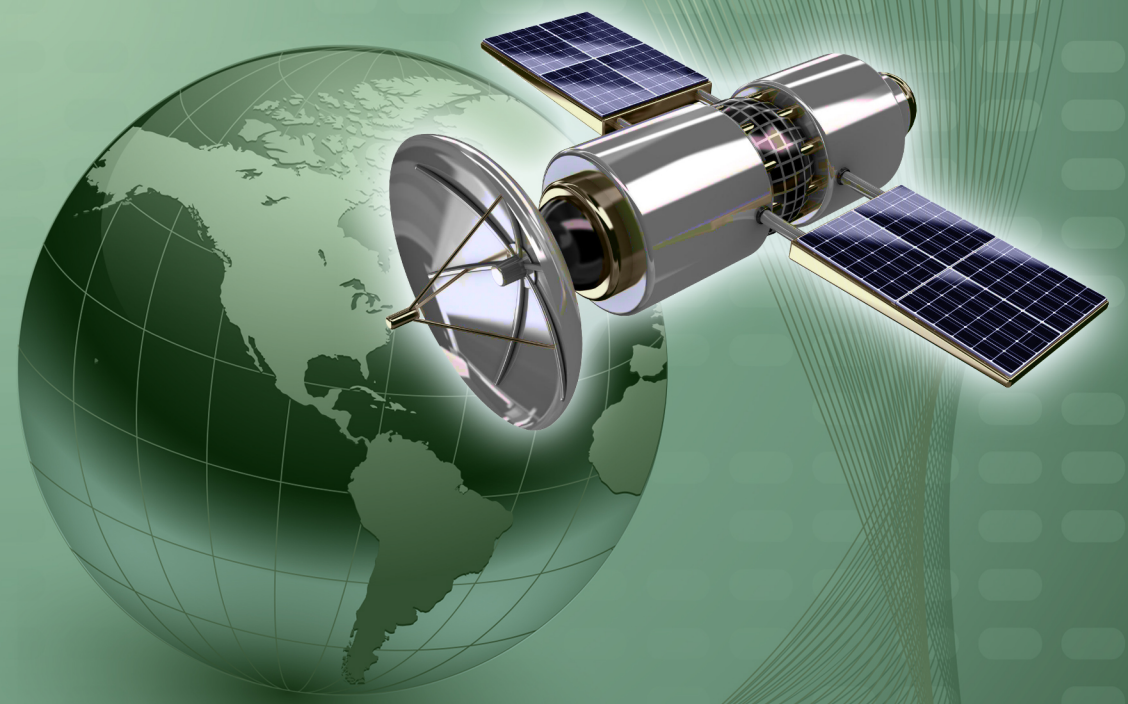
Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici



Geografické informačné systémy 3

Rozvoj inovatívnych foriem vzdelávania
na Univerzite Mateja Bela
v Banskej Bystrici

ITMS: 26110230077

Moderné vzdelávanie pre vedomostnú spoločnosť
Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ

Vydavateľstvo Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici
Belianum

Geografické informačné systémy 3

Michal Klaučo, Karol Weis,
Bohuslava Gregorová, Lenka Anstead

Banská Bystrica
2014

Názov: Geografické informačné systémy 3

Autori: RNDr. Michal Klaučo, PhD.
RNDr. Karol Weis, PhD.
PaedDr. Bohuslava Gregorová, PhD.
Mgr. Lenka Anstead, PhD.

Ilustrácie: RNDr. Michal Klaučo, PhD., Mgr. Tomáš Chrien

Recenzenti: Dr. h. c. prof. Ing. Pavol Rybár, PhD.
Doc. PhDr. RNDr. Martin Boltižiar, PhD.
RNDr. Nora Balková, PhD.

Schválené: Vysokoškolská učebnica schválená dekanom Fakulty prírodných vied Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici 02/2014.

© Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, 2014

ISBN 978-80-557-0691-7

Tento učebný materiál vznikol v rámci projektu „Rozvoj inovatívnych foriem vzdelávania na Univerzite Mateja Bela v Banskej Bystrici“ (ITMS: 26110230077) v súlade s Operačným programom Vzdelávanie. Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov Európskej únie. Prijímateľom nenávratného finančného príspevku je Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici.

Obsah

Predslov 5

1. Priestorové analýzy v GIS 6

2. Digitálny model terénu 8
2.1. Teoretické východiská 8
2.2. Kvalitatívne požiadavky na dátový vstup 10
2.3. Dátový vstup 11
2.4. Interpolačné metódy 11
2.5. Digitálny model terénu v ArcMap 14
2.5.1. Inverse Distance Weighting (IDW) 14
2.5.2. Spline 15
2.5.3. Trend 16
2.5.4. Kriging 17
2.5.5. Natural Neighbor 18
2.5.6. Topo to Raster 18

3. Analýza reliéfu 22
3.1. Morfometrická analýza reliéfu 22
3.1.1. Orientácie reliéfu 23
3.1.2. Sklon reliéfu 24
3.1.3. Krivosti reliéfu 26
3.2. Analýza vzdialeností a viditeľností 27
3.2.1 Najmenej nákladná trasa 27
3.2.2. Lokalizácia najvhodnejších miest 30
3.2.3. Analýza viditeľnosti 32
3.3. Znázornenie reliéfu 34
3.3.1. Tieňovanie reliéfu 34
3.3.2. Farebné odstupňovanie výšok 35
3.3.3. Generovanie vrstevníc z DTM 36

4. 3D zobrazenie geografických informácií 38
4.1. 3D dátový vstup 38
4.2. Tvorba TIN modelu 38
4.2.1. Konverzia rastra na TIN 40
4.2.2. Konverzia TIN na raster 41
4.2.3. Tvorba 3D prvkov 42
4.3. ArcScene 43
4.3.1. Zobrazenie 3D údajov 43

4.3.2. Vytváranie animácií 45
4.3.3. Export scény a animácie 45

5. Vodstvo a prúdenie 47
5.1. Smer prúdenia 47
5.2. Identifikácia chýb DTM a ich oprava 48
5.3. Akumulácia prietoku – odvodňovacia sieť 49
5.3.1. Sieť vodných tokov 50
5.3.2. Článkovanie tokov 51
5.3.3. Klasifikácia tokov 51
5.3.4. Prevod rastra na vektor 52
5.4. Povodia a ústia tokov 53

6. Analýza krajinnej štruktúry 56
6.1. Dátový vstup 57
6.2. Analýza krajinnej štruktúry v ArcMap 57
6.3. Kvantifikácia krajinnej štruktúry 59
6.4. Príklad aplikačného využitia krajinných metrík 61
6.4.1. Analýza priestorovej konfigurácie a krajinnej kompozície . 61
6.4.2. Koeficient ekologickej stability 64
6.4.3. Statické časti krajinnej pokrývky 64

Záver 66

Použitá literatúra 67

Zoznam obrázkov a tabuliek 70

Register 73

Príloha 1 Online GIS (bezplatné) mapové služby 75

Príloha 2 Online GIS (bezplatné) časopisy 78

Príloha 3 Základný GIS slovník 79

Príloha 4 Používané skratky v oblasti GIS 83

Príloha 5 Katalóg mapových zostáv 85

Predslov

Geografické informačné systémy (GIS) je možné vnímať ako technologický prostriedok s konkrétnym využitím, resp. prostriedok vhodný na riešenie rôzneho spektra problémov viazaných na geografický priestor. GIS sa odlišujú od ostatných informačných systémov práve schopnosťou pracovať s geografickým priestorom. Abstrakcia, analýza a vizualizácia priestoru je tým hlavným dôvodom, prečo sa GIS uplatňujú pri riešení rôznych problémov spojených s krajinnou sférou. V súčasnosti GIS ponúkajú používateľovi optimálne pracovné prostredie, ktoré je možné modifikovať podľa definovaných požiadaviek. K dispozícii je široké spektrum cenovo dostupného hardvérového vybavenia. Údajová báza je čoraz rýchlejšie aktualizovaná, pričom zároveň disponuje výraznejšou presnosťou obsiahnutých informácií. Metodológia práce je priamo previazaná s aplikačnou bázou a potrebou v danom sektore alebo oblasti využívania. V poslednom období sa silne rozvíja tzv. sociálna oblasť GIS, t. j. používateľská komunita, ktorá je združená do rôznych blogov, fór a sociálnych sietí. Taktiež sa posilňuje používateľská podpora zo strany GIS softvérových producentov, približujúca sa ku koncovému používateľovi, ktorý je aj na úrovni začiatočníka. GIS sa v takomto ponímaní stávajú ideálnou technológiou práce s geografickým priestorom a jeho obsahom.

Táto vysokoškolská učebnica sa venuje aplikačnej báze využívania GIS v oblasti geomorfológie, hydrológie, 3D modelovania a krajinnej ekológie. Výstupy z uvedených oblastí je možné aplikovať priamo na riešenie problémov súvisiacich s ochranou a tvorbou krajiny, krajinného alebo územného plánovania, regionálneho rozvoja atď. Preto je v mnohých ohľadoch uprednostnený tzv. geografický prístup a súvisiaca terminológia pred technologickým a technickým opisom jednotlivých komponentov, z ktorých GIS pozostávajú. Bez zodpovedajúcej technickej a technologickej infraštruktúry však nie je možné GIS použiť v oblasti aplikačného využívania, pre potreby ktorého je dôležitá disponibilita dostatočného hardvérového výkonu a profesionálneho pracovného prostredia zo strany softvérových produktov. Aplikačné využívanie GIS je v tejto učebnici koncipované na softvérový produkt ArcGIS for Desktop 10.x.

Jednotlivé kapitoly prinášajú základný teoretický prehľad danej témy a pracovný postup, ako použiť GIS na dosiahnutie požadovaných výsledkov. Ide najmä o analýzy viazané na reliéf, od ktorého sú odvodené jednotlivé parametre smerujúce napr. do oblasti 3D modelovania alebo hydrológie. Vysokoškolská učebnica predstavuje určitý úvod a východiskový bod tvorby konkrétnych cvičení. Kapitoly učebnice sú štruktúrované do logického rámca tak, aby si používateľ dokázal vyhotoviť požadovaný výsledok, napr. 3D animácie, výpočet krajinných metrík, odvodenie sklonov reliéfu atď. V učebnici je kladený dôraz na didaktickú stránku. Preto došlo k modifikácii zaužívanej terminológie, štruktúry a poradia informácií. Samotná obsahová podstata takto modifikovaných prístupov ostáva nezmenená.

Používateľ učebnice bude schopný samostatne pracovať s digitálnym modelom terénu (DTM), dokáže odvodiť morfometrické parametre reliéfu, vytvoriť 3D model, vyhotoviť analýzu zmien krajinnej pokrývky atď. a následne previesť zručnosti do ďalších oblastí, v ktorých sa GIS využívajú.

Autori

1. Priestorové analýzy v GIS

Kapitola je zameraná na aplikačné využívanie GIS pomocou priestorových analýz krajiny. Sériou tematických okruhov sa pokúsime poukázať na možnosti využívania GIS v oblasti geografie, krajinnej ekológie, ekológie, ako aj ochrany krajiny. Jednotlivé tematické okruhy sú viazané na prácu s digitálnym modelom reliéfu a na prácu s krajinnou pokrývkou.

Priestorové analýzy budeme v zmysle Haininga (2005) považovať za súbor metód určených na analýzu krajinného priestoru, t. j. na analýzu jeho prvkov a atribútov. Cieľom analýz bude hľadanie určitých vzťahov v priestore, ktoré je možné pre dané potreby interpretovať a následne vizualizovať.

Výsledok priestorových analýz je podmienený vstupnými parametrami, ktoré sú reprezentované základnými vlastnosťami plynúcimi z geometrického, grafického a databázového rozhrania vstupných priestorových informácií. Hlavným účelom priestorových analýz je:

1. získanie presných parametrov a informácií na opis javov i udalostí v analyzovanom priestore,
2. systematické skúmanie štruktúry, vzťahov, udalostí a vývoja v analyzovanom priestore s cieľom získať informácie o ich priebehu,
3. predvídanie a kontrolovanie javov a udalostí, ktoré prebiehajú v analyzovanom priestore.

Podľa autorov Longley, Goodchild et al. (2005) je možné priestorové analýzy rozdeliť do nasledovných piatich okruhov:

1. Vyhľadávanie ako najčastejšie používaný typ priestorových analýz. V GIS sa využíva na zodpovedanie používateľom zostavených otázok vo vzťahu k databázovému rozhraniu priestorových informácií. Ide o analýzy, ktoré majú len tzv. dopytový charakter, bez následnej zmeny údajovej a priestorovej štruktúry analyzovaných dát. Tento okruh priestorových analýz najčastejšie používa nástroje, ktoré vychádzajú z výrazov jazyka SQL.
2. Meranie prvkov analyzovaného priestoru pomocou číselných hodnôt. Ide o číselné vyjadrenie dĺžky, plochy, vzdialenosti, uhla atď. medzi umiestnenými bodmi v priestore. Jednotlivé body sú zároveň uzlami, ktoré sú pospájané hranami do línie alebo polygónu. V prostredí GIS sú merania vo forme analýzy priestoru upravené o parametre príslušného zobrazovacieho systému, v ktorom práve pracujeme.
3. Transformácie prvkov analyzovaného priestoru, resp. ich zmena do požadovanej podoby prostredníctvom spektra geoprocesingových nástrojov. Ide hlavne o zmenu geometrie objektov, tvorbu syntetických dátových komplexov na základe priestorového prieniku analytických dát. Do tohto okruhu zaraďujeme aj interpoláciu analyzovaného priestoru, prevody medzi dátovými modelmi, dátový manažment atď.
4. Sumarizačný opis analyzovaného priestoru pomocou matematicko-štatistických operátorov. Výsledok je interpretovaný do podoby súčtov, min. a max. hodnôt, priemerov, odchýlok atď.
5. Lokalizácia konkrétneho miesta v rámci analyzovaného priestoru podľa definovaných požiadaviek. Priestorové analýzy, ku ktorým sa pristupuje na syntetickej úrovni,

sú podmienené viacerými vstupnými údajmi. Ide napr. o optimalizáciu trasy prechodu, vhodnosť umiestnenia objektov oddychu, športu, obchodu, služieb atď.

Priestorové analýzy je možné vnímať ako súbor pracovných metód a postupov s cieľom dosiahnuť stanovený výsledok. Pri priestorových analýzach môžeme pracovať s akýmkoľvek dátovým formátom. Zároveň prácu s nimi môžeme vzájomne kombinovať, tzn. na docielenie požadovaného výsledku môžeme pracovať súčasne s vektorovým, ale aj rastrovým dátovým modelom.

V prostredí ArcGIS máme pre aplikáciu ArcMap k dispozícii samostatné rozšírenie (extenziu) s názvom Spatial Analyst. Rozšírenie ponúka spektrum nástrojov na priestorovú analýzu bunkovo orientovaných rastrových dátových modelov. Nástroje sú umiestnené podľa témy a účelu použitia, napr. nástroje viazané na analýzu:

- povrchu (Surface) pomocou digitálneho modelu reliéfu (priestorové interpolácie, analýzy sklonu a orientácie reliéfu voči svetovým stranám, atď.),
- hustoty a rozptylu (Density) sledovaných javov alebo prvkov,
- povrchového a podpovrchového odtokového režimu (Hydrology, Groundwater) atď.

Ďalší dôležitý súbor nástrojov priestorových analýz sa nachádza v rozšírení s názvom 3D Analyst. Rozšírenie je určené na prácu s 3D prvkami a priestorom. Vizualizácia sa uskutočňuje v samostatnej aplikácii ArcScene.

Využiteľnosť oboch extenzií spočíva predovšetkým v riešení environmentálne orientovaných úloh v aplikáciách v oblasti ochrany prírody a krajiny, ďalej v odboroch lesníctva, civilného inžinierstva v priestore urbánnych aglomerácií, v ložiskovej geológii a v baníctve – pri vrtnom prieskume, v hydrológii a v protipovodňovej ochrane atď.

Nástroje obidvoch rozšírení sa nachádzajú v samostatných lištách (***Customize*** → ***Toolbars*** → ***Spatial Analyst*** a ***Customize*** → ***Toolbars*** → ***3D Analyst***), alebo sú tematicky usporiadané v aplikácii ***ArcToolbox***.

Otázky:

1. Čo je priestorová analýza?
2. Aký je hlavný účel priestorových analýz?
3. Do akých okruhov sa priestorové analýzy rozdeľujú?
4. Aké rozšírenie na prácu s priestorovými analýzami je k dispozícii v prostredí aplikácie ArcMap?
5. Aký je rozdiel medzi rozšíreniami Spatial Analyst a 3D Analyst?
6. Aký je rozdiel medzi aplikáciami ArcScene a ArcMap?

2. Digitálny model terénu

Kapitola s názvom *„Digitálny model terénu"* je zameraná na riešenie úloh abstrahovania reliéfu formou digitálneho dátového modelu so spojitým charakterom dát. Na tento účel je reliéf v zmysle Krcha (1973, 1991) považovaný za nehmotný prvok s pevným alebo dynamickým fázovým rozhraním medzi atmosférou resp. hydrosférou na jednej strane a pedosférou a biosférou či litosférou na strane druhej.

2.1. Teoretické východiská

Reliéf v zmysle Miklósa a Hrnčiarovej (1997) predstavuje geometrické pole, ktoré je vytvorené priestorovým rozmiestnením bodov a charakterizované základným ukazovateľom, nadmorskou výškou v každom jednom bode zemského povrchu. Poloha konkrétneho bodu s nadmorskou výškou je zároveň definovaná súradnicami geografickej dĺžky a geografickej šírky.

Prostredie aplikácie ArcMap poskytuje nástroje na tvorbu a správu dátových modelov, v ktorých sú obsiahnuté geografické informácie o reliéfe. Transformácia reálne existujúcich častí reliéfu do podoby digitálnych dátových modelov sa uskutočňuje prostredníctvom rozšírenia Spatial Analyst, 3D Analyst a Geostatistical Analyst.

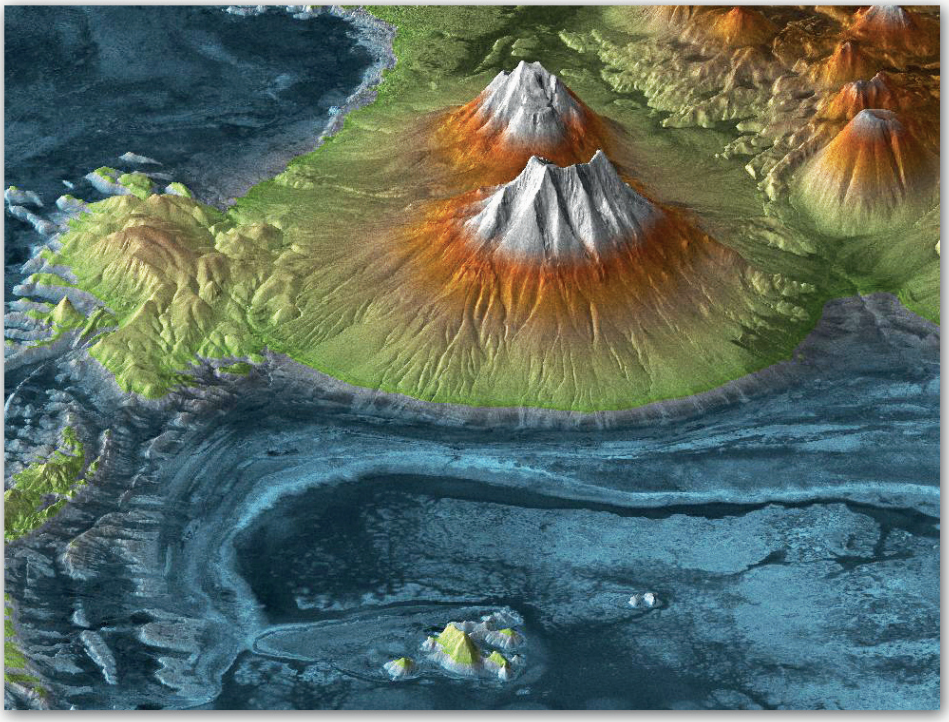
V takto vymedzenom kontexte transformácie sa podľa Čulákovej a Ofúkaného (2003) stretávame s nejednoznačnosťou vo výklade (či preklade) pojmov a skratiek. K dispozícii máme niekoľko terminológií, ktoré vyjadrujú obsahovú podstatu abstrakcie reliéfu do digitálneho prostredia:

1. **Digitálny výškový model – DVM** (Digital Elevation Model – DEM). Zvyčajne je reprezentovaný ako dvojrozmerné pole *„Z"* hodnôt, vzťahujúcich sa na spoločné definovanie polohy (Frank et al., 2000). V DVM (DEM) môžu byť tiež zahrnuté prvky zemského povrchu, napr. budovy a porasty.
2. **Digitálny model terénu – DMT** (Digital Terrain Model – DTM). Ide o digitálny model nadmorských výšok definujúci prvotný zemský povrch. Vylučuje prvky zemského povrchu, napr. budovy, lesy atď. Slovo terén má korene v armáde a spravidla sa ním rozumie zemský povrch bez stavieb a vegetačného krytu (Šíma, 2002).
3. **Digitálny model povrchu – DMP** (Digital Surface Model – DSM). Zobrazuje vrchnú časť povrchu vrátane budov, lesov atď. Vyjadruje nielen zemský povrch, ale i povrch všetkých objektov na ňom (striech, korún stromov a pod.). Vzniká pri automatizovanom vyhodnotení leteckých snímok na princípe obrazovej korelácie (Šíma, 2002).
4. **Digitálny model reliéfu – DMR** je digitálna prezentácia reliéfu spojito sa meniaceho v priestore (Čuláková, 2002). Podľa českého *„Terminologického slovníka zeměměřičství a katastru nemovitostí"* je DMR digitálna reprezentácia zemského povrchu v pamäti počítača zložená z dát a interpolačných algoritmov, ktoré umožňujú odvodzovať výšky medziľahlých bodov. Podľa Krcha (1979) je DMR reprezentovaný ako súbor bodov reliéfu terénu vybraných podľa určitých pravidiel, polohovo lokalizovaných s priradeným vektorom parametrov reliéfu. V USA má formu nepravidelne rozmiestnených výškových bodov, ktoré optimálne vystihujú terénne tvary vrátane hrán a výškových extrémov. Podľa Šúriho et al. (2003) DMR predstavuje množinu polohovo priradených údajov charakterizujúcich geometrické vlastnosti reliéfu (t. j.

nadmorskú výšku a ďalšie morfometrické ukazovatele – sklon, orientáciu, krivosť reliéfu) a vypočítaných na základe vstupných výškových bodov a vhodnej interpolačnej metódy. V technickej praxi, ako i v zahraničí, sa používa aj termín digitálny model terénu (DMT), ktorý je však čiastočne významovo odlišný, pretože implicitne neobsahuje aj morfometrické ukazovatele reliéfu a niekedy sa do neho zahŕňajú aj technické prvky v krajine (napr. cesty a zárezy).

5. **Digitálny model územia – DMÚ** (Digital Landscape Model – DLM). Ide o základnú bázu geografických dát a súbor programových prostriedkov určených na zber, spracovanie, aktualizáciu a distribúciu geografických informácií o území. Ďalším používaným termínom je digitálny model krajiny – DMK (Šíma, 2002).

Na účely abstrahovania reliéfu do podoby geografických informácií (obrázok 1) budeme ďalej používať len termín **digitálny model terénu – DMT** (Digital Terrain Model – DTM).



Obrázok 1

V prostredí GIS je reliéf statickým objektom so spojitým informačným charakterom. Informácie o reliéfe môžeme abstrahovať do rastrových, ale aj vektorových dátových modelov, ktorými môžu byť:

- **Vrstevnice** alebo **sieť bodov** – vektorový dátový model, t. j. vrstevnicový model. V takomto prípade ide o diskrétny typ údajov. Distribúcia prvkov v priestore vychádza z výškového intervalu, ktorý určíme medzi vrstevnicami.
- **TIN** – špecifický dátový model tvorený nepravidelnou vektorovou sieťou susediacich trojuholníkov. Výškové hodnoty sú priradené vrcholom trojuholníkov. V tomto

prípade ide o spojitý údajový typ, kde reliéf vymedzeného priestoru je abstrahovaný pomocou siete trojuholníkov rôznych rozmerov a tvarov.

- **GRID** – rastrový dátový model, t. j. reliéf je reprezentovaný prostredníctvom pravidelnej siete buniek. Každá bunka má priradenú informáciu o nadmorskej výške.

2.2. Kvalitatívne požiadavky na dátový vstup

Tvorba digitálnych modelov reliéfu si vyžaduje určitý kvalitatívny dátový vstup. Voženílek (2001) upozorňuje, že nie je možné vytvárať presné analýzy z nepresných dát. V geografických informáciách sú obsiahnuté neurčitosti a chyby, ktoré môžu ovplyvniť výsledky analýzy údajov a modelovania (Burrough, McDonnell, 1998). Takéto chyby sa môžu dostať do dát v rôznych štádiách spracovania geografických informácií, od merania geografického prostredia až po jeho prezentáciu v prostredí GIS (Čuláková, Ofúkaný 2003). Kvalita priestorových údajov závisí najmä od použitej terminológie, zberu dát a vychádza z nasledujúcich atribútov (Frank et al., 2000):

- pôvod priestorových dát – opis zdroja a použitej metódy odvodenia,
- polohová presnosť (horizontálna a vertikálna) – závisí od skúseností v meraní,
- použité metódy a výber mapovej projekcie,
- atribútová presnosť – zmena daného javu, presnosť meracieho prístroja a merania,
- kompletnosť – opis vzťahov medzi objektmi,
- logická konzistencia – vernosť vzťahov zakódovaných v údajovej štruktúre digitálnych priestorových dát,
- sémantická presnosť – význam geografického objektu v realite,
- časová informácia – dátum pozorovania, typ aktualizácie, časové obdobie platnosti záznamu priestorových dát.

Tvorba digitálnych modelov reliéfu pomocou analógových informácií z výškopisu topografických máp môže byť podľa Čulákovej a Ofúkaného (2003) vo svojej podstate zaťažená chybami. Veľmi časté sú chyby v nepresnej polohe vrstevníc identických výšok na styku dvoch mapových listov. Podľa Voženílka (2001) môže ísť o nasledovné typy chýb:

- omyly (blunders) – sú ľahko identifikovateľné a treba ich vylúčiť ešte pred vstupom dát do procesu spracovania DTM,
- systematické chyby (systematic errors) – je potrebné eliminovať umelé nereálne tvary reliéfu (vertikálny posun výšok, fiktívne vrcholy, zlomy) spôsobené vrchnou časťou povrchu (napr. koruny stromov),
- náhodné chyby (randoms) – bežná distribúcia chýb v priestore, ktoré môžu mať pozitívny, ale aj negatívny charakter a rôznu početnosť.

2.3. Dátový vstup

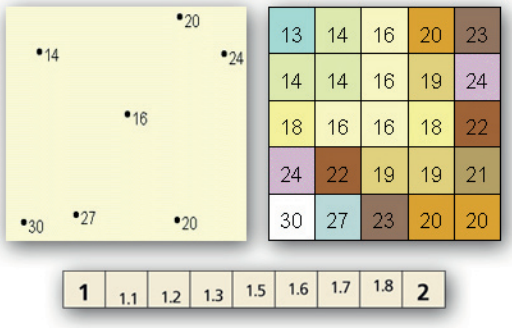
Digitálny model terénu musí reprezentovať reálne existujúci reliéf, ktorý je matematicky a geograficky definovaný. Získavanie primárnych informácií na tvorbu DTM môžeme podľa Bitterera (2003) vykonať troma spôsobmi:

- geodetickým meraním v teréne, ktoré sa uskutočňuje spravidla elektronickou tachymetriou,
- fotogrametrickým vyhodnotením leteckých snímok, ktoré sa dnes považuje za hlavnú metódu tvorby DTM,
- vektorizáciou obsahu existujúcich máp, ktorá je založená na určovaní terénnych bodov z výškopisnej zložky mapy. Do vektorovej podoby môžeme abstrahovať líniové alebo bodové objekty mapy.

V prípade výberu bodov pre DTM sa ich hustota a rozloženie riadi charakterom terénu. Počet bodov nemôžeme presne vymedziť, aj keď sú vypracované optimálne počty bodov rôznych typov terénu, napr. jednoduchý terén a pravidelne členitý terén s 20 až 40 bodmi/ha, resp. nepravidelný, veľmi členitý terén so 100 až 400 bodmi/ha atď. (Bitterer, 2003).

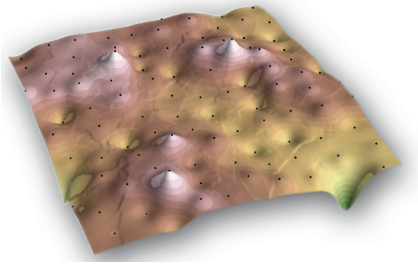
2.4. Interpolačné metódy

Transformácia polohopisných geografických informácií na DTM sa uskutočňuje prostredníctvom spektra algoritmov, resp. interpolačných metód. Vstupné polohopisné informácie (vrstevnice alebo výškové body) majú diskrétny charakter s rôznou hustotou a priestorovou distribúciou. Priestor, ktorý nemá výškovú reprezentáciu (obrázok 2), je dopĺňaný pomocou interpolačných algoritmov (v prípade výpočtu výšok v hraniciach vymedzených existujúcimi vstupnými údajmi) alebo extrapolačnými algoritmami (pri výpočte výšok mimo oblasti vstupných údajov, napr. pri doplnení tvaru spracovávanej oblasti na pravouholník). Z praktického hľadiska ide hlavne o priestor medzi vrstevnicami alebo výškovými bodmi. Zvolená metóda tento prázdny priestor doplní podľa hodnôt z najbližšie sa nachádzajúcich výškových reprezentácií. V prostredí ArcMap sú k dispozícii nasledovné typy interpolovacích a extrapolovacích algoritmov, ktoré je možné charakterizovať podľa viacerých autorov, napr. Voženílka (2001), Čulákovej a Ofúkaného (2003) atď.:

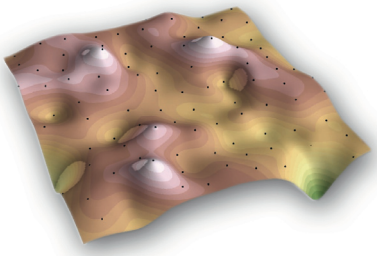


Obrázok 2

1. **Inverse Distance Weighting (IDW)** – metóda inverzných vzdialeností (obrázok 3), pri ktorej sa uplatňuje základný geoštatistický princíp. Javy, ktoré sú v priestore bližšie k sebe, sa viac podobajú ako javy, ktoré sú priestorovo vzdialenejšie. IDW je metóda interpolácie, ktorá odhaduje hodnoty buniek pomocou priemeru známych hodnôt v susedstve každej bunky. Vplyv známych hodnôt slabne so vzdialenosťou, t. j. váha bodov (mocnina) je nepriamo úmerná ich vzdialenosti. Metódou IDW je problematické interpolovať vrcholy alebo údolia. Odhadované hodnoty nebudú vyššie ani nižšie ako hodnoty vstupu, preto nemôžu byť správne. Pokiaľ nemáme k dispozícii minimálne a maximálne hodnoty interpolovaného javu, resp. priestoru, dochádza v týchto miestach k skresleniu. Ďalším významným nedostatkom metódy IDW je tvorba koncentrických izolínií (bull eyes) okolo vstupných bodov.

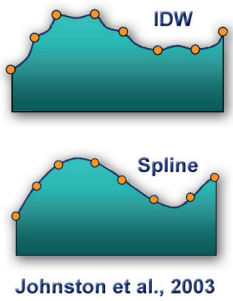


Obrázok 3



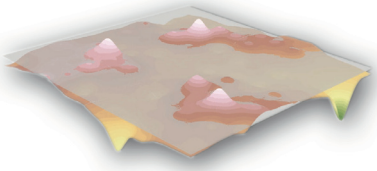
Obrázok 4

2. **Spline** – metóda využíva matematicky definované krivky (obrázok 4), ktoré interpolujú jednotlivé časti povrchu. Výsledný povrch presne prechádza bodmi so známymi hodnotami. Metódu je možné prirovnať ku gumenej ploche, ktorú ohýbame v nami zvolených miestach, t. j. v známych bodoch. Výhodou tejto metódy je, že sa môžu modifikovať časti terénu, inak by sa musel prepočítavať povrch. Zároveň dochádza k interpolácii vrcholov a údolí. Nevýhodou však je, že výsledný reliéf je nerealisticky hladký vďaka vyhladeniu bariér a skokov. Najlepšie výsledky môžeme dosiahnuť pri interpolácii veľmi hladkých povrchov, napr. klimatických javov. Zároveň ju môžeme použiť na vyhladzovanie povrchov. Na obrázku 5 je graficky znázornený rozdiel medzi metódami IDW a Spline.



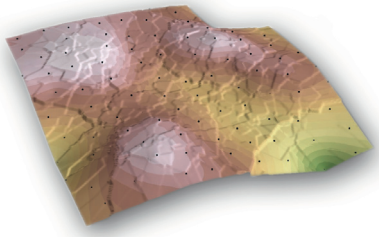
Obrázok 5

3. **Trend** – v prípade interpolácie spojitého javu môžeme neznáme hodnoty vypočítať polynomickou funkciou (obrázok 6), tzv.



Obrázok 6

trendom. Interpolácia trendom prispôsobuje povrch množine bodov pri použití viacnásobnej (polynomickej) regresie. Výsledný povrch neprechádza žiadnym zo vstupných bodov.



