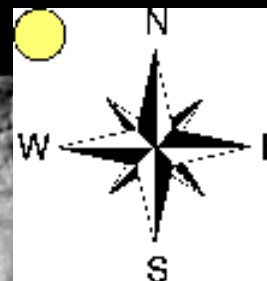
Osvětlení (hillshading) - ukázka



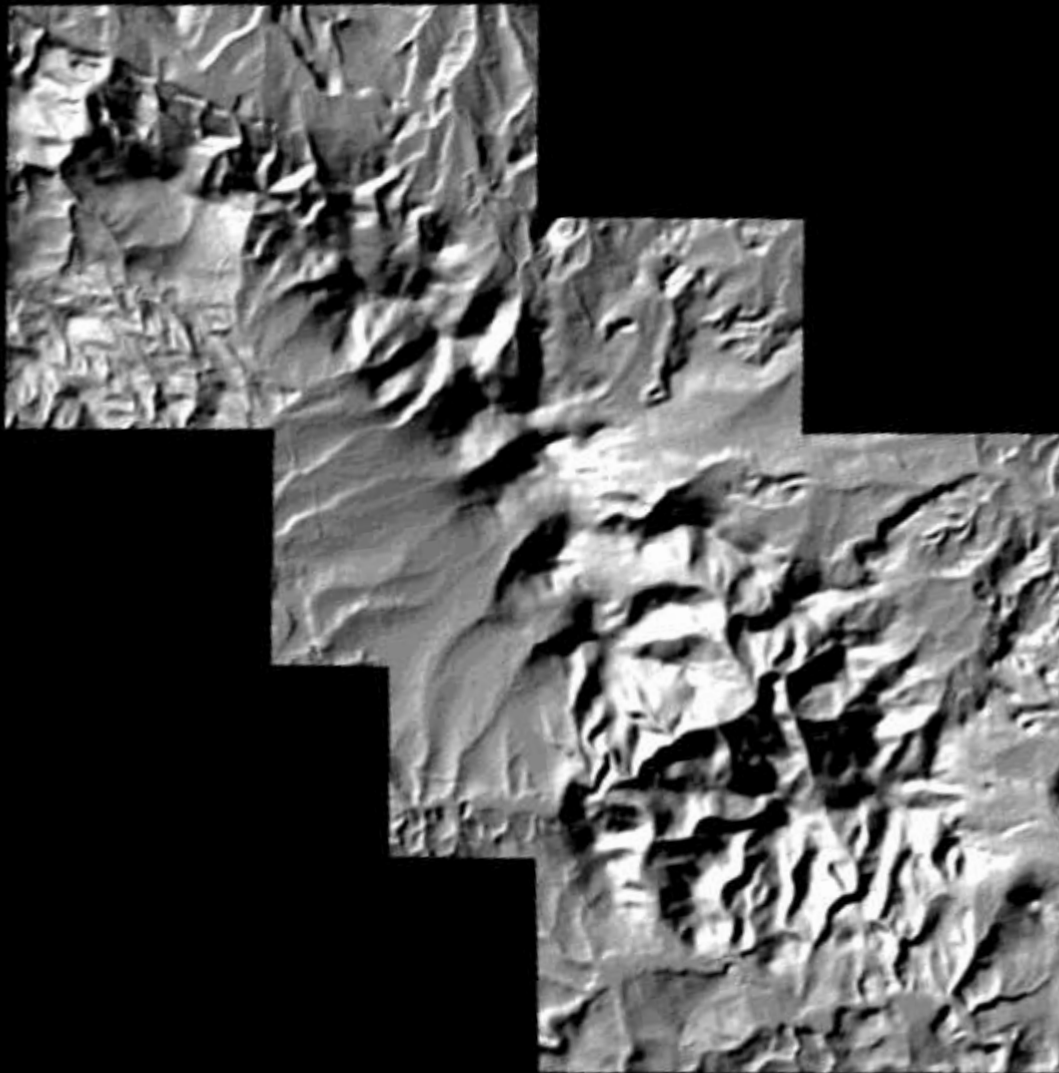
Sun angle: 45 degrees



Sun angle: 60 degrees



Osvětlení (hillshading) – otočeno 180°



Vizualizace DMT – podsvícení hillshadem

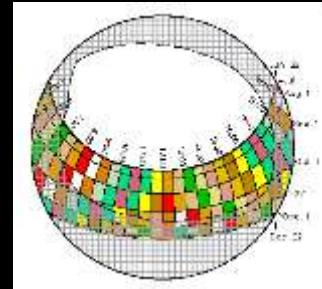
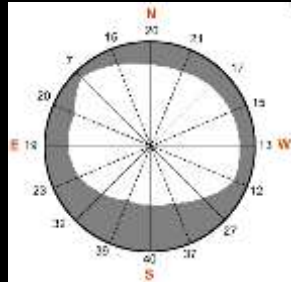
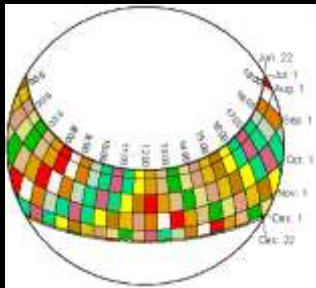
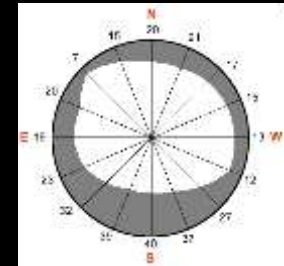
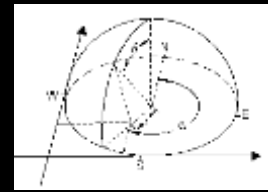
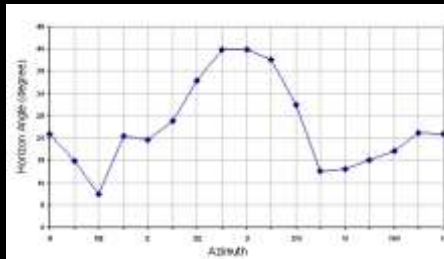
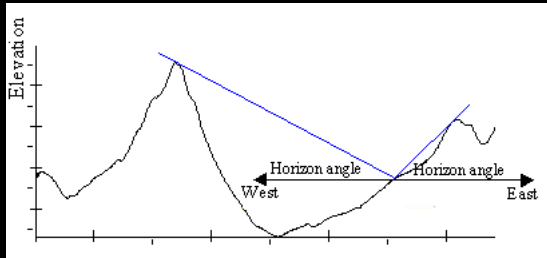


Potenciální solární radiace

- 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



Kombinace

- hemisférického zastínění a
- projektované dráhy slunce

Rich, P. M., R. Dubayah, W. A. Hetrick, and S. C. Savin. 1999. The Solar Analyst 1.0 Mars Global Topographic Data Set. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Technical Papers*, 524–529.

Fu, P., and P. M. Rich. 2000. The Solar Analyst 1.0 Mars Global Topographic Data Set. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Technical Papers*, 524–529.

Fu, P., and P. M. Rich. 2000. The Solar Analyst 1.0 Manual. Helios Environmental Modeling Institute (HEMI), USA.

Index tepelného požitku - Heat load index

- Potenciální přímá radiace je souměrná vzhledem k severo-jihní ose, tepelný požitek pro dané místo je ale rozdílný!!!

