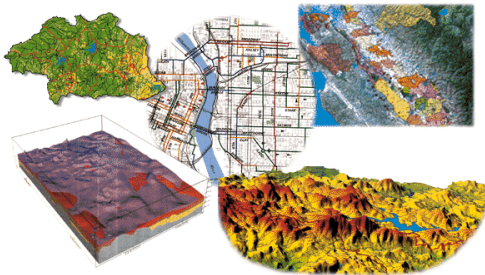


APLIKOVANÁ GEOINFORMATIKA VII



Digitální výškové modely



Aplikovaná geoinformatika

DEM vs. DTM

- Digitální výškový model (DEM) – digital elevation model
- Digitální model terénu (DTM) – digital terrain model
- Oba termíny se používají často jako synonymum, někdy ovšem pro odlišnou věc
- Pojetí záleží na autorovi, na literatuře, ze které čerpá
- Možná rozdílná chápání DEM / DTM:
 - pouze povrch bez /s objektů na něm (bez budov, stromů...)
 - XYZ / jiný jev zobrazený jako třetí souřadnice

Zdroje výškových dat

- Výsledek zpracování dat DPZ (fotogrammetrie – stereopáry, radary – interferometrie, laserové skenování)
- Vrstevnice – zvektORIZOVANÉ z analogových map
- Terénní mapování – vstup z GPS

Struktura dat

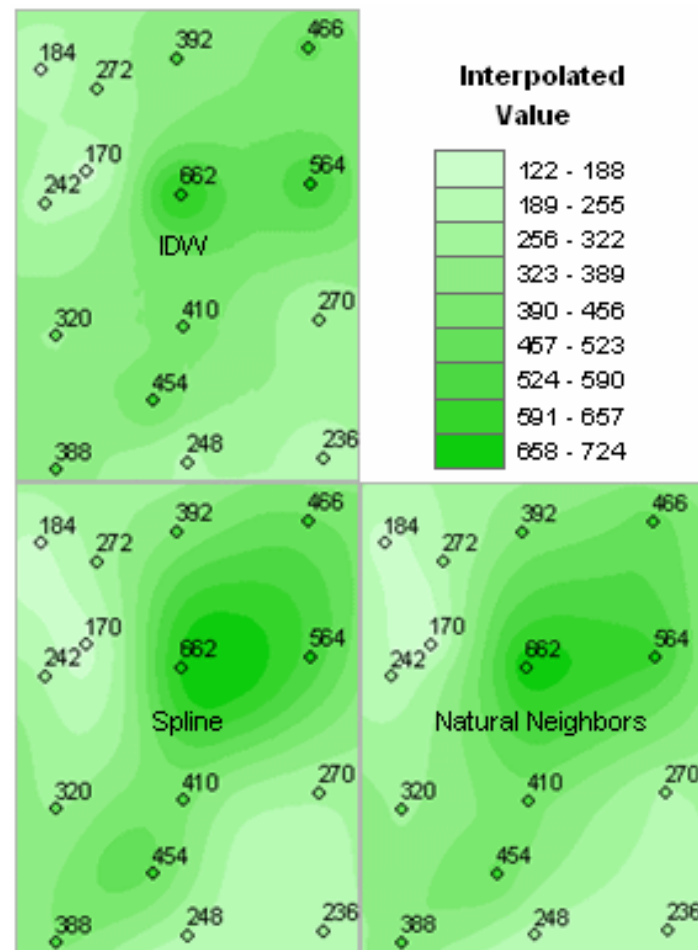
- Rastr (grid)
- TIN – triangulated irregular network
- Vrstevnice
- Výškové body

Rastr

- Nejčastější způsob reprezentace
- Implicitní topologie
- Snadná implementace na PC
- Nároky na paměť
- Nároky na výpočty
- Vlastní kvalita dat– závislost na způsobu generování, interpolaci

Tvorba rastru

- Interpolace výšek bodů rastru z nepravidelně či pravidelně rozmístěného bodového pole
 - IDW
 - Spline
 - Kriging
- Interpolace + zahrnutí dalších parametrů pro tvorbu hydrologický korektního povrchu → např. metoda ANUDEM (Hutchinson, 1998) – implementováno do ArcGIS – nástroj Topo to Raster