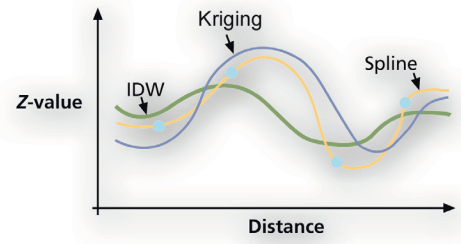
Obrázok 7

4. **Kriging** – je podobná metóda ako IDW, avšak v prípade IDW váhy závisia výlučne na vzdialenosti od odhadovaného miesta. Pri metóde kriging (obrázok 7) závisia váhy aj na priestorovom usporiadaní interpolovaného priestoru. Metóda vychádza z algoritmov IDW, t. j. z váženého priemeru priestorovej premennej (vstupných známych hodnôt), ktorej váhy sú spočítané na základe variogramu. Podľa Bližtána a Pauca (2005) je možné variogram zostaviť z dvojice hodnôt oddelených vektorovou líniou. Pôvodné hodnoty sa pri konštrukcii variogramu transformujú hodnotou 1, ak spĺňajú stanovenú podmienku, napr. nadmorská výška je 780 m. V prípade, že hodnoty presahujú stanovený limit, nahrádzajú sa hodnotou 0. Transformované pole hodnôt slúži ako vstup interpolácie metódou kriging. Je to exaktná metóda interpolácie a pokiaľ nie je podiel neznámej hodnoty veľký, poskytuje veľmi presné výsledky. Výpočtovo je však značne náročný.

5. **Natural Neighbor** – interpolačná metóda, kde nie je možné zadať spresňujúce parametre, ktoré by ovplyvnili výsledok. Využíva techniky priestorovej lokalizácie hodnôt susedných buniek. Interpolácia prebieha iba vo vnútornom priestore, ktorý vznikne pospájaním hraničných bodov do tzv. konvexného polygónu. Metódu je možné aplikovať v rôznej triede kvalitatívneho vstupu, napr. body rozptýlené, rovnomerné, husté alebo riedke. Výsledkom interpolácie je raster, v ktorom sú hodnoty spojito previazané a zároveň vyhladené.

6. **Topo to Raster** – špecifická metóda produktu ArcGIS, ktorá je určená na interpoláciu tzv. hydrologicky korektného digitálneho modelu terénu. Topo to Raster dovoľuje modelovať náhle zmeny v priebehu nadmorskej výšky. Metóda vychádza z kombinácie algoritmov IDW a Spline. Do interpolácie vstupujú okrem výškových bodov aj hydrologické vrstvy, ako sú napr. povodia, vodné plochy alebo vodné toky. Výškové informačné vstupy, ktoré budú v rozpore s hydrologickým vstupom, budú ignorované, t. j. zohľadňujú sa polohopisné informácie o priestore.

Termín interpolácia vyjadruje proces výpočtu neznámych hodnôt určitého javu na základe množiny známych hodnôt. Interpolačný proces je možné aplikovať len vtedy, ak je daný jav spojitý a priestorovo závislý. Výsledok interpolácie sledovaného javu je podmienený kvantitatívnym i kvalitatívnym vstupom a voľbou správneho interpolačného algoritmu. Týmto spôsobom môžeme odhadnúť akékoľvek hodnoty, ktoré majú geografickú bázu reprezentácie a šírenia, napr. nadmorskú výšku, kontamináciu zložiek životného prostredia, hluk, dažďové zrážky atď. Na tento účel je priložený porovnávajúci obrázok 8.

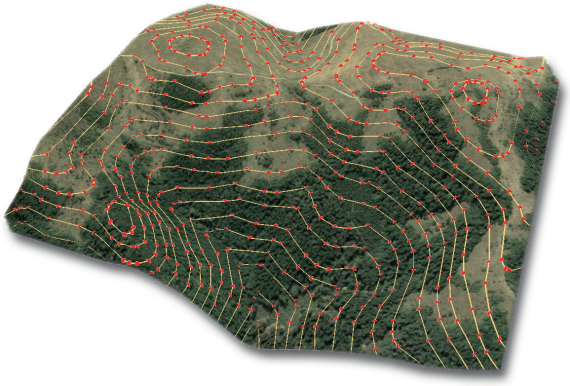


Obrázok 8

2.5. Digitálny model terénu v ArcMap

Digitálny model terénu môžeme vytvoriť v prostredí aplikácie ArcMap viacerými interpolačnými metódami. Funkcionalita nástrojov, ktoré sú určené na prácu s rastrovými dátovými modelmi, je viazaná na rozšírenia Spatial Analyst, 3D Analyst a Geostatistical Analyst.

Primárnym dátovým vstupom do tvorby digitálneho modelu terénu sú bodové prvky vektorových dátových modelov. Ide o veľmi jednoduchý pracovný postup, ktorý je podmienený správnym nastavením parametrov interpolačných algoritmov. Základom je vektorový vstup bodovej vrstvy s obsahom atribútového záznamu „*Z*" hodnôt, resp. súradníc, ktoré reprezentujú nadmorskú výšku. Podľa zadanej výškovej hodnoty a nastavených parametrov vytvárame digitálny model terénu. Na obrázku 9 je znázornený digitálny model terénu pomocou mapového podkladu s vrstvami výškovej reprezentácie.



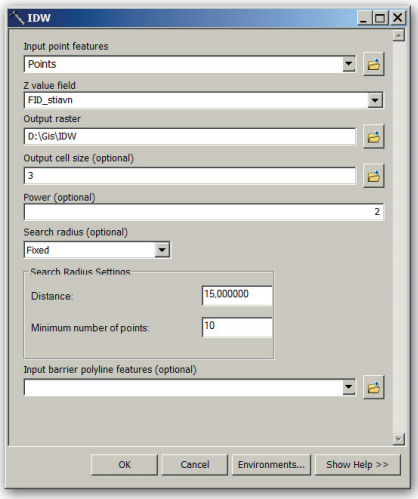
Obrázok 9

2.5.1. Inverse Distance Weighting (IDW)

Interpoláciu povrchu pomocou algoritmu IDW môžeme vykonať položkou ***IDW*** aplikácie ArcToolbox (***Spatial Analyst Tools*** → ***Interpolation*** → ***IDW***). V zobrazenom okne máme k dispozícii niekoľko možností nastavenia parametrov (obrázok 10):

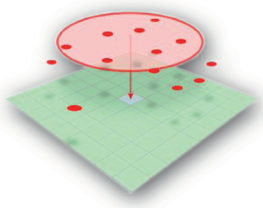
- ***Input point features*** – vrstva vstupných bodov (známa reprezentácia priestoru), ktorá obsahuje atribút s nadmorskou výškou.
- ***Z value field*** – výber atribútu s obsahom hodnôt nadmorských výšok.
- ***Output raster*** – výsledná interpolácia povrchu v rastrovom dátovom formáte.
- ***Output cell size (optional)*** – veľkosť bunky výsledného rastra.
- ***Power (optional)*** – mocnina váhy; čím je vyššie číslo, tým bude bližším bodom priradená väčšia váha. So zvýrazneným detailom sa znižuje aj hladkosť číselnej spojitosti nadmorských výšok. Menšie číslo kladie dôraz na vzdialenejšie body a výsledok bude menej detailný, t. j. zvýrazní sa hladkosť prechodu nadmorských výšok. Hodnoty mocniny sa zadávajú v rozsahu od 0.5 do 3. V prípade hodnoty 0 bude odhad rovný aritmetickému priemeru. Štandardne je prednastavená hodnota 2.

- ***Search radius (optional)*** – nastavenie priestorového polomeru, ktorý obmedzuje počet vstupných bodov na výpočet odhadu neznámeho priestoru. Polomer vyhľadávacieho priestoru môže byť pevný (***Fixed***) alebo variabilný (***Variable***):
  - ***Fixed*** – je potrebné zadať veľkosť (polomer) kruhu (***Distance***), v ktorom sa bude vyhľadávať minimálny počet vstupných bodov (***Minimum number of points***). Všetky body v definovanej vzdialenosti budú použité na výpočet neznámeho priestoru. Ide o kombináciu veľkosti plochy a počtu bodov. V prípade menšieho počtu bodov v danom priestore sa bude polomer kruhu zväčšovať. Zadaný polomer bude použitý pre každý známy bod. V takomto prípade je polomer nadradený počtu bodov, ktoré nemusíme zadávať. Polomer je štandardne nastavený päťnásobkom veľkosti pixlov vstupného rastra (obrázok 11).

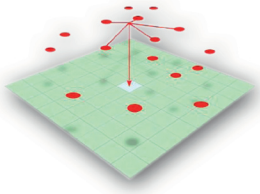


Obrázok 10

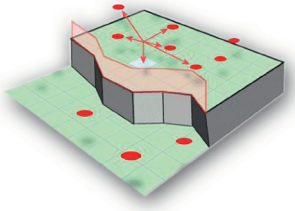
  - ***Variable*** – je potrebné zadať počet vstupných bodov (***Number of points***) a maximálny možný vyhľadávací polomer kruhového priestoru (***Maximum distance***), v ktorom sa bude realizovať interpolácia. Zadaný maximálny polomer je priamo závislý na počte bodov. Ak sa dosiahne požadovaný počet bodov, berie sa do úvahy len aktuálne dosiahnutý polomer. Počet bodov je štandardne nastavený na 12 (obrázok 12).
- ***Input barrier polyline features (optional)*** – bariéra v podobe líniovej vrstvy (útes, vodopád atď.), ktorá obmedzuje vyhľadávanie vstupných bodov (obrázok 13).



Obrázok 11



Obrázok 12

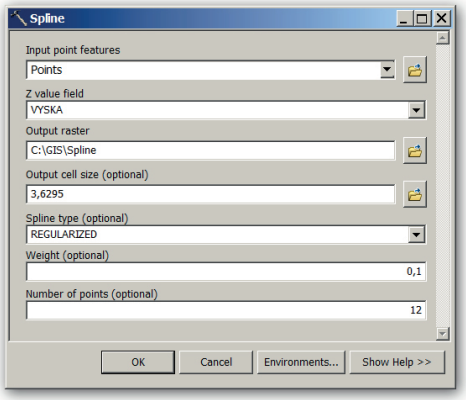


Obrázok 13

2.5.2. Spline

Interpoláciu povrchu pomocou algoritmu Spline môžeme vykonať položkou ***Spline*** aplikácie ArcToolbox (***Spatial Analyst Tools*** → ***Interpolation*** → ***Spline***). V zobrazenom okne máme k dispozícii niekoľko možností nastavenia parametrov (obrázok 14):

- ***Input point features*** – vrstva vstupných bodov (známa reprezentácia priestoru), ktorá obsahuje atribút s nadmorskou výškou.
- ***Z value field*** – výber atribútu s obsahom hodnôt nadmorských výšok.
- ***Output raster*** – výsledná interpolácia povrchu v rastrovom dátovom formáte.
- ***Output cell size (optional)*** – veľkosť bunky výsledného rastra.



Obrázok 14

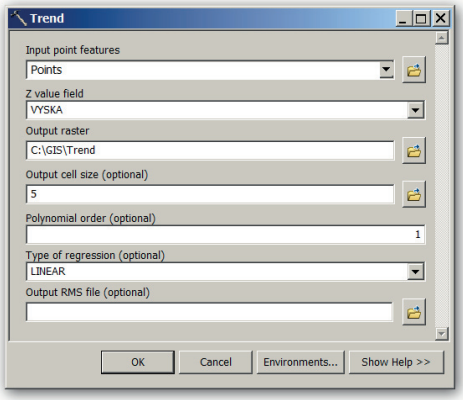
- ***Spline type (optional)*** – výber metódy zakrivenia interpolovaného povrchu. Prvá metóda je tzv. regulovaná (***REGULARIZED***) a vytvára vyhladený povrch aj mimo rozsahu vstupných hodnôt. Druhá metóda (***TENSION***) kladie dôraz na rozsah vstupných hodnôt, čím sa vytvára menej hladký povrch, ktorý môže byť sprevádzaný rôznymi kontrastmi.
- ***Weight (optional)*** – vybranej metóde zadávame tzv. váhu, ktorá ovplyvňuje interpolačný proces resp. krivosť výsledného povrchu.
  - V prípade regulovanej voľby (***REGULARIZED***) sa uplatňuje pravidlo, čím vyššia je váha, tým vzniká menšia krivosť a výsledná štruktúra je hladšia. Hodnota parametra je zvyčajne v rozsahu 0 až 0.5, napr. 0; 0.001; 0.01; 0.1 alebo 0.5. Štandardne nastavená hodnota je 0.1.
  - V prípade metódy Tension sa uplatňuje pravidlo, čím vyššia je váha, tým je štruktúra výslednej interpolácie kontrastnejšia. Zároveň výsledok nepresahuje rozsah intervalu vstupných hodnôt. Hodnota parametra je zvyčajne v rozsahu 0 až 10, napr. 0, 3, 5 alebo 10.
- ***Number of points (optional)*** – počet bodov, ktoré vstupujú do interpolačného výpočtu. S počtom bodov rastie aj zasiahnutý rozsah interpolovaného priestoru, t. j. zväčší sa vplyv vzdialenejších bodov a výsledná štruktúra môže byť hladšia.

2.5.3. Trend

Interpoláciu povrchu pomocou algoritmu Trend môžeme vykonať prostredníctvom položky ***Trend*** aplikácie ArcToolbox (***Spatial Analyst Tools → Interpolation → Trend***). V zobrazenom okne je k dispozícii niekoľko možností nastavenia parametrov (obrázok 15):

- ***Input point features*** – vrstva vstupných bodov (známa reprezentácia priestoru), ktorá obsahuje atribút s nadmorskou výškou.
- ***Z value field*** – výber atribútu s obsahom hodnôt nadmorských výšok.
- ***Output raster*** – výsledná interpolácia povrchu v rastrovom dátovom formáte.
- ***Output cell size (optional)*** – veľkosť bunky výsledného rastra.
- ***Polynomial order (optional)*** – vyjadrenie stupňa polynómu, kde lineárny je rovi-

na, kvadratický je plocha s jedným ohybom, plocha s dvomi ohybmi je kubický polynóm atď. Čím je číslo menšie, tým viac je interpolovaný priestor bližší rovine. Stupeň sa zadáva ako celé číslo v rozsahu od 1 do 12. Štandardne je nastavená hodnota 1.

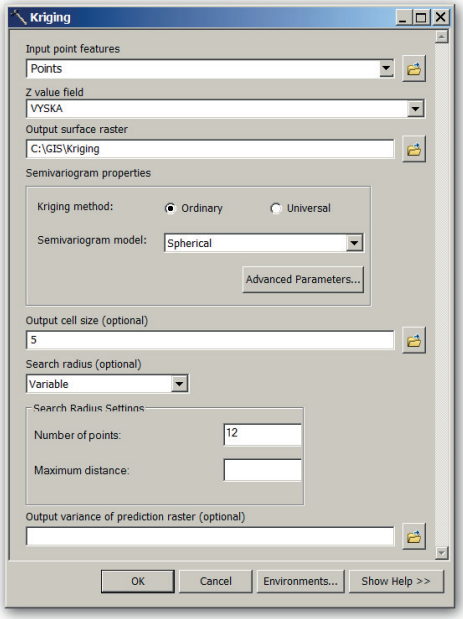


Obrázok 15

- ***Type of regression (optional)*** – k dispozícii sú dva druhy regresie, resp. priebehu závislosti medzi známymi a neznámymi hodnotami:
  - regresia ***LINEAR*** je aplikácia vhodná pre spojité dáta,
  - regresia ***LOGISTIC*** sa používa na odhad pravdepodobnosti výskytu určitého javu, kde vstupné hodnoty sú na úrovni záznamu 0 alebo 1 (napr. výskyt druhov rastlinstva alebo živočíšstva, t. j. áno/nie). Vstupné dáta majú diskrétny charakter. Výstupom je spojitý dátový typ s hodnotami pravdepodobnosti výskytu v intervale od 0 do 1.
- ***Output RMS file (optional)*** – v definovanom priestore vytvoríme súbor, v ktorom bude uložená stredná kvadratická odchýlka (RMS), t. j. porovnávanie vstupných a výstupných hodnôt. RMS slúži na správnu voľbu stupňa polynómu. Vhodnosť hodnoty polynómu je vyjadrená menším výsledným číslom RMS.

2.5.4. Kriging

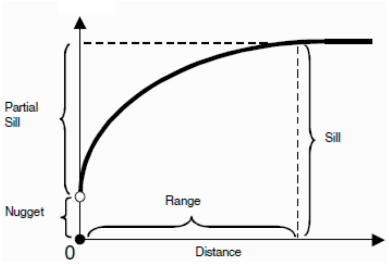
Interpoláciu povrchu pomocou algoritmu Kriging môžeme vykonať položkou ***Kriging*** aplikácie ArcToolbox (***Spatial Analyst Tools → Interpolation → Kriging***). V zobrazenom okne je k dispozícii niekoľko možností nastavenia parametrov (obrázok 16):



Obrázok 16

- ***Input point features*** – vrstva vstupných bodov (známa reprezentácia priestoru), ktorá obsahuje atribút s nadmorskou výškou.
- ***Z value field*** – výber atribútu s obsahom hodnôt nadmorských výšok.
- ***Output raster*** – výsledná interpolácia povrchu v rastrovom dátovom formáte.
- ***Kriging method*** – výber konkrétnej metódy, ktorou špecifikujeme

parametre semivariogramov. K dispozícii máme metódu ***Ordinary*** a ***Universal***. ***Ordinary*** kriging predpokladá neznámu strednú hodnotu v celej oblasti. ***Universal*** kriging vypracuje lokálne premenný trend rovnakého typu v celej oblasti. Pri každej metóde je potrebné vybrať autokorelačný algoritmus. Priestorovú autokoreláciu interpolovaného povrchu, resp. javu, vzhľadom na vzdialenosť a smer pôsobenia vyjadruje konkrétny semivariogram. K dispozícii je niekoľko typov, ktoré zároveň môžeme upraviť o podrobnejšie nastavenie (***Advanced Parameters***) znázornené na obrázku 17.



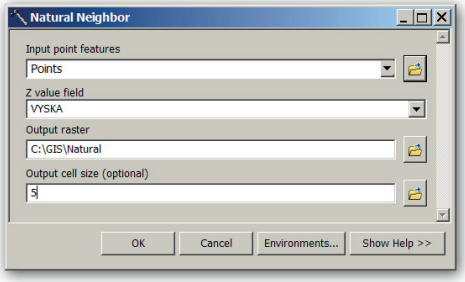
Obrázok 17

- ***Output cell size (optional)*** – veľkosť bunky výsledného rastra.
- ***Search radius (optional)*** – nastavenie priestorového polomeru, ktorý obmedzuje počet vstupných bodov interpolovaného priestoru. Ide o rovnaké nastavenia, ako pri položke IDW.
- ***Output variance of prediction raster (optional)*** – osobitný raster, v ktorom každá bunka obsahuje predpokladanú hodnotu semivariogramu.

2.5.5. Natural Neighbor

Interpoláciu povrchu pomocou algoritmu Natural Neighbor môžeme vykonať položkou ***Natural Neighbor*** aplikácie ArcToolbox (***Spatial Analyst Tools → Interpolation → Natural Neighbor***). V zobrazenom okne je k dispozícii niekoľko možností nastavenia parametrov (obrázok 18):

- ***Input point features*** – vrstva vstupných bodov (známa reprezentácia priestoru), ktorá obsahuje atribút s nadmorskou výškou,
- ***Z value field*** – výber atribútu s obsahom hodnôt nadmorských výšok,
- ***Output raster*** – výsledná interpolácia povrchu v rastrovom dátovom formáte,
- ***Output cell size (optional)*** – veľkosť bunky výsledného rastra.

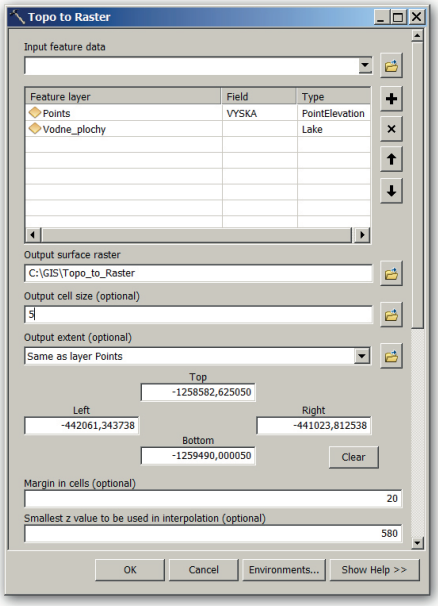


Obrázok 18

2.5.6. Topo to Raster

Interpoláciu povrchu pomocou metódy Topo to Raster môžeme vykonať položkou ***Topo to Raster*** aplikácie ArcToolbox (***Spatial Analyst Tools → Interpolation → Topo to Raster***). V zobrazenom okne je k dispozícii niekoľko možností nastavenia parametrov (obrázok 19):

- ***Input feature data*** – vstupná vrstva vektorových geografických informácií v nasledujúcom rozsahu:
  - ***PointElevation*** – homogénne alebo nehomogénne bodové pole (nadmorských výšok) vo forme vektorovej reprezentácie. V časti ***Field*** vyberáme atribút určujúci vstupné hodnoty do interpolácie – hodnoty nadmorských výšok.
  - ***Contour*** – líniová reprezentácia nadmorskej výšky v podobe vrstevníc. Do časti ***Field*** vyberáme atribút nadmorskej výšky.
  - ***Stream*** – líniová reprezentácia vodných tokov, ktoré zabezpečujú hydrologicky relevantný DMR, tzv. „*prietočný DMR*“. Dôležitá je pri tomto type vektorovej vrstvy orientácia vektora – tzn. nutnosť orientácie línií v smere zhora nadol (v prípade opačnej orientácie vektora je vygenerované neprirodzené zarezanie vodného toku). Pri interpolácii povrchu majú vodné toky prioritu pred hodnotami výškovej základne z ***PointElevation*** alebo ***Contour***. Pre vodné toky nie je možné vybrať konkrétny atribút.



Obrázok 19

- ***Sink*** – bodová reprezentácia topografického poklesu, resp. terénnych depresií. Identifikované depresie sa stanú nadradenými voči výškovej základni. Pomocou reprezentácie sa explicitne počíta s dopredu zadefinovanými depresiami a nevylučujú sa z výpočtu. Do časti ***Field*** zadávame atribút nadmorskej výšky, ktorá je priradená k jednotlivým depresiám. Bez priradeného atribútu bude do úvahy braná len geografická poloha terénnych depresií.
- ***Boundary*** – polygónová reprezentácia, za hranicami ktorej budú výstupnému rastru priradené hodnoty „*NoData*“. Tejto dátovej reprezentácii nie je možné vybrať konkrétny atribút.
- ***Lake*** – polygónová reprezentácia v podobe vodných plôch, ktoré budú obsahovať hodnoty minimálnych výšok z pobrežnej čiary. Pre túto dátovú reprezentáciu nie je možné vybrať konkrétny atribút.
- ***Cliff*** – líniová reprezentácia v podobe útesov. Smer útesu musí byť orientovaný tak, že ľavá strana orientovanej línie predstavuje nižšie výškové hodnoty útesu a pravá strana vyššie výškové hodnoty útesu. Tejto dátovej reprezentácii nie je možné vybrať konkrétny atribút.
- ***Exclusion*** – polygónová reprezentácia časti povrchu, ktorá bude vylúčená z procesu interpolácie, napr. koruny hrádzí, priehrad alebo mosty. Pre túto dátovú reprezentáciu nie je možné vybrať konkrétny atribút.

- ***Coast*** – polygónová reprezentácia pobrežia. Bunky vo výslednom rastri, ktoré ležia mimo týchto plôch, budú obsahovať menšie hodnoty, ako používateľom špecifikovaný minimálny výškový limit. Pre túto dátovú reprezentáciu nie je možné vybrať konkrétny atribút.

- ***Output surface raster*** – výsledná interpolácia povrchu v rastrovom dátovom formáte.
- ***Output cell size (optional)*** – veľkosť bunky výsledného rastra.
- ***Output extent (optional)*** – rozsah výstupného rastra, ktorý môžeme definovať pomocou minimálnych a maximálnych X, Y súradníc alebo pomocou zvolenej vrstvy.
- ***Margin in cell (optional)*** – špecifikácia vonkajšieho lemu, t. j. vzdialenosť od hranice interpolovaného priestoru, ktorá je vyjadrená počtom buniek. Interpolácia povrchu bude prebiehať aj v definovanom leme, a to tak, aby bolo možné vytvoriť napojenie na prípadný susedný raster. Parametrom sa môže stať len hodnota rovná alebo väčšia ako „*0*“, pričom zhoda dosiahnutá pri napojení susedných rastrov je tým väčšia, čím väčšia je hodnota nastaveného parametra.
- ***Smallest z value to be used in interpolation (optional)*** – minimálna výšková hodnota, ktorá bude použitá v interpolačnom procese. Štandardne je nastavená hodnota 20 % z najmenšej vstupnej hodnoty.
- ***Largest z value to be used in interpolation (optional)*** – maximálna výšková hodnota, ktorá bude použitá v interpolačnom procese. Štandardne je nastavená hodnota 20 % z najväčšej vstupnej hodnoty.
- ***Drainage enforcement*** – zdôraznenie odtokovej siete pomocou voľby:
  - ***ENFORCE*** – vyplnenie všetkých depresií, t. j. používateľom definovaných (pravé depresie), aj ostatných, tzn. bez ďalšej špecifikácie (nepravé depresie). Uvedenou voľbou vytvoríme odtokovo korektný model.
  - ***NO_ENFORCE*** – ani jedna depresia nebude vyplnená.
  - ***ENFORCE_WITH_SINK*** – body vstupnej vrstvy ***Sink*** budú zachované (pravé depresie), ostatné topografické poklesy budú vyplnené (nepravé depresie).
- ***Primary type of input data (optional)*** – optimalizácia vyhľadávacích metód, podľa ktorých sa uskutočňuje generalizácia vrcholov a údolí. Vyberáme prevládajúcu výškovú reprezentáciu na vstupe, ktorá je dominantná, t. j. ***CONTOUR*** (vrstevnice) alebo ***SPOT*** (body-kóty).
- ***Maximum number of iterations (optional)*** – počet interpolačných iterácií (opakovaní), ktoré majú vplyv na bezodtokové oblasti. Počet iterácií musí byť väčší než nula, preddefinovaná hodnota je 40. Táto hodnota je adekvátna pre oba typy vstupných dát, pre línie, ako aj pre body. Hodnota 30 zabezpečí vyplnenie plytších zníženín. Naopak, hodnota väčšia ako 40 vyplní viac zníženín a zvýrazní hrebene a vytvorené korytá tokov.
- ***Roughness penalty (optional)*** – integrál štvorca derivácie druhého rádu ako miera hrubosti (drsnosti). Táto hodnota je preddefinovaná pri líniových vstupných dátach ako 0, pri bodových vstupných dátach sa neodporúča prekročiť hodnotu 0,5.
- ***Profile curvature roughness penalty (optional)*** – lokálne vyrovnávanie nerovností, ktoré čiastočne nahrádza celkové nerovnosti.

- ***Discretisation error factor (optional)*** – regulácia hladkosti prevodu vstupných dát na raster. Hodnota musí byť väčšia než 0. Bežne sa používa hodnota v rozsahu od 0,2 do 2. Štandardná hodnota je 1. Čím je vyššia hodnota parametra, tým je väčšia miera vyhladenia interpolovaného povrchu.
- ***Vertical standard error (optional)*** – náhodné chyby vo výškových hodnotách vstupných dát. Hodnota musí byť nulová alebo vyššia. Štandardne je nastavená na 0, keďže vstupné dáta by nemali vykazovať žiadne výškové chyby. Vertikálna štandardná odchýlka môže byť nastavená na malú kladnú hodnotu vtedy, ak vstupné dáta majú výraznú náhodnú vertikálnu odchýlku s rovnomerným rozptylom.
- ***Tolerance 1 (optional)*** – vyjadrenie hustoty výškových dát vo vzťahu k odtokovej sieti, resp. k vodným tokom. Hodnota sa preberá z položky ***Vertical standard error***. V prípade vrstevníc sa odporúča použiť polovičnú hodnotu priemerného výškového intervalu. Pre bodovú vstupnú vrstvu sa tolerancia nastaví ako štandardná chyba hodnoty Z súradnice. Líniové vstupné dáta používajú polovičnú hodnotu priemerného intervalu hodnoty z línií. Preddefinovaná hodnota dominantného typu vstupných dát ***CONTOUR*** je 2,5 a pre typ ***SPOT*** sa rovná 0.
- ***Tolerance 2 (optional)*** – zamedzenie vypĺňania depresných plôch nereálne vysokými bariérami. Parameter musí vyť väčší ako 0. Preddefinovaná hodnota pre dominantný typ vstupných dát ***CONTOUR*** je 100, pre typ ***SPOT*** sa táto hodnota rovná 200.
- ***Optional outputs*** – ponuka tvorby samostatných výstupných vrstiev a textových súborov, ktoré nás informujú o priebehu interpolačného procesu. Zároveň môžeme prostredníctvom vrstiev identifikovať interpolačné chyby. Ide hlavne o tvorbu napr. výstupnej vrstvy vodných tokov (***Output stream polyline feature***), výstupnej bodovej reprezentácie neodstránených depresií (***Output remaining sink point feature***), diagnostických textových súborov s informáciou o všetkých vstupných vrstvách a parametroch s počtom odstránených depresií (***Output diagnostic file***) atď.

Interpoláciu povrchu, resp. tvorbu DTM, môžeme uskutočniť aj pomocou rozšírenia Geostatistical Analyst. Toto samostatné rozšírenie aplikácie ArcMap ponúka obsiahlejšie možnosti definovania vstupných parametrov. Zároveň je k dispozícii aj grafický náhľad zvolených hodnôt vybraných parametrov, ktoré budú aplikované v procese výslednej interpolácie.

Otázky:

1. Čo sa chápe pod pojmom reliéf?
2. Aký je rozdiel medzi digitálnym výškovým modelom a digitálnym modelom reliéfu?
3. Aký je rozdiel medzi digitálnym modelom terénu a reliéfu?
4. Do akých dátových modelov sa abstrahujú informácie o reliéfe?
5. Čo je to interpolácia?
6. Aké interpolačné algoritmy resp. metódy sú k dispozícii v prostredí aplikácie ArcMap?

3. Analýza reliéfu

Kapitola s názvom *„Analýza reliéfu“* je zameraná na základné analýzy a interpretácie vlastností zemského povrchu v prostredí ArcGIS (ArcMap). Na tento účel budeme vnímať zemský povrch ako priestorovo rozložený a spojitý dátový fenomén – reliéf.

3.1. Morfometrická analýza reliéfu

Morfometrická analýza podľa Smolovej a Kirchnera (2010) umožňuje kvantitatívne opísať územie s jeho čiastkovými terénnymi atribútmi. Medzi hlavné úlohy morfometrickej analýzy patrí delimitácia tzv. morfoštruktúrnych jednotiek napr. na účely kartografie, geomorfológie, ďalej slúži na identifikáciu genézy, veku a typu morfoštruktúr, vplyvov tektoniky atď. (Krcho, 1990). Morfometrická analýza reliéfu vychádza z účelovej analýzy priestorovej distribúcie nadmorských výšok. V našom prípade ide o analýzu distribúcie nadmorských výšok pomocou digitálneho modelu terénu (DTM).

Výsledkom morfometrickej analýzy reliéfu sú parametre a charakteristiky, ktoré v zmysle Miklósa a Izakovičovej (1997), Miklósa et al., (1997) smerujú k interpretácii vzťahu medzi reliéfom a jeho dynamikou, napr. pohyb vody a materiálu po povrchu. Uvedení autori zároveň začleňujú výsledky morfometrickej analýzy reliéfu do nasledovných skupín:

1. **Topické (vertikálne) parametre reliéfu** – určujú sa zo vzájomného vzťahu vertikálnej hodnoty – nadmorskej výšky elementárnej plôšky (polohy resp. bodu) a susedných bodov reliéfu. Vyčlenením jednotlivých hodnôt ukazovateľov v priestore dostávame ich homogénne areály – topy. Ide o najpoužívanejšie morfometrické parametre reliéfu, preto sa im budeme venovať podrobnejšie. Do tejto skupiny patrí:
   - **Absolútna výška terénu** je výška (absolútna odľahlosť) bodu zemského povrchu nad strednou úrovňou hladiny konkrétneho mora (Jadranský, Baltský horizont...).
   - **Relatívna výška terénu** je rozdiel nadmorských výšok (absolútnych odľahlostí) dvoch bodov reliéfu, resp. prevýšenie vo vzťahu k vopred určenej základnej nadmorskej výške (horizontu).
   - **Sklon reliéfu** v smere spádových kriviek. V praktickom používaní ukazovateľa sa spravidla konštruujú izoklíny (izolínie spájajúce miesta s rovnakým uhlom sklonu), ktoré potom ohraničujú areály s daným intervalom sklonu.
   - **Orientácia reliéfu** voči svetovým stranám je stabilná expozícia reliéfu voči chodu Slnka.
   - **Horizontálna krivosť reliéfu** je rozhodujúcim ukazovateľom na určenie smerov odtoku a integrácie vody i materiálu po svahoch. Určuje sa zo zakrivenia vrstevníc (Krcho, 1973) a vymedzujú sa ňou konvexné (chrbty, rázsochy), konkávne (doliny, úvaliny, brázdy), prípadne nezakrivené plochy.
   - **Normálová krivosť reliéfu** je rozhodujúca na určenie tendencie pohybu vody a materiálu po svahu (zrýchľovanie, spomaľovanie). Predstavuje zakrivenie spádových kriviek vo vertikálnom smere.
   - **Formy reliéfu** sú priestorovou syntézou horizontálnej a normálovej krivosti. Kombináciou konvexných, konkávnych a nezakrivených tvarov z oboch druhov

krivostí vzniká 9 možných základných tvarov, ktorými sa dá určiť komplexný tvar každej plochy (Krcho, 1973).

2. **Chorické (horizontálne) parametre reliéfu** – určujú sa zo vzťahu gravitácie a smeru spádových kriviek. Hlavným smerom interpretácie tohto ukazovateľa je stanovenie smeru, spôsobu pohybu a integrácie (dezintegrácie) odtoku vody a zároveň aj pohybu materiálu po svahu. Podstatou je vytvorenie tzv. mikropovodí, ktoré sa na základe ich charakteru môžu považovať za elementárne morfochóry. Do tejto skupiny zaraďujeme napr. konštrukciu spádových kriviek, veľkosť elementárnych gravitačných areálov, hranice rovnakého smeru a pôsobenia gravitácie.
3. **Topicko-chorické (vertikálno-horizontálne) ukazovatele reliéfu** – vytvárajú sa na základe kombinácie topických a chorických ukazovateľov. Tieto ukazovatele nie je správne považovať za veľkostné prechody medzi topickou a chorickou úrovňou, ale medzi ich funkčnou kombináciou. Do tejto skupiny zaraďujeme napr. určenie polohy na reliéfe.

