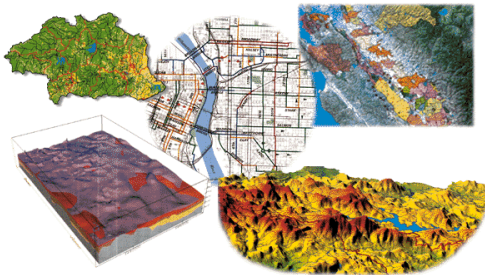


APLIKOVANÁ GEOINFORMATIKA VII



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

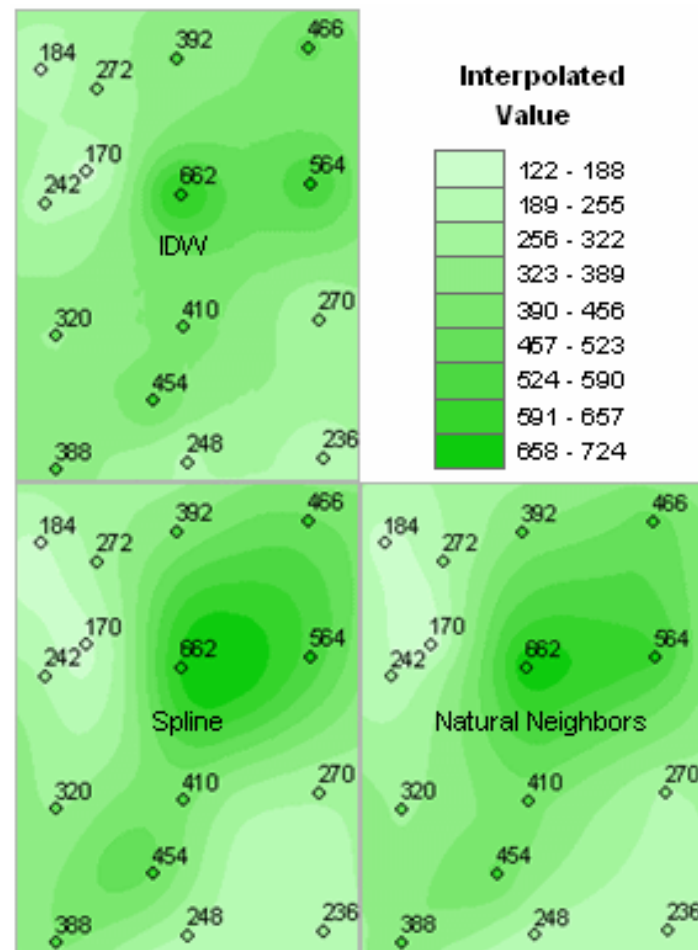
- Rastr (grid)
- TIN – triangulated irregular network
- Vrstevnice
- Výškové body