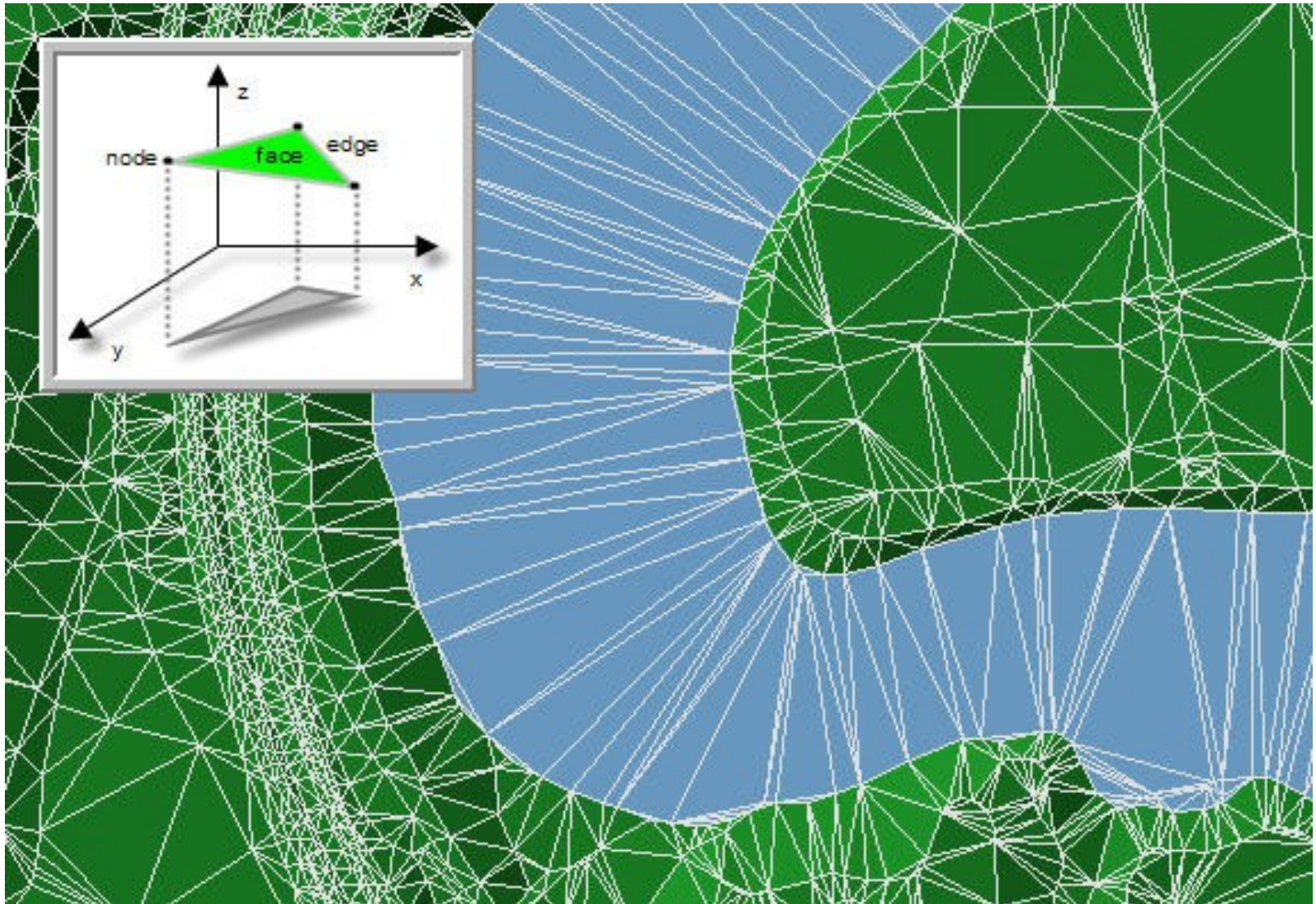
Topo to raster

- „Topo to Raster is based on the ANUDEM program developed by Michael Hutchinson (1988, 1989).“
- Jako vstup mohou sloužit nejen výškové body, ale i vrstevnice, vodní toky, vodní plochy, „sinks“ – prohlubně, a hranice zájmového území
- Connected drainage structure
- Correct representation of ridges and streams from input contour data
- Podrobnosti metody viz Help ArcGIS (heslo Topo to Raster)