Morfometrickú analýzu reliéfu môžeme v prostredí aplikácie ArcMap uskutočniť prostredníctvom rozšírení Spatial Analyst a 3D Analyst.

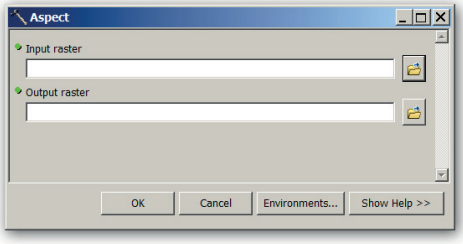
Primárnym dátovým vstupom morfometrických analýz reliéfu je dostatočne presný digitálny model terénu (DTM). Hodnoty nadmorských výšok sú abstrahované do spojitých dátových modelov, ktorými môžu byť TIN alebo raster. V prípade TIN modelov sa používa v prostredí ArcMap rozšírenie ***3D Analyst***. Na analýzu digitálneho modelu terénu na báze rastrových modelov používame rozšírenie Spatial Analyst.

3.1.1. Orientácie reliéfu

Odvodenie orientácií reliéfu voči svetovým stranám vykonáme položkou ***Aspect*** aplikácie ArcToolbox (***Spatial Analyst Tools*** → ***Surface*** → ***Aspect***). V zobrazenom dialógovom okne máme k dispozícii nasledovné možnosti (obrázok 20):

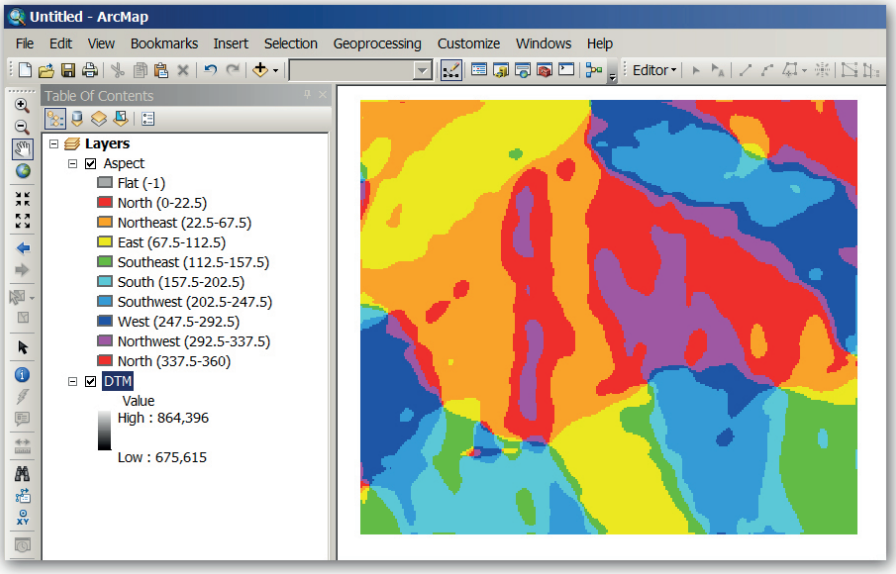
- ***Input raster*** – digitálny model terénu, v ktorom sa nachádza priebeh výškovej reprezentácie reliéfu,
- ***Output raster*** – výsledná rastrová reprezentácia, v ktorej sa budú nachádzať odvodené orientácie reliéfu voči svetovým stranám v rozsahu 0° – 360°, kde sever je 0°, východ je 90°, juh je 180° a západ je 270°. Rovina (0°) je reprezentovaná hodnotou -1. Každej bunke je priradená jedna hodnota z vyššie uvedeného rozsahu, t. j. od 0° do 360°.

Nástroj ***Aspect*** automaticky vytvorí symbologickú interpretáciu (***Layer Properties***) orientácií rovnakých areálov reliéfu voči svetovým stranám (obrázok 21). Ide však len o symbologickú interpretáciu, ktorú je potrebné transformovať na trvalé areály, t. j. na novú vrstvu s reklasifikovanými hodnotami, napr. združené kategórie orientácií ôsmich základných smerov.



Obrázok 20

Transformáciu môžeme vykonať nástrojom ***Reclassify*** (***Spatial Analyst Tools*** → ***Reclass*** → ***Reclassify***) pomocou hodnôt, ktoré sú uvedené v tabuľke 1.



Obrázok 21

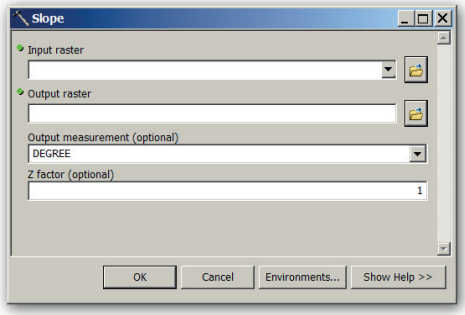
Tabuľka 1 Reklasifikácia hodnôt orientácií reliéfu

Code	Smer orientácie		Uhlový interval
-1	Flat	rovina	No Slope
1	North	sever	0° – 22.5°
2	Northeast	severovýchod	22.5° – 45°
3	East	východ	45° – 135°
4	Southeast	juhovýchod	135° – 180°
5	South	juh	180° – 225°
6	Southwest	juhozápad	225° – 270°
7	West	západ	270° – 315°
8	Northwest	severozápad	315° – 337.5°
9	North	sever	337.5° – 360°

3.1.2. Sklon reliéfu

Odvodenie sklonov reliéfu vytvoríme položkou ***Slope*** aplikácie ArcToolbox (***Spatial Analyst Tools*** → ***Surface*** → ***Slope***). V zobrazenom dialógovom okne máme k dispozícii nasledovné možnosti (obrázok 22):

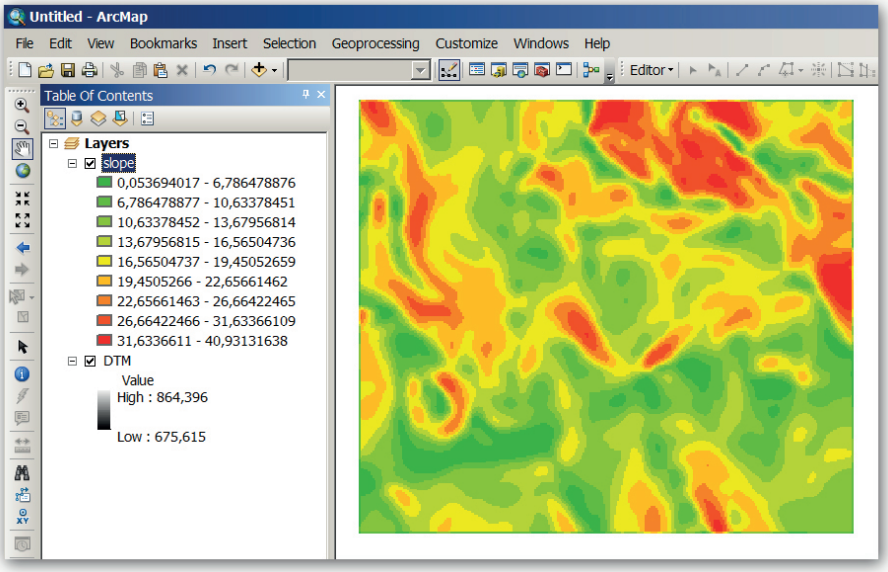
- ***Input raster*** – digitálny model terénu, v ktorom sa nachádza priebeh výškovej reprezentácie reliéfu,
- ***Output raster*** – výsledná rastrová reprezentácia, v ktorej sa budú nachádzať odvodené sklony ako maximálna miera zmeny medzi bunkami,
- ***Output measurement (optional)*** – voľba tzv. mernej jednotky, a to buď stupňov (***DEGREE***) alebo percent (***PERCENT_RISE***),



Obrázok 22

- ***Z factor (optional)*** – násobok vstupnej výškovej reprezentácie reliéfu, t. j. číselné hodnoty priradené k DTM môžeme násobiť nami zadanou hodnotou.

Výsledný raster bude obsahovať bunky s priradeným sklonom (obrázok 23). Následne odporúčame pomocou procesu reklasifikácie (***Spatial Analyst Tools → Reclass → Reclassify)*** zlúčiť bunky do areálov v intervalovom rozmedzí 0° – 30', 30' – 1°, 1° – 3°, 3° – 7°, 7° – 12°, 12° – 17°, 17° – 25° a viac, prípadne do inak definovaných areálov.



Obrázok 23

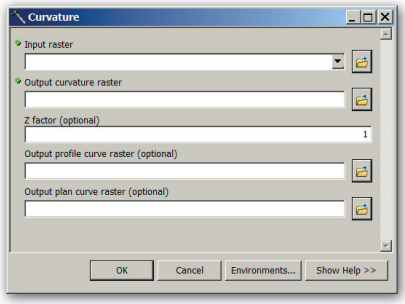
3.1.3. Krivosti reliéfu

Odvodenie horizontálnej a normálovej (vertikálnej) krivosti reliéfu vykonáme položkou ***Curvature*** aplikácie ArcToolbox (***Spatial Analyst Tools*** → ***Surface*** → ***Curvature***). V zobrazenom dialógovom okne máme k dispozícii nasledovné možnosti (obrázok 24):

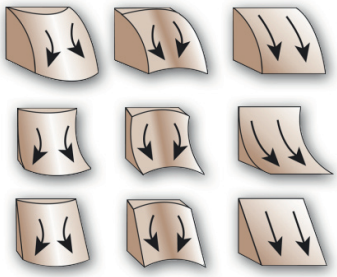
- ***Input raster*** – digitálny model terénu, v ktorom sa nachádza priebeh výškovej reprezentácie reliéfu,
- ***Output raster*** – výsledná rastrová reprezentácia, v ktorej sa budú nachádzať odvodené krivosti reliéfu, t. j. kombinácia vertikálnej a horizontálnej krivosti (obrázok 25),
- ***Z factor (optional)*** – násobok vstupnej výškovej reprezentácie reliéfu, t. j. číselné hodnoty priradené k DTM môžeme násobiť nami zadanou hodnotou. Ak sú vstupné hodnoty x, y a z súradníc v rovnakých jednotkách [napr. v m], tak Z-factor je rovný 1,
- ***Output profile curve raster (optional)*** – výsledná vertikálna krivosť reliéfu (obrázok 26),
- ***Output plan curve raster (optional)*** – výsledná horizontálna krivosť reliéfu (obrázok 27).

Odvodené vertikálne a horizontálne krivosti reliéfu obsahujú hodnoty v rozpätí od -999 do 999, ktoré je potrebné transformovať do samostatných areálov v intervaloch:

1. **Vertikálna krivosť** znázornená na obrázku 28:
   - **A** – plochy konkávne (od -999 do -0,1),
   - **0** – plochy rovné (od -0,1 do 0),
   - **X** – plochy konvexné (od 0 do 999).
2. **Horizontálna krivosť** znázornená na obrázku 29:
   - **A** – plochy konkávne (od -999 do -0,1),
   - **0** – plochy rovné (od -0,1 do 0),
   - **X** – plochy konvexné (od 0 do 999).

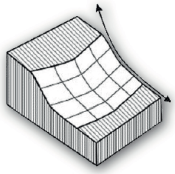


Obrázok 24

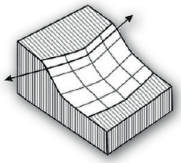


Kimerling et al., 2011

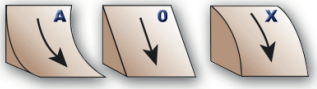
Obrázok 25



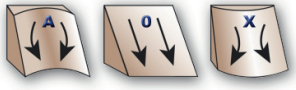
Obrázok 26



Obrázok 27



Obrázok 28



Obrázok 29

3.2. Analýza vzdialeností a viditeľností

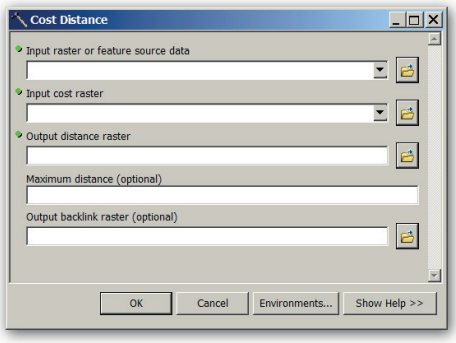
Analýza vzdialeností a viditeľností vychádza z geografickej distribúcie nadmorskej výšky abstrahovanej do podoby DTM. Analýza povrchu umožňuje študovať plynulú zmenu nadmorskej výšky. Na základe tejto zmeny vieme určiť najkratšiu vzdialenosť potrebnú na presun materiálu, optimálne umiestnenie objektov vzhľadom k reliéfu alebo viditeľnosť vopred určeného bodu. Tento typ analýz umožňuje spojitý charakter dátových modelov, ktoré vykazujú priestorovú zmenu hodnôt.

3.2.1 Najmenej nákladná trasa

Výpočet alebo stanovenie najmenej nákladnej trasy je založené na meraní vzdialeností pomocou nákladového povrchu. Nákladový povrch predstavuje rastrovú vrstvu, ktorá definuje odpor, trenie alebo náklady (náročnosť) pohybu v rovine cez bunku. Najčastejším faktorom odporu je napr. sklon reliéfu alebo krajinná pokrývka. Čím je vyššia hodnota bunky, tým je vyjadrený väčší odpor. Hodnoty môžu byť celé aj desatinné čísla, avšak nesmú obsahovať záporné hodnoty.

Výpočet najmenej nákladnej trasy určitým povrchom vypočítame pomocou funkcie váženej vzdialenosti. Ide o výpočet povrchu (nákladový povrch), ktorý obsahuje hodnoty minimálnych cestovných nákladov z každej bunky do zdrojovej bunky, a to na základe vzdialenosti a odporu. V takomto ponímaní sa vzdialenosť meria v jednotkách nákladov, nie v geografických alebo dĺžkových jednotkách. Výpočet sa realizuje nasledovným spôsobom:

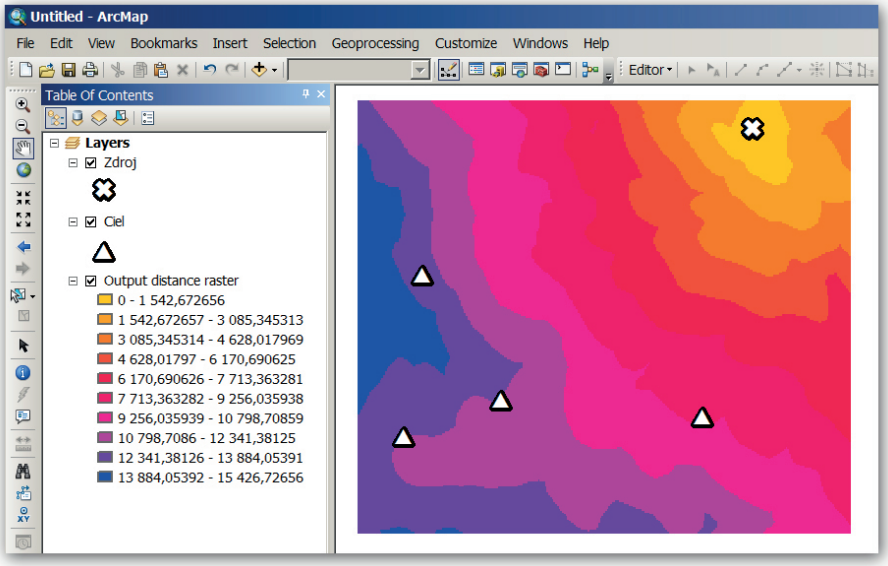
1. Definujeme dve samostatné vrstvy, prvou je zdrojová vrstva a druhou je cieľová vrstva. V obidvoch vrstvách sa nachádza vektorová reprezentácia bodu, prípadne viacerých bodov zdroja a cieľa.
2. Definujeme nákladový povrch ako rastrovú vrstvu odporu pohybu cez ňu. Premenné vstupy sú mierou náročnosti, ktorú určujeme z pohľadu času, finančných prostriedkov, spotreby energií atď. Najpoužívanejším nákladovým povrchom sú napr. sklony reliéfu, kde väčšia hodnota sklonu predstavuje väčší odpor pohybu.
3. Vytvoríme vrstvu akumulovaných cestovných nákladov nástrojom ***Cost Distance*** (***Spatial Analyst Tools*** → ***Distance*** → ***Cost Distance***). Nástroj akumuluje cestovné náklady s rastúcou vzdialenosťou od zdroja (zdrojov). Počas procesu dochádza k štatistickému váženiu hodnôt jednotlivých buniek, t. j. hodnoty sú spriemerované a násobené veľkosťou buniek alebo vzdialenosťou medzi stredmi buniek. K dispozícii je nasledovný rozsah voľby parametrov (obrázok 30):
   - ***Input raster or feature source data*** – vektorová alebo rastrová vrstva, v ktorej je abstrahovaný zdroj alebo zdroje.
   - ***Input cost raster*** – nákladový povrch, ktorý môže mať analytický i syntetický charakter.



Obrázok 30

V prípade sklonov ide o analytické odvodenie zmeny priebehu nadmorskej výšky.

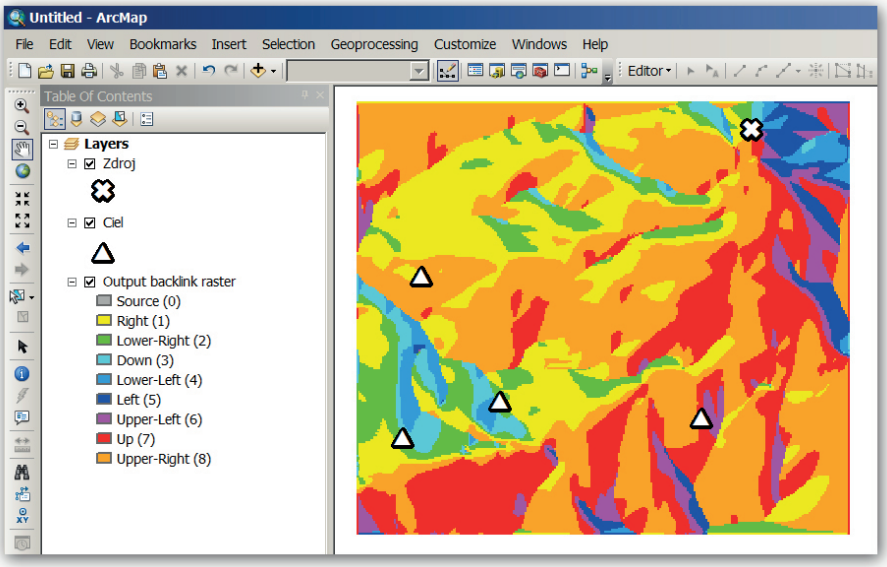
- ***Output distance raster*** – výsledná rastrová reprezentácia akumulovaných cestovných nákladov (obrázok 31). Vytvorený raster nepredstavuje líniovú vzdialenosť, ale sumu minimálnych cestovných nákladov, ktorá sa akumuluje prechodom po najmenej nákladnej ceste medzi zdrojovou bunkou a ostatnými bunkami.



Obrázok 31

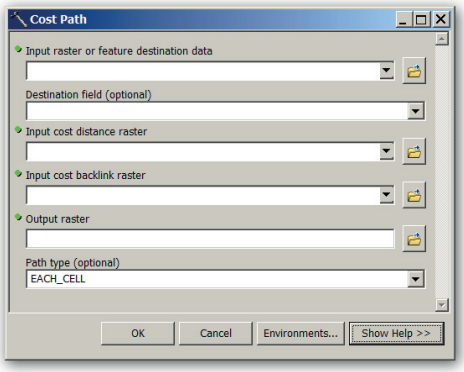
- ***Maximum distance (optional)*** – maximálna vzdialenosť resp. prah, ktorý hodnoty akumulovaných nákladov nesmú prekročiť. Bunkám, ktoré prekročia zadanú vzdialenosť, sa pridelí hodnota ***No Data***. Maximálna vzdialenosť je daná rozsahom nákladového povrchu.
- ***Output backlink raster (optional)*** – vytvorenie spätnej väzby, resp. smerového prepojenia každej bunky s jej najbližšou zdrojovou bunkou (obrázok 32). Každej bunke je priradená hodnota, ktorá označuje najkratšiu cestu späť k zdroju. Hodnoty v rozsahu od 1 do 8 a 0 majú len zdrojové bunky. Smerová vrstva používa nástroj ***Cost Path***.

4. Určíme najmenej nákladnú trasu nástrojom ***Cost Path*** (***Spatial Analyst Tools → Distance → Cost Path***). Výsledkom bude líniové prepojenie jednotlivých buniek s najmenšími akumulovanými cestovnými nákladmi medzi zdrojom a cieľom (obrázok 33). K dispozícii je nasledovný rozsah voľby parametrov:
   - ***Input raster or feature destination data*** – vektorová alebo rastrová vrstva, v ktorej je abstrahovaný cieľ alebo ciele;
   - ***Destination field (optional)*** – atribútové pole, z ktorého sa získavajú hodnoty cieľových miest;



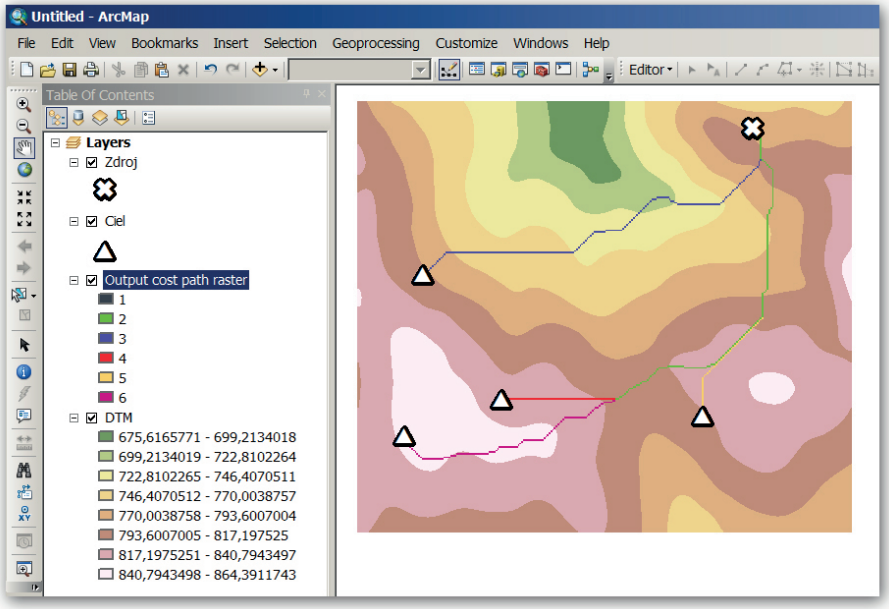
Obrázok 32

- ***Input cost distance raster*** – povrch akumulovaných cestovných nákladov. Ide o nákladový povrch, t. j. výsledná rastrová reprezentácia z nástroja ***Cost Distance***;
- ***Input cost backlink raster*** – spätná väzba, resp. smerové prepojenie buniek, ako výsledná reprezentácia nástroja ***Cost Distance***;
- ***Output raster*** – výsledná rastrová reprezentácia v podobe líniového útvaru s najmenej nákladnou trasou medzi zdrojom a cieľom (obrázok 34);
- ***Path type (optional)*** – typ výpočtu stanovenia najmenej nákladnej trasy v nasledovnom rozsahu:
  - ***EACH_CELL*** – výpočty pre každú bunku tak, aby sa vytvorili samostatné cesty ku každej cieľovej bunke,



Obrázok 33

- ***EACH_ZONE*** – výpočty pre každú zónu tak, aby sa vytvorili samostatné cesty v rozpätí agregovaných cieľových zón,
- ***BEST_SINGLE*** – výpočty pre každú bunku s dôrazom len na najmenšie hodnoty akumulovaných cestovných nákladov tak, aby sa vytvorila len jedna najmenej nákladná cesta.



Obrázok 34

3.2.2. Lokalizácia najvhodnejších miest

Optimálne najvhodnejšie umiestnenie objektov vzhľadom k reliéfu je možné realizovať len pomocou rastrových dátových modelov. Najpoužívanejším príkladom tohto typu úloh je lokalizácia miesta vhodného na výstavbu fotovoltaickej elektrárne. Na lokalizáciu elektrárne sú nasledovné vstupné požiadavky:

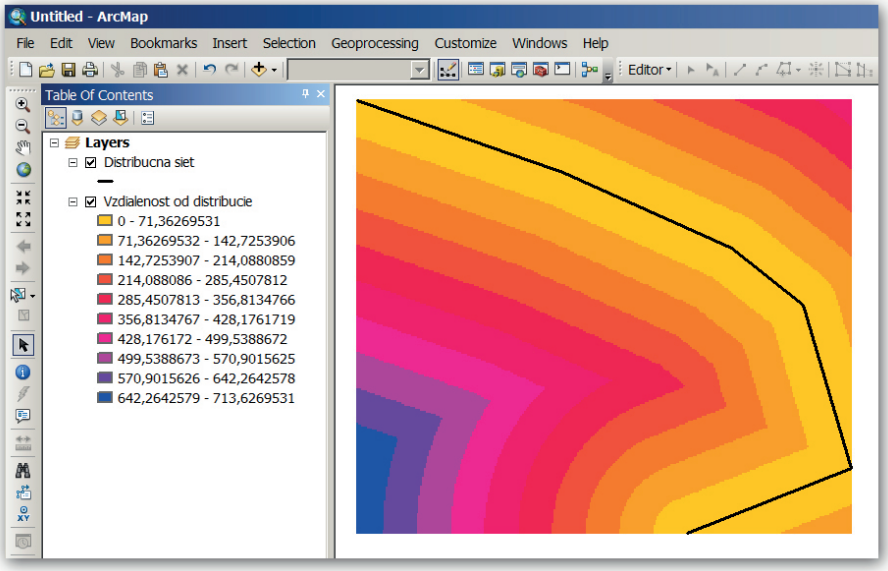
1. orientácia od juhovýchodu po juhozápad, t. j. od 135° do 270°,
2. umiestnenie by malo byť v areáli so sklonom reliéfu od 10° do 40°,
3. umiestenie vo vzdialenosti k distribučnej sieti do 200 m.

Podľa vstupnej špecifikácie môžeme pristúpiť k lokalizácii najvhodnejšieho miesta pomocou nasledovných krokov, ktoré tvoria určitý metodický prístup:

1. Odvodenie vrstvy sklonu reliéfu z DTM. Výsledný raster s priradenými sklonmi je potrebné reklasifikovať do dvoch kategórií areálov. Do prvej s rozpätím hodnôt od 10° do 40° sklonu a druhej, kde zvyšným areálom priradíme hodnotu „*NoData*“. Operáciou získame vrstvu s plochou, ktorá bude mať hodnotu 1, t. j. areál sklonu od 10° do 40°.

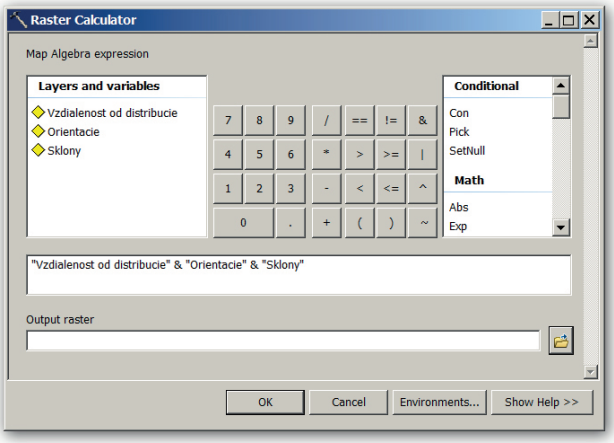
2. Odvodenie vrstvy orientácií reliéfu voči svetovým stranám z DTM. Výsledný raster s priradenými orientáciami reliéfu je potrebné reklasifikovať do dvoch areálov, jedného s rozpätím hodnôt orientácií od 135° do 270° a druhého s hodnotami mimo tohto rozpätia, ktorému priradíme hodnotu „*NoData*“. Operáciou získame vrstvu s plochou, ktorá bude mať hodnotu 1, t. j. areály majúce orientácie od 135° do 270°.

3. Meranie vzdialeností k distribučnej sieti vykonáme položkou ***Euclidean Distance*** aplikácie ArcToolbox (***Spatial Analyst Tools → Distance → Euclidean Distance***). Výsledný raster s priradenými hodnotami vzdialeností od distribučnej siete (obrázok 35) bude potrebné reklasifikovať opäť do dvoch areálov, jedného s pôvodnými hodnotami v rozpätí od 0 m do 200 m a druhého s hodnotami vzdialeností mimo tohto rozpätia, ktorým priradíme hodnotu „*NoData*“. Operáciou získame vrstvu s plochou, ktorá bude mať hodnotu 1, t. j. areál so vzdialenosťami od 0 m do 200 m.

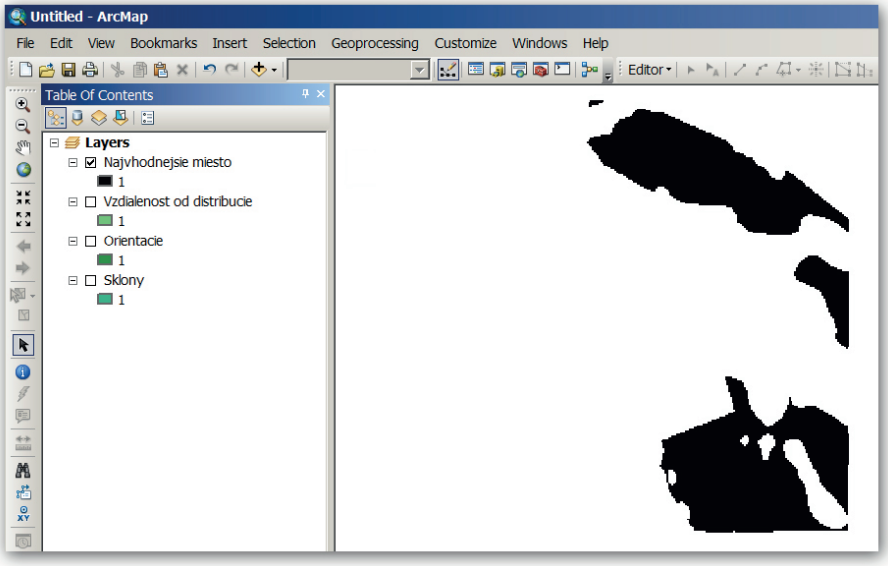


Obrázok 35

4. Plochy, ktoré sme identifikovali vo vrstve sklonov, orientácií a vzdialeností, obsahujú binárne hodnoty, kde hodnota 1 predstavuje nami požadovaný atribút. Pomocou mapovej algebry a tzv. booleovskej logiky (operátor „*and*“ alebo „*&*”) skombinujeme všetky vrstvy do jednej výslednej vrstvy. Vzájomnú kombináciu uskutočníme pomocou položky ***Raster Calculator*** (obrázok 36) aplikácie ArcToolbox (***Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Raster Calculator***). Výsledok optimálne najvhodnejšieho umiestnenia je znázornený na obrázku 37.



Obrázok 36

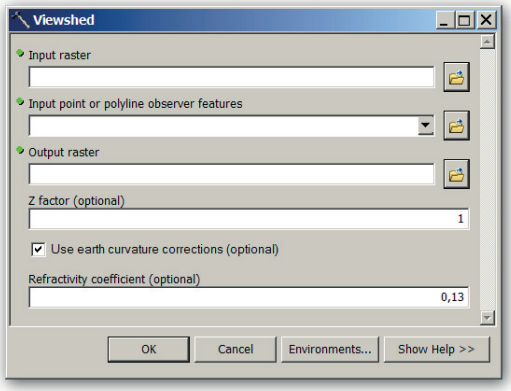


Obrázok 37

3.2.3. Analýza viditeľnosti

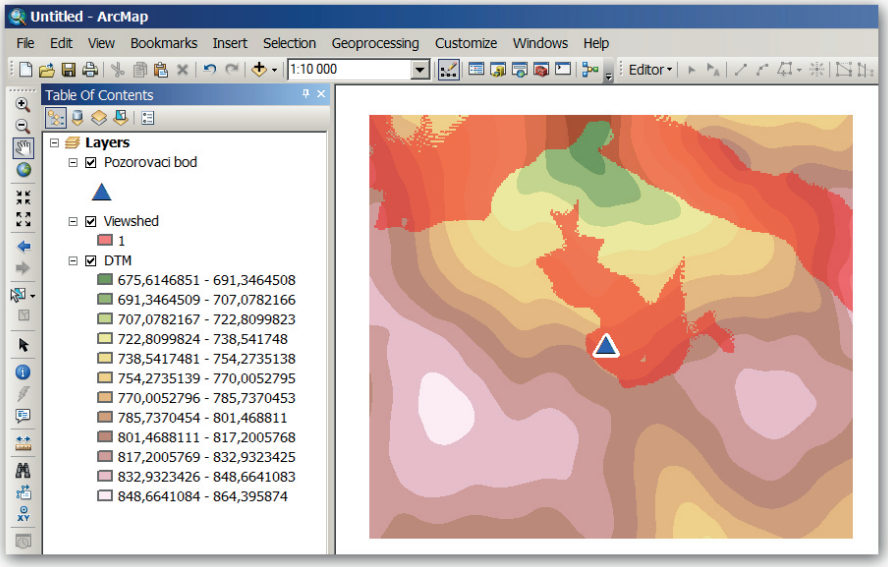
Analýzou viditeľnosti identifikujeme bunky rastra DTM, ktoré sú viditeľné z definovaného miesta. Bunky, ktoré sú z definovaného miesta viditeľné, získavajú hodnotu „*1*" a tie, ktoré nie je vidieť, dostanú hodnotu „*0*", teda „*NoData*". Analýzu viditeľnosti vykonáme položkou ***Viewshed*** aplikácie ArcToolbox (***Spatial Analyst Tools*** → ***Surface*** → ***Viewshed***). V zobrazenom dialógovom okne máme k dispozícii nasledovné možnosti (obrázok 38):

- ***Input raster*** – digitálny model terénu, v ktorom sa nachádza priebeh výškovej reprezentácie reliéfu;



Obrázok 38

- ***Input point or polyline observer feature*** – pozorovací bod, resp. definované miesto pomocou vektorovej vrstvy s obsahom bodových alebo líniových prvkov;
- ***Output raster*** – výsledná rastrová reprezentácia, v ktorej sa budú nachádzať odvodené areály viditeľnosti, t. j. plochy s hodnotou 1 (obrázok 39);
- ***Z factor (optional)*** – násobok vstupnej výškovej reprezentácie reliéfu, t. j. číselné hodnoty priradené k DTM môžeme násobiť nami zadanou hodnotou;
- ***Use earth curvature corrections (optional)*** – možná aplikácia faktora zakrivenia zemského povrchu. Využíva sa hlavne pre rozľahlejšie územia, kde je nutné rátať aj s týmto faktorom;
- ***Refractivity coefficient (optional)*** – voľba koeficientu lomu viditeľného svetla vo vzduchu.



