

ZDROJOVÁ DATA PRO DMR

- Faktory ovlivňující kvalitu dat DMR: metoda sběru, metoda vzorkování, přesnost výškové složky dat
- Primární zdroje: pozemní měření (v horách to nepude, geodetická měření, GPS, RTK) / letecké snímkování (kvalitní DMR velkých měřitek) / družice (SPOT, IKONOS, radary)
- Sekundární zdroje dat: topo mapy (ZABAGED, DMU), přesnost ½ intervalu původních vrstevnic
- Metody sběru dat:
 - Fotogrammetrie: dvojice leteckých nebo družicových snímků se stereoskopickým překryvem 60–80 %, vlícování (určení prvků vnitřní a vnější orientace), letadlo kvalitní a družice v metrech
 - Geodetické měření: přesné, pracné, pomalé, data přímo použitelná, singularity
 - Radarová interferometrie: rozdíl fáze dvou radarových signálů (dva radary zároveň, jeden radar a dvě pozice, jeden nosič a dvě antény ve známé vzdálenosti od sebe <- SRTM ///SINGLE-PASS, REPEAT-PASS
 - -> interferogram ke zjištění relativních výškových rozdílů bodů na snímcích -> vlícovací body a převod na absolutní hodnoty
 - Diferenční interferometrie: rozdíl dvou interferogramů, přesnost na cm, detekce sesuvů
 - Radarová altimetrie: radarové echo jako časový signál mezi vysláním a přijetím a jako signál modifikovaný povrchem
 - Laserové snímání: 2009–2012, ZÚ v Pardubicích + Dobruška, S-JTSK 2x2,5 km, WGS 10x10 km
 - DMR 4G (grid, 5x5 m, Bpv, chyba 0,3 v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu) / DMR 5G (TIN, do 3 let po ukončení skenování, furt není hotov) / DMP 1G (TIN)
 - Digitalizace topo dat:
 - ZABAGED (ČÚZK, vrstevnice 2,4,6,8,10,5,10 m) / DMR 1 (rastr 1x1 km, výšky podle nejvyššího bodu) / DMR 2 (pravidelná síť bodů 100x100 m, z TM25) / DMR 3 (fotogrammetrický výškový model, TIN, přesnost 1-7 m) / DTED (NATO)
 - SRTM DEM, ASTER GDEM, T-mapy, ARCDATA Praha, GEODIS Brno
- Vzorkování: spojitý jev konečným počtem bodů, $l < \frac{1}{2} l_{\min}$, povzorkování, převzorkování
 - Selektivní vzorkování (VIP body + body do hustoty, neautomatické) / S jednou fixovanou dimenzí (Z -> body podél vrstevnic, X -> profil v rovině YZ) / S dvěma fixními dimenzemi (pravidelné vzorkování -> fixnu XY, pravidelná síť, redundance dat; progresivní vzorkování -> mění se velikost intervalu, hrubá síť pak derivace pak nové body, hodně dat u velkých změn terénu, významný prvek neobsažen v hrubé síti) / Kombinované vzorkování (pravidelné + selektivní -> VIP body a pravidelná síť; progresivní + selektivní) / Nepravidelné vzorkování (náhodné -> shluky; shlukové -> pro geologická mapování; proudové -> sleduje skutečné liniové prvky v terénu řeky a zlomy)

DATOVÉ MODELY DMR

- TIN (triangulated irregular network): Delaunay kritérium (žádný bod uvnitř opsané kružnice), Thiessen polygony (středy těch kružnic), nutno zahrnout všechny důležité singularity -> na plochem terénu nebude tak hustá síť bodů, vznik umělých teras (z vrstevnic)
 - Tvorba: určení vrcholů trojúhelníků (Delaunay kritérium, největší rovnostrannost, minimální obvod) -> tvorba polyedrického modelu
 - Triangulace: lineární interpolací odvodím nadm. výšku uvnitř plochy, povrch je spojitý ale bez derivací
 - Dobře se přizpůsobuje terénu, ale špatně reprezentuje plochý terén, pracuje přímo se vstupními daty, náchylnější na chyby (neinterpoluje se)
- GRID: pravidelný rastr, matice buněk zvýšení rozlišení -> redundance, neumí se přizpůsobit různé hustotě dat
 - Pravidelný grid (parametry sítě -> interpolace pro každý bod) / Nepravidelný grid (Voronoi)
- Plátový model (lattice): jako TIN ale ty n-úhelníky mohou být zakřivené, používá se polynomická transformace, pro vizualizaci
 - Bod reprezentuje výšky pouze v daném bodě -> reliéf je pak nahrazen plátý
 - Beziérův čtvercový plát: 4 rohové, celkem 16 bodů, ostrý nebo hladký povrch
- Vrstevnice: znázorňuje nadmořskou výšku, je to nespojité, záleží na ZIV, hlavně jako podklad pro složitější DMR