TIN – Triangulated Irregular Networks

- Založeny na trojúhelníkových elementech – facetách, s vrcholy odpovídajícími vstupním výškovým bodům
- Facety jsou plošky - roviny trojúhelníků (spojující 3 příslušné body)
- Výběr bodů, které tvoří trojúhelník se nejčastěji řeší podle Delaunayho triangulace
- Řada dalších parametrů při tvorbě TINu

TIN – Triangulated Irregular Networks



TIN – vstupní body

- Body, které leží na všech důležitých singularitách
→ místa, kde se mění výrazně průběh terénní plochy tzv. peaks, ridges, breaks in slope – vrcholy, hrany, změny sklonu
- Digitalizované vrstevnice nejsou nejvhodnějším zdrojem, ale lze je použít
- Nepravidelné rozmístění bodů

Delaunay triangulace

- Pro účely triangulace - trojúhelníky by měly být co nejvíc rovnostranné
- Pravidlo, že v kružnici opsané daného trojúhelníka nesmí ležet další bod (princip algoritmu)
- Jestliže spojím středy opsaných kružnic (průsečíky os stran), dostanu Voronoi diagram (Thiessenovy polygony)
- Thiessenovy polygony ohradí všechny body oblastí, ve které jsou všechny místa bližší k danému bodu než k jinému bodu z dané množiny bodů