JZ svahy jsou nejteplejší a SV nejstudenější (odpařování rosy)

Původní výpočet nezohledňoval sklon

$$\text{Heat load index} = (1 - \cos(\theta - 45))/2$$

θ – expozice ve stupních od severu

Upravené rovnice těmito autory zohledňují sklon i zem. šířku; parametry fitovány mnohonásobnou regresí na tabelované hodnoty PDSI

McCune, B., & Keon, D. (2002). *Journal of Vegetation Science*, 13(4), 603-606.

McCune, B. (2007). *Journal of Vegetation Science*, 18(5), 751-754.

- Heat load index nezohledňuje zastínění lokality okolním terénem
- Zastínění terénem lze implementovat pomocí modifikace výpočtu PDSI natočením podkladového rastru, tak abych zvýhodnil JZ svahy

Členitost reliéfu – terrain roughness

- Standardní odchylka výšek v daném území
 - Silně závislé na velikosti analyzovaného území
- Surface roughness factor (Hobson 1972)
 - Normála ke každé buňce povrchu
- Surface ratios: Skutečná plocha/projektovaná plocha
 - Například postupem podle Jenesse (2004) viz předchozí slide
- Další možnosti založeny na fitované varianci pomocí krigingu
 - Členitý povrch -> malá autokorelace -> velký nugget
 - Hladký povrch -> velká autokorelace -> malý nugget
- Míra fraktální dimenze

$$SRF = \frac{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n Z_i\right)^2}}{n}$$