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



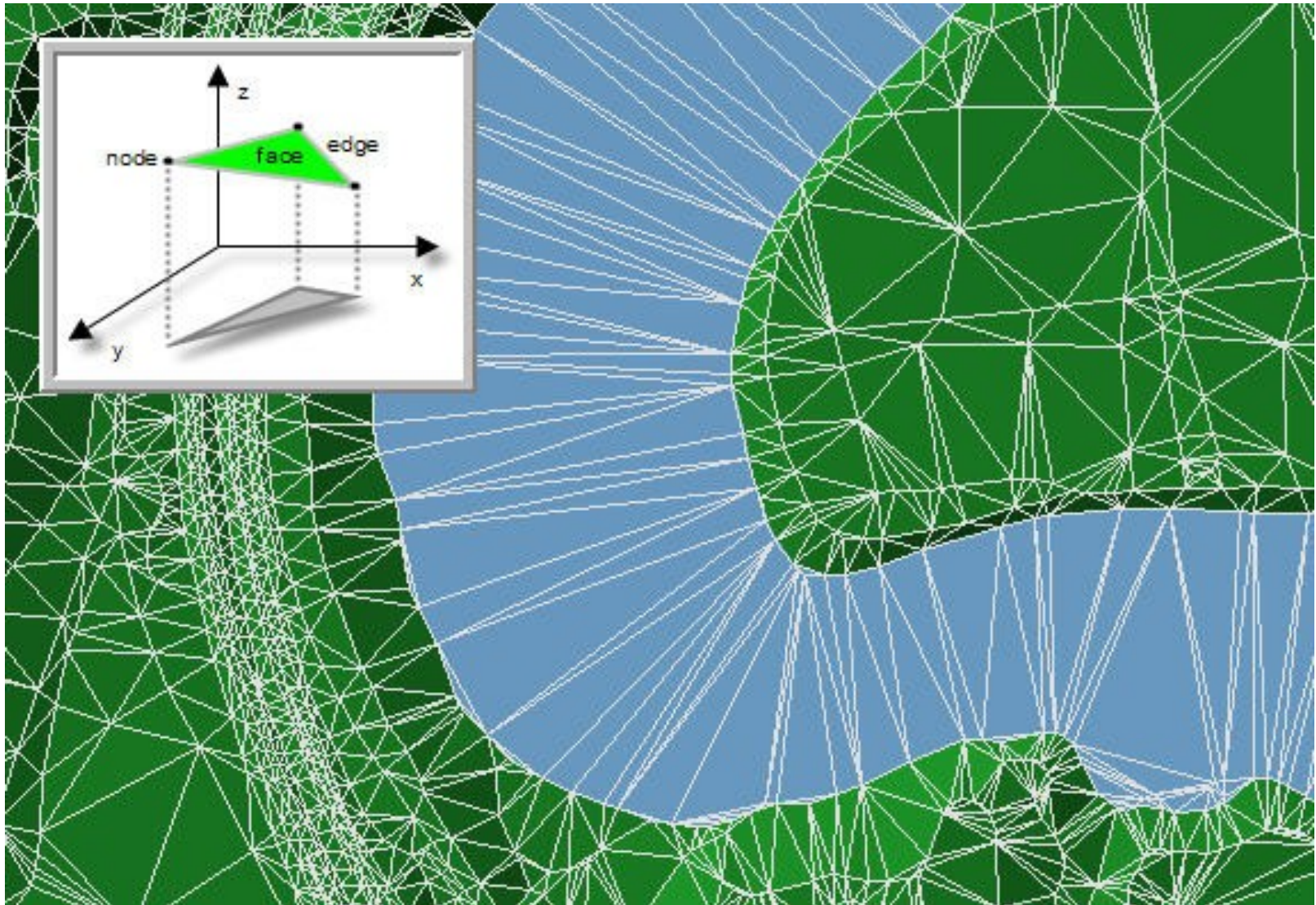
Topo to raster

- „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 spojíme středy opsaných kružnic (průsečíky os stran), dostaneme 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