Delaunay triangulace

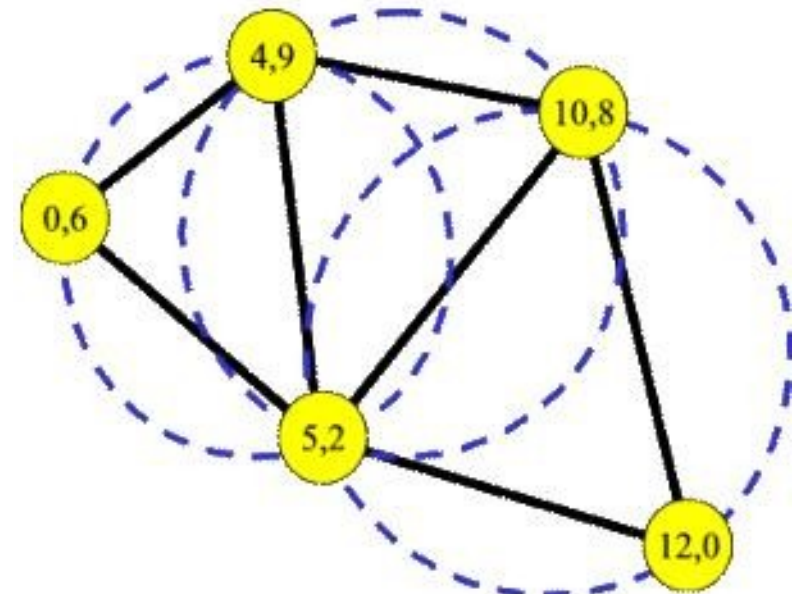
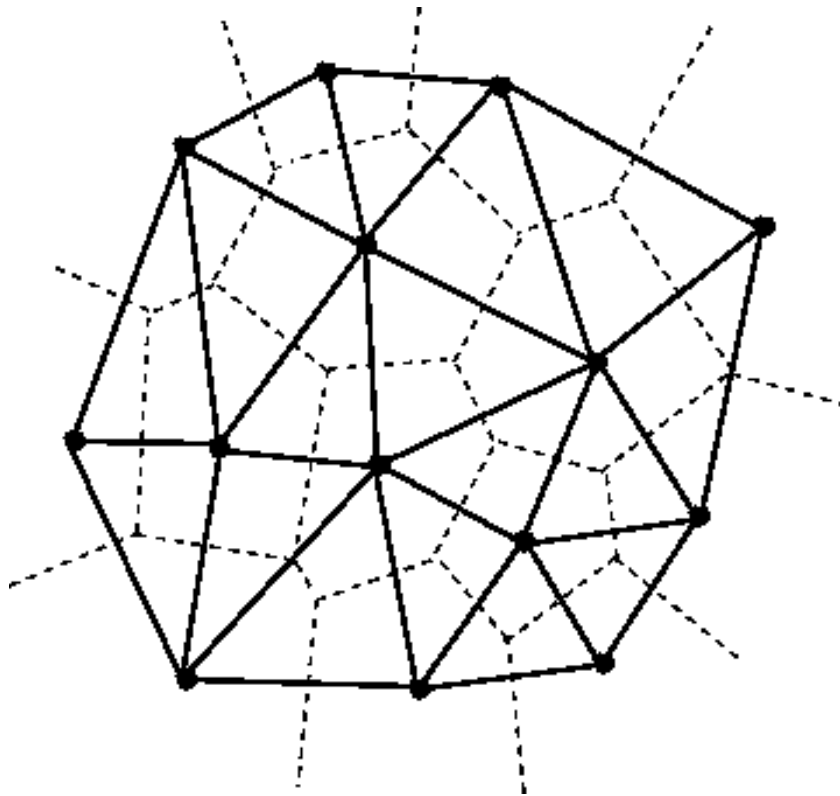
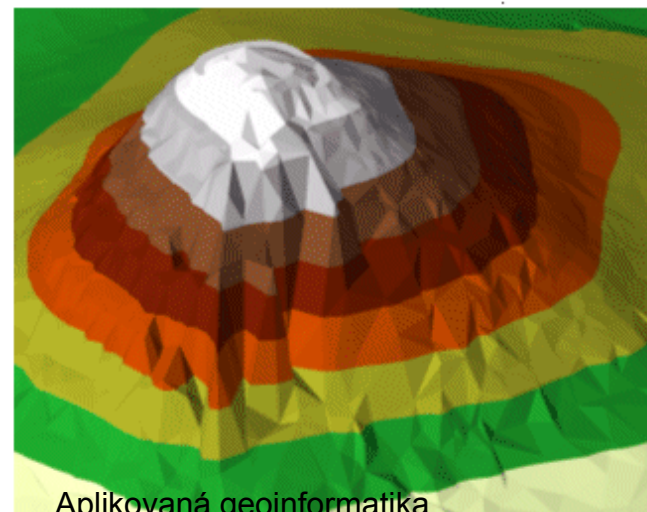
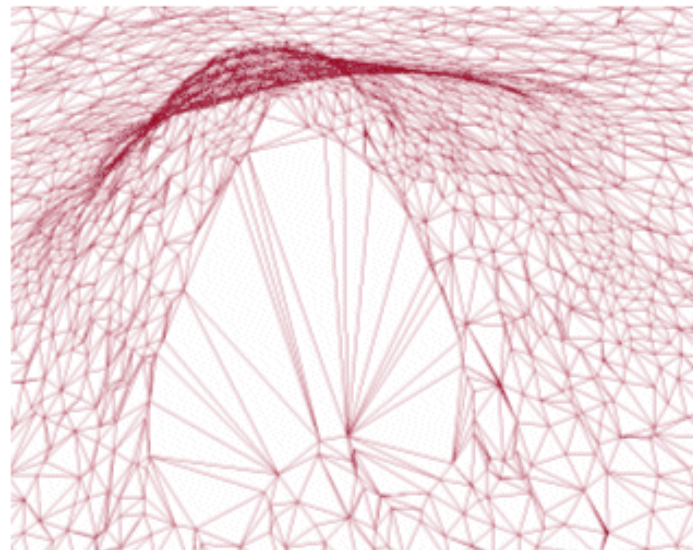
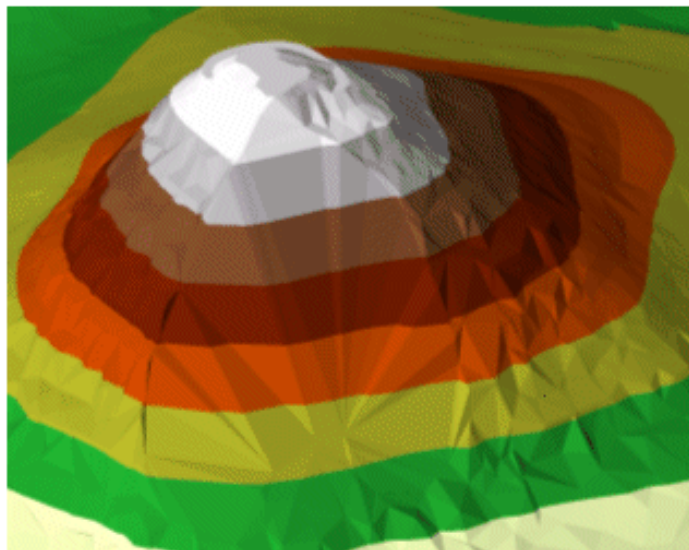
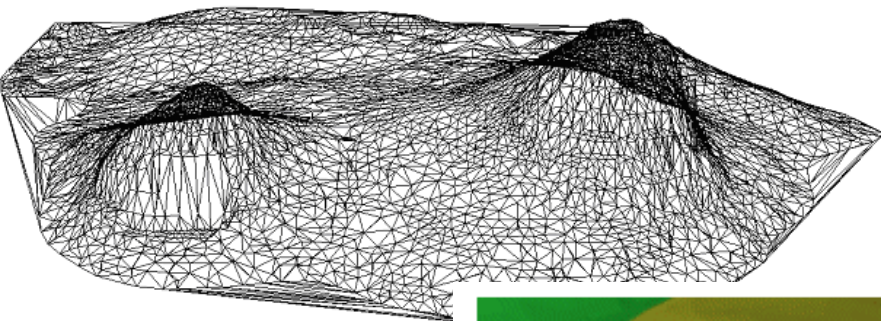