INTERPOLACE

- Interpolace x Extrapolace, exaktní (spline, krigging s nugget effect = 0), aproximující (IDW)
- Globální (trend), lokální (ID, spline, krigging)
- Autokorelace (-> semivariogram), normální rozdělení (jinak to zlogaritmuje)
- Metoda nejbližšího souseda
- IDW (inverse distance weighting): vážený průměr do určité vzdálenosti (vyhledávací poloměr)
 - $W = 1/D_i^p$ - W je váha, která se se vzdáleností snižuje, D_i vzdálenost mezi interpolovaným a známým bodem, p určuje jak rychle se se vzdáleností snižuje váha (2 průměr vstupních bodů, <1 shlazený povrch)
 - N je počet nejbližších vstupních bodů, nebo kružnice, oktanty, směrové vážení
 - Vznik bull's eyes, k interpolaci srážek nebo teplot
- Splajny: matematické křivky, min 8 bodů v regionu, kubické splajny, samostatná polynomická fce pro každou část povrchu, exaktní ale jdou povolit odchylky
 - Matematický ekvivalent ohebného pravítka, exaktní
 - Generuje povrch s minimální křivostí, která prochází co nejpřesněji vstupními body
 - Výpočet pomocí segmentace (rozdělení oblasti na části -> reprezentace jinou spline fci -> napojení plátů)
 - Regulovaný splajn (parametr weight definující hladkost výsledného povrchu), splajn s tenzí (vyšší hodnoty váhy -> nižší pevnost, vyšší pružnost), Kubické splajny (kubická křivka, můžu změnit jenom část povrchu a nepřepočítávat ten zbytek)
 - Pro interpolaci nadmořské výšky v málo členitém terénu
- Krigging: geostatistická metoda, určuje lokální odhad (pomocí vážených lineárních průměrů)
 - Výpočet vzdálenost (Euklidovská metrika) -> semivariogram pro popis prostorové variability -> korelaci -> průběh proložím funkcí (exponenciální, lineární, gaussovská, sférická, kubická) -> určení parametrů funkce (sill – kam až to sahá po Y, range – po prahovou hodnotu na X, nugget effect – kde fce protíná Y v nenulové hodnotě)
 - K průzkumu ložisek nerostných surovin, geologické aplikace
- Trend: interpolace polynomickou fci, zjistím jestli data vykazují klesající nebo prostorový trend, navrženo tak, aby součet všech odchylek mezi skutečnými a odhadnutými hodnotami byl co nejmenší
 - K odstranění a popisu hrubých rysů datových sad
 - Lineární rovnice (nakloněný povrch), kvadratická rovnice (mírně zvlněný, údolí), polynomy vyšších řádů
- Topo to Raster: od ArcGisu, hydrologicky korektní povrch, jako Spliny

HODNOCENÍ KVALITY A PŘESNOSTI DMR

- Zdroje chyb: ve zdrojových datech, typ datového modelu a velikost pixelu, špatná metoda vzorkování, nepřesné zařízení pro sběr dat, interpolační metody
- Typy chyb: hrubé (selhání technického vybavení, lokální maxima a minima, stačí nahradit průměrem z okolí) / systematické (chovají se podle určitého pravidla, umělé terasy, posun ve vertikále, plošiny) / náhodné
- Validace: křížová validace (trénovací a testovací množina), split sample (vstupní a referenční body), jack-knifing (srovnává s jiným souborem co nevstoupil do interpolace)
- Identifikace chyb: vliv vrstevnic (podíl pixelů odpovídajících násobkům intervalu vrstevnic), index zploštění (s hodnotou sklonu do 0,5 %), objem prohlubní (objem bezodtokých lokálních depresí)
- Hodnocení kvality DMR: na základě variability (RMSE, AE, Hammock plot -> Hammock index) / měřením prostorové autokorelace (Moranovo I, LISA, G-statistika) / měřením regrese
- Prahové vzdálenosti: inverzní vzdálenosti, konstantní, zóna netečnosti
- Variabilita:
 - Globální (neprostorová)
 - RMSE (rozptyl rozdělení četnosti odchylek mezi původními výškovými daty a daty DMR, jak dobře odpovídá buňka údajům, ze kterých byla vytvořena) / AE (absolutní chyba, absolutní odchylka od referenčního povrchu) / ASE (průměrná směrodatná odchylka, podobná RMSE) / rozsah / rozptyl / Hammock index (celočíselné dělení hodnot DMR intervalem původních vrstevnic)