Obrázok 39

3.3. Znázornenie reliéfu

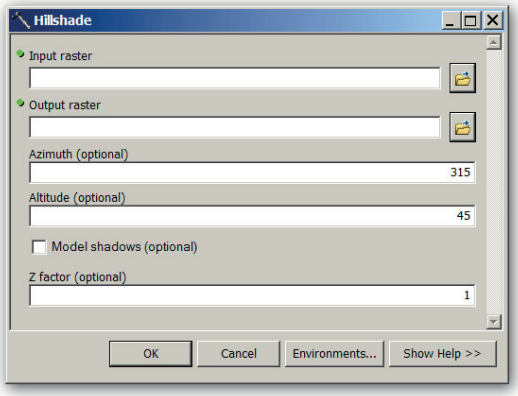
Znázornenie reliéfu má osobitné postavenie v oblasti digitálnej kartografie. Správne zobrazenie reliéfu je vždy podmienené výberom správnej metódy, ktorá sa odlišuje podľa štýlu a účelu. Robinson et al. (1995) rozlišuje nasledovné metódy znázornenia reliéfu:

- perspektívne obrázkové mapy – blogdiagramy, šikmé regionálne pohľady atď.,
- morfometrické mapy – sklony, orientácie, krivosti atď.,
- mapy geomorfologických jednotiek – sústavy, oblasti, celky atď.,
- šrafy – krátke líniové symboly v smere najväčšieho sklonu,
- vrstevnice – najčastejšie používaná metóda znázornenia povrchu,
- tieňovanie – generované z DTM.

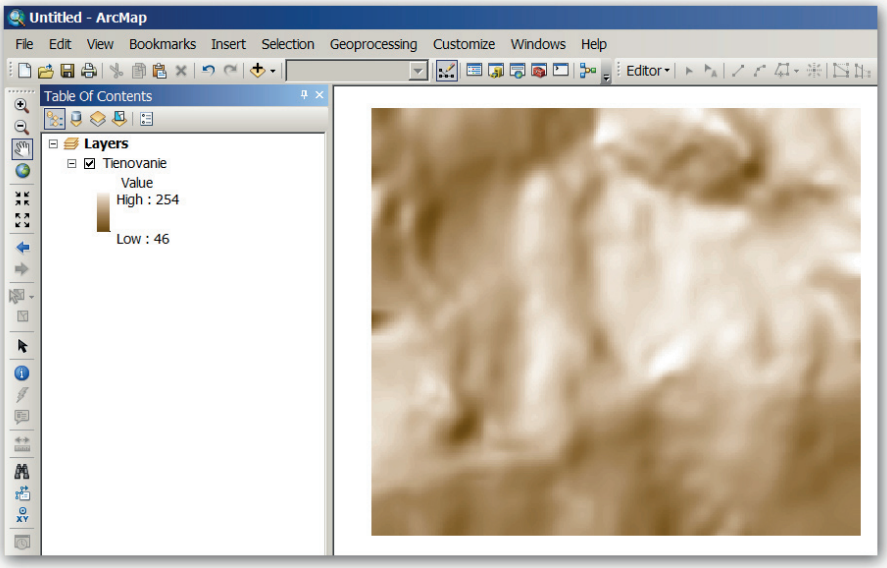
3.3.1. Tieňovanie reliéfu

Na tieňovanie reliéfu máme v prostredí ArcMap k dispozícii nástroj ***Hillshade*** (***Spatial Analyst Tools → Surface → Hillshade***). Nástroj vychádza z analytického tieňovania, t. j. hypotetického osvetlenia povrchu pomocou osvetlenia z konkrétnej výšky a s konkrétnym azimutom. Takéto tieňovanie môže byť vytvorené na účely geografických analýz (napr. stanovenie doby a intenzity slnečného žiarenia) alebo pre potreby grafickej vizualizácie povrchu. V tematických mapách malých mierok predstavuje tieňovanie reliéfu často jediný spôsob vyjadrenia priebehu nadmorskej výšky. Po spustení nástroja ***Hillshade*** sa zobrazí dialógové okno s nasledovnými možnosťami (obrázok 40):

- ***Input raster*** – digitálny model terénu, v ktorom sa nachádza priebeh výškovej reprezentácie reliéfu;
- ***Output raster*** – výsledná rastrová reprezentácia, v ktorej sa bude nachádzať odvodené tieňovanie reliéfu (obrázok 41);
- ***Azimuth (optional)*** – uhol dopadu osvetlenia v rozsahu od 0° do 360°, resp. z ktorej svetovej strany bude osvetlený reliéf;
- ***Altitude (optional)*** – uhol zdroja dopadu osvetlenia nad horizontom od 0° do 90°;



Obrázok 40

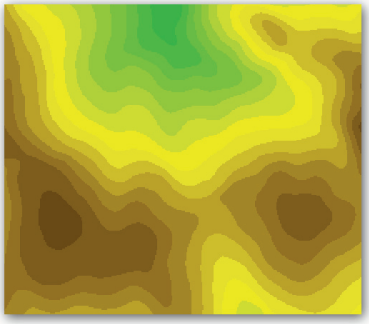


Obrázok 41

- ***Model shadows (optional)*** – typ tieňovania, zvolená možnosť vytvorí model lokálneho osvetlenia s hodnotami od 0 (najtmavšie miesta) do 255 (najsvetlejšie miesta), pričom výsledok je ovplyvnený uhlom a azimutom dopadajúceho svetla vrátane vzniknutých tieňov. Bez zvolenej možnosti sa vytvorí lokálny model, kde nie sú generované vrhané tiene;
- ***Z factor (optional)*** – násobok vstupnej výškovej reprezentácie reliéfu, t. j. číselné hodnoty priradené k DTM môžeme násobiť nami zadanou hodnotou. Zobrazenie terénu musí byť značne prevýšené, aby sa prispôsobil naším subjektívnym predstavám. Týmto parametrom môžeme subjektívne prispôsobiť prevýšenie reliéfu.

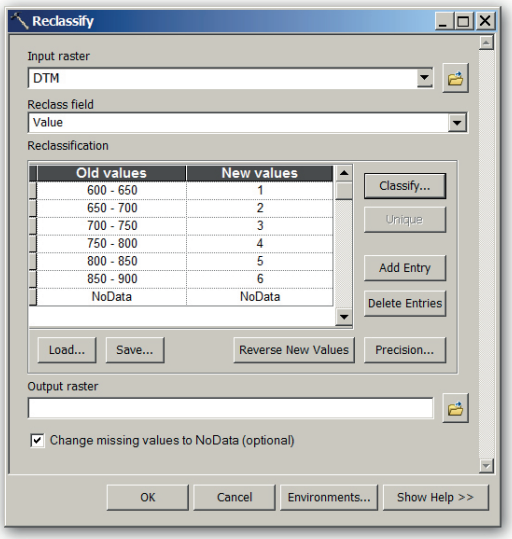
3.3.2. Farebné odstupňovanie výšok

Metóda farebnej hypsometrie spočíva vo vyfarbení areálov definovaného rozpätia nadmorskej výšky určitou farbou alebo jej odtieňom výslednej farebnej legendy (obrázok 42). Používa sa hlavne na mapách malých mierok alebo na účely vyjadrenia reliéfu veľkých územných celkov, napr. kontinentov. Najčastejšie sa na farebné znázornenie reliéfu používa tzv. Peuckerova farebná škála, kde sú nížiny vyfarbené zelenou a s narastajúcou nadmorskou výškou sú ďalšie vrstvy vyfarbené žltou až hnedou farbou. Zastavaným územiam je priradená biela farba. Pre plochy morí a oceánov sa používajú rôzne odtiene modrej zohľadňujúc batymetrické údaje, kde použitý tmavší odtieň znamená väčšiu hĺbku.



Obrázok 42

V prostredí ArcMap vykonáme farebné odstupňovanie výšok reliéfu pomocou reklasifikácie hodnôt DTM do požadovaných areálov (***Spatial Analyst Tools → Reclass → Reclassify***). Zobrazené dialógové okno nástroja ***Reclassify*** ponúka nasledovné možnosti (obrázok 43):

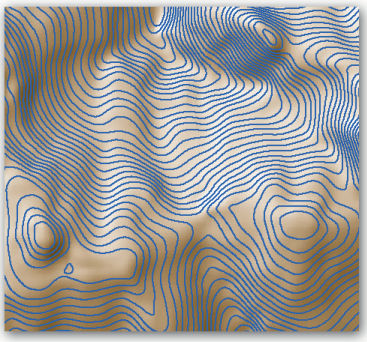


Obrázok 43

- ***Input raster*** – digitálny model terénu, v ktorom sa nachádza priebeh výškovej reprezentácie reliéfu.
- ***Reclass field*** – atribútové pole, ktorého hodnoty budú reklasifikované.
- ***Reclassification*** – zobrazenie rozpätia hodnôt na vstupe (***Old Value***) a nových hodnôt na výstupe (***New Value***). Tlačidlom Classify určujeme počet areálov. Ostatné tlačidlá majú doplnkový charakter, napr. uloženie reklasifikačnej tabuľky, pridanie nového areálu atď.
- ***Output raster*** – výsledná rastrová reprezentácia, v ktorej sa bude nachádzať farebné odstupňovanie výšok.
- ***Change missing values to NoData (optional)*** – hodnotám, ktoré sa nenachádzajú v reklasifikovanom rozpätí, bude priradená hodnota „*NoData*“.

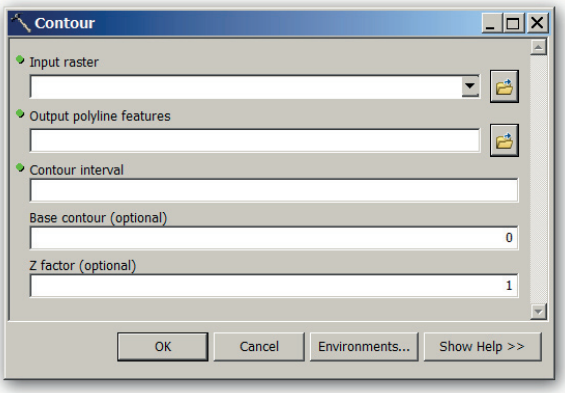
3.3.3. Generovanie vrstevníc z DTM

Vrstevnice môžeme definovať ako izolínie (čiary) spájajúce miesta s rovnakou nadmorskou výškou. V realite ide o fiktívne čiary, ktoré v mapách vyjadrujú výškopisný obsah (obrázok 44). V prostredí ArcMap máme k dispozícii nástroj s názvom ***Contour*** aplikácie ArcToolbox (***Spatial Analyst Tools → Surface → Contour***), ktorým generujeme vrstevnice z DTM automaticky. Zobrazené dialógové okno nástroja ***Contour*** ponúka nasledovné možnosti (obrázok 45):



Obrázok 44

- ***Input raster*** – digitálny model terénu, v ktorom sa nachádza priebeh výškovej reprezentácie reliéfu,
- ***Output polyline features*** – výsledná vektorová reprezentácia vrstevníc,
- ***Contour interval*** – výškový interval medzi vrstevnicami,
- ***Base contour (optional)*** – generovanie vrstevníc pod a nad uvedenou hodnotou.



Obrázok 45

Otázky:

1. Čo sa chápe pod pojmom morfometrická analýza reliéfu?
2. Aký je rozdiel medzi topickými a chorickými parametrami reliéfu?
3. Akým nástrojom sa odvodzujú orientácie reliéfu?
4. Akým nástrojom sa odvodzujú sklony reliéfu?
5. Akým nástrojom sa odvodzujú krivosti reliéfu?
6. Na základe akého dátového vstupu je možné odvodiť parametre viditeľnosti a vzdialenosti?
7. Pomocou akých nástrojov sa znázorňuje reliéf?

4. 3D zobrazenie geografických informácií

Kapitola s názvom *„3D zobrazenie geografických informácií"* je zameraná na prácu s rozšírením 3D Analyst. Pomocou tohto rozšírenia dokážeme posúvať konvenčné dvojrozmerné zobrazenie do dynamického trojrozmerného pohľadu.

Hlavným cieľom používania rozšírenia 3D Analyst je vytvárať, analyzovať a zobrazovať geografické informácie v 3D prostredí. Možnosť trojdimenzionálneho zobrazenia geografických informácií pomáha vizualizovať rôzne prebiehajúce procesy v krajinnej sfére, generovať 3D pohľady, konštruovať rezy a priečne profily, počítať zmeny objemov 3D štruktúr nad alebo pod povrchom.

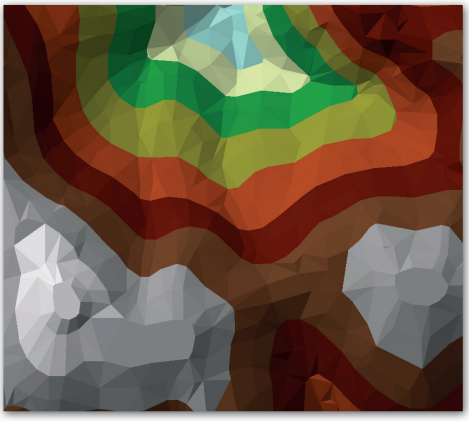
Rozšírenie 3D Analyst pracuje so všetkými dostupnými dátovými formátmi, t. j. TIN, rastrovou a vektorovou dátovou reprezentáciou. Základným predpokladom je, aby vstupné dátové formáty obsahovali okrem polohových údajov aj informácie o ich výškovom umiestnení, resp. Z súradnice bodov definujúcich jednotlivé štruktúrne tvary. Podľa týchto hodnôt je možné modelovať prvky a povrchy v 3D zobrazení.

4.1. 3D dátový vstup

Modelovanie javov a fenoménov v trojrozmernom prostredí je podmienené vstupom takých dát, ktoré obsahujú tzv. komplexnú polohovú informáciu jednotlivých bodov – trojicu súradníc [X, Y, Z]. V prípade práce s povrchom je najčastejším vstupom DTM, a to buď v podobe rastra alebo TIN modelu. Pri práci s vektorovými dátami s diskrétnym charakterom je potrebné vytvoriť 3D prvkovú reprezentáciu.

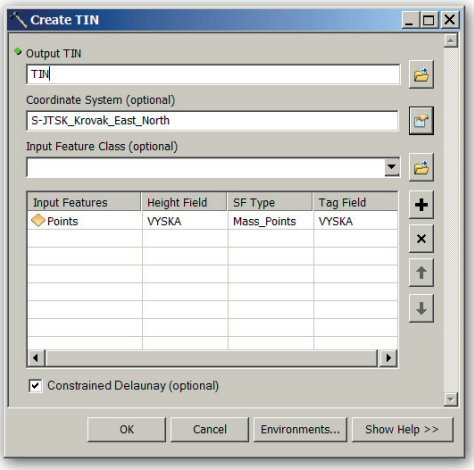
4.2. Tvorba TIN modelu

TIN rozdeľuje povrch na súbor neprekrývajúcich sa trojuholníkov súvisle popisujúci priestor. TIN dátovú reprezentáciu môžeme vytvoriť z akejkoľvek kombinácie vektorových prvkov alebo rastrových dát (obrázok 46). Proces vytvárania TIN vychádza z tzv. Delaunayho triangulácie, ktorá sa vykonáva pre body, línie alebo polygóny s výškovými hodnotami. Trojuholníky sú tvorené uzlami a hranami. Uzly ako výškové body (Vertex/Vertices) s obsahom hodnôt súradnicových osí X, Y a Z predstavujú koncové body trojuholníkov. Každý uzol je spojený hranou, pričom z každého uzla vychádzajú minimálne 2 hrany. Každý trojuholník pozostáva z bodov a hrán, čím vytvára základnú plôšku terénu, tzv. fazetu. Z každej fazety je následne možné získať jej sklon, orientáciu alebo jej obsah.

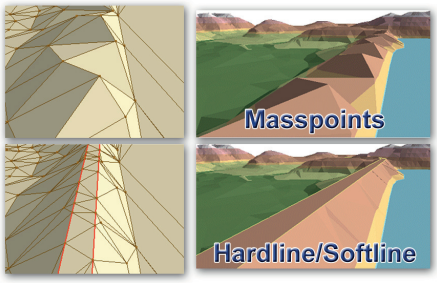


Obrázok 46

TIN model môžeme vytvoriť v prostredí aplikácie ArcMap, ale aj v aplikácii ArcScene. Nástroje potrebné na tvorbu TIN modelu sa nachádzajú v aplikácii ArcToolbox, ktorú je možné spustiť v prostredí ArcMap alebo v ArcScene. Prvým nástrojom je ***Create Tin*** v aplikácii ArcToolbox



Obrázok 47



Obrázok 48

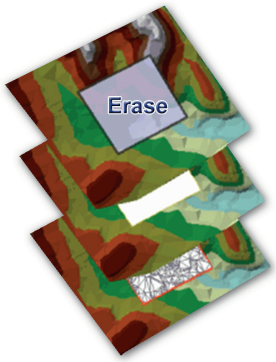
(***3D Analyst Tools → Data Management → TIN → Create Tin***). Zobrazené dialógové okno ponúka nasledovné možnosti (obrázok 47):

- ***Output TIN*** – výsledná TIN dátová reprezentácia.
- ***Coordinate System (optional)*** – definovanie súradnicového systému výsledného TIN dátového modelu.
- ***Input Feature Class (optional)*** – definovanie vstupu, podľa ktorého sa vytvorí TIN dátový model. Každému jednému vstupu je potrebné zadefinovať parametre, podľa ktorých bude vytvorený TIN model:
  - ***Input Features*** – vektorový vstup vo forme bodu, línie alebo polygónu,
  - ***Height Field*** – atribút výškovej reprezentácie,
  - ***SF Type*** – výber typu metódy, akou sa geometria prvkov bude transformovať do TIN modelu. Možnosti s označením ***Hard*** alebo ***Soft*** definujú prechod medzi hranami trojuholníkov v prípade neskoršieho konvertovania na rastrovú reprezentáciu. Označenie ***Hard*** je určené pre náhlu zmenu, ***Soft*** pre postupnú zmenu hodnôt. Každému typu geometrie vstupných prvkov je daná rozdielna ponuka:

    1. ***Masspoints*** – výšková reprezentácia pomocou bodov,
    2. ***Hardline/Softline*** – výšková reprezentácia pomocou línií. Na obrázku 48 je znázornený rozdiel medzi metódami Masspoints a Hardline/Softline,
    3. ***Hardclip/Softclip*** – priestorové ohraničenie tvorby TIN modelu (obrázok 49),

Obrázok 49

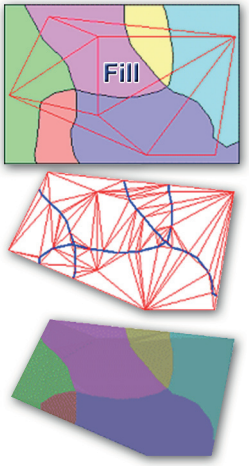
4. ***Harderase/Softerase*** – definovanie plochy výrezu v TIN modeli (obrázok 50),
5. ***Hardreplace/Softreplace*** – definovanie plôch s konštantnou výškou v TIN modeli (obrázok 51),
6. ***Hardvaluefill/Softvaluefill*** – výber plošných prvkov, ktoré budú súčasťou výsledného TIN modelu a zároveň dôjde k retriangulácii povrchu (obrázok 52).



Obrázok 50

- ***Tag Field*** – špecifikácia atribútu, ktorý sa bude nachádzať vo výslednom TIN modeli. Ide o hodnoty, ktoré majú význam napr. pre symbologickú úpravu výsledného TIN modelu.
- ***Constrained Dulaunay (optional)*** – špecifikácia metódy triangulácie v oblasti spájania uzlov. Výberom tejto možnosti docielime zlučovanie vedľa seba ležiacich hrán do jednej hrany. Bez výberu tejto možnosti bude každá hrana v TIN modeli umiestnená osobitne.

Obrázok 51



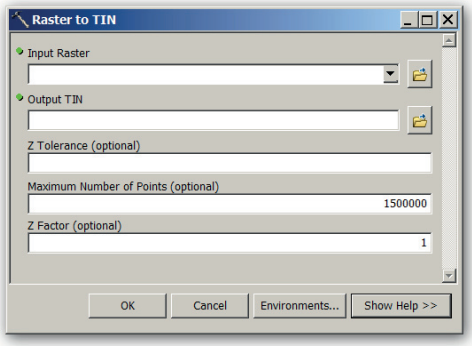
Obrázok 52

4.2.1. Konverzia rastra na TIN

TIN dátovú reprezentáciu môžeme vytvoriť aj z rastrovej reprezentácie. Na tento účel je k dispozícii nástroj s názvom ***Raster to TIN***. Hlavným účelom konverzie je vytvoriť nepravidelnú trojuholníkovú sieť podľa hodnôt Z súradníc buniek rastrového vstupu, ktoré sú prisúdené ich stredom. Po spustení nástroja ***Raster to TIN*** v aplikácii ArcToolbox (***3D Analyst Tools → Conversion → From Raster → Raster to TIN***) sa zobrazí okno s nasledovnými možnosťami (obrázok 53):

1. ***Input Raster*** – vstupná rastrová reprezentácia, napr. DTM;
2. ***Output TIN*** – výsledná TIN dátová reprezentácia, v ktorej sa bude nachádzať napr. DTM vo forme trojuholníkovej siete;

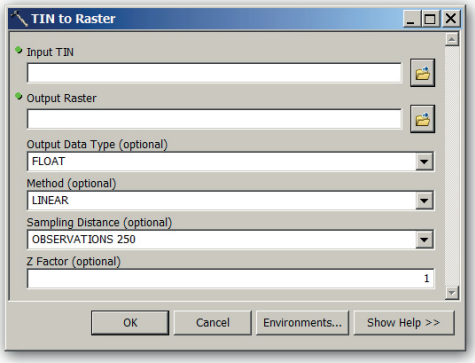
3. ***Z Tolerance (optional)*** – maximálny povolený rozdiel hodnôt Z súradnicovej osi medzi vstupom a výstupom. Preddefinovaná tolerancia je 1/10 rozsahu Z hodnôt vstupného rastra;
4. ***Maximum Number of Points (optional)*** – maximálny možný počet bodov, podľa ktorých sa vytvorí TIN model;
5. ***Z factor (optional)*** – násobok vstupnej výškovej reprezentácie.



Obrázok 53

4.2.2. Konverzia TIN na raster

Dátový formát TIN môžeme konvertovať na rastrový formát pomocou procesu interpolácie z výškovej základne TIN modelu. Na tento účel máme k dispozícii nástroj s názvom ***TIN to Raster*** v ArcToolbox (***3D Analyst Tools → Conversion → From TIN → TIN to Raster***). Po jeho spustení sa zobrazí okno s nasledovnými možnosťami (obrázok 54):



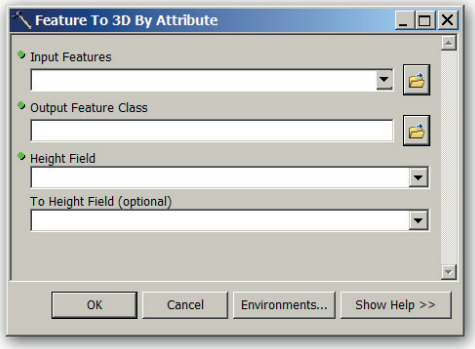
Obrázok 54

1. ***Input Raster*** – vstupná reprezentácia TIN dátového modelu, napr. DTM.
2. ***Output Raster*** – výstupná rastrová reprezentácia. V prípade definovania konkrétnej súborovej prípony bude rastrová reprezentácia uložená do iného formátu, než je preddefinovaný ESRI Grid. Ak chceme uložiť raster do súborového formátu TIF, za názov súboru pridáme príponu .tif.
3. ***Output Data Type (optional)*** – definovanie dátového typu výstupnej rastrovej reprezentácie. K dispozícii máme dve možnosti:
   - ***FLOAT*** – 32 bitové desatinné číslo,
   - ***INT*** – celočíselná hodnota.
4. ***Method (optional)*** – výber interpolačnej metódy, ktorou sa vytvorí výstupná rastrová reprezentácia. K dispozícii máme dve možnosti:
   - ***LINEAR*** – lineárna interpolácia, ktorá pristupuje k TIN trojuholníkom ako k rovnej ploche. Každej výstupnej bunke je priradená výška na základe hodnoty stredu bunky a roviny trojuholníka.
   - ***NATURAL_NEIGHBORS*** – interpolácia najbližšieho suseda, ktorá vytvorí vyhladenejší povrch než lineárna metóda.

5. ***Sampling Distance (optional)*** – definovanie výstupnej veľkosti bunky pomocou:
   - ***OBSERVATIONS*** – počtu buniek na najdlhšej strane výstupného rastra,
   - ***CELLSIZE*** – priameho zadania veľkosti bunky.
6. ***Z factor (optional)*** – násobok vstupnej výškovej reprezentácie.

4.2.3. Tvorba 3D prvkov

3D prvky predstavujú diskrétnu vektorovú dátovú reprezentáciu, umiestnenú v priestore definovanom pomocou súradnicových osí X, Y a Z. Kľúčovou vlastnosťou je hodnota Z súradnicovej osi. Pomocou tejto hodnoty vieme prvky zobrazovať v 3D dimenzii a následne ich môžeme podrobiť rozličným priestorovým analýzam. Prvky s obsahom Z súradnicových hodnôt môžeme vytvoriť viacerými spôsobmi. Najčastejšie používaným je nástroj s názvom ***Feature To 3D By Attribute***, ktorý je umiestnený v aplikácii ArcToolbox (***3D Analyst Tools → 3D Features → Feature To 3D By Attributes***). Po spustení nástroja sa zobrazí dialógové okno s nasledovnými možnosťami (obrázok 55):



Obrázok 55

1. ***Input Features*** – vstupná vrstva vektorových prvkov,
2. ***Output Raster Feature Class*** – výstupná 3D vrstva vektorových prvkov,
3. ***Height Field*** – atribút s hodnotami, ktoré definujú výšky bodov popisujúcich 3D prvky,
4. ***To Height Field (optional)*** – atribút s hodnotami, definujúcimi koncové výšky líniových prvkov v priestore. Použitím sekundárnej definície výšok dosiahneme výsledok, v ktorom bude každej línii priradená okrem začiatočnej hodnoty výšky Z aj koncová výška z druhého výškového poľa. Výška ostatných uzlov bude interpolovaná z hodnôt prvého a posledného uzla, t. j. začiatočného a koncového.

Ďalšia možnosť tvorby 3D prvkov je pomocou nástrojov umiestnených na lište ***3D Analyst*** (obrázok 56), ktorú spustíme v hlavnom menu položkou ***Customize → Toolbars → 3D Analyst***. Nástroje lišty budú k dispozícii len za tej podmienky, ak v zozname vrstiev máme umiestnenú TIN alebo rastrovú reprezentáciu s obsahom hodnôt Z súradníc. Výstupom sú grafické objekty, ktoré sa upravujú a exportujú (na vrstvu geografických informácií) lištou ***Draw***. Na lište ***3D Analyst*** máme na účely vytvárania 3D prvkov k dispozícii nasledovné nástroje:

Obrázok 56

- ***Create Contour*** – vo zvolenom priestore vytvoríme grafické objekty – vrstevnice,
- ***Create Steepest Path*** – od zvoleného priestoru vytvoríme grafický objekt – spádovú krivku,
- ***Interpolate Point*** – tvorba bodových grafických znakov,
- ***Interpolate Line*** – tvorba líniových grafických znakov,
- ***Interpolate Polygon*** – tvorba polygónových grafických znakov.

4.3. ArcScene

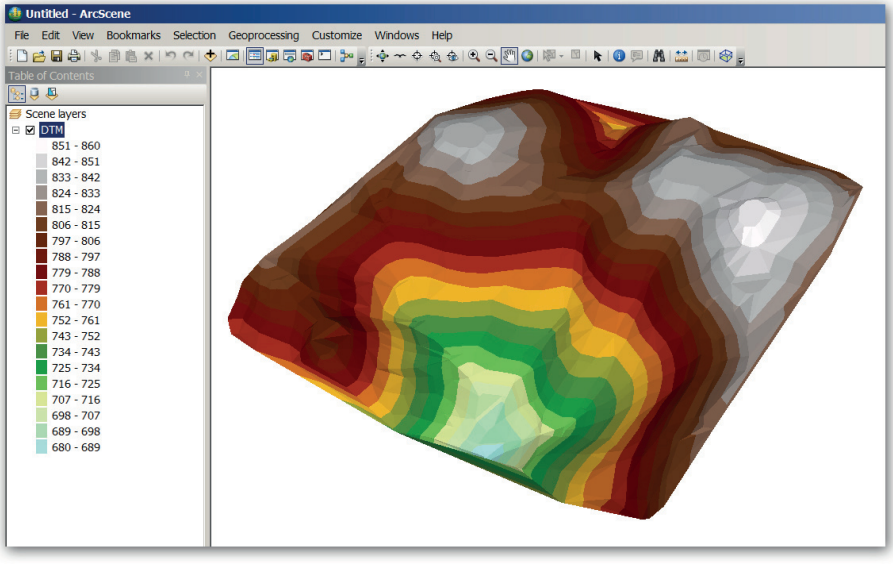
ArcScene je aplikácia, ktorá slúži na analýzu dát a ponúka prostredie na 3D vizualizáciu a animáciu. Koncept prostredia aplikácie je veľmi podobný aplikácii ArcMap. Hlavný rozdiel je v mapovom okne, ktoré obsahuje 3D prostredie zobrazenia údajov.

Podobnou aplikáciou je ArcGlobe, ktorá je určená na globálnu „*real-time*" vizualizáciu väčšieho množstva dát v menších mierkach s možnosťou 2D/3D symbologickej úpravy.

4.3.1. Zobrazenie 3D údajov

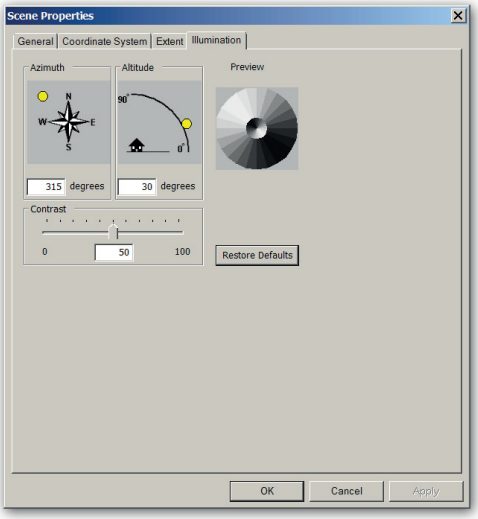
Do prostredia aplikácie ArcScene sa vrstvy geografických informácií pridávajú rovnakým spôsobom ako v aplikácii ArcMap, avšak geografické informácie sú zobrazené v perspektívnom pohľade. Vrstvy, ktoré obsahujú hodnoty Z súradníc, budú zobrazené pomocou troch dimenzií. Zároveň máme k dispozícii lištu ***Tools***, ktorá obsahuje navigačné nástroje výberu a identifikácie (obrázok 57).

Geografické informácie sa ukladajú do scény, ktorá je určitou alternatívou k dátovému rámu. Pri akejkoľvek ďalšej práci je potrebné nastaviť globálne vlastnosti celej scény, t. j.



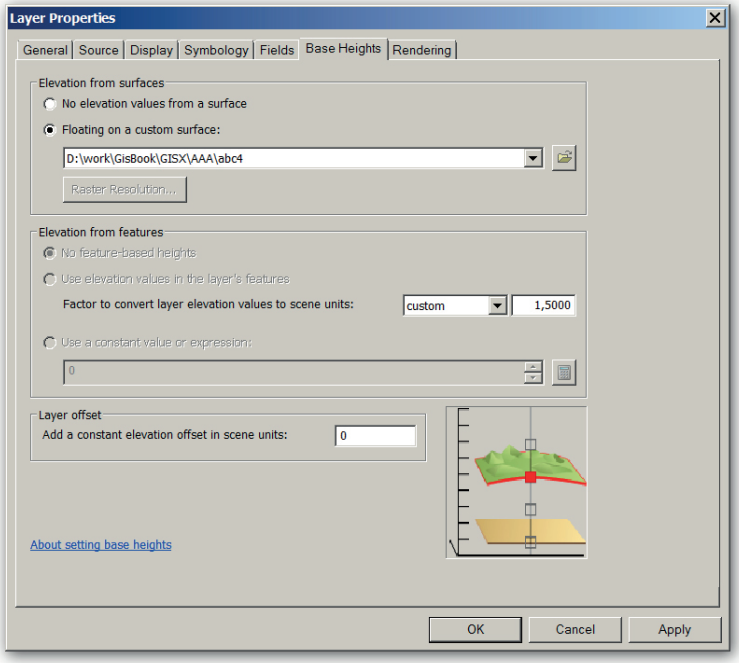
Obrázok 57

farbu pozadia, osvetlenie scény, vertikálne skreslenie, súradnicový systém, animovanú rotáciu a popisné údaje k scéne. Dialógové okno s názvom ***Scene Properties*** (obrázok 58) otvoríme dvojklikom na hlavnú položku v okne obsahu – v zozname vrstiev.



