

GEOINFORMATIKA

Jaroslav HOFIERKA | Ján KAŇUK | Michal GALLAY

GEO INFORMATIKA

Jaroslav HOFIERKA, Ján KAŇUK, Michal GALLAY

UNIVERZITA PAVLA JOZEFA ŠAFÁRIKA V KOŠICIACH



PRÍRODOVEDECKÁ FAKULTA
KOŠICE 2014

ISBN 978-80-8152-178-2



9 788081 521782

UNIVERZITA PAVLA JOZEFA ŠAFÁRIKA V KOŠICIACH
Prírodovedecká fakulta

Jaroslav HOFIERKA, Ján KAŇUK, Michal GALLAY

GEOINFORMATIKA

Košice 2014

GEOINFORMATIKA

© 2014 Jaroslav Hofierka, Ján Kaňuk, Michal Gallay

Vysokoškolská učebnica je výstupom projektu KEGA č. 002PU-4/2012.

Recenzovali:

prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc.

Prírodovedecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci

doc. RNDr. PhDr. Martin Boltížiar, PhD.

Fakulta prírodných vied, Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre

Všetky práva vyhradené. Toto dielo ani žiadnu jeho časť nemožno reprodukovat', ukladať do informačných systémov alebo inak rozširovať bez súhlasu majiteľ'ov práv.

Za odbornú a jazykovú stránku tejto učebnice zodpovedajú autori. Rukopis neprešiel redakčnou ani jazykovou úpravou.

Vysokoškolská učebnica pre geografické študijné programy Prírodovedeckej fakulty Univerzity Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach.

ISBN 978-80-8152-178-2

Predslov	5
1. Geoinformatika a geografický informačný systém.....	7
1.1 Geoinformatika ako samostatná vedecká disciplína.....	8
1.2 Geografický informačný systém – nástroj alebo produkt výskumu?	12
1.3 Výskumné ciele geoinformatiky	13
1.4 Vzťah geoinformatiky a geografie	14
1.5 Technologické aspekty GIS-u	16
2. Digitálna reprezentácia krajiny	19
2.1 Dátové modely	19
2.2 Neurčitost' a nepresnosť dát	25
3. Súradnicové systémy, georeferencovanie a transformácie geopriestorových dát.....	26
3.1 Súradnicové systémy používané na Slovensku	32
3.2 Transformácie súradnicových systémov	34
4. Zber a príprava geopriestorových dát.....	37
4.1 Zber primárnych dát pozemným meraním a diaľkovým prieskumom Zeme	38
4.2 Zber sekundárnych dát	46
4.3 Kvalita dát a metadáta	60
5. Geodatabázy	62
5.1 Funkcie geodatabázy v GIS-e.....	62
5.2 Dopytovací databázový jazyk SQL	64
5.3 Použitie geodatabázy v GIS-e	66
6. Transformácie GIS dát a priestorové analýzy	69
6.1 Konverzie dátových modelov.....	69
6.2 Priestorové analýzy geografických dát.....	72
6.3 Modelovanie.....	81
7. Digitálne modely reliéfu a geomorfometria	86
7.1 Priestorová interpolácia.....	87
7.2 Geomorfometria	92

8. Metódy diaľkového prieskum Zeme.....	101
8.1 Fyzikálna podstata elektromagnetického žiarenia	101
8.2 Interakcia elektromagnetického žiarenia s prostredím a spektrálne správanie objektov	102
8.3 Zobrazovanie záznamu DPZ	105
8.4 Rozlíšenie záznamu DPZ a jeho vplyv na informačný obsah	107
8.5 Letecká fotogrametria	112
8.6 Multispektrálne skenovanie.....	120
8.7 Radarové snímanie	125
8.8 Laserové skenovanie (LiDAR).....	128
9. Vizualizácia a kartografická prezentácia	134
9.1 Farebné modely	135
9.2 Základné kartografické metódy v GIS-e	143
10. Geopriestorové internetové technológie	152
10.1 Technológia mapových serverov.....	152
10.2 Aplikačné možnosti technológie Google Maps a Google Earth	154
10.3 Otvorené riešenia mapových serverov	158
11. Aplikovaná geoinformatika	164
11.1 Aplikácie GIS-u v praxi	164
11.2 Nasadenie GIS-u v praxi	169
11.3 Realizácia GIS projektu	173
12. Záver	176
13. Zoznam použitej literatúry.....	178
14. Slovník použitých termínov a skratiek	183