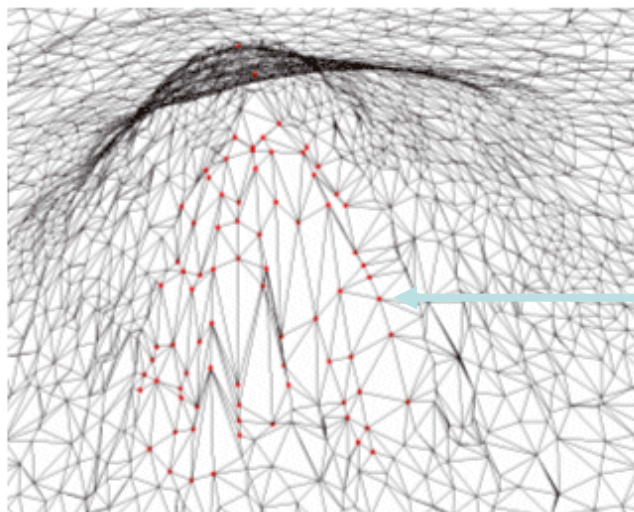
Figure 1.3. Delaunay triangulation.

<http://www.comp.lancs.ac.uk/~kristof/research/notes/voronoi/dt.gif>

<http://www.cs.virginia.edu/~mngroup/hypercast/designdoc/Chp1-Overview/chp1-pic3.jpg>