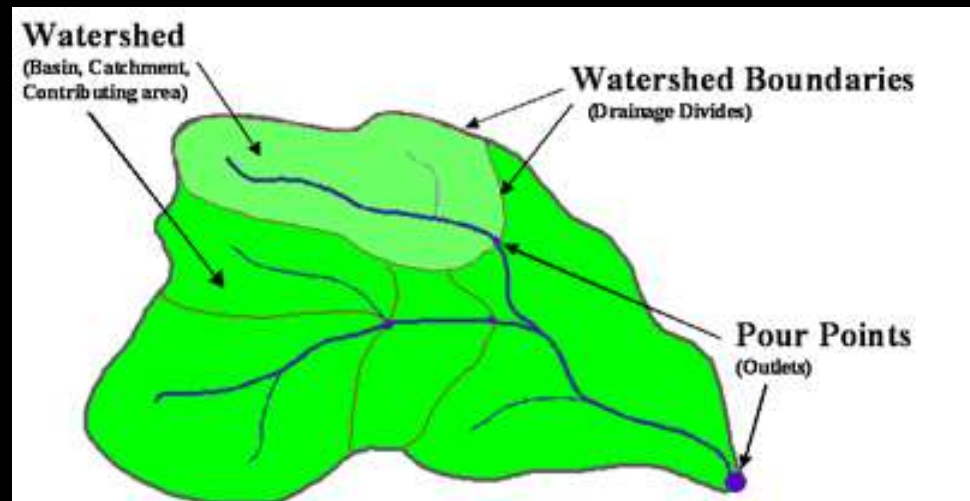
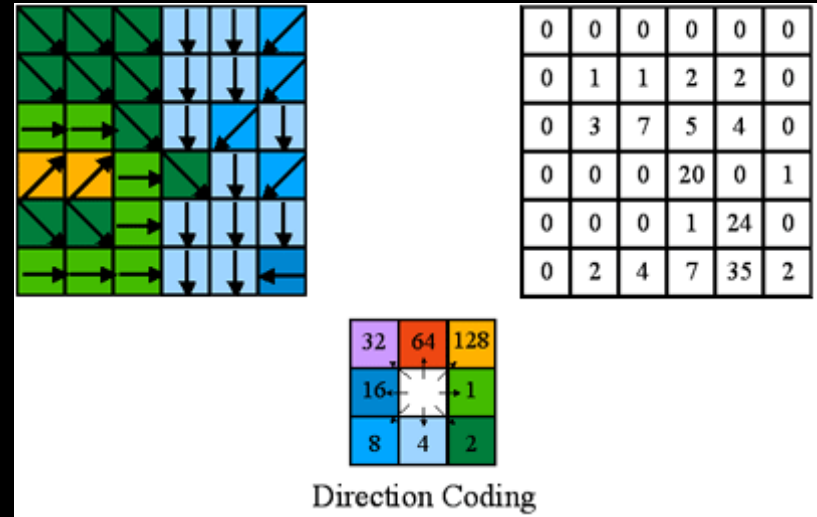
$$X_i = \sin(s) \cdot \cos(a)$$

$$Y_i = \sin(s) \cdot \sin(a)$$

$$Z_i = \cos(s)$$

Hydrologické analýzy

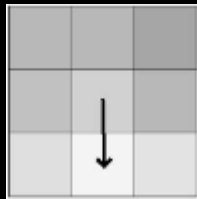
1. Příprava DMT
 - fill sinks
2. Směr proudění (Flow direction)
3. Akumulace (Flow accumulation)
4. Definování toků (Channel network)
5. Povodí (Catchment area)



Hydrologické analýzy – flow direction

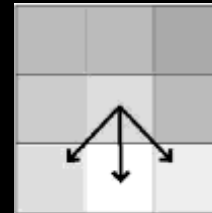
- Směr proudění, mnoho algoritmů, v zásadě dvě skupiny:
 1. Ze zdrojové buňky proudí vždy do jedné další
 2. Ze zdrojové buňky může proudit do více buněk (2 – 8 sousedních)

Výběr metody zásadně ovlivňuje všechny další odvozené parametry
např. Kopecký, M., & Čížková, Š. (2010) *Applied Vegetation Science*, 13(4)



D8 – největší gradient (O'Callaghan and Mark, 1984)

Rho8, KRA



$$d_{NBi} = \frac{\tan(\beta_{NBi})^v \cdot L_{NBi}}{\sum_{j=1}^8 (\tan(\beta_{NBj})^v \cdot L_{NBj})}$$

FD8 (Freeman 1991)

TOPMODEL (Quinn et al. 1991)