Obrázok 58

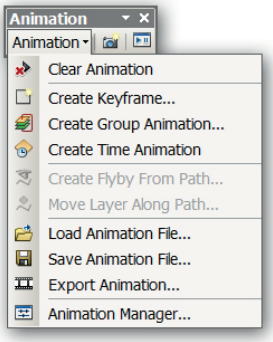
Každú pridanú vrstvu môžeme prostredníctvom jej vlastností upraviť, a to v rozsahu symbológie, výšky, súborového zdroja, zobrazenia, vykreslenia atď. Pozornosť je potrebné venovať záložke ***Base Heights*** v dialógovom okne vlastností vrstvy (***Layer Properties***). V záložke výškovej základne (obrázok 59) definujeme výškový zdroj (***Elevation from surface***) a môže ňou byť okrem pôvodných výškových hodnôt zdrojovej vrstvy aj iná vrstva. Ďalej môžeme výškový rozsah vrstvy vertikálne skresliť, relatívne znížiť alebo prevýšiť reliéf v smere osi Z zadaným koeficientom v časti okna s názvom ***Elevation from feature***. Poslednou možnosťou tejto záložky je hodnota vertikálneho posunu (***Offset***), ktorou danú vrstvu hladinovo posúvame vzhľadom k celej scéne.



Obrázok 59

4.3.2. Vytváranie animácií

Prostredie aplikácie ArcScene ponúka súbor nástrojov, ktorými dokážeme vytvoriť dynamické animácie – prelety v priestore mapového okna. Dynamické prelety ukladáme do videa záznamu a následne môžeme vykonať ich export do štandardných súborových formátov. Vytvárame ich pomocou nástrojov lišty ***Animation*** (obrázok 60), ktorú spustíme v položke hlavného menu ***Customize*** → ***Toolbars*** → ***Animation***. Pred začiatkom tvorby je potrebné oboznámiť sa s typmi kľúčových snímok (***Keyframe***) ako základného prvku pri tvorbe animácií. Kľúčové snímky, ku ktorým je zapisovaná zmena parametrov, sú určitými značkami na trase (časovej osi). Takto vytvorená časová os predstavuje hlavný scenár animácií. K dispozícii máme nasledovné typy kľúčových snímok:

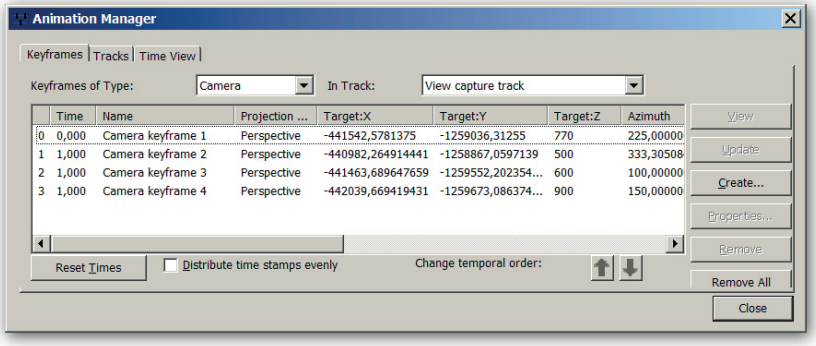


Obrázok 60

- **Layer** – kľúčové snímky vytvárame pomocou zmeny parametrov vrstvy,
- **Scene** – kľúčové snímky vytvárame pomocou zmeny parametrov scény,
- **Camera** – kľúčové snímky vytvárame pomocou zmien pohľadu na obsah scény v mapovom okne.

Dynamické prelety môžeme vytvárať viacerými spôsobmi. V každom jednom spôsobe ide o tvorbu kľúčových snímok daného typu. Vytvárame ich nástrojom ***Create Keyframe***, ktorý je umiestnený v padajúcom menu ***Animation*** lišty ***Animation*** alebo pomocou ***Animation Manager*** z padajúceho menu ***Animation***.

Manažér animácií (***Animation Manager***) ponúka pracovné prostredie na tvorbu animácií a ich úpravu (obrázok 61). Okno manažéra animácií pozostáva z troch základných záložiek. Prvou je zoznam kľúčových snímok, druhou je zoznam tzv. časových osí a poslednou je pohľad na samotný časový scenár animácie.



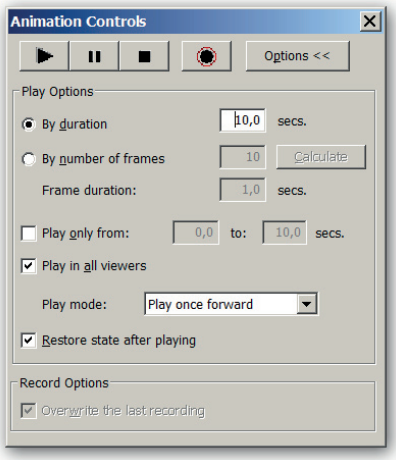
Obrázok 61

4.3.3. Export scény a animácie

Vytvorenú štruktúru animácie je potrebné uložiť do formátu ArcScene dokumentu, čo zabezpečí uchovanie všetkých parametrov vrstiev, scény a relatívnej alebo absolútnej cesty k zdrojovým dátam. Zároveň v dokumente ArcScene ukladáme aj štruktúru animácie.

Export scény môžeme vykonať prostredníctvom statického exportu do formy 2D alebo 3D obrázka, t. j. aktuálneho pohľadu na kompozíciu a obsah mapového dokumentu. Export vykonáme položkou hlavného menu ***File*** → ***Export Scene***.

Export animácie do súboru .asa (aby sme danú animáciu mohli použiť v inom ArcScene dokumente) vykonáme pomocou padajúceho menu ***Animation*** a nástroja ***Save Animation File***.



Obrázok 62

Export animácie do video formátu vykonáme nástrojom ***Export Animation***, ktorý sa nachádza v padajúcom menu ***Animation***. Najskôr však musíme pomocou navigačných nástrojov nastaviť dĺžku výslednej animácie. Dialógové okno navigačných nástrojov (obrázok 62) spustíme ikonkou ***Open Animation Controls***. Export animácie do video formátu bude určený veľkosťou mapového okna, otvorenými dialógovými oknami a spustenými lištami, ktoré sa priamo premietnu do výslednej animácie. Export do konkrétneho video formátu a jeho parametrov je podmienený multimediálnym rozhraním operačného systému. Rýchlosť vytvárania video súboru je priamo úmerná dĺžke animácie, náročnosti trajektórie generovaného preletu a hardvérovej konfigurácii.

Otázky:

1. Aké prostredie, resp. priestorovú dimenziu, ponúka rozšírenie 3D Analyst?
2. Čo sa chápe pod skratkou a termínom TIN?
3. Pomocou akých nástrojov je možné vytvoriť tzv. TIN model?
4. Akým nástrojom sa vytvárajú 3D vektorové prvky geografických informácií?
5. Aké prostredie ponúka aplikácia ArcScene?
6. Čo znamená kľúčová snímka – Keyframe?

5. Vodstvo a prúdenie

Kapitola s názvom „*Vodstvo a prúdenie*“ je zameraná na hydrologické analýzy pomocou rozšírenia Spatial Analyst. Súborom nástrojov budeme analyzovať reliéf a odvodzovať základné hydrologické charakteristiky, akými sú smer prúdenia, práca s priehlbinami, resp. depresiami, tvorba siete vodných tokov a povodí atď.

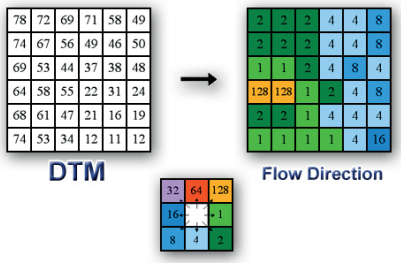
Reliéf je podľa Miklósa a Izakovičovej (1997) považovaný za základný rámec pohybu povrchových vôd. Preto je väčšina charakteristík viazaných na parametre reliéfu ako gravitačne transformovaného média, a nie vody. Avšak voda je v našich podmienkach hlavným modelačným činiteľom reliéfu.

Voda je jednou z najdôležitejších podmienok života na Zemi a základnou zložkou životného prostredia. Tvorí hydrosféru, je podstatnou zložkou biosféry a zároveň je súčasťou ostatných geosfér Zeme. Je nielen životne dôležitým ekologickým a ekonomickým zdrojom, ale aj základnou charakteristikou prírodnej krajiny.

Prostredie GIS ponúka široké spektrum nástrojov analýzy rôznych parametrov viazaných k povrchovým vodám. Nástroje určené na hydrologické analýzy sú súčasťou rozšírenia Spatial Analyst a organizované sú v aplikácii ArcToolbox v zložke ***Hydrology***.

5.1. Smer prúdenia

Jednou zo základných charakteristík hydrologických analýz je stanovenie smeru prúdenia vody po povrchu. Pomocou nástroja ***Flow Direction*** z aplikácie ArcToolbox (***Spatial Analyst*** → ***Hydrology*** → ***Flow Direction***) vykonáme analýzu smeru prúdenia vody z buniek alebo do buniek rastrovej reprezentácie reliéfu (DTM). Smer prúdenia sa určuje vzájomným porovnávaním výškových hodnôt buniek v smere najstrmšieho klesania od jednej bunky k druhej. Nástrojom stanovíme 8 smerov prúdenia tak, ako je to znázornené na obrázku 63. Zobrazené okno nástroja ***Flow Direction*** ponúka nasledovné možnosti (obrázok 64):

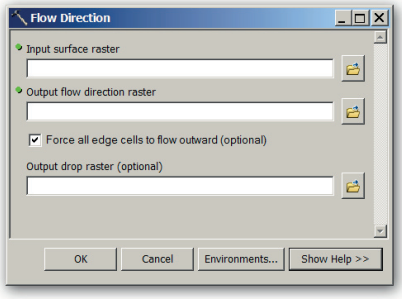


Obrázok 63

1. ***Input raster*** – digitálny model terénu, v ktorom sa nachádza priebeh výškovej reprezentácie,

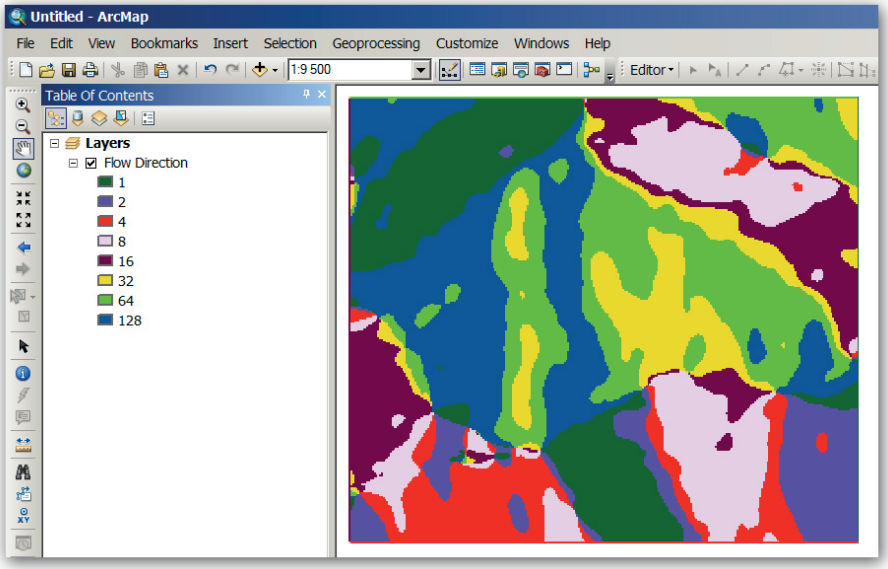
2. ***Output flow direction raster*** – výsledná rastrová reprezentácia s obsahom smerového prúdenia vody po povrchu osobitne pre každú bunku (obrázok 65),

3. ***Force all edge cells to flow outward (optional)*** – voľbou tejto možnosti sa prúdenie okrajových buniek rastra presunie smerom von,



Obrázok 64

4. ***Output drop raster (optional)*** – rastrová reprezentácia, ktorej výsledkom sú hodnoty vypočítané bunkám ako výsledok pomeru maximálnej zmeny výšky v smere prúdenia. Hodnoty sú vyjadrené v percentách.

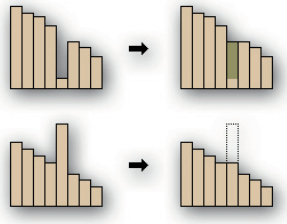


Obrázok 65

5.2. Identifikácia chýb DTM a ich oprava

Pri práci s hydrologickými analýzami je potrebné pracovať len s takým výškovým modelom, ktorý neobsahuje žiadne chyby. Reprezentácia spojitého modelu priebehu nadmorskej výšky (DTM) prináša so sebou rôzne chyby. Najčastejšími sú nepravé priehlbiny (sinks – depresie) alebo vyvýšeniny (peaks – vrcholy) ako náhle zmeny hodnôt bunky oproti jej okoliu. Tieto chyby vytvárajú tzv. falošné ponory alebo bariéry, kde sa odtok pri týchto bunkách ukončí. Avšak niektoré priehlbiny a vyvýšeniny majú prirodzený charakter a musia byť súčasťou DTM. Ide napr. o rôzne skalné útvary alebo ponory v krasových oblastiach či antropogénne vzniknuté depresie (ťažbou, bagrovaním atď.).

Identifikácia chýb DTM pomocou rastra je založená na analýze hodnôt smerového prúdenia. Priehlbina alebo vyvýšenina je vnímaná ako bunka, ku ktorej nie je možné priradiť jednu z ôsmich hodnôt smeru prúdenia (obrázok 66).

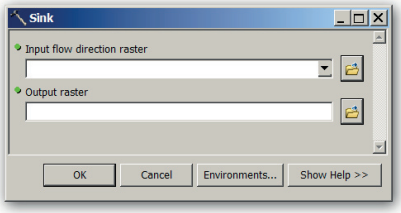


Obrázok 66

Pomocou nástroja ***Sink*** aplikácie ArcToolbox (***Spatial Analyst*** → ***Hydrology*** → ***Sink***) vykonáme identifikáciu chýb. Zobrazené okno nástroja ***Sink*** ponúka nasledovné možnosti (obrázok 67):

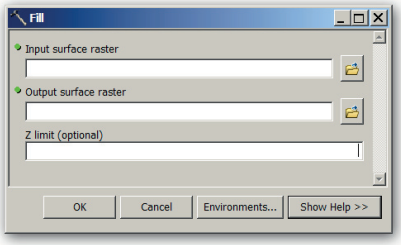
1. ***Input flow direction raster*** – vstupná rastrová reprezentácia, ktorá obsahuje hodnoty smeru prúdenia,

2. ***Output raster*** – výsledná rastrová reprezentácia, v ktorej sa budú nachádzať identifikované chyby, t. j. priehlbiny alebo vyvýšeniny s hodnotami od jedna až po celkový počet (poradové číslo detekovanej priehlbiny).



Obrázok 67

Pomocou nástroja ***Fill*** aplikácie ArcToolbox (***Spatial Analyst*** → ***Hydrology*** → ***Fill***) odstránime identifikované chyby. Zobrazené dialógové okno ponúka nasledovné možnosti (obrázok 68):

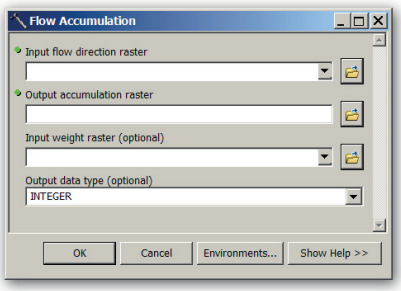


Obrázok 68

1. ***Input surface raster*** – vstupná rastrová reprezentácia smerov prúdenia.
2. ***Output raster*** – výsledná rastrová reprezentácia, v ktorej sa bude nachádzať opravená vstupná výšková reprezentácia. Vykonanú opravu je možné verifikovať opätovným aplikovaním nástroja ***Sink***.
3. ***Z limit (optional)*** – definujeme maximálny možný hĺbkový alebo výškový limit, do ktorého sa budú odstraňovať chyby. Touto hodnotou eliminujeme opravu aj takých chýb, ktoré v konečnom dôsledku nemusia byť chybami. Napríklad, ak špecifikujeme hodnotu 6, čo v danom zobrazovacom systéme znamená 6 m, nedôjde k oprave žiadnych chýb, ktoré sú hlbšie alebo vyššie než 6 m. V prípade vynechania tejto voľby dôjde k odstráneniu všetkých detekovaných lokálnych priehlbín a vyvýšenín.

5.3. Akumulácia prietoku – odvodňovacia sieť

Každá vstupná bunka disponuje rovnakou hodnotou, ktorá predstavuje množstvo vody. Podľa smeru prúdenia sa bunkám vypočíta akumulácia množstva vody, to znamená, že dôjde ku kumulácii hodnôt pre každú bunku zo všetkých buniek v smere prúdenia. Bunky, ktoré obsahujú vysoké číselné hodnoty, vyjadrujú oblasti koncentrovaného odtoku. Výpočet akumulácie odtoku vykonáme nástrojom ***Flow Accumulation*** (***Spatial Analyst*** → ***Hydrology*** → ***Flow Accumulation***). Zobrazené dialógové okno ponúka nasledovné možnosti (obrázok 69):

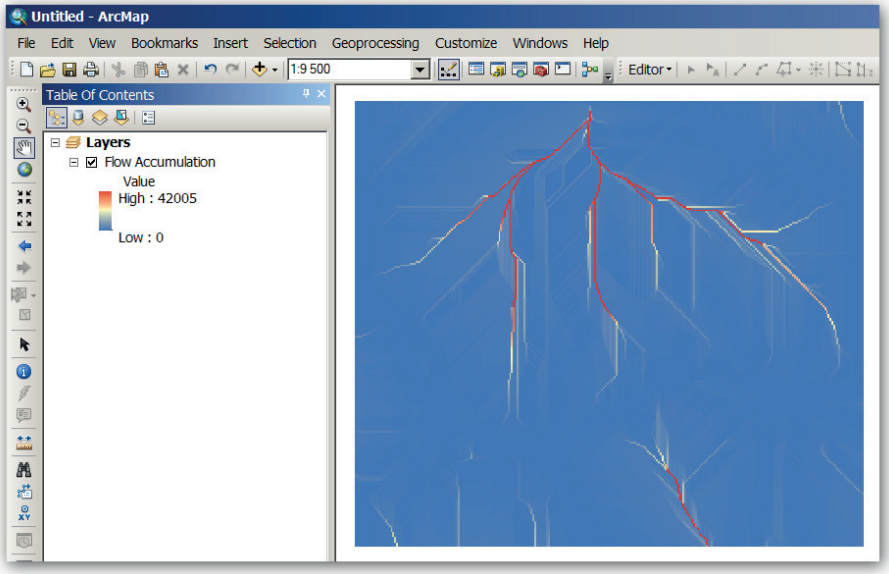


Obrázok 69

1. ***Input flow direction raster*** – vstupná rastrová reprezentácia, ktorá obsahuje hodnoty o smere prúdenia.
2. ***Output accumulation raster*** – výsledná rastrová reprezentácia akumulácie odtoku. Výsledok obsahuje hodnoty odtoku od jednej bunky toku k druhej. Ak prvá bunka mala hodnotu 1, druhá bude mať

hodnotu 2 atď. Výsledok môže byť použitý ako miera odtoku dažďovej vody pri potenciálnych zrážkových javoch. Bunky s najväčšími hodnotami sú vlastne detekovanými korytami vodných tokov (obrázok 70).

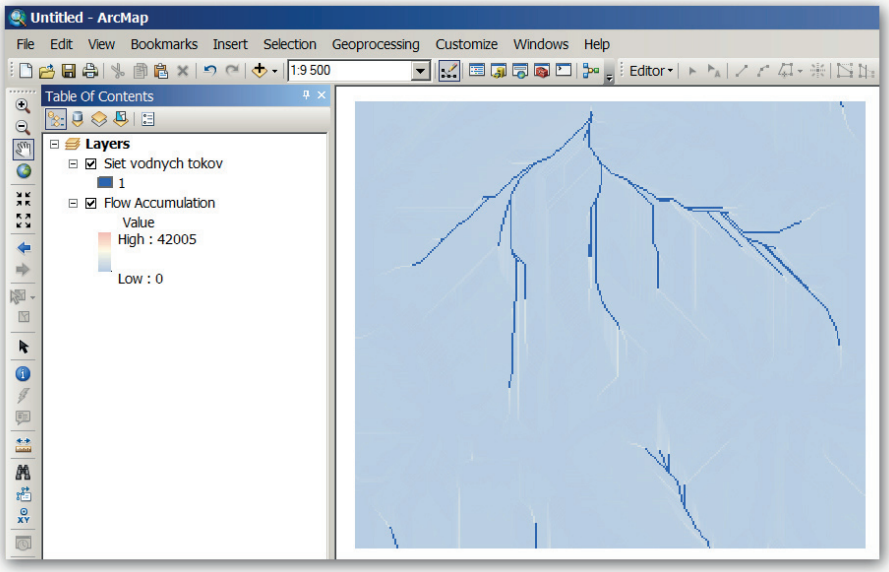
3. ***Input weight raster (optional)*** – výsledná rastrová reprezentácia, ktorej hodnoty sú vo všetkých bunkách rastra výsledkom prenásobenia hodnôt smeru prúdenia konkrétnymi hodnotami (váhami). Najčastejšie používanou hodnotou je skutočne namerané množstvo zrážok, t. j. hodnoty smeru prúdenia sa budú násobiť reálnymi hodnotami (váhami) zrážok.
4. ***Output data type (optional)*** – výber typu výsledných hodnôt, a to buď celočíselných (***INTEGER***) alebo desatinných (***FLOAT***).



Obrázok 70

5.3.1. Sieť vodných tokov

Z rastrovej reprezentácie akumulácie odtoku je možné odvodiť sieť vodných tokov. Odvodenie vykonáme pomocou reklasifikácie (***Spatial Analyst*** → ***Reclass*** → ***Reclassify***) alebo mapovej algebry (***Spatial Analyst*** → ***Map Algebra*** → ***Raster Calculator***). Základným princípom je výber buniek s vyššími číselnými hodnotami. Napríklad pomocou reklasifikácie vytvoríme len jeden areál s hodnotami od 500 a viac, ostatné hodnoty budú „*NoData*“ (obrázok 71).

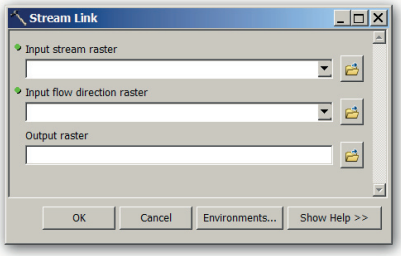


Obrázok 71

5.3.2. Článkovanie tokov

Rozdelenie súvislej líniovej reprezentácie odvodených vodných tokov na jednotlivé úseky vykonáme pomocou vrstvy smeru prúdenia. Nástroj ***Stream Link*** (***Spatial Analyst*** → ***Hydrology*** → ***Stream Link***) priradí bunkám jedného úseku rovnakú hodnotu. Zobrazené dialógové okno ponúka nasledovné možnosti (obrázok 72):

1. ***Input stream raster*** – vstupná rastrová reprezentácia odvodených vodných tokov,
2. ***Input flow direction raster*** – vstupná rastrová reprezentácia, ktorá obsahuje hodnoty smerov prúdenia,
3. ***Output raster*** – výsledná rastrová reprezentácia, v ktorej sa budú nachádzať vodné toky rozdelené na jednotlivé úseky, vždy od prameňa po najbližší sútok , resp. od sútoku po sútok.

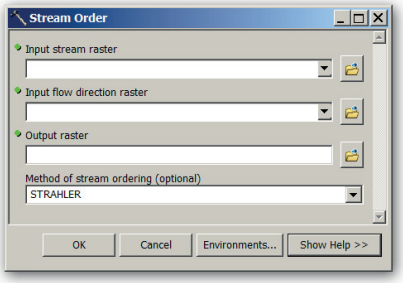


Obrázok 72

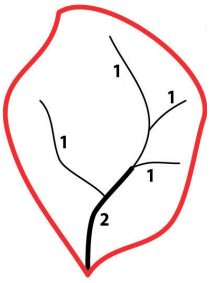
5.3.3. Klasifikácia tokov

Vodné toky rozdelené na úseky môžeme klasifikovať na základe počtu prítokov. Klasifikáciu vykonáme pomocou vrstvy smeru prúdenia. Nástroj ***Stream Order*** (***Spatial Analyst*** → ***Hydrology*** → ***Stream Order***) priradí jednotlivým úsekom vodného toku číselný rád. Zobrazené dialógové okno ponúka nasledovné možnosti (obrázok 73):

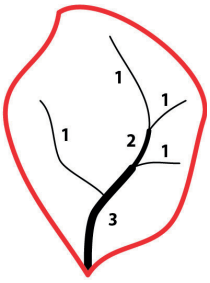
1. ***Input stream raster*** – vstupná rastrová reprezentácia rozdelených vodných tokov,
2. ***Input flow direction raster*** – vstupná rastrová reprezentácia, ktorá obsahuje hodnoty smeru prúdenia,
3. ***Output raster*** – výsledná rastrová reprezentácia, v ktorej sa budú nachádzať klasifikované vodné toky,
4. ***Method of stream ordering (optional)*** – klasifikáciu vodných tokov môžeme vykonať metódami:
   - ***STRAHLER*** – toky v pramennej oblasti majú prvý rád, ďalší rád nasleduje hneď za sútokom (miestom spojenia aspoň dvoch) rovnakých tokov predchádzajúcich rádov (obrázok 74);
   - ***SHREVE*** – pramenná oblasť je prvým rádom, ďalší rád nasleduje hneď za sútokom (miestom spojenia) rovnakých tokov predchádzajúcich rádov, avšak s číslovaním v zmysle prírastkového – akumulačného – pravidla číselných hodnôt predchádzajúcich rádov (obrázok 75).



Obrázok 73



Obrázok 74

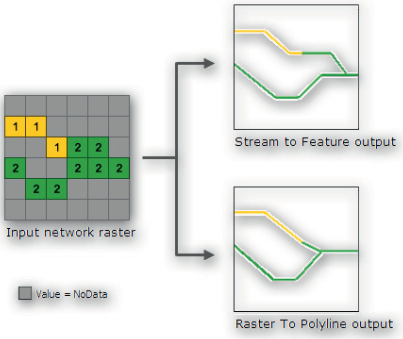


Obrázok 75

5.3.4. Prevod rastra na vektor

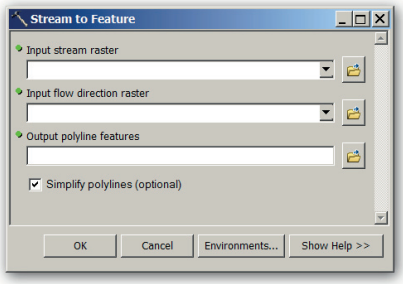
Transformáciu rastrovej reprezentácie klasifikovaných vodných tokov na vektorový dátový formát uskutočníme nástrojom ***Stream to Feature*** (***Spatial Analyst → Hydrology → Stream to Feature***). Nástroj je primárne určený na vektorizáciu prostredníctvom pomocnej vrstvy smeru prúdenia. Pomocná vrstva zohľadňuje rôzne prieniky medzi bunkami a ich vplyvy na ďalší priebeh vodného toku. Prevod rastra na vektor môžeme vykonať aj nástrojom ***Raster To Polyline*** (***Spatial Analyst → Conversion Tools → From Raster → Raster To Polyline***). Avšak tento nástroj neposkytuje možnosti zohľadnenia smerového prúdenia, čím môže dochádzať ku chybnej generalizácii výsledku (obrázok 76). Po spustení nástroja ***Stream to Feature*** sa zobrazí okno s nasledovnými možnosťami (obrázok 77):

1. ***Input stream raster*** – vstupná rastrová reprezentácia klasifikovaných vodných tokov,
2. ***Input flow direction raster*** – vstupná rastrová reprezentácia, ktorá obsahuje hodnoty smerov prúdenia,



Obrázok 76

3. ***Output polyline features*** – výsledná vektorová reprezentácia vodných tokov,
4. ***Simplify polylines (optional)*** – voľba metódy generalizácie počtu uzlov (lomových bodov vektora). S využitím voľby bude počet uzlov vo výslednom vektore reprezentujúcom tok redukovaný. Bez využitia voľby nedôjde k žiadnej redukcii alebo generalizácii.



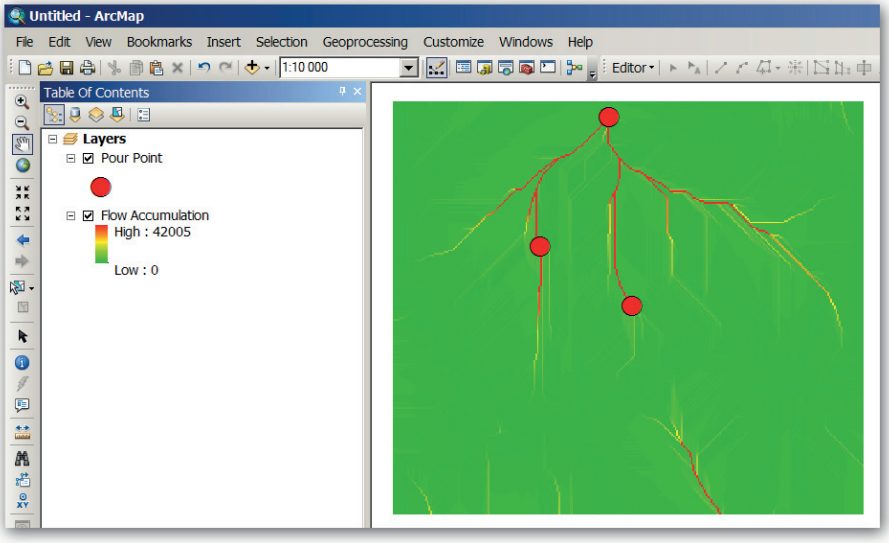
Obrázok 77

5.4. Povodia a ústia tokov

Povodie sa definuje ako zberné územie vodných tokov, ktoré je ohraničené rozvodnicou. Povodie je najvýznamnejším reprezentantom vzťahu reliéfu a vodstva, je to vlastne priestorová jednotka ohraničená morfometrickými parametrami reliéfu (Miklós, Izakovičová, 1997). V rámci rozlišovacej úrovne môže byť jedno povodie súčasťou iného povodia.

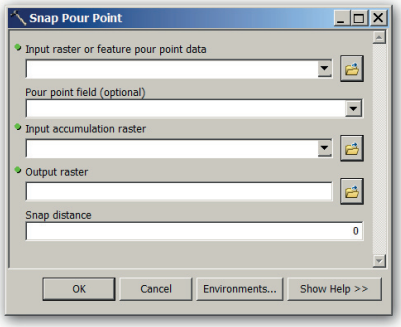
Príkaz ***Watershed*** (***Spatial Analyst*** → ***Hydrology*** → ***Watershed***) ohraničí oblasti (mikropovodia) zvažujúce sa k definovaným odtokovým bodom (ústia tokov – pour/outlet point), t. j. najnižšie položeným bodom pozdĺž rozvodnice.

Na identifikáciu odtokových bodov využijeme výslednú rastrovú reprezentáciu nástroja ***Flow Accumulation***. Miesta s najväčšími hodnotami sú považované za odtokové body. Musíme ich manuálne vytvoriť pomocou vektorových bodov alebo rastrovej reprezentácie (obrázok 78). Vytvorené odtokové body je následne potrebné upraviť, resp. spresniť na hodnoty akumulácie prietoku (***Flow Accumulation***). Takúto úpravu realizujeme nástrojom



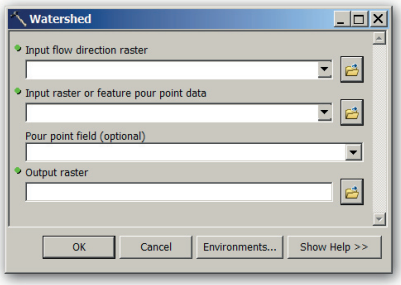
Obrázok 78

Snap Pour Point (***Spatial Analyst*** → ***Hydrology*** → ***Snap Pour Point***). V zobrazenom dialógovom okne nástroja ***Snap Pour Point*** sú nasledovné možnosti (obrázok 79):



Obrázok 79

1. ***Input raster or feature pour point data*** – vstupná vektorová alebo rastrová reprezentácia ústia tokov.
2. ***Pour point field (optional)*** – voľba atribútov k dátovému vstupu. V prípade vektorového vstupu je potrebné zadať číselný atribút. V prípade rastrového vstupu pôjde len o číselné hodnoty, ak sú ako desatinné čísla, budú prevedené na celočíselné.
3. ***Input accumulation raster*** – rastrová reprezentácia akumulácie prietoku vytvoreného pomocou nástroja ***Flow Accumulation***.
4. ***Snap distance*** – maximálna vzdialenosť na vyhľadávanie buniek s vyššou prietokovou hodnotou.