- Lokální (prostorová)
 - Hammock plot (identifikace prostorových chyb, rastr vzniklý celočíselným dělením vrstevnic, pokud OK -> vyrovnaná četnost pixelů ve všech modulech)
- Autokorelace:
 - Globální
 - Z-score, p-value, nulová hypotéza
 - Moranovo I (na základě vzdálenosti a hodnot) / G statistika (koncentrace vysokých a nízkých hodnot v území -> General G index, nulová hypotéza = neexistuje žádná prostorová vazba mezi hodnotami)
 - Lokální
 - Analýza shluků – kde jsou
 - LISA (lokalizuje hot spots, cold spots, outliers), Getis Ord G_i^* (to samé)

ANALÝZY NAD DMR

- Na gridu, TINu i vrstevnicích
 - Primární (přímo z DMR, derivace – sklon a orientace, 2. řádu křivost) / Sekundární (kombinace primárních atributů – oslunění, vlhkost, proudy)
 - Sklon: míra nadmořské výšky ve směru nejprudšího poklesu
 - Kvadratický povrch (1. derivace, ne diagonály), Hornova metoda (diagonály jo, středová buňka ne), nejprudší sklon ve směru svahu, nejprudší svah
 - Orientace: směr linie nejstrmějšího pohledu svahu, FLOWD
 - Křivost: druhá derivace
 - Planární: podél vrstevnic, vrcholy, hřbety, deprese
 - Kladná: divergentní odtok, hřbety
 - Záporná: konvergentní odtok, údolí
 - Profilová: míra změny sklonu stavu ve směru linie odtoku, ve směru spádnice
 - Kladná (konvexní, eroze, řízení, urychlený tok)
 - Záporná (konkávní, +, zpomalený tok)
 - Celková křivost: vlastní křivost povrchu, pozitivní, negativní, nulová
 - Plocha povodí: oblast nad určitou délkou vrstevnice, ze které odchází k odtoku vodu do jednoho místa určeného délkou vrstevnice
 - Specifická velikost povodí: poměr plochy povodí k délce vrstevnice
 - Vyplnění depresí: kde se snižuje nadmořská výška
 - Jednoduchý směr odtoku: v jednom směru, jeden pixel do jednoho povodí
 - D8: při rovnosti hodnot -> první od severu po směru hodinových ručiček
 - Rho8
 - Vícenásobný směr odtoku: do více směrů, jeden pixel do více povodí
 - MS (multiple direction based on slope): směr všem nižším sklonům + vážený sklon, eliminuje vznik paralelních odtokových teras
 - DEMON (digital elevation model network): směr odtoku ve směru maximálního sklonu povrchu, zdrojem odtoku je celá plocha pixelu, pokud není směr v násobku 90° , je objem rozdělen mezi hlavní dva dotčené pixely, ne diagonály
 - D_∞ : nekonečné množství možných jednoduchých směrů odtoku počítaných z 8 trojúhelníkových plošek
 - Analýzy viditelnosti: lepší TIN, pro navigaci, vojenský průzkum
 - Vyvýšení pozorovatele (offset), vertikální a horizontální omezení rozhledu, dosah viditelnosti
 - Objemové výpočty: TIN i grid, voda v přehradě
 - Řezy: horizontální (vrstevnice) / vertikální (příčný a podélný profil)
-