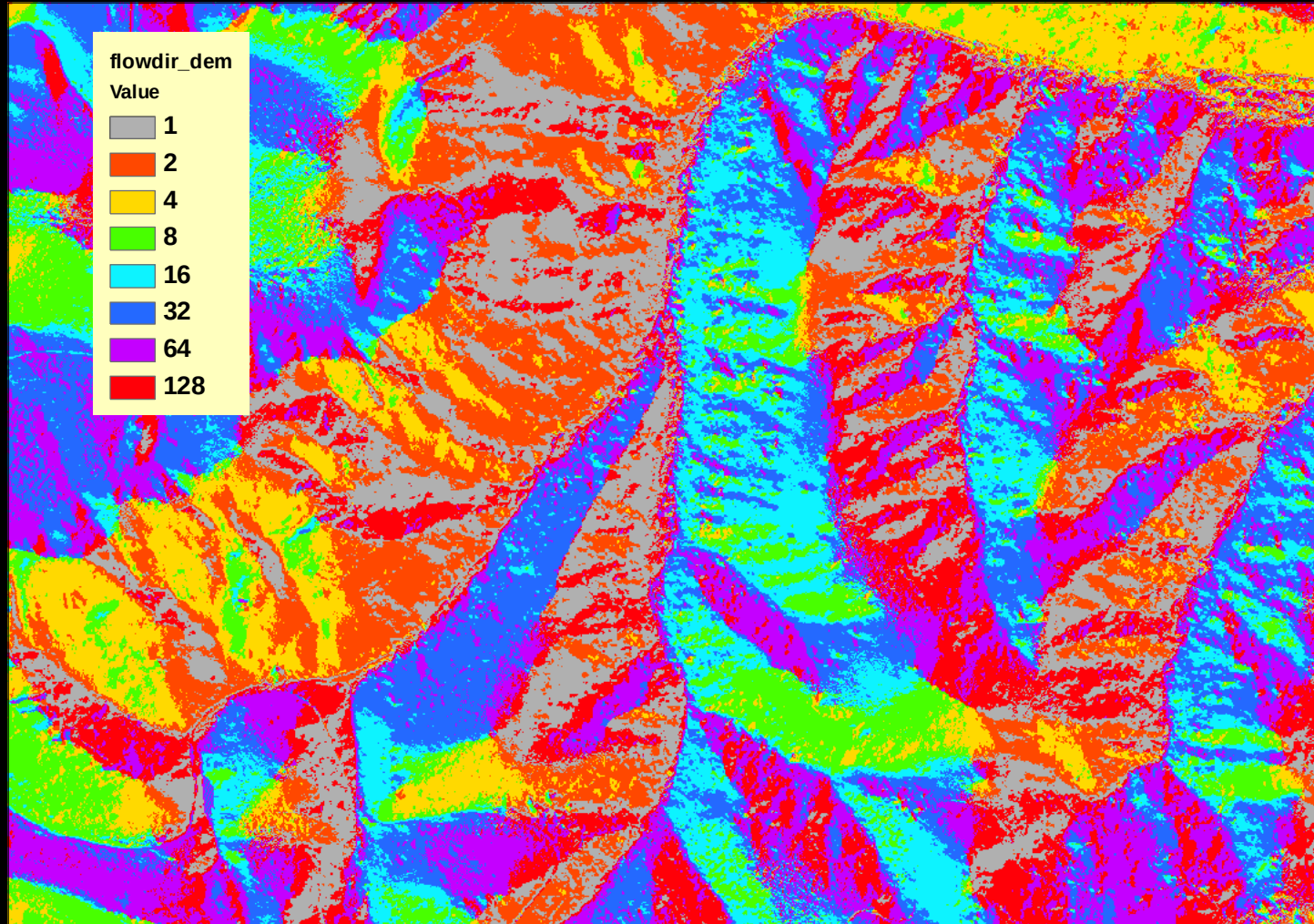
D_{∞} (Tarboton 1997)