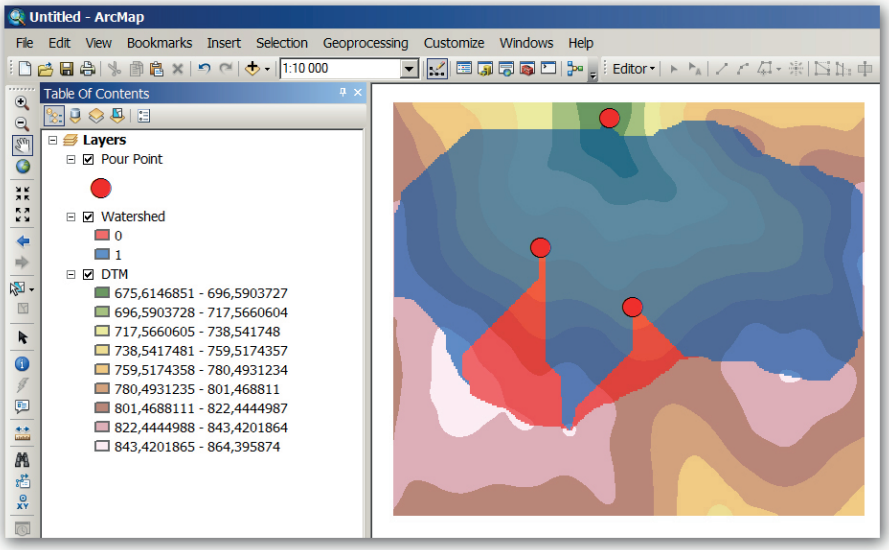


Obrázok 80

Povodia vytvoríme nástrojom ***Watershed***. Po jeho spustení sa zobrazí dialógové okno s nasledovnými možnosťami (obrázok 80):

1. ***Input flow direction raster*** – vstupná rastrová reprezentácia, ktorá obsahuje hodnoty smerov prúdenia,
2. ***Input raster or feature pour point data*** – vektorová alebo rastrová reprezentácia ústia tokov,
3. ***Pour point field (optional)*** – voľba atribútov pre ústia tokov,
4. ***Output raster*** – výsledná rastrová reprezentácia povodia alebo povodí. Pre každý jeden odtokový bod, resp. ústie, bude vytvorené jedno povodie (obrázok 81).

Na automatickú tvorbu povodí, kde nebudú zohľadnené ústia tokov, využijeme nástroj ***Basin*** (***Spatial Analyst*** → ***Hydrology*** → ***Basin***).



Obrázok 81

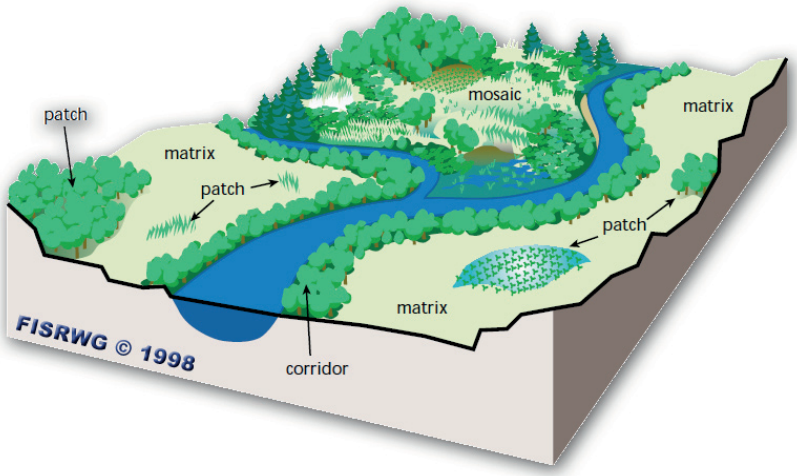
Otázky:

1. Čo je základným rámcom pohybu povrchových vôd?
2. Akým nástrojom sa stanoví smer prúdenia?
3. Ponúka aplikácia ArcMap nástroje identifikácie a opravy chýb DTM?
4. Čo znamená akumulácia prietoku a ktorým nástrojom sa stanovuje?
5. Ktorým nástrojom sa odvodzuje sieť vodných tokov a ich následné článkovanie?
6. Aké nástroje sú k dispozícii v aplikácii ArcMap na tvorbu povodí?

6. Analýza krajinnej štruktúry

Kapitola s názvom „*Analýza krajinnej štruktúry*“ je zameraná na kvantifikáciu krajinnej pokrývky pomocou súboru krajinných metrík. Číselné hodnoty metrík, t. j. stanovené ukazovatele, tvoria podklad účelových interpretácií prebiehajúcich ekologických procesov v krajine.

Každý vymedzený priestor využívania krajiny a krajinného pokrytia má svoje základné charakteristiky. Krajina podľa Formana (2006) predstavuje špecifický objekt, resp. fenomén s atribútmi, ktoré je možné analyzovať, modelovať, pozmeňovať, interpretovať, hodnotiť atď. Pri elementárnom pohľade na krajinu sa ponúka obraz jej prvkov (krajinné prvky), ktoré sú usporiadané do určitej štruktúry, t. j. do priestorovej konfigurácie a krajinnej kompozície (Dunning et al., 1992). Krajinná štruktúra je určitou mozaikou, ktorá je zložená z komponentov striedajúcich sa viac-menej pravidelne (obrázok 82). Základnými prvkami sú plôšky, koridory a matrice (Forman, Godron, 1986).



Obrázok 82

Povaha a charakter krajinných prvkov môžu nezávisle na sebe alebo spoločne ovplyvňovať rôzne ekologické procesy prebiehajúce v krajinnej štruktúre (McGarigal, Marks, 1994). Krajinnú štruktúru kvantifikujeme prostredníctvom spektra indikátorov, akými sú napr. indexy krajiny alebo krajinné metriky. Podľa stanovených hodnôt je možné krajinnú štruktúru interpretovať do podoby kvalitatívnych ukazovateľov (napr. ekologickej významnosti krajiny).

Kvantifikácia krajinnej štruktúry sa realizuje na úrovni plôšok (patch), tried (class) a krajiny (landscape). Niektoré metriky sa vzájomne prelínajú a majú duplicitný význam, preto sa interpretujú vo vzájomnej kombinácii. Krajinnými metrikami môžeme osobitne charakterizovať:

- ***Priestorovú konfiguráciu***, ktorá determinuje priestorový charakter, usporiadanie a orientáciu plôšok v rámci tried alebo krajinnej mozaiky. Priestorová konfigurácia krajiny reprezentuje priestorový charakter jednotlivých plôšok, ako je tvar, umiestnenie, orientácie atď.

- ***Krajinnú kompozíciu***, ktorá determinuje heterogenitu a početnosť plôšok v krajinnej mozaike, t. j. typy a množstvo krajinných prvkov. V krajinnej kompozícii sa plôšky priestorovo neanalyzujú. Nedochádza k analýze tvarov a priestorového umiestnenia. Na vyjadrenie krajinnej kompozície existujú rôzne kvantifikačné metódy, ako je napr. plošná výmera a diverzita prvkov a krajiny.

Krajinné metriky sa zaraďujú do rôznych tematických skupín, napr. metriky výmery, metriky diverzity, metriky tvaru.

6.1. Dátový vstup

Analýza krajinnej štruktúry je podmienená určitým kvalitatívnym dátovým vstupom. Do analýz vstupuje dátová reprezentácia krajinného priestoru vo forme vektorového alebo rastrového formátu. Vzhľadom na obmedzené databázové rozhranie a najmenšiu rozlišovaciu úroveň (tvar bunky) rastrových formátov je vhodnejším vstupom vektorový formát.

Hlavným dátovým vstupom do analýz krajinnej štruktúry sú vrstvy geografických informácií, ktoré obsahujú štruktúrovanú abstrakciu krajinného priestoru. Abstrakcia pochádza z rôznych foriem zberu údajov, napr. pozemného, vzdušného alebo transformačného zberu údajov.

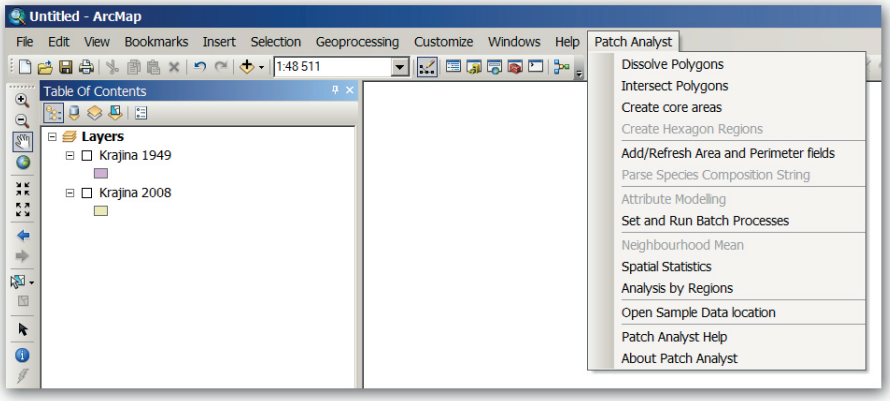
V našich podmienkach sa najčastejšie využíva transformačný a vzdušný zber. Pri transformačnom ide hlavne o vektorizáciu rastrových topografických máp. Ďalšou silne rozvíjajúcou sa metódou tvorby geografických informácií je vzdušný zber vo forme diaľkového prieskumu Zeme (DPZ).

Kvalita výsledných analýz je priamo úmerná kvalite obsahu atribútovej tabuľky a správnosti topologických vzťahov medzi prvkami. Chybné záznamy atribútovej tabuľky zbytočne duplikujú záznamy s rovnakým obsahom, resp. významom, dôsledkom čoho sa zvyšuje diverzita kategórií prvkov obsiahnutých vo vrstve geografických informácií. Vzájomné prekrývanie hraníc prvkov alebo prázdne miesta (topologické chyby) medzi prvkami majú negatívny dôsledok na správne stanovenie parametrov viazaných na tvar alebo veľkosť prvkov. Zároveň do analýzy krajinnej štruktúry vstupujú prvky v tzv. nezlúčenej podobe, t. j. každý prvok je reprezentovaný osobitným záznamom v atribútovej tabuľke.

6.2. Analýza krajinnej štruktúry v ArcMap

Analýza krajinnej štruktúry je postavená na matematicko-štatistickom základe. Výpočet hodnôt krajinných metrík sa uskutočňuje niekoľkými spôsobmi. Prvým je manuálny výpočet podľa počtu prvkov, tried a merných jednotiek odvodených od výmery, obvodu, dĺžky atď. V tomto prípade postupujeme algoritmom určeným v matematických vzorcoch. Druhým spôsobom sú automatizované výpočty pomocou voľne šíriteľných a dostupných rozšírení, napr. ***Patch Analyst***, ktorého producentom je Center for Northern Forest Ecosystem Research. Uvedené rozšírenie je možné stiahnuť z nasledovnej web stránky: ***http://www.cnfer.on.ca/SEP/patchanalyst/***.

Po inštalácii rozšírenia a spustení aplikácie ***ArcMap*** je potrebné do hlavného menu umiestniť (v zmysle používateľskej príručky) novú položku s názvom Spatial Analyst, ktorá obsahuje nasledovnú ponuku (obrázok 83):



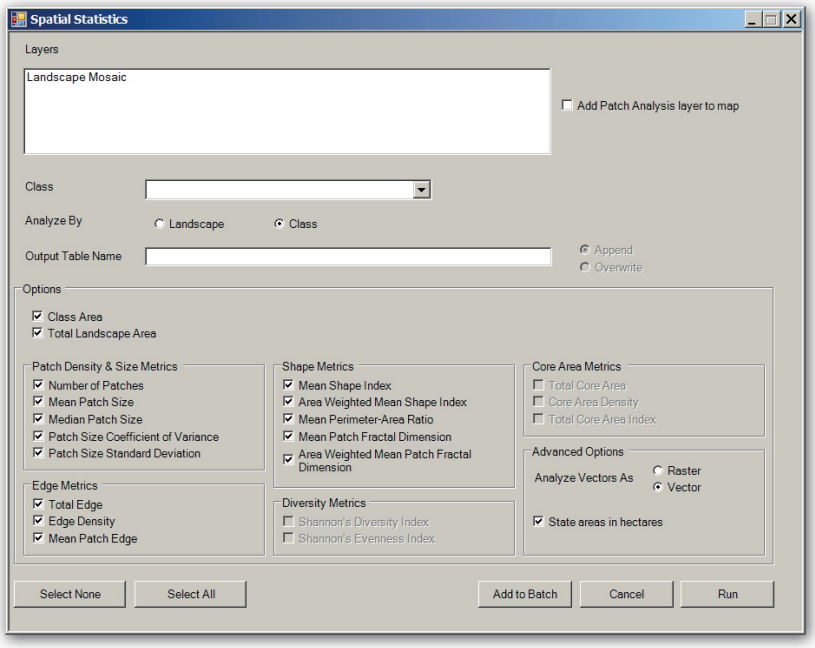
Obrázok 83

- ***Dissolve Polygons*** – geoprocesingový nástroj, ktorý je určený na zlučovanie prvkov a ich atribútových záznamov.
- ***Intersect Polygons*** – geoprocesingový nástroj, ktorý je určený na výpočet geometrického prieniku prvkov minimálne dvoch vstupných vrstiev.
- ***Create Core Areas*** – vytvorenie novej vrstvy s odpočtom výmery pozdĺž obvodových hraníc prvkov podľa špecifikovanej vzdialenosti (***Buffer Size***).
- ***Make Hexagon Regions*** – vytvorenie novej polygónovej vrstvy v tvare päťuholníkov, ktoré pokrývajú rozsah zadefinovaného výberu prvkov.
- ***Add/Refresh Area and Perimeter Field*** – výpočet alebo aktualizácia plochy a obvodu prvkov.
- ***Parse Species Composition String*** – separácia záznamov, ktoré obsahujú číselné kódovania lesných porastov na samostatné atribúty. Ide o kódovanie, ktoré nie je možné aplikovať na naše podmienky.
- ***Attribute Modeling*** – dialógové okno, ktoré ponúka tzv. atribútovú kalkulačku. Kalkulačkou vytvoríme alebo upravíme obsah zvoleného atribútu o hodnoty získané algoritmami, resp. príkazmi vo vzťahu k obsahu ostatných atribútov.
- ***Set and Run Batch Processes*** – nastavenie dávkového súboru s poradím po sebe nasledujúcich operácií, ktoré sú viazané na nástroj ***Spatial Statistics***.
- ***Neighbourhood Mean*** – definovanie zón, v ktorých vstupné prvky majú podobné hodnoty. V definovanej vzdialenosti sa prvky s podobným atribútom kategorizujú do samostatných tried.
- ***Spatial Statistic*** – komplexný nástroj kvantifikácie krajinnej štruktúry pomocou rozsiahleho súboru krajinných metrík.
- ***Analysis by Regions*** – vykonávanie analýz pomocou krajinných metrík na úrovni tried a krajiny vo vzťahu k definovaným regiónom.

6.3. Kvantifikácia krajinnej štruktúry

Kvantifikáciu krajinnej štruktúry vykonáme pomocou nástroja ***Spatial Statistic***, ktorého spúšťacia položka sa nachádza v hlavnom menu ***Patch Analyst*** aplikácie ArcMap. V nástroji sú zahrnuté položky na výpočet krajinných metrík v kategórii hustota, veľkosť, tvar, diverzita, hranice, jadrové oblasti na úrovni tried alebo krajiny. Zobrazené dialógové okno je štruktúrované do nasledovných častí (obrázok 84):

1. ***Layers*** – výber vrstvy geografických informácií, ktorá sa bude analyzovať.
2. ***Class*** – výber východiskového atribútu, podľa ktorého sa uskutoční analýza. Atribút môže obsahovať číselné ale aj textové hodnoty. Determinujeme ním počet tried, t. j. rovnaké hodnoty v atribútových záznamoch predstavujú jednu triedu prvkov.
3. ***Analyze by*** – úroveň vykonanej analýzy, t. j. analýzy na úrovni tried (***Class***) alebo analýzy na úrovni krajiny (***Landscape***). V prípade výberu krajiny ako celku bude vykonaná analýza všetkých prvkov bez ohľadu na ich priradenie do tried. Výberom tried bude analýza vykonaná ku každej triede osobitne.
4. ***Output Table Name*** – výsledná tabuľka s obsahom analýz vo forme .dbf súboru. V prípade už existujúceho súboru (s rovnakým názvom) máme možnosť jeho prepisu (***Overwrite***) alebo pridania obsahu (***Append***).
5. ***General Statistics*** – výber konkrétnych metrík, ktoré sú zaradené do jednej z nasledujúcich tematických oblastí:
   - ***Area*** – analýza výmery jednotlivých tried a krajiny ako celku,
   - ***Patch Density and Size Metrics*** – analýza hustoty a veľkosti prvkov jednotlivých kategórií,



Obrázok 84

- ***Edge Metrics*** – analýza hrán,
- ***Shape Metrics*** – analýza tvaru,
- ***Diversity Metrics*** – analýza diverzity a rovnováhy,
- ***Core Area Metrics*** – analýza jadrových oblastí, resp. zón, v nadväznosti na výstupnú vrstvu nástroja ***Create Core Areas***.

6. ***Advanced Options*** – dátový formát vrstvy geografických informácií má určitý vplyv na výsledok analýz. Ak vrstva vznikla transformáciou rastra na vektor, využijeme možnosť ***Raster***. Ak je vstupnou vrstvou originálny vektorový formát, využijeme možnosť ***Vector***.

Stanovené hodnoty krajinných metrík je možné interpretovať vo vzťahu k priebehu ekologických procesov na úrovni tried alebo krajiny. V zmysle Formana (2006); Turnera, Gardnera a O'neilla (2001); Gergela a Trunera (2002) a McGarigala a Marksa (1994) uvádzame účelovú interpretáciu niekoľkých vybraných krajinných metrík:

1. ***Počet plôšok (Number of patches/NP)*** – zvyšuje a zároveň aj znižuje heterogenitu a rozlíšenie krajinnej mozaiky.

2. ***Priemerná veľkosť plôšky (Mean patch size/MPS)*** – výpočet vychádza z počtu plôšok a výmery tried (Class area/CA). Rozsah hodnôt je limitovaný stupňom rozlíšenia a rozsahom krajinnej mozaiky. Výstupné hodnoty MPS poukazujú na fakt, že krajinné prvky, ktoré majú malé plošné zábery a sú zastúpené v menšom počte plôch (NP), vykazujú aj malé hodnoty indexu MPS. Naopak, čím je väčšia plocha s menším počtom prvkov (NP), tým sú aj hodnoty MPS väčšie. Postupná redukcia veľkosti plôšok smeruje k fragmentácii krajinnej mozaiky. Priemernú veľkosť prvkov (MPS) je potrebné vždy interpretovať vo vzťahu k počtu plôch krajinných prvkov (NP) a ich výmere (CA).

3. ***Štandardná veľkostná odchýlka (Patch Size Standard Deviation/PSSD)*** – reprezentuje rozdiel veľkostí plôšok vo svojich kategóriách v rámci krajinnej mozaiky. Čím bližšie sú hodnoty k nule, tým majú zastúpené krajinné prvky podobnejšiu výmeru a krajina sa stáva homogénnejšou. Krajinný priestor ovplyvnený ľudskou aktivitou obsahuje zvyčajne viac uniformných a veľkosťou jednotných prvkov než krajinný priestor bez výrazného vplyvu človeka.

4. ***Priemerný index tvaru polygónu (Mean Shape Index/MSI)*** – interakcia tvaru plôšky a veľkosti môže ovplyvňovať rôzne ekologické procesy v krajinnej mozaike. Ak sa výsledná hodnota indexu blíži viac k nule, plôšky majú kruhový tvar. Hodnota MSI rastie s nepravidelnosťou tvarov plôšok.

5. ***Shannonov index diverzity (Shannon's Diversity Index/SHDI)*** – sa rovná nule za podmienky, že kategória krajinný prvok obsahuje len jednu plôšku. Hodnota SHDI rastie s počtom plôšok v kategóriách krajinných prvkov. Čím je hodnota indexu vyššia, tým je väčšia heterogenita krajiny, t. j. krajina je bohatšia na počty kategórií krajinných prvkov a počet plôšok.

6. ***Shannonov index rovnováhy (Shannon's Evenness Index/SHEI)*** – rovnováha je vyjadrená ako pozorovateľná úroveň diverzity (SHDI) delená maximálnym počtom kategórií krajinných prvkov. Úmerná redukcia počtu plôšok a kategórií zapríčiňuje aj zníženie celkovej rovnováhy. Čím je hodnota v sledovanom území bližšie k jednej, tým je lepšia rovnováha v krajinnej mozaike.

6.4. Príklad aplikačného využitia krajinných metrík

Najčastejším príkladom využívania krajinných metrík je porovnávanie vývoja zmien krajinnej pokrývky za určité časové obdobia. Z oblasti geografie a krajinnej ekológie sa tejto problematike na Slovensku venuje viacero autorov, napr. Boltižiar (2003); Boltižiar (2010); Boltižiar a Olah (2009); Ivanová, Michaeli a Boltižiar (2013); Gajdoš, Klaučo a Škodová (2012); Mojses a Boltižiar (2011); Olah, Boltižiar a Petrovič (2006); Oláhová, Vojtek a Boltižiar (2012, 2013); Vojtek a Boltižiar (2010). Uvedení autori vo svojich prácach poukazujú na rôzne prístupy vo výskume vybraných vlastností krajiny. Tieto práce môžu slúžiť ako doplnkový študijný materiál, alebo ako východisková literatúra s obsahom praktických úloh a s názorným využitím softvérových operácií v reálnom výskume na Slovensku.

Pre potreby aplikačného využitia krajinných metrík je uvádzaný príklad analýzy zmien vývoja krajinnej štruktúry v modelovom území Štiavnické Bane (Banská Štiavnica) v rokoch 1949, 1991 a 2008 (mapa 1).

6.4.1. Analýza priestorovej konfigurácie a krajinnej kompozície

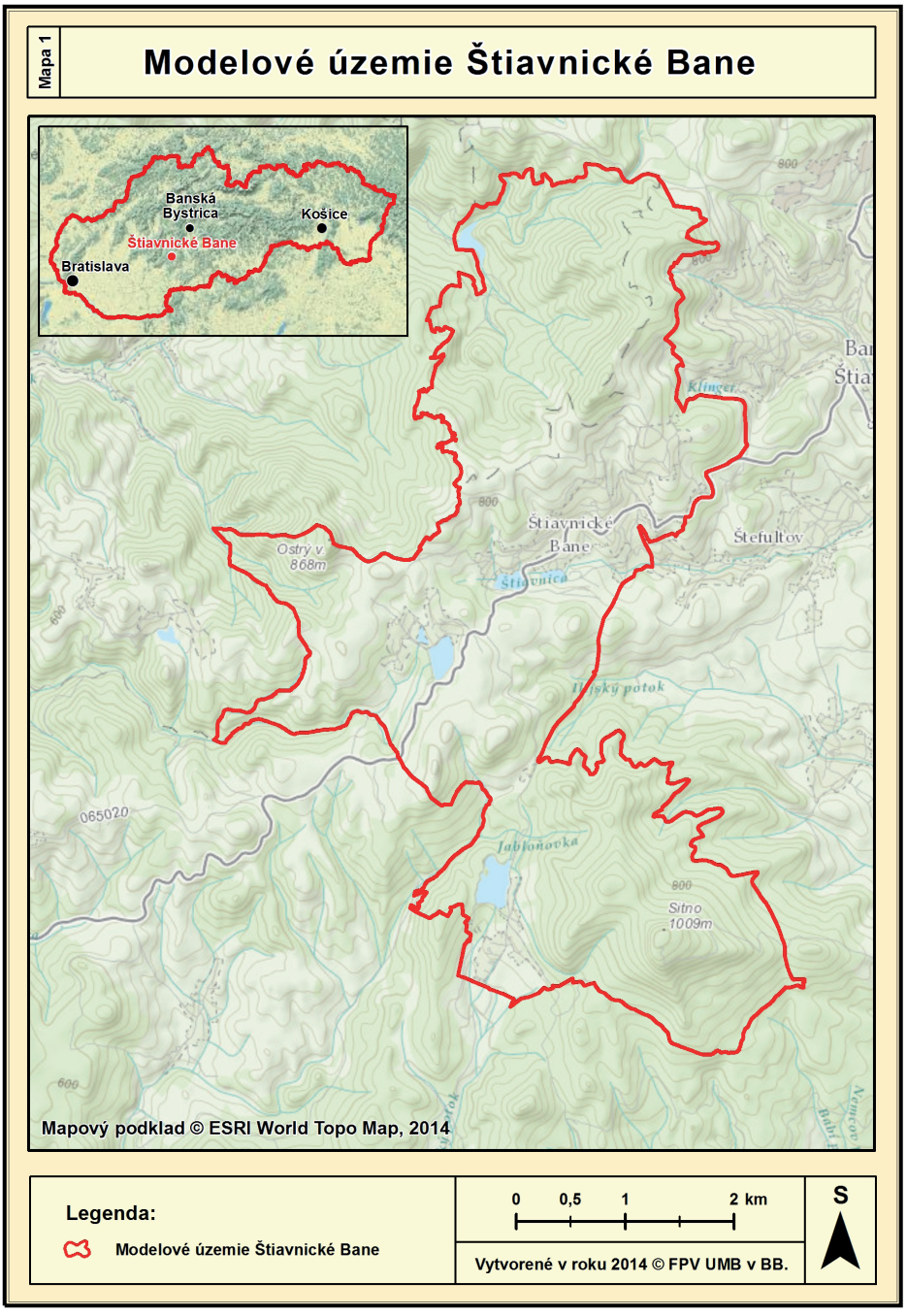
Konfigurácia a kompozícia sú dominantné ukazovatele priestorových vlastností krajiny. Použitie indexov reprezentujúcich konfiguráciu alebo kompozíciu krajiny je však značne limitované, čo je spôsobené náročnou interpretáciou a identifikáciou ukazovateľov aj jednotlivo, ale najmä komplexne. Pritom relevantným cieľom v krajinnej ekológii nemusí byť vždy kvantifikácia priestorových ukazovateľov, mnohokrát zmysluplnejšie interpretácie poskytujú kvalitatívne ukazovatele (Miklós a Špinerová, 2010). Neuvážené a izolované použitie môže nebezpečne zjednodušovať komplexné procesy (Brandt, Holmes,1993). Krajinno-ekologická významnosť ukazovateľov konfigurácie a kompozície musí byť starostlivo prehodnotená alebo testovaná (Hobbs, 1997).

Tabuľka 2 Analýza priestorovej konfigurácie – počet plôšok

Krajinná metrika	Rok 1949	Rok 1991	Rok 2008	Rozdiel		
				´49 - ´91	´91 - ´08	´49 - ´08
Počet plôšok (NP)	330	366	314	36	-52	-16
Indexom sa vyjadruje celkový počet plôšok. Počet plôšok – krajinných prvkov – zvyšuje/znižuje heterogenitu a rozlíšenie krajinnej mozaiky. Najväčšia početnosť plôšok bola v roku 1991, kedy bola krajina na počet plôšok v jednotlivých kategóriách najviac diverzifikovaná, čo zároveň môže predstavovať aj najväčšiu fragmentáciu územia.						

Tabuľka 3 Analýza priestorovej konfigurácie – priemerná veľkosť plôšky

Krajinná metrika	Rok 1949	Rok 1991	Rok 2008	Rozdiel		
				´49 - ´91	´91 - ´08	´49 - ´08
Priemerná veľkosť plôšky (MPS v *ha*)	7,1	7,1	6,2	0	-0,9	-0,9
Sledovaným indexom sa vyjadruje priemerná veľkosť plôšky. Postupná redukcia veľkosti plôšok smeruje ku fragmentácii krajinnej mozaiky. Sledované obdobie, ktoré má menšiu hodnotu MPS, je viac fragmentované. Index MPS má najväčšiu hodnotu v rokoch 1949 a 1991, ale zároveň analyzované územie obsahuje aj najväčší počet plôšok. V kombinácii indexov NP a MPS má krajinná mozaika v roku 1991 najväčšiu heterogenitu a zároveň najmenšiu fragmentáciu krajinných prvkov.						


Mapa 1
Modelové územie Štiavnické Bane
Banská Bystrica
Košice
Štiavnické Bane
Bratislava
Štiavnické Bane
Štefultov
Ostrý v. 868m
Štiavnica
Klinger
Jabloňovka
Sitno 1009m
065020
Mapový podklad © ESRI World Topo Map, 2014
Legenda:
Modelové územie Štiavnické Bane
0 0,5 1 2 km
Vytvorené v roku 2014 © FPV UMB v BB.
S

Mapa 1

Tabuľka 4 Analýza priestorovej konfigurácie – štandardná veľkostná odchýlka

Krajinná metrika	Rok 1949	Rok 1991	Rok 2008	Rozdiel		
				´49 - ´91	´91 - ´08	´49 - ´08
Štandardná veľkostná odchýlka (PSSD v *ha*)	15,1	11,9	12,1	-3,2	0,2	-3

PSSD index reprezentuje rozdiel veľkostí plôšok vo svojich kategóriách v rámci krajinnej mozaiky. Čím bližšie sú hodnoty k nule, tým viac majú zastúpené krajinné prvky podobnejšiu výmeru a krajina sa stáva homogénnejšou. Z uvedeného je možné konštatovať, že krajinné prvky v roku 1991 vykazujú najmenšie hodnoty. Zrejme je to v dôsledku politicko-hospodárskeho systému, ktorý pretrvával do roku 1989.

Tabuľka 5 Analýza priestorovej konfigurácie – priemerný index tvaru polygónu

Krajinná metrika	Rok 1949	Rok 1991	Rok 2008	Rozdiel		
				´49 - ´91	´91 - ´08	´49 - ´08
Priemerný index tvaru polygónu (MSI)	1,89	1,97	2,16	0,08	0,19	0,27

Interakcia tvaru plôšky a veľkosti môže ovplyvňovať rôzne ekologické procesy v krajinnej mozaike. Ak sa výsledná hodnota indexu blíži viac k nule, plôšky majú kruhový tvar. Hodnota MSI rastie s nepravidelnosťou tvarov plôšok. Najviac nepravidelný tvar vykazuje obdobie roku 2008, čo pri kombinácii indexu NP a MPS dokazuje najväčšiu fragmentáciu územia.

Tabuľka 6 Analýza krajinnej kompozície – Shannonov index diverzity

Krajinná metrika	Rok 1949	Rok 1991	Rok 2008	Rozdiel		
				´49 - ´91	´91 - ´08	´49 - ´08
Shannonov index diverzity (SHDI)	1,31	1,41	1,33	0,1	-0,08	0,02

SHDI sa používa na výpočet diverzity jednotlivých tried, aj krajinnej mozaiky. SHDI sa rovná nule za podmienky, že kategória krajinný prvok obsahuje len jednu plôšku. Hodnota SHDI rastie s počtom plôšok v kategóriách krajinných prvkov. Čím je hodnota indexu vyššia, tým je väčšia heterogenita krajiny, t. j. krajina je bohatšia na počty kategórií krajinných prvkov a na počet plôšok. Podľa výslednej sumy indexu je možné identifikovať, že krajina mala najväčšiu diverzitu v roku 1991.

Tabuľka 7 Analýza krajinnej kompozície – Shannonov index rovnováhy

Krajinná metrika	Rok 1949	Rok 1991	Rok 2008	Rozdiel		
				´49 - ´91	´91 - ´08	´49 - ´08
Shannonov index rovnováhy (SHEI)	0,51	0,55	0,52	0,04	-0,03	0,01

Rovnováha je vyjadrená ako pozorovateľná úroveň diverzity (SHDI) delená maximálnym počtom kategórií krajinných prvkov. Úmerná redukcia počtu plôšok a kategórií zapríčiňuje aj zníženie celkovej rovnováhy. Čím je hodnota v sledovanom území bližšia k jednej, tým je lepšia rovnováha v krajinnej mozaike. Rovnovážne zastúpenie plôšok v kategóriách krajinnej mozaiky vykazuje rok 1991. Avšak rozdiely oproti ostatným rokom nie sú až tak výrazné.

Tabuľka 8 Analýza krajinnej kompozície – index vzájomného susedstva

Krajinná metrika	Rok 1949	Rok 1991	Rok 2008	Rozdiel		
				´49 - ´91	´91 - ´08	´49 - ´08
Index vzájomného susedstva (IJI/%)	64,41	69,55	66,89	5,14	-2,66	2,48

Výpočtom indexu sa plôšky vzájomne hodnotia z pohľadu susedstva s inou kategóriou krajinného prvku. Index nadobúda hodnoty v rozsahu 0 – 100, kde vyššia hodnota znamená väčšiu priestorovú variabilitu (premiešanie) krajinnej matrice. Vyššia hodnota čísla zároveň znamená rovnomernejšie susedské vzťahy s plôškami iného typu. Menšia hodnota znamená nerovnomerné rozmiestnenie plôšok. Za sledované časové obdobia je možné konštatovať, že IJI index je podobný, len s malými odchýlkami. Opätovne rok 1991 má najväčšiu hodnotu, t. j. priestorová distribúcia plôšok s inými kategóriami vykazovala v tomto období najlepšie hodnoty.

Výstup kvantifikácie zmien krajinných prvkov je možné zhrnúť do nasledovného záveru. Najväčší počet plôšok bol v roku 1991 v spojení s priemernou veľkosťou plôšok (MPS). V období rokov 1949 a 1991 sú krajinné prvky najmenej fragmentované a vykazujú najväčšiu heterogenitu. Kombináciou uvedeného zistenia s ostatnými indexmi (SHDI, SHEI, IJI, PSSD a MSI) je možné konštatovať, že krajinné prvky boli v roku 1991 optimálne svojou priestorovou organizáciou a veľkosťou vzhľadom k výmere modelového územia.