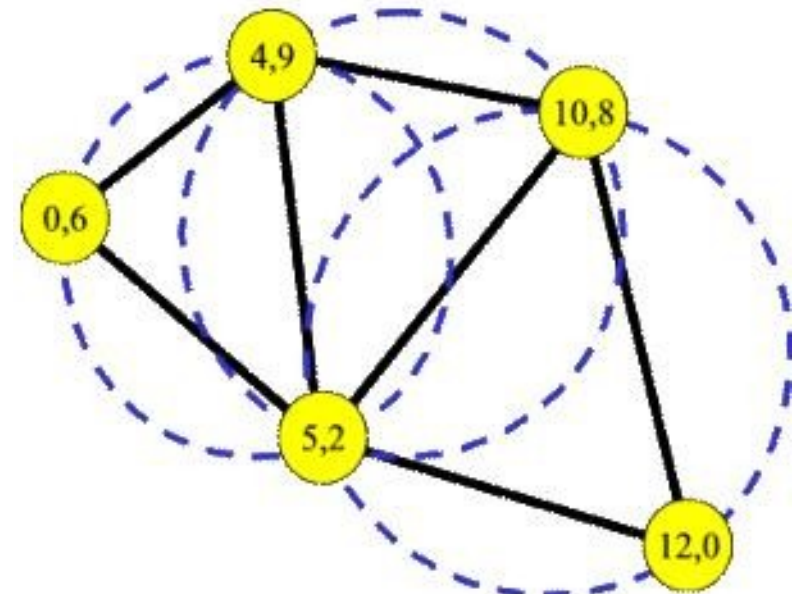
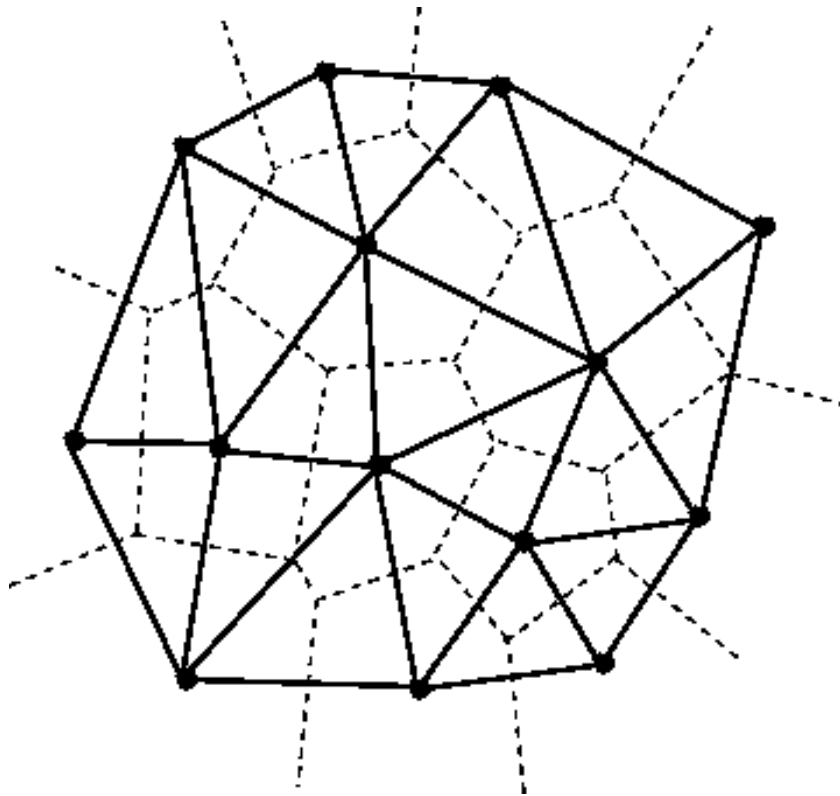
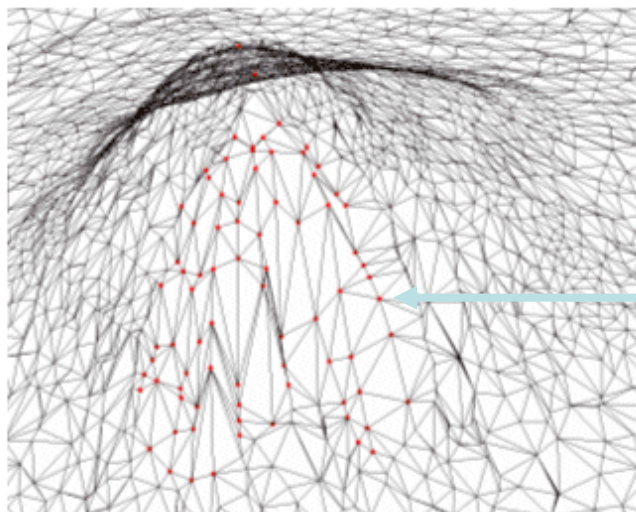
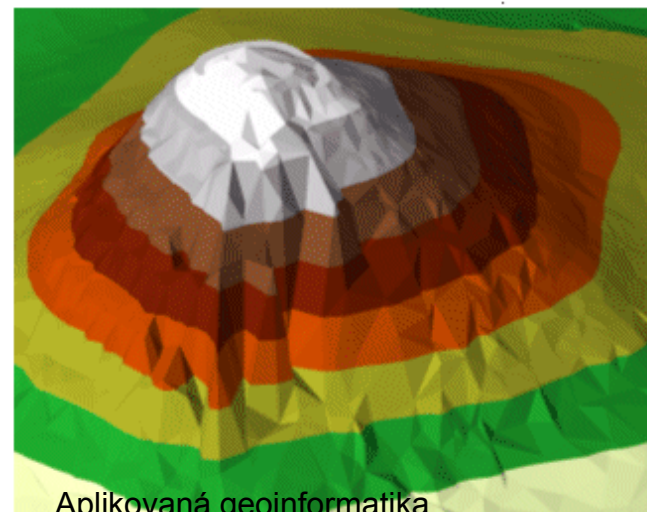