a další

DEM příklad



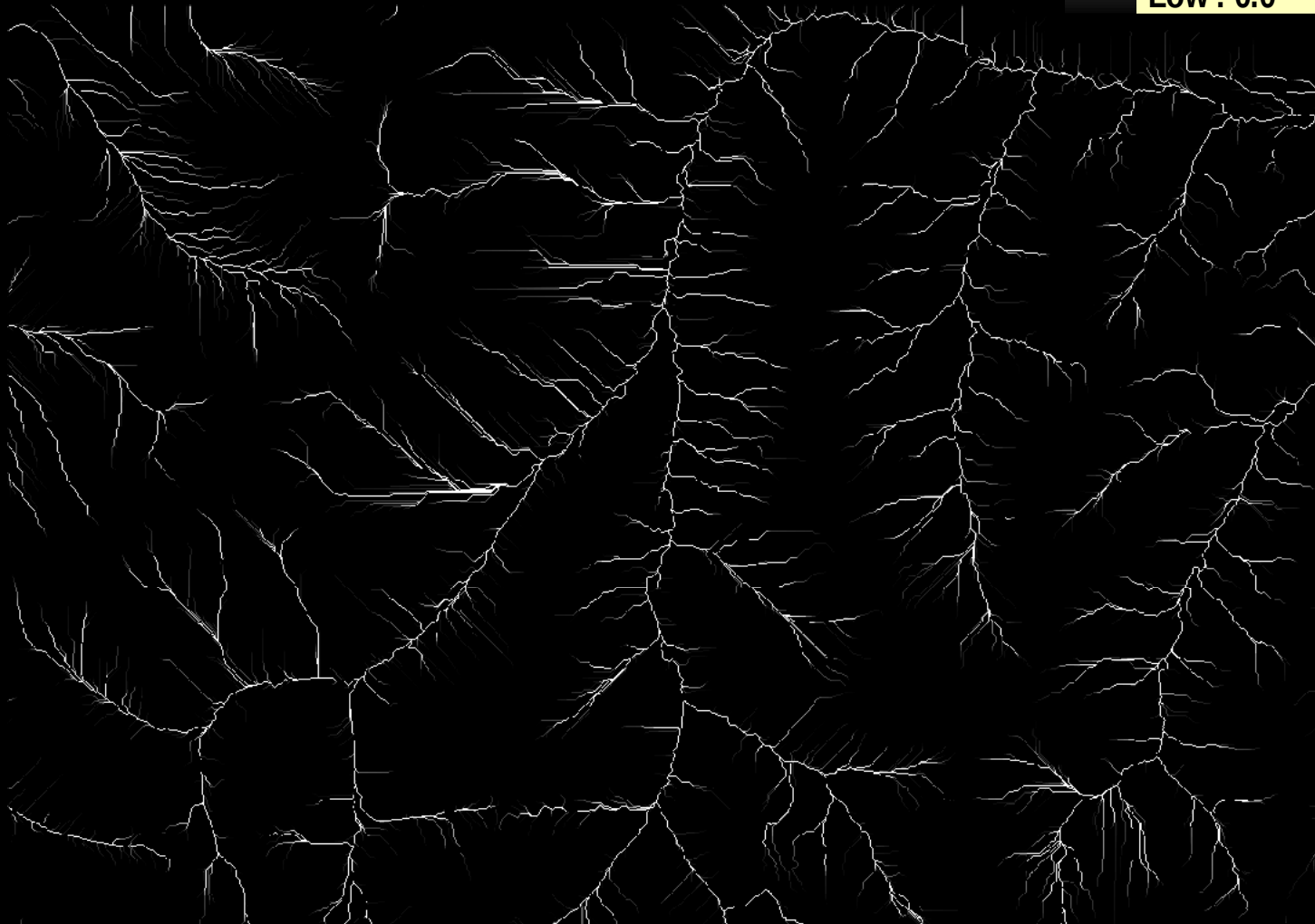
Flow direction



Flow accumulation

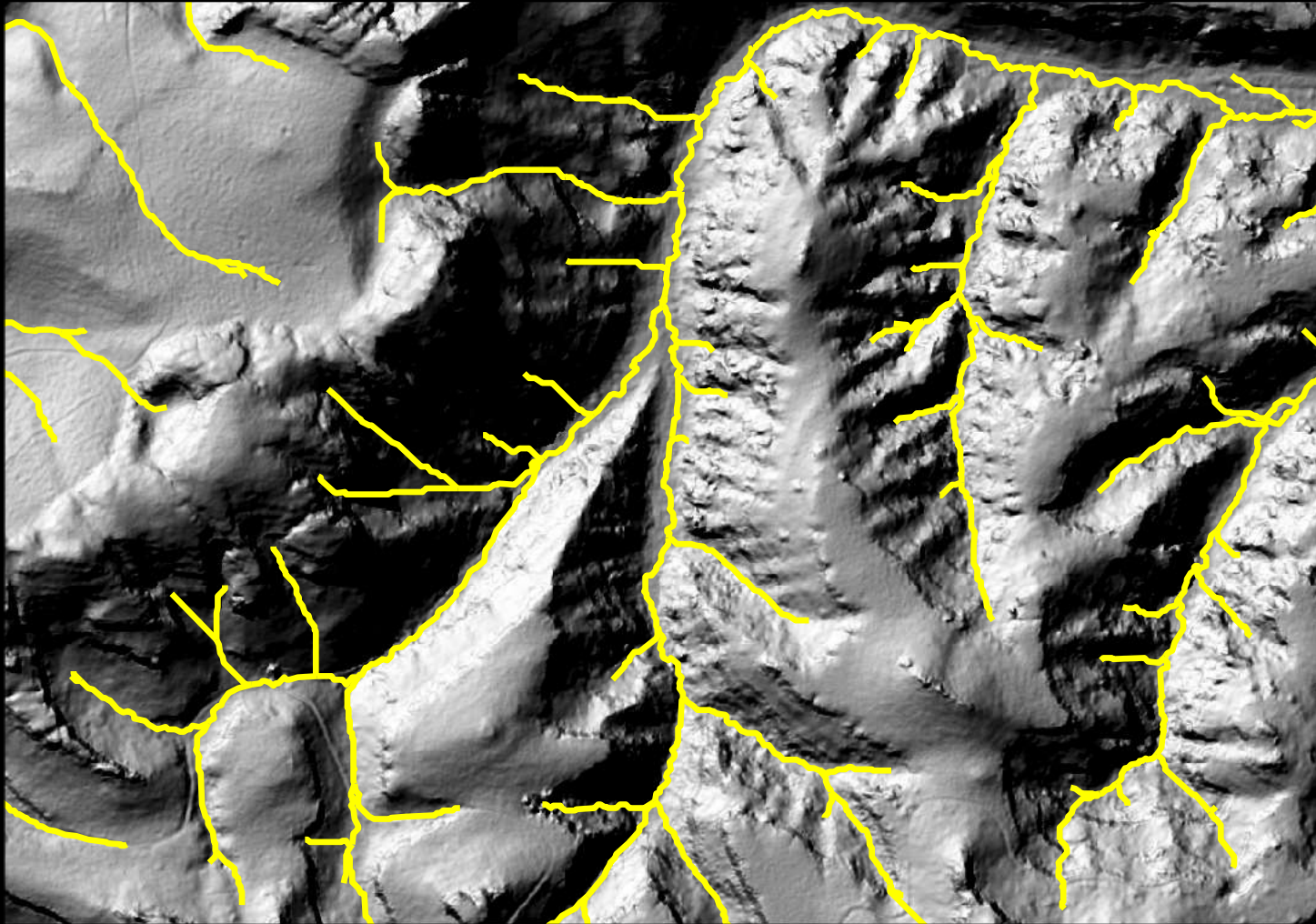
High : 80477080

Low : 0.0