MORPHOMETRIC ELEMENTS AS INPUT TO ANALYSIS

1. **Masspoints:** are irregularly spaced points, each with an x/y location and a z-value, typically (but not always) used to form a TIN or Terrain. They are normally generated by automated methods, e.g., by LiDAR or IFSAR scanners or photogrammetric auto-correlation techniques. When generated by automated methods, mass point spacing and pattern depend on characteristics of the technologies used to acquire the data. Mass points are point height measurements; they become nodes in the TIN network. Mass points are the primary input into a TIN and determine the overall shape of the surface. (běžné body, které určují hodnotu, například výšku, která je v daném místě. Při tvorbě TIN nemusí tvořit vrcholy trojúhelníku, jsou-li v rámci optimalizace vyřazeny).
2. **VIP (Points, povinné body):** Points which can not be eliminated by optimization process. Top of peaks (vrcholy), bottoms (dna), pits (jámy)
3. **Lines (Contour lines):** usually for TIN points obtaintion
4. **Breaklines:**
 - a. **Hard breaklines:** Hard breaklines represent a discontinuity in the slope of the surface. Streams and road cuts could be included in a TIN as hard breaklines. Hard breaklines capture abrupt changes in a surface and improve the display and analysis of TINs. For example ridges.
 - b. **Soft breaklines:** Soft breaklines allow you to add edges to a TIN to capture linear features that do not alter the local slope of a surface. Study area boundaries could be included in a TIN as soft breaklines to capture their position without affecting the shape of the surface. Their tranverse derivation is non-zero! For example stream network.
5. **Polygons:** Soft and Hard again.
 - a. **Clip polygon:** With the help of “clip polygon” can be convex TIN clipped into non-convex TIN.
 - b. **Fill polygon:** Z value is replaced by constant value, the change is visible in conversion into grid. In TIN model is this value only as an attribute. For example lake.
 - c. **Replace polygon:** The same as “fill polygon”, but the change is performed directly in TIN
 - d. **Erase polygon:** Doesn't count with polygons what intersect in “erase polygon”

DEMs SOURCES

1. **SRTM DEM (Shuttle Radar Topography Mission):** In February 2000 special mission of Endeavour spaceshuttle started. The aim of this mission was to obtain elevation data on a near-global scale. Endeavour carried specially modified radar system which acquired interferometry data during an 11-day mission. Because of interferometry technique and frequencies used it was possible to acquire data disregarding daytime and meteorological conditions (more than 90 % of area was acquired twice and nearly 50 % three times). Processing of data resulted in most complete near-global high-resolution and high elevation accuracy database of the Earth. Radar interferometry – one carries and two antennas.
 - SRTM1 is available for USA with resolution 30 m approximately on equator. SRTM3 is for the rest (covers 80 % of mainland) with spatial resolution approximately 90 m on equator.
2. **ASTER GDEM:** On Terra spacecraft (družice) (*1999), better spatial resolution than SRTM – 30 meters and better mainland cover. METI and NASA cooperation.
 - **Vertical accuracy:**
 - For CONUS (it means USA i think) they had compared with USGS NED (national elevation dataset) data (over 13 000 ground control points) and counted mean, Std. Dev., RMSE – for different land cover types
 - National geodetic control network (USA, Japan), SRTM (USA + 20 places around the world), global data from laser altimeter
 - **Horizontal accuracy:**
 - By Japan only – compared to SRTM
3. **SPOT 3D:** Spatial resolution 30 m, for UTM 20 m
4. **MONA PRO:** MONA Pro Europe is a DTM (terrain altitude) mainly derived from topographic maps of 1:50 000 scale maps (DMA series) available over Europe.

ANALYSIS AGAINST DEMs

1. Primary

a. Gradient

b. Slope (sklon)

- Measures the level of altitude change in the direction of the sharpest drop. Maximum rate of change, from each cell to its neighbors. The output slope grid theme represents the degree of slope (e.g., 10 degree slope) for each cell location.
- Methods: quadratic surface method (first derivation, 4 directions), Horn's method (the same, 8 directions and without center cell), the steepest gradient in the direction of slope (with center cell), the steepest gradient of slope (absolute values)

c. Aspect (orientace)