Život človeka je v súčasnosti popretkávaný modernými technológiami, častokrát aj bez toho, aby si to uvedomil. Využívanie internetu a mobilnej komunikácie je súčasťou rutinných činností či už doma alebo v práci. Súčasťou tejto informačnej revolúcie sú aj geopriestorové technológie. Navigačné systémy áut, turistické navigačné prístroje, ale aj mnohé mobilné telefóny a tablety obsahujú prijímače GNSS na určenie polohy. V kombinácii so softvérom a geografickými dátami umožňujú vyhľadávanie optimálnej trasy pohybu, konkrétnych lokalít alebo urobiť záznam polohy daného miesta. Objavuje sa čoraz viac praktických aplikácií tejto technológie napríklad v oblasti verejnej dopravy alebo evidencie rôznych udalostí, javov v našom okolí. Takto priestorovo lokalizovanú informáciu je potom prirodzene vhodné umiestniť do mapy, v dnešnej dobe najmä digitálnej a opäť v prostredí internetu. Google Maps, OpenStreetMaps, Google Earth sú presne tie produkty, ktoré vrátili mapy a geografiu medzi verejnosť. Svojím spôsobom pomáhajú zdôrazniť význam geografickej informácie pre bežný život človeka.

Človek si často ani neuvedomuje, koľko informácií, s ktorými sa každodenne stretáva, má geografický (priestorový) aspekt. Napríklad miesto bydliska, cesta do školy, nákupy, dovolenka, atď., to všetko je presne naviazané na konkrétne miesto na Zemi. Mnohé ekonomické aktivity človeka sú výrazne ovplyvnené priestorom – napríklad poľnohospodárstvo, zásobovanie tovarom, šírenie telekomunikačného signálu pre mobilné telefóny. Geomarketingové oddelenia sa stávajú súčasťou organizačnej štruktúry mnohých firiem. Absolventi vysokých škôl s dôkladnými znalosťami v tejto oblasti získavajú výhody v uplatnení na trhu práce u nás a aj v zahraničí. Nachádzajú uplatnenie najmä vo verejnej správe, ochrane životného prostredia, výskume, priemysle a službách, jednoducho všade tam, kde je potrebné pracovať s priestorovo lokalizovanými informáciami.

Vzhľadom na pomerne rozsiahle aplikácie sa výuka geoinformatiky a geografických informačných systémov stala súčasťou mnohých študijných programov na slovenských vysokých školách. A to nielen geografických, ale aj environmentálne a technicky orientovaných. Na Slovensku má výuka geoinformatiky dlhodobú tradíciu práve na geografických pracoviskách. V súčasnosti sa geoinformatika výraznejšie etabluje aj ako samostatná vedná disciplína, čo sa prejavuje aj v tvorbe špecializovaných študijných programov, ktorých cieľom je dôkladne pripraviť odborníkov v tejto oblasti.

Na tento trend nadväzuje aj táto vysokoškolská učebnica, ktorá je určená najmä pre geografické študijné programy, ale veríme, že bude praktickou pomôckou aj pre študentov iných študijných odborov. Obsahovo je zameraná najmä na pochopenie základnej teórie a metodológie geoinformatiky a tiež niektorých technologických princípov geografických informačných systémov. Učebnica úzko nadväzuje na učebné texty Hofierka, J. (2003): Geografické informačné systémy a diaľkový prieskum Zeme a rozširuje ich o najnovšie poznatky a trendy v oblasti geoinformatiky. Obsahuje aj ukážky aplikácií zrealizovaných nielen samotnými autormi učebnice, ale vo vhodných

prípadoch aj inými autormi, čo umožňuje čitateľovi lepšie pochopiť praktickú použiteľnosť technológie v praxi. Našou snahou bolo použiť čo najviac príkladov aplikácií na Slovensku, aby čitateľ lepšie pochopil kontext.

Pri príprave učebnice sme sa opierali o naše dlhoročné skúsenosti, výskum a prax v tejto oblasti, poznatky získané v zahraničí a z medzinárodnej spolupráce. Viaceré prezentované výsledky boli dosiahnuté pri riešení vedeckých alebo aplikačných projektov. Preto by sme chceli všetkým našim spolupracovníkom poďakovať za ich príspevok k vytvoreniu tohto diela. Osobitne aj recenzentom, ktorí svojimi pripomienkami pomohli zvýšiť kvalitu diela.

november 2014

autori



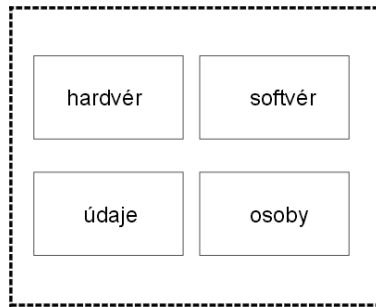
1. Geoinformatika a geografický informačný systém

Človek sa dennodenne stretáva s informáciami, ktoré majú geopriestorový (geografický) charakter. Všetky udalosti sa dejú niekde na zemskom povrchu alebo v jeho blízkosti a preto je prirodzené, že je dôležité poznať ich priestorový kontext. Osobitne je to dôležité pre geografa a iných odborníkov skúmajúcich krajinu so všetkou jej komplexnosťou a množstvom vzájomných priestorových vzťahov. Rozvoj informačných technológií za posledné desaťročia priniesol aj do tejto oblasti revolučné zmeny, či už v oblasti zberu dát o krajine alebo aj ich spracovaní a tvorbe kartografických výstupov. Geopriestorové technológie sa využívajú nielen vo vedeckom výskume, ale aj v bežnom živote človeka častokrát aj bez toho, aby si to uvedomoval. GNSS prijímače, napr. na báze GPS, sú súčasťou navigačných systémov áut, mobilných telefónov, využívame digitálne mapy na internete (Google Maps, OpenStreetMaps) bez toho, aby sme si uvedomili, že sú to produkty, ktoré úzko súvisia s geoinformatikou a geografickými informačnými systémami.