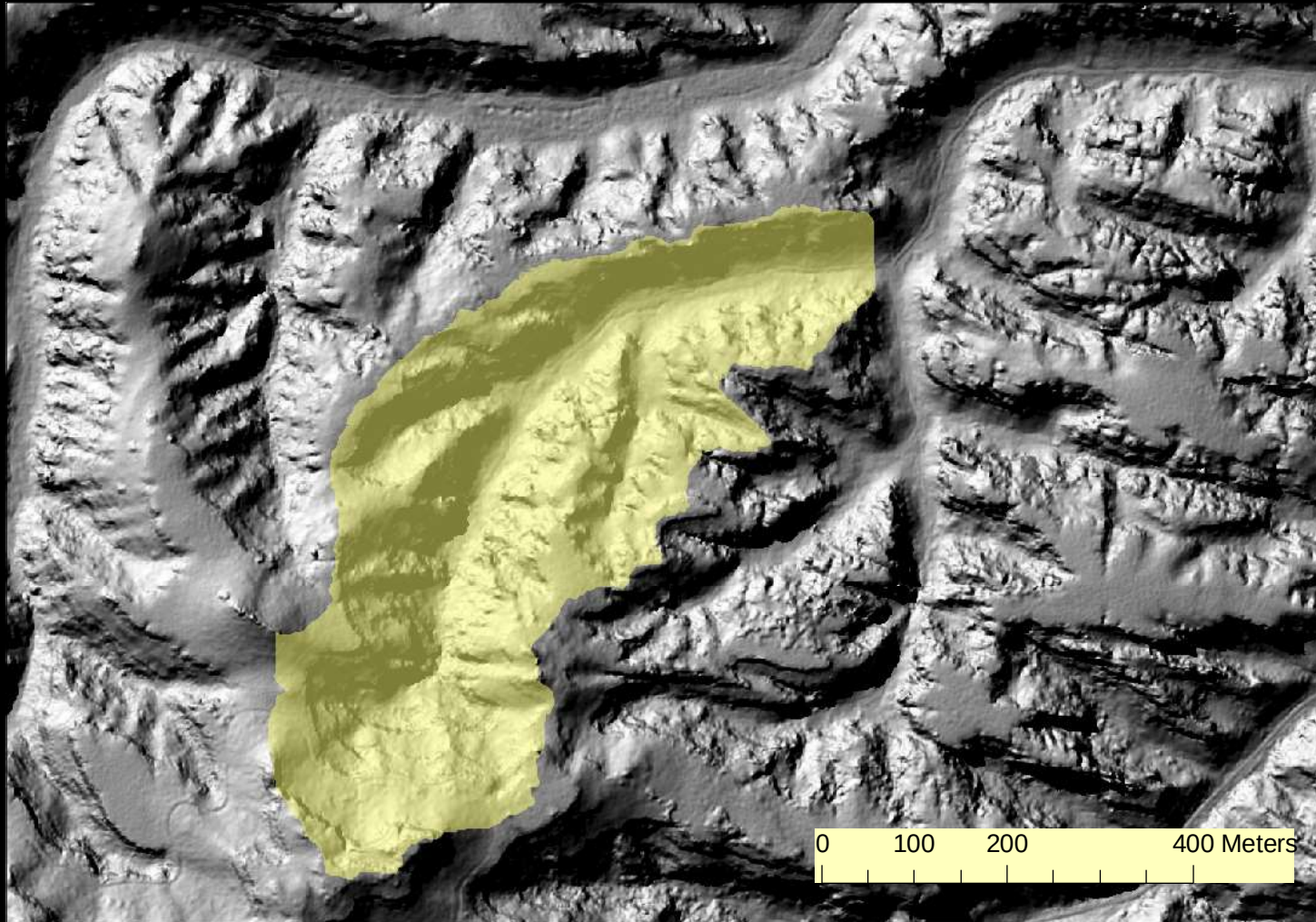


Flow accumulation = contributing area = upslope area

Channel network



Povodí – Catchment area



Odvozené parametry z hydrol. analýz