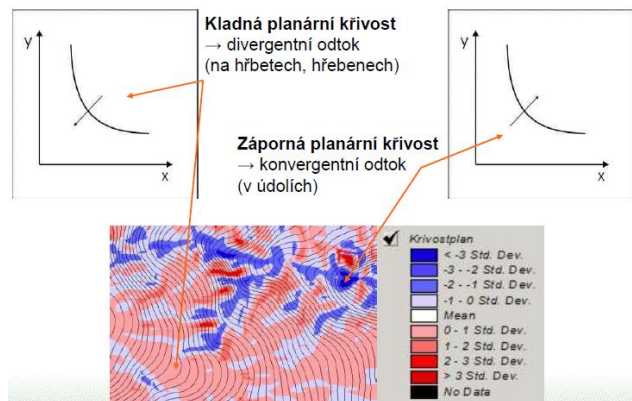
- Identifies the steepest down-slope direction from each cell to its neighbors. The values of the output grid theme represent the compass direction of the aspect; 0 is true north, a 90 degree aspect is to the east, and so forth.

d. Curvature (křivost)

- Second derivation!

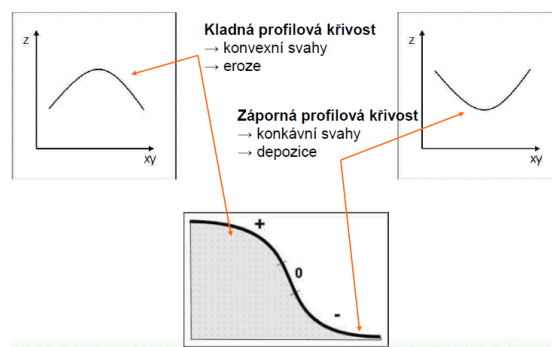
a. Plan curvature

- Expresses the degree of change of orientation along the contour lines
- Topographic convergency or divergency
- Peaks, depressions identification



b. Profile curvature

- Indicates the degree of slope gradient change in the direction of the drain line
- Affects speeding up or slowing down the mass (water, sediments)



c. Total curvature

- Explains the curvature of surface itself, not in any special direction
- Positive, negative, zero (flat surface or saddle)

e. Roughness (drsnost)

- Roughness estimators: range + Std. Dev. + Coeff. Var. of altitude or slope variance in neighbourhood of one pixel
- Mean slope, altitude ranges

f. Hillshade

- The hypothetical illumination of a surface as part of an analysis step or for graphical display. Hillshade can be used to determine the length of time and intensity of the sun in a given location. Various features in the input grid or TIN theme can be accentuated, and different effects achieved, by altering the azimuth and altitude parameters. The azimuth is expressed in positive degrees from 0 to 360, measured clockwise from north. The altitude is expressed in positive degrees, with 0 degrees at the horizon and 90 degrees directly overhead.

g. Specific drainage area (specifická velikost povodí A_s)

- Drainage per unit of curve length or curve length (poměr plochy povodí k délce vrstevnice)

h. Flow direction

- **Single flow direction:** only the one direction with the largest gradient (D8, Rho8)
- **Multiple flow direction:** water from the center pixel can flow to multiple direction
- **DEMON (digital elevation model network)**

2. Secondary

a. Wetness index (topografický index vlhkosti)

b. Stream power index (index síly proudění)

c. Compound topographic index

d. Sediment transport capacity index (sedimentárně transporní index)

e. Radiation and temperature indices (radiční a teplotní indexy – zachycená radiace, oslunění svahu, teplota)

MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION OF TERRITORIAL UNITS

1. Watershed morphometry

a. Shape of the watershed

- Ratio of form (tvar povodí)

- If is watershed extended, circular, symmetric, asymmetric

- $\alpha = \frac{P}{L^2}$; P=area of basin (km²), L=length

- Elongation ratio (koeficient protáhlosti povodí)

- Podíl průměru kruhu o stejné ploše jako je plocha povodí a délky povodí. Hodnoty v intervalu (0,1). Čím víc je to k 1, tím víc je kulatější.

$$R_E = \frac{2\sqrt{\frac{P}{\pi}}}{L}$$

L ... délka povodí (km)

P ... plocha povodí (km²)

- Gravelius index (K_G) (index of compactness pro ně)

- Udává, jak moc se tvar povodí liší od ideálního tvaru (tj. Kruhovitého povodí kden $K_G = 1$). Podíl délky rozvodnice a obvodu kruhu o stejném obsahu jako je plocha povodí.

$$K_G = \frac{L_R}{2\sqrt{P \cdot \pi}}$$

L_R ... délka rozvodnice

P ... plocha povodí

- Miller circularity coefficient

b. Drainage network

- **Order of streams:** Strahler (relativní, když je soutok stejného čísla, řád se zvýší, ale když je soutok různých čísel, tak to zůstane na tom větším), Shreve, Horton, Hack, Topological, Gravelier (absolutní, 1. řád je ústí do moře...)