6.4.2. Koeficient ekologickej stability

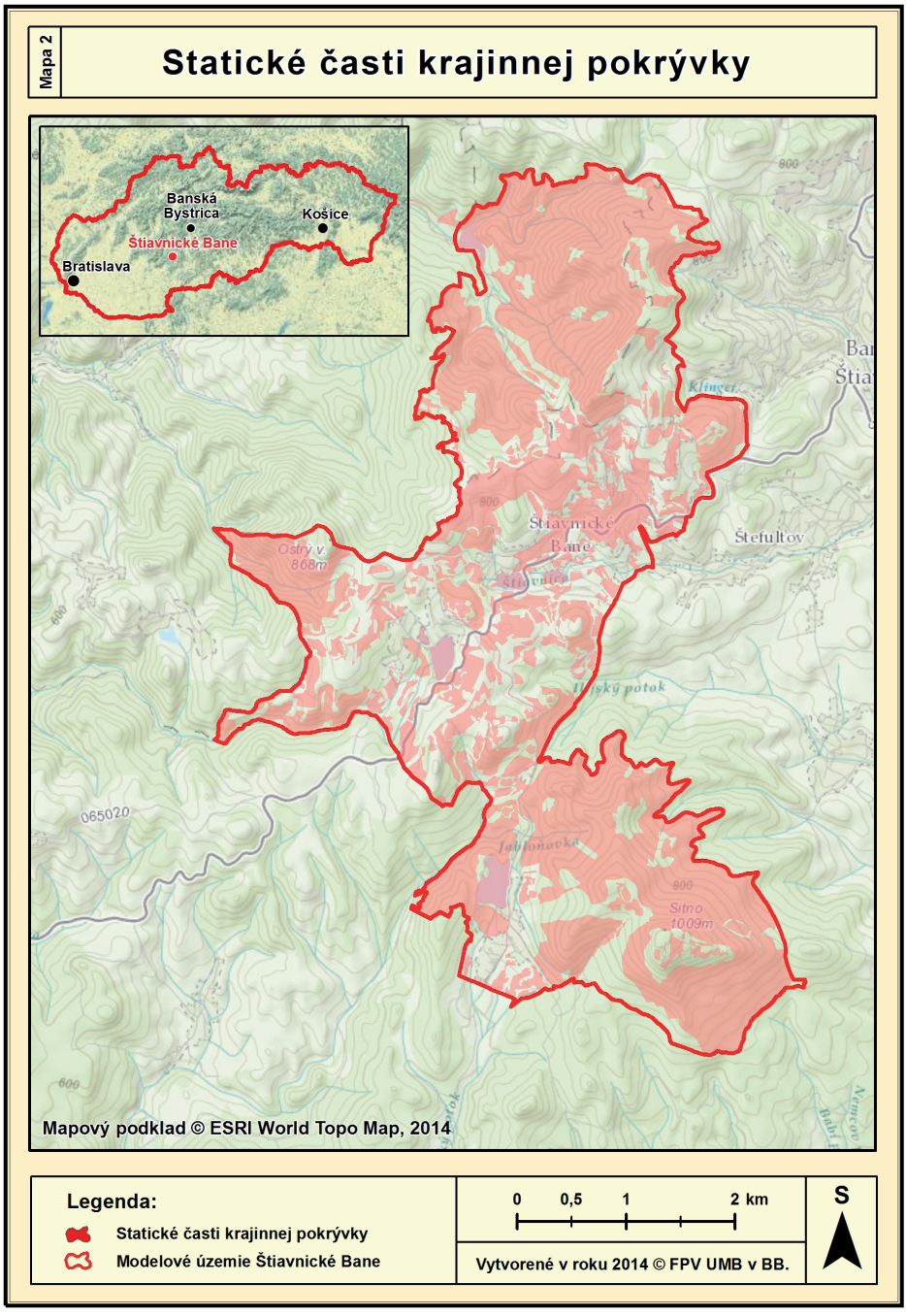
Ekologická stabilita je podľa Míchala (1994) chápaná ako koeficient ekologickej stability, resp. pomerové číslo, ktoré stanovuje pomer plôch tzv. stabilných a nestabilných krajinotvorných prvkov v skúmanom území. V tomto zmysle je možné konštatovať, že modelové územie v jednotlivých rokoch malo nasledovné hodnoty: rok 1949 = 12,48; rok 1991 = 8,65; rok 2008 = 8,39. Hodnoty za jednotlivé obdobia sú klasifikované nad prahovou úrovňou čísla ≥ 3, čo znamená, že modelové územie je prírodná a prírode blízka krajina s výraznou prevahou ekologicky stabilných prvkov a s nízkou intenzitou využívania krajiny človekom.

6.4.3. Statické časti krajinnej pokrývky

Na základne analytických informácií o zmenách vo využívaní krajiny v rokoch 1949 – 1991 – 2008 je možné priestorovo vyčleniť plochy, v ktorých nedošlo k substitúciám jednotlivých kategórií krajinných prvkov. V modelovom území nedošlo k žiadnym zmenám na ploche o výmere 1407,83 ha, čo predstavuje 64 %. Na 36 % (786,96 ha) modelového územia došlo k zmenám (mapa 2).

Otázky:

1. Čo je to krajinná štruktúra?
2. Na akej úrovni sa uskutočňuje tzv. kvantifikácia krajinnej štruktúry?
3. Aký je rozdiel medzi priestorovou konfiguráciou a krajinnou kompozíciou?
4. Aký nástroj sa používa na tzv. kvantifikáciu krajinnej štruktúry?
5. V akom kontexte, resp. oblasti, sa využívajú krajinné metriky?


Mapa 2
Statické časti krajinnej pokrývky
Banská Bystrica
Košice
Štiavnické Bane
Bratislava
Štiavnické Bane
Štefultov
Ostrý v. 868m
Sitno 1009m
Mapový podklad © ESRI World Topo Map, 2014
Legenda:
Statické časti krajinnej pokrývky
Modelové územie Štiavnické Bane
0 0,5 1 2 km
Vytvorené v roku 2014 © FPV UMB v BB.
S

Mapa 2

Záver

Prostredie aplikácie ArcMap poskytuje profesionálne nástroje na prácu so spojitým dátovým charakterom geografických informácií. K najčastejšie používanému spojitému dátovému typu patrí digitálny model terénu. Kapitola s názvom *„Digitálny model terénu"* je zameraná na spektrum interpolačných algoritmov ako procesu výpočtu neznámych hodnôt určitého javu (nadmorskej výšky) na základe množiny známych hodnôt. Digitálny model terénu je možné v prostredí aplikácie ArcMap vytvoriť viacerými interpolačnými metódami. Priestor, ktorý nemá výškovú reprezentáciu, je dopĺňaný pomocou interpolačných alebo extrapolačných algoritmov. Funkcionalita nástrojov v prostredí aplikácie ArcMap je viazaná na rozšírenia Spatial Analyst, 3D Analyst a Geostatistical Analyst.

Základné analýzy a interpretácie vlastností zemského povrchu sú obsiahnuté v kapitole s názvom *„Analýza reliéfu"*. Prostredie aplikácie ArcMap ponúka širokú bázu nástrojov na morfometrickú analýzu reliéfu, resp. kvantitatívny opis územia s jeho čiastkovými terénnymi atribútmi. Výsledkom morfometrickej analýzy sú parametre a charakteristiky, ktoré smerujú k interpretácii vzťahu medzi reliéfom a jeho dynamikou, napr. pohyb vody a materiálu po povrchu. Medzi ďalšie parametre, ktoré sú výsledkom analýzy reliéfu, je možné zaradiť atribúty viditeľnosti a vzdialenosti. Z analýzy zmeny nadmorskej výšky sa uskutočňuje výpočet vzdialenosti potrebnej na presun materiálu, optimálne umiestnenie objektov vzhľadom k reliéfu alebo viditeľnosť určeného bodu.

Práca s priestorom, v ktorom sú body pospájané do 3D geometrického útvaru, je obsiahnutá v kapitole s názvom *„3D zobrazenie geografických informácií"*. Táto kapitola je zameraná na prácu s rozšírením 3D Analyst. Pomocou tohto rozšírenia sa posúva konvenčné dvojrozmerné zobrazenie geografických informácií do dynamického trojrozmerného pohľadu. Možnosť trojdimenzionálneho zobrazenia geografických informácií pomáha vizualizovať rôzne prebiehajúce procesy v krajinnej sfére, generovať 3D pohľady, konštruovať rezy a priečne profily alebo počítať zmeny objemov 3D štruktúr nad alebo pod povrchom.

Základné hydrologické charakteristiky, akými sú smer prúdenia, práca s priehlbinami, resp. depresiami, tvorba siete vodných tokov a povodí atď., sa odvodzujú od analýzy reliéfu prostredníctvom nástrojov rozšírenia Spatial Analyst. Prostredie ArcMap ponúka širokú bázu nástrojov (Spatial Analyst a záložka Hydrology) na analýzu rôznych parametrov viazaných k povrchovým vodám. Voda predstavuje jeden z najdôležitejších faktorov života na Zemi a v podmienkach Slovenska predstavuje hlavný modelačný činiteľ reliéfu.

Kapitola so zameraním na analýzu krajinnej štruktúry *(„Analýza krajinnej štruktúry"*) prináša prehľad práce a metodológiu kvantifikácie priestorovej konfigurácie a krajinnej kompozície. Číselné hodnoty ako výpočty z krajinných metrík tvoria podklad účelových interpretácií prebiehajúcich ekologických procesov v krajine. Pomocou analýz krajinnej štruktúry, najmä analýz zmien krajinnej pokrývky, je možné vyvodiť (interpretovať) vybrané spektrum základných kvalitatívnych ukazovateľov, napr. ekologickú významnosť krajiny. Kapitola je doplnená o príklad aplikačného použitia vo vybranom modelovom území.

Použitá literatúra

Bitterer, L. (2003). Geodézia. Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Katedra geodézie.

Blišťan, P., & Pauco, M. (2005). Model distribúcie úžitkových zložiek a škodlivín ako základných kvalitatívnych parametrov magnezitového ložiska Bankov – Košice a jeho prezentácia v prostredí GIS. Acta Montanistica Slovaca, 10 (2), s. 89 – 93.

Boltižiar, M. (2003). Mapovanie a analýza vzťahu krajinnej štruktúry a reliéfu vysokohorskej krajiny Tatier s využitím výsledkov DPZ a GIS. Kartografické listy, 11, s. 5 – 15.

Boltižiar, M. (2010). Analýzy vývoja heterogenity a vybraných vlastností plôšok štruktúry vysokohorskej krajiny (na príklade vybraných modelových území Tatier). Folia geographica, 16, s. 105 – 124.

Boltižiar, M., & Olah, B. (2009). Krajina a jej štruktúra (Mapovanie, zmeny a hodnotenie). Fakulta prírodných vied Univerzity Konštantína Filozofa v Nitre.

Brandt, J., & Holmes, E. (1993). Spatial indices for landscape ecology – possibilities and limitations. Proceedings of the Second CONNECT Workshop on landscape ecology, pp. 89 – 93.

Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). Principles of geographical information systems. Oxford University Press.

Čuláková, K. (2002). Konceptuálny model územia a jeho geocharakteristiky kvality. Diplomová práca, STU Bratislava.

Čuláková K., & Ofúkaný M. (2003). Presnosť digitálneho modelu reliéfu územia PVOD Kočín. In: Pozemkové úpravy v podmienkach EÚ, Pedagogické listy 10/2003, KMPÚ Stavebná fakulta STU Bratislava.

Dunning, J. B., Danielson, B. J., & Pulliam, H. R. (1992). Ecological processes that affect populations in complex landscapes. Oikos, pp. 169 – 175.

Federal Interagency Stream Restoration Working Group (1998). Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices. FISRWG, Washington, D.C.

Forman, R. T. T. (2006). Landscape Mosaic. Cambridge, Cambridge University Press.

Forman, R. T. T., & Godron, M. (1986). Landscape ecology. USA, John Wiley & Sons.

Frank, A. U., Raubal, M., & van der Vlugt, M. (2000). Panel-GI Compendium. A guide to GI and GIS. INCO-COPERNICUS project no. 977136. Genova – Italy (European Commission), pp. 63 – 76.

Gajdoš, A., Klaučo, M. & Škodová, M. (2012). Hodnotenie krajinnej štruktúry a ekologickej významnosti ekotonov lesnej vegetácie v Starohorských vrchoch. Geografický časopis 64(3), s. 253 – 266.

Gergel, S. E., & Turner, M. G. (Eds.). (2002). Learning landscape ecology: a practical guide to concepts and techniques. Springer.

Haining, R. (2005). Designing spatial data analysis modules for geographical information Systems. In S. Fotheringham, & P. Rogerson (Eds.), Spatial analysis and GIS. Taylor & Francis e-Library, London 2005.

Hobbs, R. (1997). Future landscapes and future of landscape ecology. Landscape and Urban Planning 37, pp. 1 – 9.

Ivanová, M., Michaeli, M., & Boltižiar, M. (2013). Analýza zmien priestorovej štruktúry krajinnej pokrývky územia severne od vodnej nádrže Zemplínska šírava. Geografický časopis, 65(3), s. 235 – 250.

Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., & Lucas, N. (2003). Using ArcGIS geostatistical Analyst, ESRI.

Kimerling, A. J., Buckley, A. R., Muehrcke, P. C., Muehrcke, J. O. (2011). Map Use: Reading Analysis Interpretation, Seventh Edition. ESRI Press.

Kirchner, K., & Smolová, I. (2010). Základy antropogenní geomorfologie. Univerzita Palackého v Olomouci.

Krcho, J. (1973). Morphometric analysis of the relief on the basis of geometrical aspect of field theory. Bratislava, Acta Geographica Universitatis Comenianae, Geographica Phisica, 1, pp. 3 – 233.

Krcho, J. (1979). Reliéf ako priestorový subsystém SRF geografickej krajiny a jeho komplexný digitálny model. Geografický časopis, 31(3), s. 237 – 262.

Krcho, J. (1990). Morfometrická analýza a digitálne modely georeliéfu. VEDA Bratislava.

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2005). Geographical Information Systems and Science. West Sussex, John Wiley & Sons Ltd.

McGarigal, K., & Marks, B. J. (1994). FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland, General Technical Report.

Míchal, I. (1994). Ekologická stabilita. Brno, Veronica.

Miklós, L., & Špinerová, A. (2010). Priestorová diverzita krajiny. Harmanec, VKÚ a. s.

Miklós, L., & Izakovičová, Z. (1997). Krajina ako geosystém. Bratislava, Veda SAV.

Miklós, L., Krcho, J., Hrnčiarová, T., Matečný, I., & Kozová, M., (1997). Morfometrické ukazovatele reliéfu a ich účelové interpretácie pre plánovacie procesy. Banská Štiavnica, Nadácia Katedry UNESCO pre ekologické vedomie.

Mojses, M., & Boltižiar, M. (2011). Using spatial metrics for assessment of the landscape structure changes of the Beša dry polder. Tájökológiai Lapok, 9(2), pp. 415 – 428.

Olah, B., Boltižiar, M., & Petrovič, F., (2006). Land use changes' relation to georelief and distance in the East Carpathians Biosphere Reserve. Ekológia, 25(l), pp. 68 – 81.

Oláhová, J., Vojtek, M., & Boltižiar, M. (2012). Use of selected GIS Extensions for the Analysis of secondary Landscape Structure of the Handlová Town. In H. Svobodová (Ed.), Geography and Geoinformatics: Chalange for Practise and Education, Proceedings of 19th International Conference (pp. 132 – 140), 8. – 9. september, Brno.

Oláhová, J., Vojtek, M., & Boltižiar, M. (2013). Application of geoinformation technologies for the assessment of landscape structure using landscape-ecological indexes (Case study of the Handlová landslide). Tájökológiai Lapok, 11(2), pp. 351 – 366.

Pražák, J. (2009). Terminologický slovník zeměměřičství a katastru nemovitostí [online]. Zdiby: Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, Terminologická ko-

mise Českého úřadu zeměměřického a katastrálního. [cit. 09.06.2013]. Zdroj: https://www.vugtk.cz/slovnik/

Robinson, A. H., Morrison, J. L., Muehrcke, P. C., Kimerling, A. J., & Guptill, S. C. (1995). Elements of Cartography. New York, USA, John Wiley & Sons.

Šíma, J. (2002). Musíme používat pracovní slang při prezentacích a v publikacích o geografických informačních systémech? Sborník z konference GIS Ostrava.

Šúri, M., Cebecauer, T., & Hofierka, J. (2003). Digitálne modely reliéfu a ich aplikácie v životnom prostredí. Životné prostredie, 37(1), s. 30 – 35.

Turner, M. G., Gardner, H. R., & O´Neill, V. R. (2001). Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process. New York, Springer.

Vojtek, M., & Boltižiar, M. (2010). Povodňové mapy ako základ pre manažment povodňových rizík. In Hochmut, Z., Kulla, M., & Csachová, S. (Eds.), Zborník abstraktov z 15. kongresu Slovenskej geografickej spoločnosti a 6. konferencie Asociácie slovenských geomorfológov (pp. 73), 8 – 11. september, Ústav geografie PriF UPJŠ, Košice.

Voženílek, V. (2001). Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu. Univerzita Palackého, Prírodovedecká fakulta Olomouc.

Zoznam obrázkov a tabuliek

Obrázok 1 Digitálny model terénu – DMT (Digital Terrain Model – DTM)
Obrázok 2 Grafické znázornenie procesu interpolácie
Obrázok 3 Interpolačný algoritmus Inverse Distance Weighting (IDW)
Obrázok 4 Interpolačný algoritmus Spline
Obrázok 5 Grafické znázornenie rozdielu medzi algoritmami IDW a Spline
Obrázok 6 Interpolačný algoritmus Trend
Obrázok 7 Interpolačný algoritmus Kriging
Obrázok 8 Najčastejšie používané interpolačné algoritmy
Obrázok 9 Priebeh výškovej reprezentácie pomocou mapového podkladu
Obrázok 10 Dialógové okno algoritmu IDW
Obrázok 11 IDW obmedzujúci faktor pomocou veľkosti kruhu
Obrázok 12 IDW obmedzujúci faktor pomocou počtu bodov
Obrázok 13 IDW obmedzujúci faktor pomocou definovanej GIS vrstvy
Obrázok 14 Dialógové okno algoritmu Spline
Obrázok 15 Dialógové okno algoritmu Trend
Obrázok 16 Dialógové okno algoritmu Kriging
Obrázok 17 Grafické znázornenie podrobnejšieho nastavenia algoritmu Kriging
Obrázok 18 Dialógové okno algoritmu Natural Neighbor
Obrázok 19 Dialógové okno algoritmu Topo to Raster
Obrázok 20 Dialógové okno Aspect
Obrázok 21 Symbologická interpretácia areálov orientácií reliéfu
Obrázok 22 Dialógové okno Slope
Obrázok 23 Zlúčené bunky do areálov s priradeným intervalom sklonov
Obrázok 24 Dialógové okno Curvature
Obrázok 25 Kombinácia vertikálnej a horizontálnej krivosti reliéfu
Obrázok 26 Vertikálna krivosť reliéfu
Obrázok 27 Horizontálna krivosť reliéfu
Obrázok 28 Transformácia vertikálnej krivosti reliéfu
Obrázok 29 Transformácia horizontálnej krivosti reliéfu
Obrázok 30 Dialógové okno Cost Distance
Obrázok 31 Rastrová reprezentácia akumulovaných cestovných nákladov
Obrázok 32 Spätná väzba, resp. smerové prepojenie každej bunky
Obrázok 33 Dialógové okno Cost Path

Obrázok 34 Najmenej nákladná trasa medzi zdrojom a cieľom
Obrázok 35 Priradené hodnoty vzdialeností od distribučnej siete
Obrázok 36 Dialógové okno Raster Calculator
Obrázok 37 Výsledok optimálne najvhodnejšieho umiestnenia
Obrázok 38 Dialógové okno Viewshed
Obrázok 39 Analýza viditeľnosti
Obrázok 40 Dialógové okno Hillshade
Obrázok 41 Tieňovanie reliéfu pomocou aplikácie ArcMap
Obrázok 42 Metóda farebnej hypsometrie
Obrázok 43 Dialógové okno Reclassify
Obrázok 44 Generovanie vrstevníc z DTM
Obrázok 45 Dialógové okno Contour
Obrázok 46 Znázornený povrch pomocou TIN modelu
Obrázok 47 Dialógové okno Create TIN
Obrázok 48 Porovnanie metód TIN transformácie
Obrázok 49 Priestorové ohraničenie TIN modelu
Obrázok 50 Definovanie plochy výrezu v TIN modeli
Obrázok 51 Definovanie plôch s konštantnou výškou v TIN modeli
Obrázok 52 Integrované plošné prvky do výsledného TIN modelu
Obrázok 53 Dialógové okno Raster to TIN
Obrázok 54 Dialógové okno TIN to Raster
Obrázok 55 Dialógové okno Feature To 3D By Attributes
Obrázok 56 Lišta 3D Analyst
Obrázok 57 Prostredie aplikácie ArcScene
Obrázok 58 Dialógové okno Scene Properties
Obrázok 59 Záložka Base Heights dialógového okna Layer Properties
Obrázok 60 Lišta Animation
Obrázok 61 Dialógové okno Animation Manager
Obrázok 62 Dialógové okno navigačných nástrojov
Obrázok 63 Osem smerov prúdenia vody po povrchu
Obrázok 64 Dialógové okno Flow Direction
Obrázok 65 Rastrová reprezentácia smerového prúdenia vody po povrchu
Obrázok 66 Priehlbina alebo vyvýšenina ako chyba DTM
Obrázok 67 Dialógové okno Sink

Obrázok 68 Dialógové okno Fill
Obrázok 69 Dialógové okno Flow Accumulation
Obrázok 70 Výsledná rastrová reprezentácia akumulácie odtoku
Obrázok 71 Odvodená sieť vodných tokov
Obrázok 72 Dialógové okno Stream Link
Obrázok 73 Dialógové okno Stream Order
Obrázok 74 Klasifikácia vodných tokov metódou Strahler
Obrázok 75 Klasifikácia vodných tokov metódou Shreve
Obrázok 76 Transformácia rastrovej reprezentácie na vektorový dátový formát
Obrázok 77 Dialógové okno Stream to Feature
Obrázok 78 Manuálne vložené odtokové body
Obrázok 79 Dialógové okno Snap pour Point
Obrázok 80 Dialógové okno Watershed
Obrázok 81 Výsledná rastrová reprezentácia povodia alebo povodí
Obrázok 82 Základné prvky krajinnej štruktúry
Obrázok 83 Položka Spatial Analyst hlavného menu
Obrázok 84 Dialógové okno Spatial Statistic
Obrázok 85 Základné komponenty mapy

Mapa 1 Modelové územie Štiavnické Bane
Mapa 2 Statické časti krajinnej pokrývky
Mapa 3 Územie európskeho významu Sitno

Tabuľka 1 Reklasifikácia hodnôt orientácií reliéfu
Tabuľka 2 Analýza priestorovej konfigurácie – počet plôšok
Tabuľka 3 Analýza priestorovej konfigurácie – priemerná veľkosť plôšky
Tabuľka 4 Analýza priestorovej konfigurácie – štandardná veľkostná odchýlka
Tabuľka 5 Analýza priestorovej konfigurácie – priemerný index tvaru polygónu
Tabuľka 6 Analýza krajinnej kompozície – Shannonov index diverzity
Tabuľka 7 Analýza krajinnej kompozície – Shannonov index rovnováhy
Tabuľka 8 Analýza krajinnej kompozície – index vzájomného susedstva

Register

Symboly

3D Analyst, *7, 8, 14, 23, 38, 39, 40, 41, 42, 46, 66, 71, 79*
3D zobrazenie, *38, 66*

A

Animation, *45, 46, 71*
Animation Controls, *46*
Animation Manager, *45, 71*
ArcGIS, *5, 7, 13, 22, 68, 75, 77, 79*
ArcMap, *7, 8, 11, 14, 21, 22, 23, 34, 36, 38, 43, 55, 57, 59, 66, 71, 79*
ArcScene, *7, 38, 43, 45, 46, 71, 79*
Aspect, *23, 70*

B

Base Heights, *44, 71*

C

Camera, *45*
Class area, *60*
Contour, *19, 36, 43, 71*
Cost Distance, *27, 29, 70*
Cost Path, *28, 70*
Create Tin, *38, 39*
Curvature, *26, 70*

Č

Článkovanie tokov, *51*

D

Digital Elevation Model, *8*
Digital Landscape Model, *9*
Digitálny model povrchu, *8*
Digitálny model reliéfu, *8*
Digitálny model terénu, *8, 11, 14, 66, 70*
Digitálny model územia, *9*
Digitálny výškový model, *8*
Digital Surface Model, *8*
Digital Terrain Model, *8, 9, 70*

E

Euclidean Distance, *31*
Export Animation, *46*

F

Feature To 3D By Attributes, *42, 71*
Fill, *49, 72*
Flow Accumulation, *49, 53, 54, 72*
Flow Direction, *47, 71*

G

Geostatistical Analyst, *8, 14, 21, 66*
Groundwater, *7*

H

Hillshade, *34, 71*
Horizontálna krivosť reliéfu, *22, 70*
Hydrology, *7, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 66*

I

Interpolácia, *13, 20*
Inverse Distance Weighting, *12, 14, 70*

K

Keyframe, *45, 46*
Klasifikácia tokov, *51*
Koeficient ekologickej stability, *64*
Krajinná štruktúra, *56*
Kriging, *13, 17, 70*

L

Layer, *23, 44, 45, 71*

M

Mean Shape Index, *60*
Morfometrická analýza, *22, 68*

N

Najmenej nákladná trasa, *27, 71*
Natural Neighbor, *13, 18, 70*
Normálová krivosť reliéfu, *22*
Number of patches, *60*

O

Orientácia reliéfu, *22*

P

Patch Analyst, *57, 59*
Patch Size Standard Deviation, *60*
Počet plôšok, *60, 61*
Priemerná veľkosť plôšky, *60, 61*
Priemerný index tvaru polygónu, *60, 63*
Priestorová konfigurácia, *56*
Priestorové analýzy, *6, 7*
prúdenie, *47*

R

Raster Calculator, *31, 50, 71*
Raster To Polyline, *52*
Raster to TIN, *40, 71*
Reclassify, *24, 25, 36, 50, 71*
Relatívna výška terénu, *22*
Reliéf, *8, 47, 68, 80*

S

Scene, *44, 45, 46, 71*
Shannonov index diverzity, *60, 63, 72*
Shannonov index rovnováhy, *60, 63, 72*
Shannon‘s Diversity Index, *60*
Shannon‘s Evenness Index, *60*
Sieť vodných tokov, *50*
Sink, *19, 20, 48, 49, 71*
Sklon reliéfu, *22, 24*
Slope, *24, 70*
Smer prúdenia, *47*
Snap Pour Point, *54*
Spatial Analyst, *7, 8, 14, 15, 16, 17, 18, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 34, 36, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 57, 66, 72*
Spline, *12, 13, 15, 16, 70*
Stream Link, *51, 72*
Stream Order, *51, 72*
Stream to Feature, *52, 72*
Surface, *7, 8, 23, 24, 26, 32, 34, 36*

Š

Štandardná veľkostná odchýlka, *60, 63*

T

TIN to Raster, *41, 71*
Topo to Raster, *13, 18, 70*
Trend, *12, 16, 70*

V

Vertikálna krivosť reliéfu, *70*
Viewshed, *32, 71*

W

Watershed, *53, 54, 72*

Príloha 1 Online GIS (bezplatné) mapové služby

GIS online mapové služby sú geografické informačné služby, ktoré sú prístupné na webe pomocou štandardných technológií a protokolov. V posledných rokoch sa rapídne rozširujú buď prostredníctvom nadšencov geopriestorových dát, alebo oficiálne prostredníctvom štátnych inštitúcií, ktoré verejnosti otvárajú svoje databázy. Mapové služby sú najobvyklejším spôsobom publikovania GIS dát a vytvárania tzv. *mashups* (prepojených sád mapových služieb v spoločnej online mape). Tak ako všetky webové služby, sú aj GIS mapové služby zamerané na sadu GIS funkcií a využívajú otvorené webové protokoly, napr. XML, SOAP a služby REST web a HTML.

Open Geospatial Consortium (OGS) služby poskytujú rad štandardných webových služieb, vrátane Web Map Service (WMS), Web Feature Service (WFS) a Web Coverage Service (WCS). WMS služba pracuje na princípe klient-server a umožňuje zdieľanie priestorových údajov vo forme rastrových máp. Výstupom sú georeferencované rastrové údaje vo formáte JPEG, PNG, TIFF a pod., ktoré buď zobrazujú určité vrstvy, alebo sú výsledkom mapovej kompozície. Podobne aj ukladacia služba WFS pracuje na princípe klient-server a umožňuje zdieľanie priestorových údajov v podobe vektorového kódu v jazyku GML (XML). WCS služba poskytuje coverage údaje, najčastejšie vo formáte GeoTIFF, NITF, HDF.

Mapový server ArcIMS je online služba firmy ESRI, ktorá umožňuje centrálne prezentovať a poskytovať mapy, dáta GIS a služby. Výsledkom požiadavky klienta sú obrazové georeferencované dáta s atribútovými údajmi. V súčasnosti je táto služba nahradená technológiou ArcGIS Server. ArcGIS online (arcgis.com) odkazuje na on-line schopnosti celého systému ArcGIS.

KML (Keyhole Markup Language) je jazyk založený na XML, poskytovaný spoločnosťou Google na definovanie grafického zobrazenia priestorových dát v aplikáciách Google Earth a Google Maps. ArcGIS užívatelia môžu publikovať mapu ako KML pomocou ArcGIS pre server.

Prehľad najčastejšie používaných online mapových služieb na Slovensku

Názov služby	Typ služby	Adresa
Geologický portál	WMS/WebGIS	http://www.geology.sk
Mapový server ŠGÚDŠ je miesto, kde môžete nájsť priestorové informácie o geológii. Je určený nielen pre odborníkov, ale aj pre širokú verejnosť. Technické riešenie je založené na technológii ArcGIS Server spoločnosti ESRI. Mapový server ponúka dva prístupy k priestorovým údajom. Sú to mapové aplikácie a WMS služby.		
Geoportál	WMS/WFS/WCS/WebGIS	http://www.geoportal.sk
ÚGKK SR zabezpečuje sprístupnenie referenčných priestorových údajov na národnej úrovni. Údaje sú sprístupnené mapovými službami, ktoré sú publikované podľa OGC štandardov (WMS, WFS, WCS).		
Pôdne mapy	WebGIS	http://www.podnemapy.sk
Informačný systém Výskumného ústavu pôdoznalectva a ochrany pôdy (VÚPOP) prostredníctvom internetu a mapového servera umožňuje širokej verejnosti prezerať informácie o poľnohospodárskej pôde.		
Slovenský mapový portál	WebGIS, WFS	http://mapy.atlas.sk
Mapový portál spoločností Eurosense s.r.o., Geodis Slovakia s.r.o. a Mapa Slovakia Digital, s.r.o. ponúka prehľadné vektorové mapy a ortofotomapy.		

Atlas krajiny SR	WebGIS	http://geo.enviroportal.sk/atlassr
Súbor mapových kompozícií ilustrujúcich pôvodné prírodné pomery a vplyv ľudskej činnosti na vývoj slovenskej krajiny v čase prostredníctvom samostatných tematických mapových zobrazení.		
Informačný systém env. záťaže	WebGIS	http://geo.enviroportal.sk/env_zataze
Aplikácia umožňuje prostredníctvom zadania environmentálnej záťaže alebo na základe územnosprávneho členenia a interaktívnej mapy zobraziť lokalitu na podkladovej mape SVM50, vrátane detailného popisu konkrétnej environmentálnej záťaže.		
Corine Land Cover	WebGIS	http://geo.enviroportal.sk/corine
Projekt Land Cover Corine (LCC) mapovania povrchu Európy zo satelitov LANDSAT.		
NATURA 2000 - Územia európskeho významu	WebGIS	http://geo.enviroportal.sk/uev
Webmapová aplikácia publikujúca údaje patriace pod Národný zoznam navrhovaných území európskeho významu, ktorá umožňuje prostredníctvom listboxov a interaktívnej mapy vyhľadať a následne zobraziť lokalitu resp. hranice konkrétneho chráneného územia európskeho významu.		
Hiking.sk	WebGIS	http://mapy.hiking.sk
Podrobné turistické mapy celého Slovenska v mierke 1:25 000. Okrem topografických máp a podkladu SHOcart obsahuje satelitné snímky a podrobné mapy lavínových dráh.		
Freemap Slovakia.sk	WebGIS	http://www.freemap.sk/
Mapy vychádzajúce z filozofie OSM vrátane detailných turistických a cyklistických vrstiev z celého Slovenska (OSM exporty sú prístupné pre Garmin a mnohé ďalšie GPS zariadenia).		

Prehľad najčastejšie používaných online mapových služieb v zahraničí

Názov služby	Typ služby	Adresa
Google Maps	WebGIS, KML	https://maps.google.com/
Google ponúka posúvateľné mapy a satelitné snímky celého sveta a plánovač ciest s vyhľadávaním a lokalizovaním firiem a ďalších objektov.		
Open Street Map	WebGIS, SHP	http://www.openstreetmap.org/
Projekt zastrešený neziskovou organizáciou Open Street Map Foundation, na ktorom sa podieľajú komunity kartografických nadšencov z celého sveta. OSM dáta sú bezplatne zdieľané v rámci licencie pod podmienkou, že akékoľvek dáta vytvorené v OSM sú prístupné pre ostatných užívateľov.		
Wikimapia	WebGIS, KML	http://wikimapia.org/
Wikimapia je multinárodná kolaboratívna mapa, kde každý môže vytvárať miestne záložky a zdieľať geograficky viazané lokálne poznatky s cieľom popísať svet prostredníctvom čo najviac užitočných geografických informácií s voľne prístupnou verejnou doménou.		
Barnabu	WebGIS, KML	http://www.barnabu.co.uk/
Barnabu ponúka široké spektrum Google Earth add-ons, vizualizácie vrátane letových máp, animácií, hviezd a planét a pod.		
Flight Radar24	WebGIS, KML	http://www.flightradar24.com/
Flight Radar24 je služba sledovania letov, ktorá prostredníctvom ADS-B prijímačov poskytuje informácie o tisíckach letov v reálnom čase po celom svete.		
Natural Earth - world maps	SHP	http://www.naturalearthdata.com/
Excelentný zdroj svetových SHP máp so štátnymi a administratívnymi hranicami, pobrežím, osídlením atď. v rôznych mierkach.		