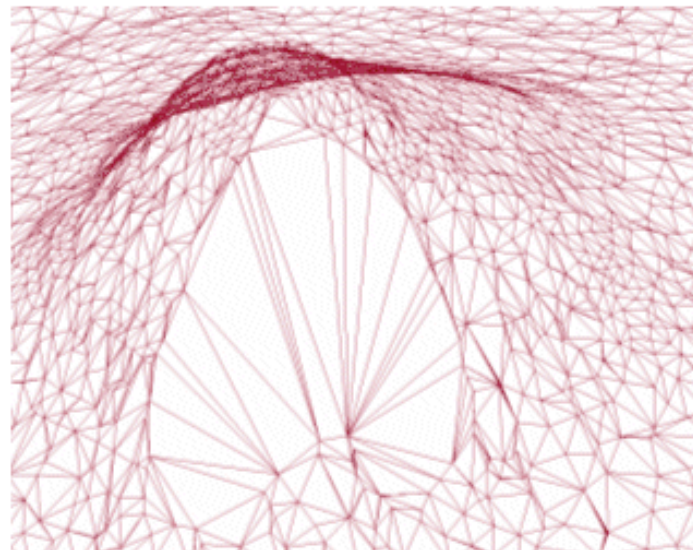
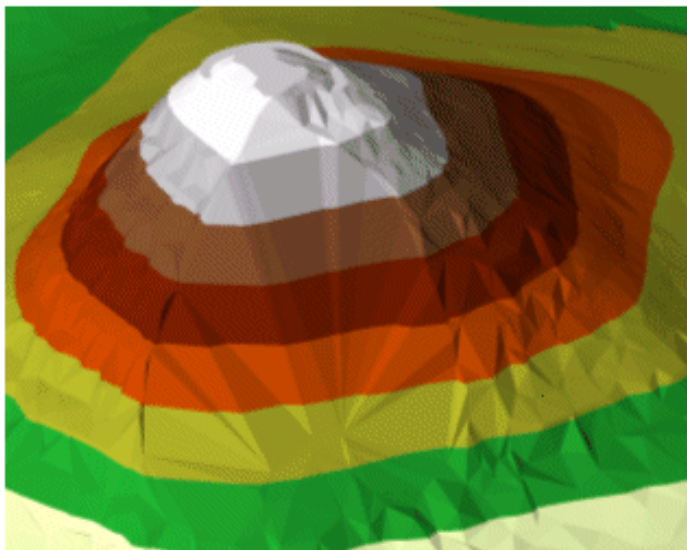
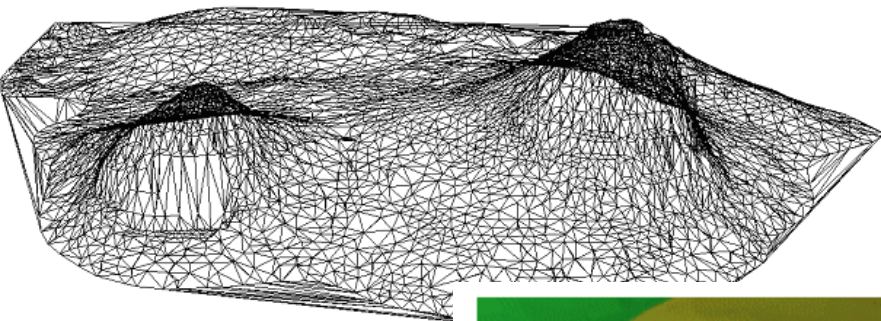