Aplikovaná geoinformatika



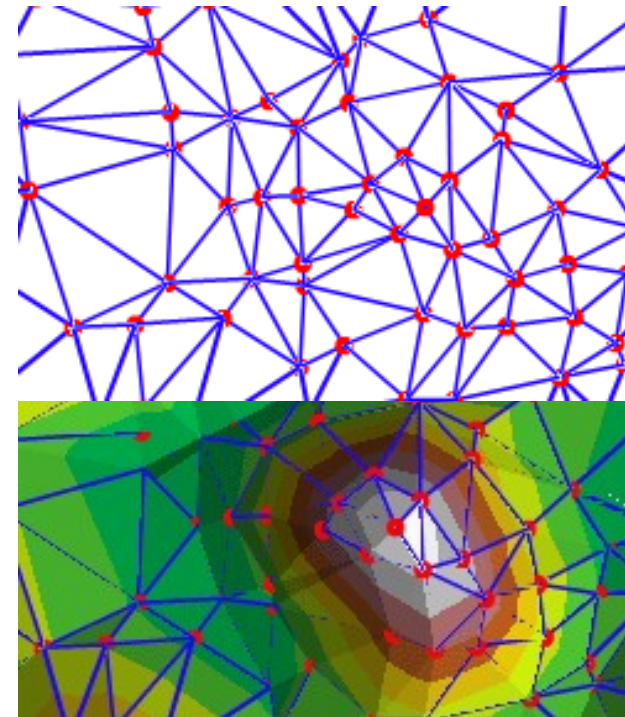
dodané lomové body

Tvorba TINu z GRIDu

- Další možný postup
- Speciální případ konverze bodů do TINu
- Metody:
 - Výběr bodu GRIDu, který se ponechá nebo zruší → jednotlivým bodům přiřazena důležitost, ponechány ty body, kde je největší rozdíl mezi sousedními body
 - Body se ruší skokově – nepočítá se důležitost, rozhodnout, kdy zastavit vybírání a rušení bodů.
 - Detekce specifických tvarů terénu GRIDu jako vrcholy, dolíky, sedlové body, hřbetnice a údolnice.

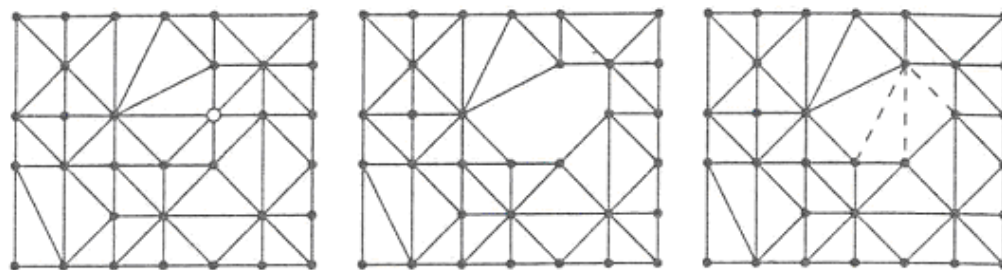
Tvorba TINu v ArcGIS

- Přes 3D Analyst
- Create TIN →
 - from features (např 3D Contours)
 - Hard line, soft line, mass points
 - 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.
 - 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.
 - Mass points jsou body, které mají být jednoznačně nody trojúhelníku



Tvorba TINu z GRIDu

- Tvorba TINu z gridu →
- TIN – struktura (Tuček 1998)



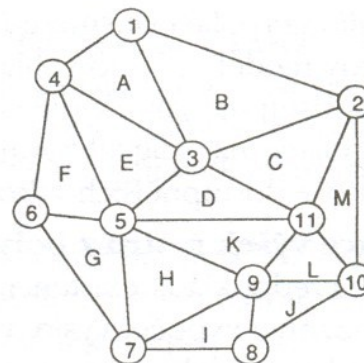
Obr. 6.24.

Datová struktura nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN).

(zpracováno podle Lauriniho a Thompsona, 1992 a Aronoffa, 1989)

Identifikátor trojúhelníka	Sousední trojúhelníky
A	B E
B	A C
C	B D M
D	C E K
E	A D F
F	E G
G	F H
H	G I K
I	H J
J	I L
K	D H L
L	J K M
M	C L

b) Seznam hran



Identifikátor vrcholu	Souřadnice		
	X	Y	Z
1	X ₁	Y ₁	Z ₁
2		.	.
3		.	.
.		.	.
.		.	.
11	X ₁₁	Y ₁₁	Z ₁₁

a) Souřadnice vrcholů

Identifikátor trojúhelníka	Vrcholy		
A	1	3	4
B	1	2	3
C	2	3	11
D	5	3	11
E	3	4	5
F	4	5	6
G	5	6	7
H	5	7	9
I	7	8	9
J	8	9	10
K	5	9	11
L	9	10	11
M	2	10	11

c) Seznam vrcholů

TIN – pro a proti

- Menší objem uložených dat než u rastrů – hustota trojúhelníků může být různá podle členitosti terénu
- Umožňuje vypočítat výšku terénu pro jakýkoliv bod (nelimitováno mřížkou rastru)
- Lépe postihuje diskontinuity terénu
- Složitá struktura
- Velká závislost na vstupních bodech

Shrnutí

- Struktura výškových dat již není tak limitující jako dřív – existují metody, jak převést jednu na druhou, pouze nutnost minimalizace nechtěných artefaktů
- Výběr struktury závisí též na charakteru studovaného terénu
- Vždy platí, že nejvíce se musí dbát na kvalitu vstupních dat