- Bifurcation ratio (Horton / Strahler)

- The low Ratio Bifurcation values are associated with very well drained basins what can generate increasingly violent floods

- Horton considered bifurcation ratio as an index of reliefs and dissections. Strahler demonstrated that bifurcation ratio shows only a small variation for different regions with different environments except where powerful geological control dominates.

$$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

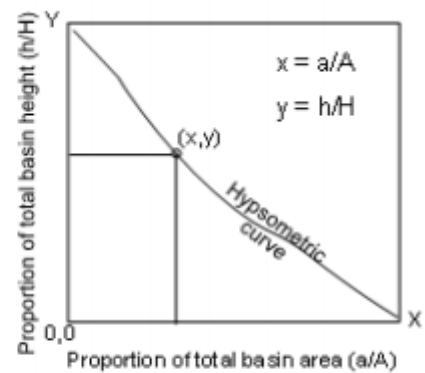
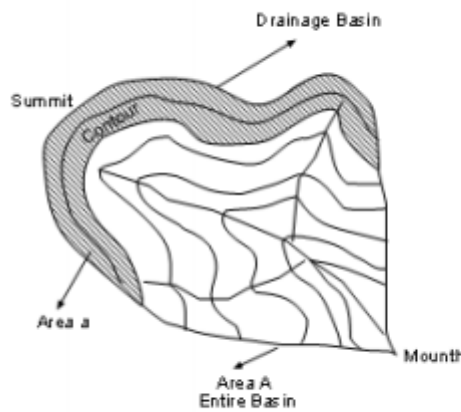
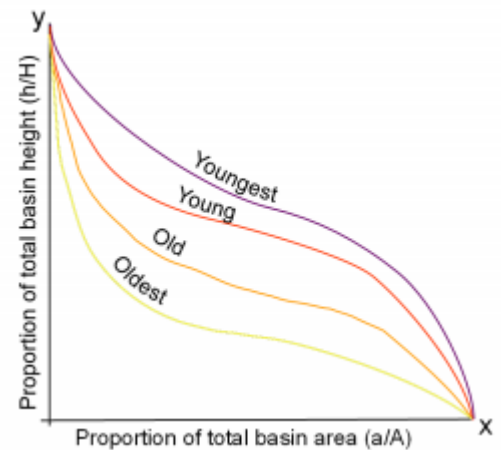
N_u = Number of channels of order u

- Lower bifurcation ratio values are the characteristics of structurally less disturbed watersheds without any distortion in drainage pattern . Bifurcation ratio is related to the branching pattern of a drainage network and is defined as the ratio between the total number of stream segments of one order to that of the next higher order in a drainage basin .

- **Density of drainage**
- **Average length of the channel**

c. Parameters expressing relief

- **Characteristic altitudes**
 - Average altitude, more frequent altitude, histogram of altimetric frequencies
- **Hypsometric curve**
 - The hypsometric curve of a catchment represents the relative area below (or above) a given altitude (Strahler, 1952). It describes the distributions of elevations across an area of land, from one drainage basin to entire planet. These curves have been used to infer the stage of development of the drainage network also it is a powerful tool to differentiate between tectonically active and inactive areas.
 - The curve is created by plotting the proportion of total basin height against the proportion of total basin area. Convex hypsometric curves characterize young slightly eroded regions; Sshaped curves characterize moderately eroded regions; concave curves point to old, highly eroded regions, concave curves point to old, highly eroded regions.



*A = sum of the area between each pair of adjacent contour lines.
a = the surface area within the basin above the given line of elevation (h).*

- The area below the hypsometric curve is known as the hypsometric integral (HI), varying from 0 to 1 (with values close to 0 in highly eroded regions and values close to 1 in slightly eroded regions)

- **Average slopes of the main channel and the watershed**
 - Alvord Criteria, Horton's criterion, Nash Criterion

2. Hillside morphometry