Figure 1.3. Delaunay triangulation.

<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>



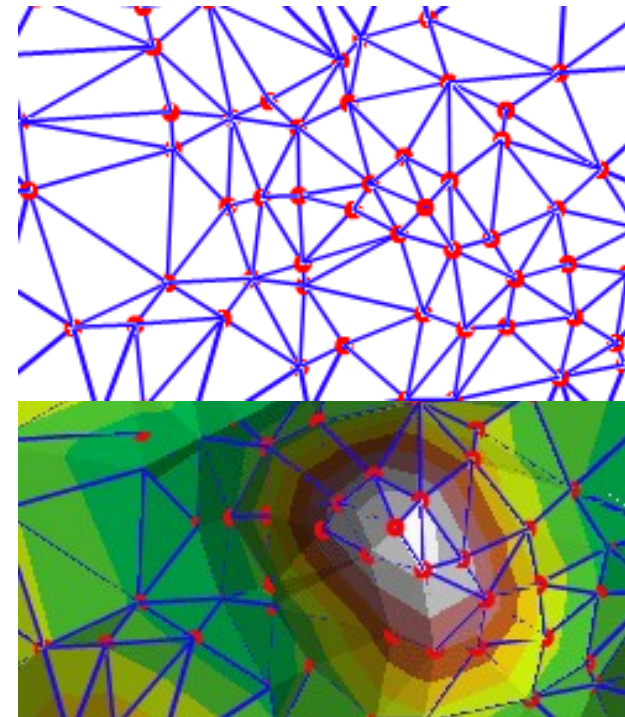
dodané lomové body

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.

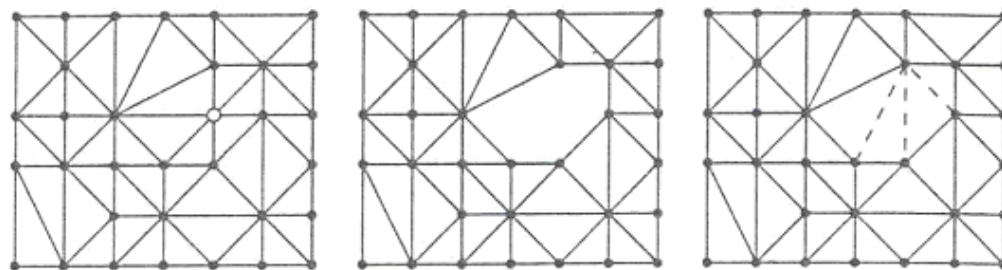
Tvorba TINu v ArcGIS

- 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)



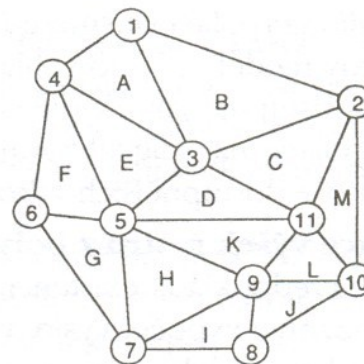
Obr. 6.24.

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. |
| | $L_{in} = \epsilon \sigma T_s^4 + (1 - \tau) L_{out}$ | 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 topographic | 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 | Spatially distributed hydrological modeling Spatial analysis of soil properties Topographic aspect corrections to remotely sensed data |
| | | Surface-specific point and stream-line data obtained by ground survey using GPS | Topographic aspect effects on solar radiation, evaporation, and vegetation patterns |
| | | Remotely sensed elevation data using airborne and spaceborne radar and laser | |
| Coarse topographic | 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 | Broader scale distributed parameter hydrological modeling |
| | | Surface-specific point and stream-line data digitized from existing topographic maps at 1:100,000 scale | 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