Hodnocení kvality vytvořeného DEMu

- Existence falešných prohlubní
 - hydrologicky korektní model terénu
- Vizuální kontrola pomocí stínovaného reliéfu
- Odvození vrstevnic
- Kontrola pomocí existujících výškových bodů
- Nutná úvaha nad velikostí buňky výsledného DEMu (u rastru)

Primární topografické atributy, které lze odvodit z DEMu (Wilson, Gallant, 2000)

- Výška
- Aspekt (orientace ke světovým stranám)
- Sklon (v % či °)
- Upslope area, length, slope
- Dispersal area, length, slope
- Catchment area – (the area of land from which water runs into the stream = povodí)
- Curvature – konkávní vs. konvexní povrch

Topografické atributy, které lze odvodit z DEMu (Wilson, Gallant, 2000)

Skenované podklady:

- primární topografické atributy
- sekundární topografické atributy
- měřítka a aplikace DEM

TABLE 1.1 Primary Topographic Attributes That Can Be Computed by Terrain Analysis from DEM Data

Attribute	Definition	Significance
Altitude	Elevation	Climate, vegetation, potential energy
Upslope height	Mean height of upslope area	Potential energy
Aspect	Slope azimuth	Solar insolation, evapotranspiration, flora and fauna distribution and abundance
Slope	Gradient	Overland and subsurface flow velocity and runoff rate, precipitation, vegetation, geomorphology, soil water content, land capability class
Upslope slope	Mean slope of upslope area	Runoff velocity
Dispersal slope	Mean slope of dispersal area	Rate of soil drainage
Catchment slope	Average slope over the catchment	Time of concentration
Upslope area	Catchment area above a short length of contour	Runoff volume, steady-state runoff rate
Dispersal area	Area downslope from a short length of contour	Soil drainage rate
Catchment area	Area draining to catchment outlet	Runoff volume
Specific catchment area	Upslope area per unit width of contour	Runoff volume, steady-state runoff rate, soil characteristics, soil-water content, geomorphology
Flow path length	Maximum distance of water flow to a point in the catchment	Erosion rates, sediment yield, time of concentration
Upslope length	Mean length of flow paths to a point in the catchment	Flow acceleration, erosion rates
Dispersal length	Distance from a point in the catchment to the outlet	Impedance of soil drainage
Catchment length	Distance from highest point to outlet	Overland flow attenuation
Profile curvature	Slope profile curvature	Flow acceleration, erosion/deposition rate, geomorphology
Plan curvature	Contour curvature	Converging/diverging flow, soil-water content, soil characteristics
Tangential curvature	Plan curvature multiplied by slope	Provides alternative measure of local flow convergence and divergence
Elevation percentile	Proportion of cells in a user-defined circle lower than the center cell	Relative landscape position, flora and fauna distribution and abundance

Source. Adapted with permission from Moore, Grayson, and Ladson (1991) Digital terrain modeling: A review of hydrological, geomorphological, and ecological applications. *Hydrological Processes* 5: 3-30. Copyright © 1991 by John Wiley and Sons Ltd.

TABLE 1.2 Secondary Topographic Attributes That Can Be Computed by Terrain Analysis from DEM Data