- Topografický vlhkostní index – TWI

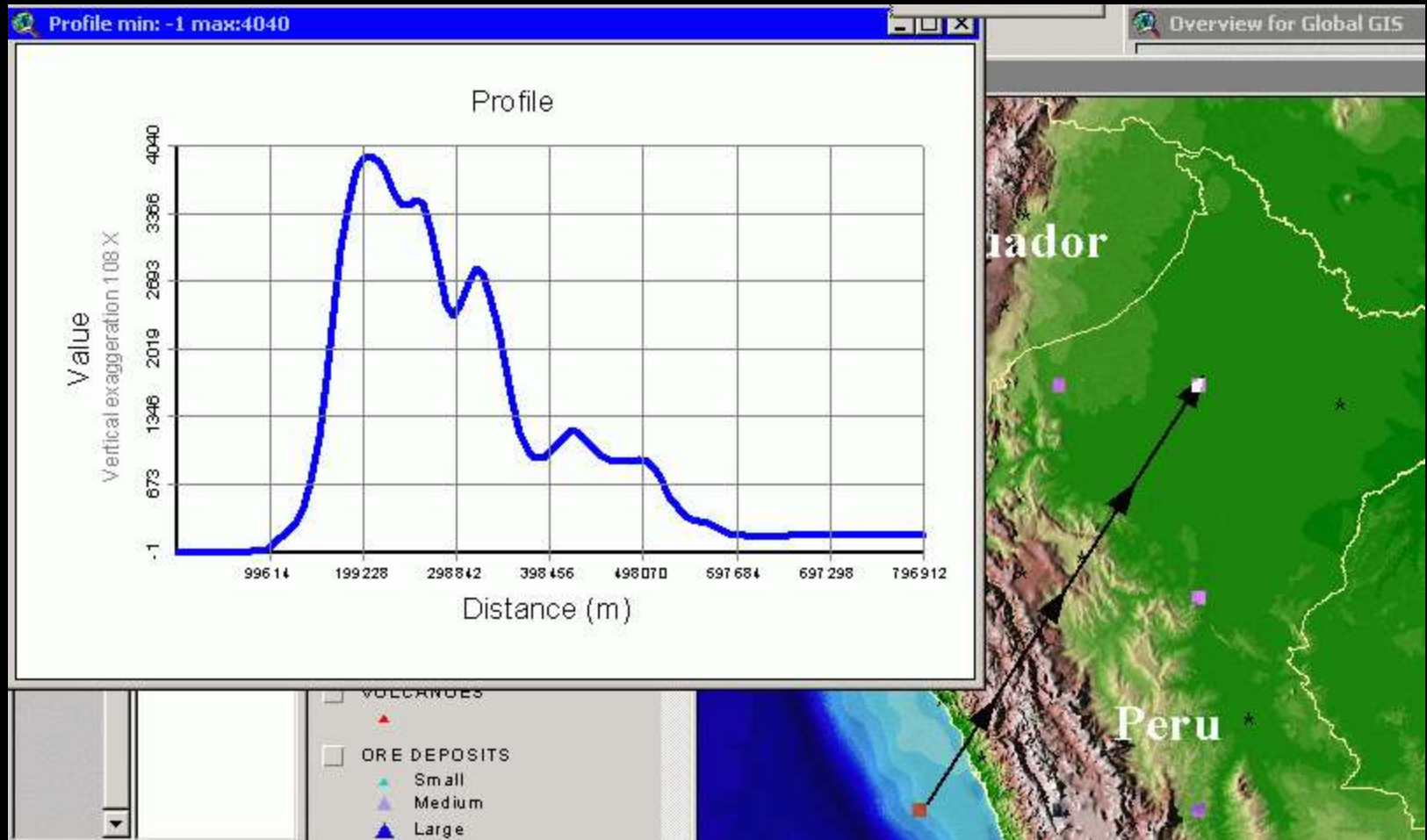
Závislý na sklonu v buňce β a přilehlém povodí (contributing area - CA)