Map Library	SHP, KML	www.maplibrary.org
SHP mapy krajín Afriky vrátane hraníc, administratívneho členenia a satelitných snímok stiahnuteľné vo viacerých formátoch.		
Geocommons	SHP	http://geocommons.com/
Obsiahla databáza stiahnuteľných máp rôzneho zamerania z celého sveta, vrátane Slovenska, poskytnutá používateľmi.		
Maptell	SHP	http://www.maptell.com/
Maptell je voľne prístupný digitálny repozitár niektorých svetových GIS vrstiev a máp.		
World Bank	SHP, WebGIS	http://maps.worldbank.org/
Projekt, ktorý vizualizuje lokality financované Svetovou bankou na zlepšenie efektivity koordinácie financovania a transparentnosti.		
MapCruzin	SHP	http://www.mapcruzin.com/
Vynikajúci zdroj širokého spektra SHP súborov prevažne z USA.		
United Nations	SHP	http://www.unsalb.org/
Dataset projektu UN-SALB (Second Administrative Level Boundaries), overený národnými mapovacími agentúrami každého UN štátu.		
USGS KML files	KML	http://earthquake.usgs.gov/learn/kml.php
Portál USGS (United States Geological Survey) poskytujúci dáta k sopečným erupciám, zemetraseniam, poruchám a povodniam, zosuvom z LiDAR a pod. pre Google Earth.		
OneGeology Portal	WebGIS, WMC, KML	http://portal.onegeology.org/
OneGeology je medzinárodný projekt geologických výskumov sveta a vďaka nadšencom geológie ponúka voľne prístupné dynamické geologické dáta.		
Portál informačného systému ochrany prírody	WebGIS, ArcGIS	http://portal.nature.cz
Informačný systém ochrany prírody (ISOP) zabezpečuje prístup k dátam buď technológiou klient/server ArcSDE (ESRI) alebo prostredníctvom jednotlivých webových aplikácií.		
Mapy.cz	WebGIS	http://mapy.cz/
Portál Mapy.cz obsahuje podrobné vektorové, topografické, turistické mapy a ortofotomapy celého územia ČR.		
Mapový server Českej geologickej služby	WebGIS, WMS	http://www.geology.cz/
Mapový server ČGS sprístupňuje široké spektrum priebežne aktualizovaných máp, aplikovaných dát a informácií.		

Príloha 2 Online GIS (bezplatné) časopisy

ArcWatch od vydavateľa ESRI je určený ako GIS nováčikom, tak i skúseným profesionálom. Prináša novinky zo sveta GIS technológií v podobe prípadových štúdií, technických tipov k ESRI softvéru, rozhovorov s najväčšími lídrami GIS, kartografických rád, podujatí, publikácií a noviniek zo sveta produktov. Viac na: ***http://www.esri.com/esri-news/arcwatch***.

Directions Magazine je prvým pravidelne publikujúcim online časopisom z oblasti GIS a geopriestorovej technológie. Vydavateľ Directions Media je považovaný za hlavný zdroj geopriestorových informácií z celého sveta, trendov v technológii, aktuálnych otázok prostredníctvom spravodajov, podcastu, blogov, webových kanálov a webinárov, vrátane aktuálnych komentárov: ***http://www.directionsmag.com***.

GeoBusiness z vydavateľstva Springwinter, s.r.o. vychádza od roku 2002. Na svojich stránkach ***http://www.geobusiness.cz*** ponúka novinky a zaujímavosti zo sveta geoinformatiky, geodézie, kartografie, katastra nehnuteľností a pozemkových úprav pre firmy aj jednotlivcov.

GeoConnexion patrí medzi najlepšie etablované periodiká GIS priemyslu. Funguje už 22 rokov a je vydávaný spoločnosťou Mal Ward, pričom ponúka spektrum tém, z ktorých najpopulárnejšie sú LiDAR, Mobilné GIS, Otvorené GIS, Remote Sensing, 3D vizualizácia, GMES, GNSS, INSPIRE, laserové skenovanie, Web mapovanie a sociálne siete: ***http://www.geoconnexion.com***.

GISCafe.com je portál, ktorý ponúka GIS špecialistom kompletné katalógové zoznamy GIS produktov, technické články, GIS novinky, rozhovory s generálnymi riaditeľmi, multimediálne prezentácie, prioritné tlačové správy, oznamy o aktuálnom dianí, ponuky práce a pod. Portál prináša týždenný výber noviniek GISWeekly Review.

GPS World pokrýva tematiku odboru GPS od roku 1989, online od roku 1998 vo forme interaktívnych mikrostránok členených podľa odboru, s informáciami o najčerstvejších nástrojoch pre profesionálov z každej technickej oblasti, ktorá využíva GPS, navigáciu a časovanie, vrátane najnovších obsiahlych GPS/GNSS noviniek pre inžinierskych a projektových manažérov, vedcov a systémových vývojárov na adrese: ***www.gpsworld.com***.

Point of Beginning pomáha profesionálom z oblasti geodézie a geomatiky zdokonaľovať sa štúdiom informácií o nových technológiách a možnostiach. Ponúka praktické riešenia problémov pri pozemnom zameriavaní a mapovaní, pričom poskytuje novinky aj zo sveta firemných stratégií, legislatívy a vzdelania. Viac na stránkach ***http://www.pobonline.com***.

Geospatial World vydávaný Gospatial Development je zdrojový portál najnovších geopriestorových informácií. Portál je najstarším a najväčším vo svete vôbec a funguje ako interaktívne médium medzi GIS profesionálmi vo viac než 150 krajinách. Výber toho najlepšieho ponúka Geospatial World Weekly: ***www.geospatialworld.net***.

GISuser poskytuje informácie o vývoji, analýzach a správach týkajúcich sa používateľov GIS a príbuzných geopriestorových technológií. Viac na: ***http://www.gisuser.com***.

GeoCommunity je obsiahly informačný portál prevádzkovaný MindSites Group, ktorý okrem noviniek zo sveta GIS ponúka aj diskusnú platformu pre užívateľov a informácie o nových pracovných a obchodných príležitostiach a akciách: ***http://spatialnews.geocomm.com***.

Príloha 3 Základný GIS slovník

ArcCatalog – aplikácia určená na správu geografických informácií, ide o tzv. manažéra priestorových informácií. ArcCatalog spravuje geografické informácie v adresárovom priestore alebo v geodatabázach.

ArcGIS – komplexné GIS softvérové riešenie od spoločnosti ESRI, resp. softvérový systém, ktorý umožňuje používateľom zhromažďovať, organizovať, riadiť, analyzovať a distribuovať geografické informácie. Ide o poprednú svetovú platformu práce s GIS. Systém je k dispozícii vo forme on-line internetových aplikácií, produktov pre mobilné telefóny resp. smartfóny, servery a osobné počítače. ArcGIS je tvorený sériou rôznych produktov prepojených do jedného pracovného prostredia.

ArcGlobe – modul programu ArcGis (rozšírenie 3D Analyst), ktorý slúži na zobrazovanie priestorovo orientovaných údajov na povrchu 3D zemegule, glóbusu.

ArcIMS – software spoločnosti ESRI umožňujúci spravovať a obsluhovať mapy, dáta a aplikácie, ktoré budú použité na internete. Administratívny rámec umožňuje používať súbory autorskej konfigurácie, publikovať mapy, tvoriť internetové stránky a spravovať ArcIMS servery.

ArcMap – GIS aplikácia so zameraním na vytváranie geografických informácií, tvorbu máp, prácu s databázovým rozhraním, priestorovými informáciami atď.

ArcScene – modul programu ArcGis (rozšírenie 3D Analyst), ktorý umožňuje tvorbu 3D údajov, ich analýzu, zobrazovanie a prezentáciu v podobe 3D modelov pri použití rôznych 3D efektov (pohľad zo všetkých strán, priehľadnosť, osvetlenie a pod.).

ArcToolBox – užívateľské rozhranie v prostredí programu ArcGis zahŕňajúce súbor geoprocesingových nástrojov, modelov a skriptov, ktoré slúžia na prácu s priestorovými dátami.

CAD – (skratka pre computer-aided design – počítačom podporované navrhovanie) počítačový systém (aplikácia) na navrhovanie, projektovanie a zobrazenie grafických informácií. CAD aplikácie používajú grafické, geometrické i matematické nástroje na tvorbu plošných náčrtov a modelovanie objektov reálneho sveta.

Cloud – názov vychádza z anglického oblak, mrak, mračno. Mračno v podstate predstavuje zhluk hardvérových a softvérových výpočtových prostriedkov (napr. programov, služieb), ktoré sú využívané prostredníctvom internetu (siete) a pre koncového užívateľa nie sú viditeľné.

DTM – zdigitalizovaný trojrozmerný obraz zemského povrchu. Každému zobrazenému bodu sú priradené informácie, ktoré určujú jeho polohu a nadmorskú výšku.

EPSG – databáza parametrov používaná na identifikáciu súradnicového systému a na definovanie transformácií a konverzií medzi referenčnými súradnicovými systémami (súradnice istého bodu z jedného systému sa prevedú na súradnice iného systému). Databázu vytvorila European Petroleum Survey Group (EPSG) v roku 1985.

Fotogrametria – súbor metód slúžiacich na získavanie súradníc jednotlivých objektov prostredníctvom analógových alebo digitálnych fotografií (leteckých snímok a diaľkového prieskumu Zeme).

Geodézia – vedný odbor zaoberajúci sa určovaním tvaru a rozmerov zemského telesa a jeho zobrazením. Zároveň sa venuje štúdiu gravitačného a magnetického poľa Zeme, slapových javov a geologickým pohybom zemskej kôry.

Geoinformatika – vedná disciplína, ktorá sa zameriava na vývoj a aplikáciu metód na riešenie úloh v geografických vedách so špeciálnym dôrazom na geografickú polohu (vzájomné priestorové vzťahy objektov). Sústreďuje sa na zber, uloženie a distribúciu geografických dát a umožňuje ich vizualizáciu a priestorové analýzy. Pomocou počítačového modelovania skúma prírodné a socio-ekonomické geosystémy, ich štruktúru, interakcie a dynamiku.

Geografia – vedná disciplína, resp. súbor vedných disciplín, ktoré skúmajú krajinnú sféru a vzťahy medzi systémom prírodného prostredia a systémom ľudskej spoločnosti v priestore a čase. Vedná disciplína vznikla zo snahy preskúmať a opísať Zem za účelom zlepšenia využívania prírodných zdrojov a optimálneho rozmiestnenia činností ľudskej spoločnosti.

Geografické informácie – geografické údaje spracované v prostredí GIS. Ide o informácie transformované do digitálnej podoby, ktoré priamo alebo nepriamo súvisia s miestom priradeným k zemskému povrchu alebo jeho blízkosti. Každá takáto informácia má svoje geometrické, geografické a databázové rozhranie, s ktorým je možné v prostredí GIS ďalej pracovať.

Geografické údaje – údaje o objektoch a vzťahoch s konkrétnou polohou v reálnom svetovom priestore, t. j. údaje týkajúce sa zemského povrchu alebo jeho blízkosti.

Geomatika – veda zaoberajúca sa zberom geografických dát prostredníctvom rôznych spôsobov meraní, ich prvotným spracovaním, analýzou, distribúciou a prezentáciou. Geografické dáta môžu mať rôznu podobu a formát: mapa, databáza, vrstva, štatistický súbor, letecká snímka.

Geoprocesing – sumárne označenie operácií slúžiacich na manipuláciu s priestorovými dátami. Typická geoprocesingová operácia zahŕňa analýzu vstupného dátového súboru, vykonanie operácie v tomto súbore a tvorbu výsledku operácie v podobe výstupných dátových súborov.

Georeliéf/reliéf – súbor vypuklých a vydutých tvarov na povrchu Zeme – na súšach i dnách oceánov a morí. Pôsobením vnútorných a vonkajších geologických činiteľov na reliéfe vznikajú rôzne tvary. Reliéf je v neustálom vývoji. Na mapách je znázornený obrysmi, tieňovaním, hypsometriou a pod.

Geoštatistika – druh štatistiky používaný na analýzu a predikciu hodnôt spojených s priestorovými alebo časopriestorovými javmi. Geoštatistické metódy slúžia na modelovanie prostredníctvom využitia priestorových informácií a údajov.

Geoúdaj – označenie pre geografický, priestorový údaj. Je to vlastne údaj s implicitným a explicitným vzťahom k zemskému povrchu alebo k jeho blízkosti.

GIS – geografické informačné systémy predstavujú typ informačných systémov, ktoré sú určené na zachytávanie, ukladanie, vyhľadávanie, analýzu a zobrazovanie priestorových údajov.

GPL/GNU – GNU – projekt spustený v roku 1984, ktorý pod licenciou (GPL – general public license) vedie voľný softvér (free software) zaručujúci koncovému užívateľovi (jednotlivec, organizácia) slobodu spočívajúcu v spúšťaní, kopírovaní, distribuovaní, študovaní, upravovaní a vylepšovaní tohto softvéru.

GPS – (skratka pre Global Positioning system – globálny lokalizačný systém) je satelitný navigačný systém používaný na zistenie presnej pozície bodu prostredníctvom signálu vysielaného z družíc a prijímaného GPS prístrojom. Systém je využívaný najmä v navigácii a pri tvorbe máp.

HTML – skratka (akronym) pre Hypertext Markup Language – hypertextový značkovací jazyk. Predstavuje značkovací jazyk používaný na vytvorenie webovej stránky určenej na publikovanie prostredníctvom internetu. Je to vlastne systém značiek, ktoré definujú funkcie textu, grafiku, zvuk a videá v rámci dokumentu. Špecifikáciu jazyka HTML spravuje World Wide Web Consortium.

http – skratka (akronym) pre Hypertext Transfer Protocol – hypertextový prenosový protokol. Predstavuje protokol v správe World Wide Web Consortia na prenos html dokumentov medzi servermi a klientmi cez internet.

IP Adresa – skratka (akronym) pre adresu internetového protokolu. Predstavuje jedinečné číslo, ktoré identifikuje každý uzol (počítač) v sieti internetu. Je podobné telefónnemu číslu, zapisuje sa v desiatkovej sústave a súbory čísel sú oddelené bodkou. IP adresy umožňujú prenášať dáta medzi jednotlivými počítačmi navzájom cez internet.

JPEG – štandardná metóda stratovej kompresie obrázkov (fotografií) vo formáte bežne používanom na publikovanie na internete. Formát je vhodný na prenášanie a ukladanie obrázkov, ktoré obsahujú spektrum farieb. Skratka znamená Joint Photographic Experts Group, čo je názov konzorcia, ktoré kompresiu navrhlo.

Kartografia – veda zaoberajúca sa zostavovaním máp o polohe objektov a javov nachádzajúcich sa na zemskom povrchu, na dne morí a oceánov alebo kdekoľvek v kozme.

Kartografické dielo – mapa, mapová schéma, atlas, glóbus, digitálny obraz reality. Vzniká ako výsledok kartografického znázornenia objektov a javov na Zemi (i vzťahov medzi nimi), Zeme samotnej alebo kozmických telies spolu s textovými a obrazovými doplnkami.

Krajinná sféra – najväčší geosystém tvorený sústavou navzájom sa prelínajúcich obalov, obklopujúcich celé zemské teleso. Krajinnú sféru tvoria dve základné časti: fyzicko-geografická sféra prírodného pôvodu a socio-ekonomická sféra vytvorená človekom. Navzájom sú spojené vzťahmi a väzbami.

Local area network (**LAN**) – v informatike lokálna počítačová sieť, spájajúca počítače a ďalšie zariadenia, pokrývajúca menšiu geografickú oblasť (do niekoľko km), ako napríklad dom, kancelária alebo skupina budov. Súčasné LAN bývajú najčastejšie založené na prepínaných ethernetových sieťach, s prepojením metalickým káblom, optickým káblom, alebo bezdrôtovo (Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, Irda).

Mapa – zjednodušené zobrazenie Zeme, kozmu, kozmických telies a ich častí do roviny, príp. na iný geometrický útvar, napr. glóbus. Mapa graficky znázorňuje objekty a javy nachádzajúce sa v určitom priestore. Vyhotovuje sa pomocou kartografických zobrazení a definovaného pomeru zmenšenia objektov na mape voči skutočnosti. Slúži ako navigačná pomôcka.

Mapové dielo – mapa resp. súbor mapových listov súvislo zobrazujúcich územie, vyhotovených podľa jednotných zásad (mierka, kartografické zobrazenie, jednotný všeobecne využiteľný obsah).

Mapový znak – dohovorený (ustálený) mapový symbol slúžiaci na znázornenie polohy, druhu a kvalitatívnej i kvantitatívnej charakteristiky objektov a javov v mape. Môže mať bodový, líniový či plošný tvar alebo tvar diagramu.

Priestorový údaj – akýkoľvek údaj, ktorý sa vzťahuje ku konkrétnemu miestu na zemskom povrchu alebo v jeho blízkom okolí, kde na určitej rozlišovacej úrovni je známa aj geografická poloha.

Raster – typ dátového formátu, v ktorom sú geografické údaje (prvky a objekty reálneho sveta) abstrahované (zaznamenané) prostredníctvom siete buniek pozostávajúcej z riadkov a stĺpcov. Každá bunka má štvorcový tvar a atribútovú hodnotu v podobe čísla.

RAW – (z anglického raw – surový, nespracovaný) je obrazový formát obsahujúci len minimálne spracované dáta zo snímača digitálneho fotoaparátu.

Script – časť programu alebo program samotný, zapísaný v podobe kódu a obyčajne uložený ako súbor. Jeho funkcia spočíva vo vykonávaní určitej úlohy, na splnenie ktorej bol vytvorený a naprogramovaný.

Server – môže mať podobu počítača (hardvéru), ale aj softvéru. Prostredníctvom neho si môžu jednotlivé počítače v sieti vymieňať dáta, môžu používať dáta, ktoré sú na ňom uložené, príp. ho môžu použiť ako bránu na vstup do inej siete.

SQL – (skratka pre Structured Query Language – štruktúrovaný opytovací jazyk) je počítačový jazyk na manipuláciu a definíciu dát. V súčasnosti je najpoužívanejším jazykom vo väčšine relačných databázových systémov.

TIF – (skratka pre Tagged Image File) súborový formát slúžiaci na ukladanie rastrovej počítačovej grafiky. Formát nesie grafické informácie, ktoré sú zaznamenané v podobe pixelov.

Vektor – typ dátového formátu, v ktorom sú geografické údaje (prvky a objekty reálneho sveta) zaznamenané prostredníctvom troch základných geometrických útvarov – bod, línia, polygón. Údaje samotné si nesú informáciu o svojej geografickej polohe, geometrickej interpretácii a základnej charakteristike v podobe atribútov.

WebGIS – základná technológia analýzy, tvorby a publikovania konkrétnych geodát prostredníctvom internetu. Často sa zamieňa za pojem web mapping, čo však znamená navrhovanie, tvorbu a poskytovanie výsledných máp prostredníctvom internetu.

WGS 84 – (skratka pre World geodetic system – svetový geodetický systém) najpoužívanejší geodetický štandard vydaný ministerstvom obrany USA v roku 1984, ktorý definuje súradnicový systém využívaný v geodézii, navigácii a pri tvorbe máp. Tento súradnicový systém používajú aj GPS zariadenia.

Wide Area Network (**WAN**) – v informatike počítačová sieť, ktorá pokrýva rozľahlé geografické územia (napríklad sieť, ktorá prekračuje hranice mesta, regiónu alebo štátu). Najväčším a najznámejším príkladom siete WAN je internet. Siete WAN sú využívané na spojenie lokálnych sietí (LAN) alebo ďalších typov sietí, takže užívatelia z jedného miesta môžu komunikovať s užívateľmi a počítačmi na inom mieste.

XML – (skratka pre Extensible Markup Language) štandardizovaný všeobecný značkovací jazyk vyvinutý World Wide Web konzorciom, ktorý uľahčuje výmenu dát medzi počítačovými aplikáciami a zverejňovanie dokumentov.

Príloha 4 Používané skratky v oblasti GIS

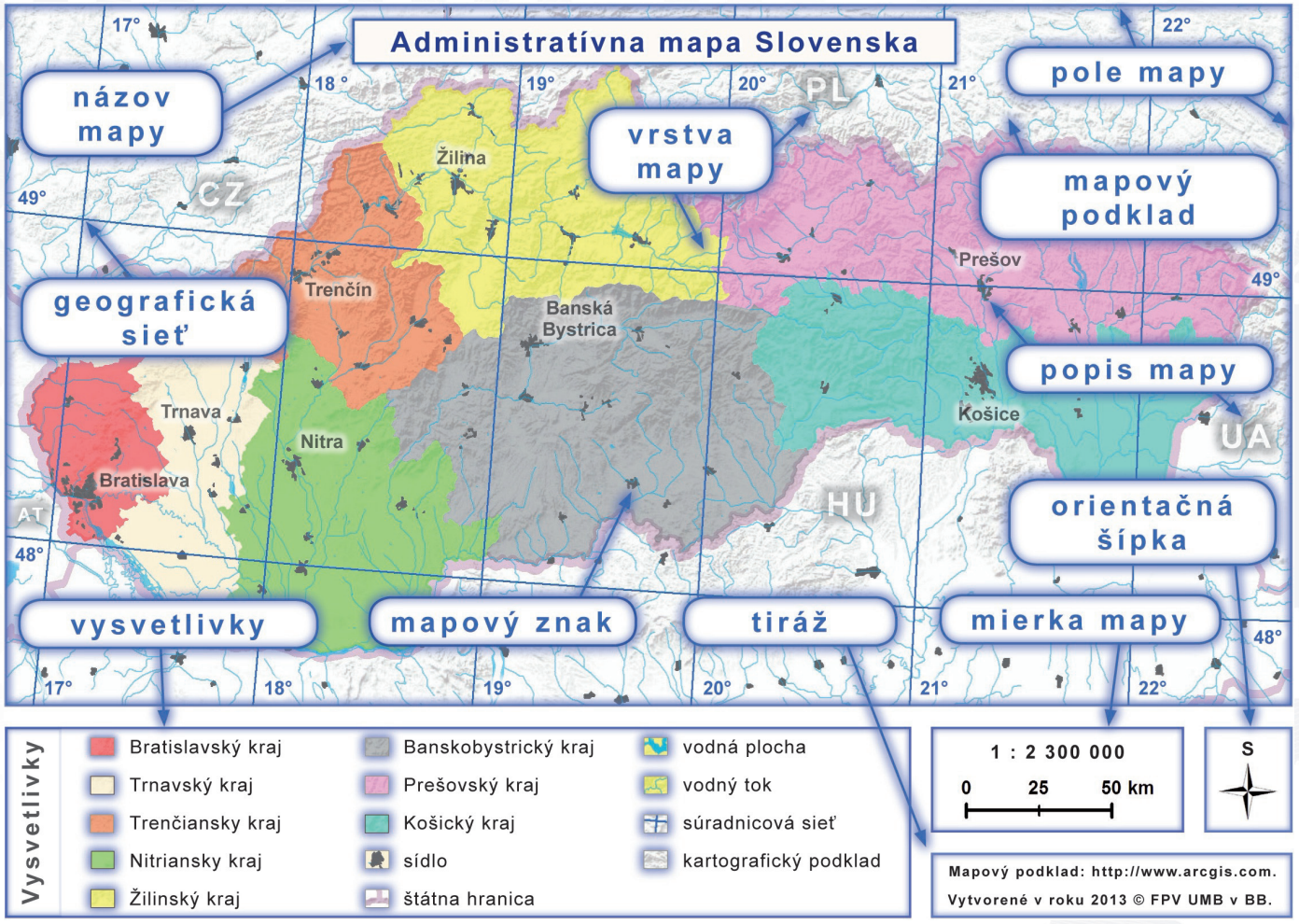
AGI	Association for Geographic Information
AGILE	Association of Geographic Information Laboratories in Europe
API	Application programming interface
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BLOB	Binary large object
CAD	Computer-Aided Design
CGIS	Canada Geographic Information System
DBMS	Database management system
DCM	Digital cartographic model
DEM	Digital elevation model
DGPS	Differential Global Positioning System
DLM	Digital landscape model
DTM	Digital terrain model
DXF	Drawing exchange format
ERDAS	Earth Resource Data Analysis System
ESRI	Environmental Systems Research Institute
GML	Geography Markup Language
GNIS	Geographic Names Information System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GRASS	Geographic Resources Analysis Support System
GUI	Graphical user interface
IMW	International Map of the World
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in Europe
ISCGM	International Steering Committee for Global Mapping
LiDAR	Light detection and ranging
LMIS	Land Management Information System
MBR	Minimum bounding rectangle
MrSID	Multiresolution Seamless Image Database
MSC	Mapping Science Committee
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCGIA	National Center for Geographic Information and Analysis
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency

NSDI	National Spatial Data Infrastructure
ODBMS	Object database management systém
OEM	Office of Emergency Management
OGC	Open Geospatial Consortium
OLM	Object-level metadata
OLS	Ordinary least squares
ONC	Operational Navigation Chart
ORDBMS	Object-relational database management syste
PDA	Personal digital assistant
PE	Photogrammetric engineering
PLSS	Public Land Survey System
PPGIS	Public participation in GIS
RDBMS	Relational database management system
RFP	Request for Proposals ň
RGB	Red Green Blue
RMSE	Root Mean Square Error
RS	Remote Sensing
SAP	Spatially aware professional
SDE	Spatial Database Engine
SDI	Spatial Data Infrastructure
SDSS	Spatial Decision Support Systems
SPC	State Plane Coordinates
SPOT	Syste`me Probatoire d'Observation de la Terre
SQL	Structured/Standard Query Language
TIN	Triangulated Irregular Network
TOID	Topographic Identifier
UCGIS	University Consortium for Geographic Informa- tion Science
UDDI	Universal Description, Discovery, and Integration
UML	Unified Modeling Language
UNIGIS	UNIversity GIS Consortium
UPS	Universal Polar Stereographic
URISA	Urban and Regional Information Systems Association
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transverse Mercator

Príloha 5 Katalóg mapových zostáv

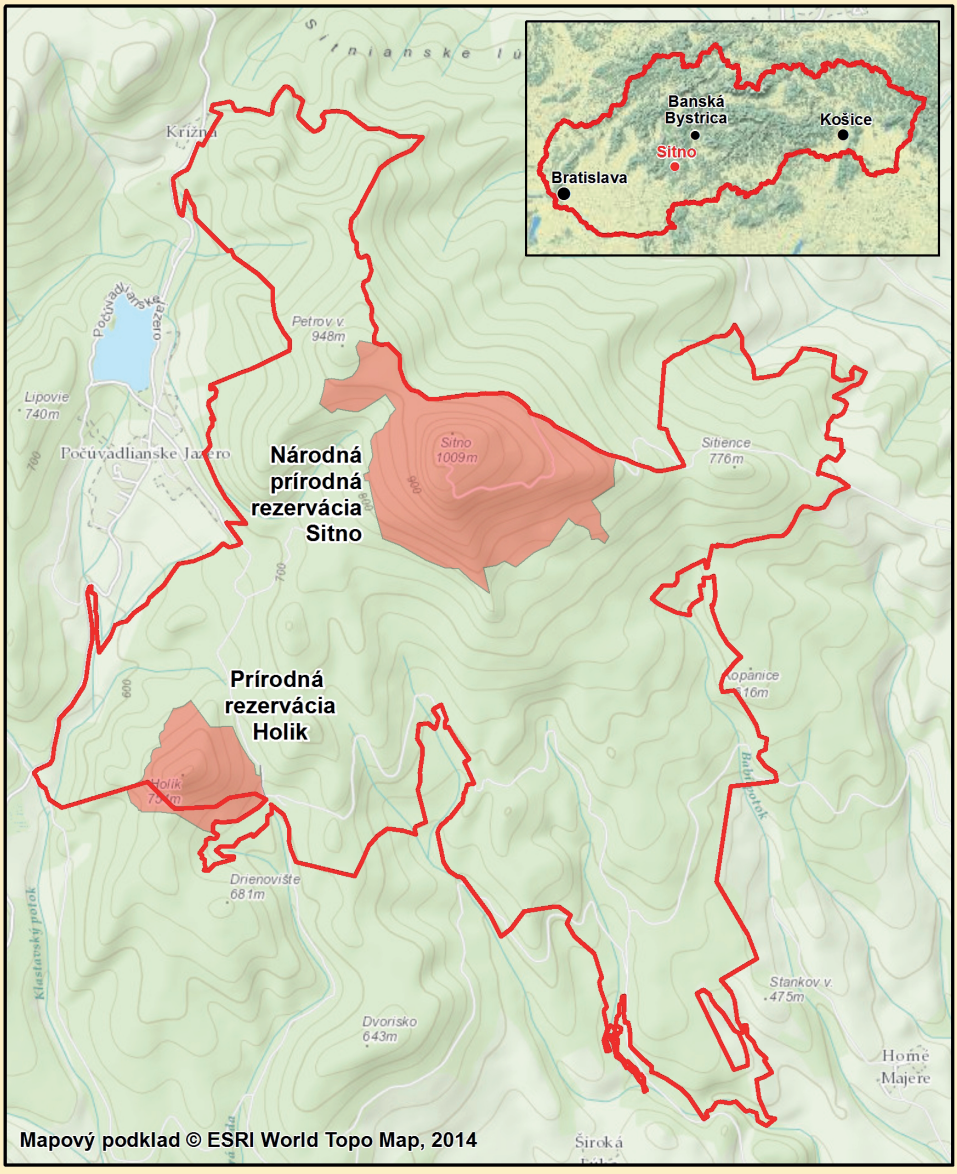
Mapa je zjednodušené zobrazenie Zeme, kozmu, kozmických telies a ich častí do roviny, prípadne na iný geometrický útvar, napr. glóbus. Mapa graficky znázorňuje objekty a javy nachádzajúce sa v určitom priestore. Vyhotovuje sa pomocou tzv. kartografických zobrazení a definovaného pomeru zmenšenia objektov na mape voči skutočnosti. Slúži ako navigačná pomôcka, ktorá vyjadruje vzťahy medzi objektmi v priestore, ako sú napr. poloha, veľkosť, vzdialenosť, uhol atď. Každá mapa sa skladá z určitých komponentov, ktoré majú svoj význam:

1. **Názov mapy** vyjadruje obsahové zameranie, priestorové vymedzenie územia, prípadne účel, na aký bola vytvorená. V niektorých prípadoch sa k názvu pridáva aj časové obdobie.
2. **Geografická sieť** je druh súradnicovej siete (existujú aj iné druhy súradnicových sietí). Ide o sústavu čiar (poludníkov a rovnobežiek) v mapovom poli, spájajúcich miesta s rovnakými geografickými súradnicami (geografická šírka a dĺžka).
3. **Vysvetlivky (legenda)** poskytujú *„kľúč“* k pochopeniu použitých mapových znakov. Pri rozsiahlych mapových dielach bývajú vysvetlivky ako samostatná knižná publikácia, napr. topografické alebo geologické mapy.
4. **Tiráž** obsahuje informácie o autorovi, vydavateľovi, roku vydania mapy, autorských právach.
5. **Mapový znak** je grafický symbol mapového vyjadrenia, ktorý určuje význam a polohu prvkov na mapovom podklade. Mapovým znakom je krúžok alebo obdĺžnik (grafický symbol), ktorý reprezentuje napr. sídlo a svojou geografickou polohou je lokalizovaný na mape. Význam mapového znaku je spravidla vysvetlený v legende, avšak nie je to pravidlom.
6. **Vrstva mapy** je grafické zoskupenie mapových znakov s rovnakým významom, napr. vrstva názvov miest, vrstva vodných tokov, vrstva administratívneho členenia Slovenska na územné celky atď.
7. **Pole mapy (mapové pole)** je plocha vlastnej mapy bez plôch obsadených vysvetlivkami, mierkou, orientačnou šípkou, tirážou atď.
8. **Mapový podklad** je vo väčšine prípadov topografická mapa zobrazujúca výškopisné a polohopisné prvky. Medzi výškopisné prvky patria vrstevnice, výškové kóty, výškové body alebo tieňovanie reliéfu. **Popis mapy** je súbor všetkých geografických názvov, skratiek a ostatných popisov v mapovom poli.
9. **Orientačná šípka** je grafické vyjadrenie orientácie mapy k svetovým stranám, najčastejšie k severu.
10. **Mierka mapy** definuje pomer zmenšenia grafických rozmerov objektu na mape voči skutočnosti. Čitateľovi pomáha vytvárať predstavu o podrobnosti mapy. Číselná mierka udáva číselné zmenšenie objektov (ale aj dĺžok) na mape v tvare 1 : M, kde M je mierkové číslo. Napr. 1 cm na mape v mierke 1 : 50 000 je v teréne 50 000 cm (500 m - 0,5 km), v mierke 1 : 200 000 je v teréne 200 000 cm (2 000 m - 2 km). Grafická mierka vyjadruje mieru zmenšenej skutočnosti pomocou úsečky, ktorá má svoje dĺžkové hodnoty.


Administratívna mapa Slovenska
názov mapy
vrstva mapy
pole mapy
mapový podklad
geografická sieť
popis mapy
orientačná šípka
vysvetlivky
mapový znak
tiráž
mierka mapy
17°
18°
19°
20°
21°
22°
49°
48°
CZ
PL
HU
UA
AT
Žilina
Trenčín
Banská Bystrica
Prešov
Košice
Trnava
Nitra
Bratislava
Vysvetlivky
Bratislavský kraj
Trnavský kraj
Trenčiansky kraj
Nitriansky kraj
Žilinský kraj
Banskobystrický kraj
Prešovský kraj
Košický kraj
sídlo
štátna hranica
vodná plocha
vodný tok
súradnicová sieť
kartografický podklad
1 : 2 300 000
0 25 50 km
S
Mapový podklad: http://www.arcgis.com.
Vytvorené v roku 2013 © FPV UMB v BB.

Mapa 3

Územie európskeho významu Sitno



Legenda:

- Národná sústava chránených území
- Územie európskeho významu

0 0,25 0,5 1 km

S

Vytvorené v roku 2014 © FPV UMB v BB.

Názov diela: Geografické informačné systémy 3

Autori: RNDr. Michal Klaučo, PhD.
RNDr. Karol Weis, PhD.
PaedDr. Bohuslava Gregorová, PhD.
Mgr. Lenka Anstead, PhD.

Vydavateľ: Vydavateľstvo Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici
Belianum

Počet strán: 87 strán (text 7 AH, ilustrácie 6 AH)

Náklad: 300 kusov

Vydanie: prvé

Formát: B5

Rok vydania: 2014

Tlač: DALI-BB, s.r.o., Banská Bystrica

© Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, 2014

ISBN 978-80-557-0691-7