Attribute	Definition	Significance
Topographic wetness indices	$W_i = \ln \left(\frac{A_i}{r \tan \beta} \right)$	This equation assumes steady-state conditions and describes the spatial distribution and extent of zones of saturation (i.e., variable source areas) for runoff generation as a function of upslope contributing area, soil transmissivity, and slope gradient.
	$W = \ln \left(\frac{A_i}{\tan \beta} \right)$	This particular equation assumes steady-state conditions and uniform soil properties (i.e., transmissivity is constant throughout the catchment and equal to unity). This pair of equations predicts zones of saturation where A_i is large (typically in converging segments of landscapes), β is small (at base of concave slopes where slope gradient is reduced), and T_i is small (on shallow soils). These conditions are usually encountered along drainage paths and in zones of water concentration in landscapes.
	$W = \ln \left(\frac{A_i}{\tan \beta} \right)$	This quasi-dynamic index substitutes effective drainage area for upslope contributing area and thereby overcomes the limitations of the steady-state assumption used in the first pair of equations.
Stream-power indices	$SPI = A_i \tan \beta$	Measure of erosive power of flowing water based on assumption that discharge (q) is proportional to specific catchment area (A_i). Predicts net erosion in areas of profile convexity and tangential concavity (flow acceleration and convergence zones) and net deposition in areas of profile concavity (zones of decreasing flow velocity).
	$LS = (m + 1) \left(\frac{A_i}{22.13} \right)^n \left(\frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^m$	This sediment transport capacity index was derived from unit stream power theory and is equivalent to the length-slope factor in the Revised Universal Soil Loss Equation in certain circumstances. Another form of this equation is sometimes used to predict locations of net erosion and net deposition areas.
	$CIT = A_i (\tan \beta)^2$	Variation of stream-power index sometimes used to predict the locations of headwaters of first-order streams (i.e., channel initiation).
Radiation indices	$R_n = (R_a - R_b) F + R_{sw} + R_{nl} (1 - \alpha)$	This equation estimates the total short-wave irradiance incident at the earth's surface for some user-defined period ranging in length from 1 day to 1 year. The three main terms account for direct beam, diffuse, and reflected irradiance. A variety of methods are used by different authors to calculate these individual components. The methods vary tremendously in terms of sophistication, input data, and accuracy.
	$L_{in} = \epsilon \sigma T_s^4 + (1 - \tau) L_{sw}$	This equation estimates the incoming or atmospheric long-wave irradiance.
	$L_{out} = \epsilon \sigma T_s^4$	This equation estimates the outgoing long-wave irradiance.
	$R_n = (1 - \alpha) R + \epsilon L_{in} - L_{out}$	This equation estimates the net radiation or surface energy budget at the earth's surface for some user-defined period. May or may not account for the effects of clouds depending on the methods and data sources used to estimate individual short-wave radiation components (see Chapter 4 for additional details).
Temperature indices	$T = T_s - \frac{T_{max}(Z - Z_0)}{1000} + CS \left(1 - \frac{LAI}{LAI_{max}} \right)$	This equation is used to extrapolate minimum air, maximum air, and surface temperatures for a nearby climate station to other parts of the landscape. This equation corrects for elevation via a lapse rate, slope-aspect effects via the short-wave radiation ratio, and vegetation effects via a leaf area index.

TABLE 2.1 Spatial Scales of Applications of Digital Elevation Models (DEMs) and Common Sources of Topographic Data for Generation of DEMs

Scale	DEM Resolution	Common Topographic Data Sources	Hydrological and Ecological Applications
Fine toposcale	5–50 m	Contour and stream-line data from aerial photography and existing topographic maps at scales from 1:5,000 to 1:50,000 Surface-specific point and stream-line data obtained by ground survey using GPS Remotely sensed elevation data using airborne and spaceborne radar and laser	Spatially distributed hydrological modeling Spatial analysis of soil properties Topographic aspect corrections to remotely sensed data Topographic aspect effects on solar radiation, evaporation, and vegetation patterns
Coarse toposcale	50–200 m	Contour and stream-line data from aerial photography and existing topographic maps at scales from 1:50,000 to 1:200,000 Surface-specific point and stream-line data digitized from existing topographic maps at 1:100,000 scale	Broader scale distributed parameter hydrological modeling Subcatchment analysis for lumped parameter hydrological modeling and assessment of biodiversity
Mesoscale	200 m–5 km	Surface-specific point and stream-line data digitized from existing topographic maps at scales from 1:100,000 to 1:250,000	Elevation-dependent representations of surface temperature and precipitation Topographic aspect effects on precipitation Surface roughness effects on wind Determination of continental drainage divisions
Macroscale	5–500 km	Surface-specific point data digitized from existing topographic maps at scales from 1:250,000 to 1:1,000,000. National archives of ground surveyed topographic data including trigonometric points and benchmarks	Major orographic barriers for general circulation models

Note. DEMs at coarser scales are often obtained by local averaging of finer scale DEM data.

Další využití DEMu

- Identifikace významných bodů a linií v terénu /hřebenů, údolnic – tzv. skeleton
- Rozpoznávání geomorfologických tvarů
- Modelování eroze
- Vstup do srážko-odtokových modelů
- Analýzy viditelnosti
- ...

Terrain dataset v ArcGIS

- Víceměřítkový digitální model
- Založený na TINu
- Ukládání do geodatabáze