$$TWI = \ln(CA/\tan \beta)$$

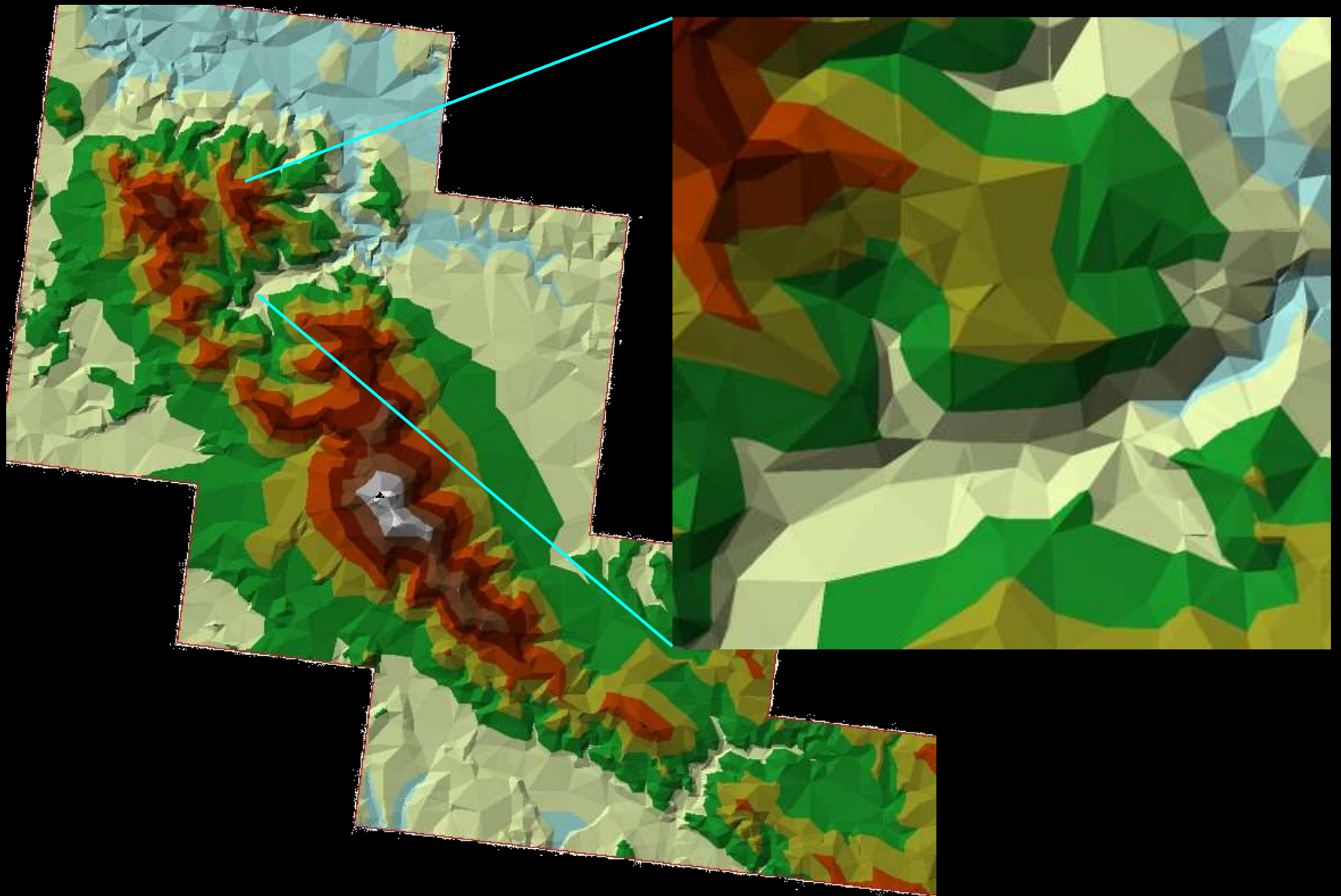
Alternativní varianta tzv. SAGA wettness index (SWI)– reálnější vlhkosti v blízkosti toků.

Použití TWI např.: Kopecký, M., & Čížková, Š. (2010) *Applied Vegetation Science*, 13(4)

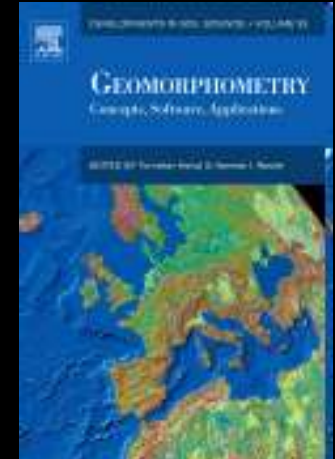
Profile



TIN



Literatura a software



- Hengl T. et Reuter H.I. [eds.]: 2007. Geomorphometry, Volume 33: Concepts, Software, Applications (Developments in Soil Science)
- Wilson, J.P., Gallant, J.C. (Eds.), 2000. Terrain Analysis: Principles and Applications. Wiley, New York, 303 pp.
- Zhou, Q., Lees, B. & Tang, G. (eds.) Advances in digital terrain analysis. pp. 213–236. Springer, Berlin, DE.
- Kopecký, M., & Čížková, Š. (2010). Using topographic wetness index in vegetation ecology: does the algorithm matter? *Applied Vegetation Science*, 13(4)
- SAGA GIS <http://www.saga-gis.org>
- ArcGIS (Spatial Analyst, 3D Analyst, Jenness extension)
- Surfer 10
- LandSerf <http://www.landserf.org/>
- MICRODEM
- WhiteBox GAT (dříve TAS GIS)
<http://www.uoguelph.ca/~hydrogeo/Whitebox/index.html>

3D vizualizace