Geoinformatika je relatívne nová vedná disciplína, ktorá vznikla na rozhraní záujmov viacerých vedných disciplín, predovšetkým však geografie, kartografie, informatiky, matematiky, geodézie a diaľkového prieskumu Zeme (DPZ). Počiatky tejto vednej disciplíny sú spojené s obdobím tzv. kvantitatívnej revolúcie v geografii v 60-tych rokoch 20. storočia a úzko súvisia s nástupom a širším využitím informačných technológií pri spracovaní hromadných dát. Cieľom týchto prvotných systémov bolo najmä uchovávanie a aktualizovanie štatistických a kartografických dát v pamäti počítača tak, aby bolo možné rýchlo získať sumárne tabuľkové informácie a vykonávať merania. Kartografi videli tiež veľké možnosti pri tvorbe a aktualizácii obsahu máp (Hofierka 2003, 2012a).

Geografický informačný systém (GIS) bol od samého začiatku najviditeľnejším výstupom geoinformatiky. *GIS môžeme stručne definovať ako systém na spracovanie geografických (geopriestorových) informácií.* Má štyri základné zložky: softvér, hardvér, dáta a osoby ovládajúce celý systém (Obr. 1.1). Niektorí autori (napr. Longley et al., 2011) zaraďujú medzi samostatné zložky GIS-u aj sieťovú infraštruktúru a metodické postupy. V bežnej reči, resp. v užšom ponímaní, pod pojmom GIS často chápeme len softvér (napr. ArcGIS). Kvalifikovaný personál je kľúčový z hľadiska efektivity využitia ostatných komponentov GIS-u a zabezpečenia návratnosti investícií do tejto technológie. Preto ho môžeme označiť za najdôležitejšiu časť celého systému.

Pri vzniku technológie geografických informačných systémov zohrávali veľkú úlohu predovšetkým americké univerzity a vládne inštitúcie (napr. US Bureau of the Census a US Geological Survey). Avšak úplne prvým GIS-om využívaným v praxi sa stal Canada Geographic Information System (CGIS) uprostred 60-tych rokov 20. storočia, ktorý slúžil predovšetkým na uchovávanie dát a meranie obsahu digitálnych máp o prírodných zdrojoch Kanady (Beaulieu 1995). Neskôr začali vznikať komerčné systémy, ktoré postupne získali veľkú popularitu. Pri vývoji GIS-ov hrala veľkú úlohu aj armáda USA a to najmä v súvislosti s definíciou jednotného súradnicového systému a vypustením satelitov, ktorých úlohou bol zber dát o povrchu Zeme. Financovala aj vývoj GIS-u, akým je napríklad aj GRASS GIS (Neteler a Mitasova 2004).



Obr. 1.1: Základné súčasti geografického informačného systému.

Hoci vývoj prvých GIS-ov sa dial do značnej miery nezávisle od geografie, geoinformatika sa od svojho počiatku vyvíjala predovšetkým v rámci geografie, ako súčasť kvantitatívnej geografie. Významný podiel na rozvoji geoinformatiky mala a aj má kartografia, pretože vzťah geografie a kartografie bol vždy veľmi blízky (Pravda a Feranec 1998). Obe disciplíny nevyhnutne potrebovali pre svoj rozvoj vzájomné impulzy a spoluprácu. GIS sa však v počítačnom období chápe výlučne ako technológia využívaná pre potreby materských vied a praxe. Až začiatkom v 90-tych rokoch došlo k vymedzeniu geoinformatiky ako samostatnej vednej disciplíny, a to zavedením pojmu geographic information science (geografická informačná veda, geoinformatika) Michaelom F. Goodchildom z University of California v Santa Barbare (Goodchild 1992). Proces definovania geoinformatiky ako vednej disciplíny tým však nebol ukončený, diskusia k tomu prebiehala aj v ďalšom období (napr. Feranec 1999, Mark 2003). Geoinformatika sa vo svete a v anglickom jazyku označuje nielen pojmom geographic information science/GIScience, ale aj geoinformatics, geomatics, geocomputation, spatial informatics, geospatial engineering. Zvyčajne označujú to isté, niekedy však z rôznych uhlov pohľadu. Na Slovensku je dlhodobo zaužívaný pojem geoinformatika, podobná situácia je aj v Českej republike.

1.1 Geoinformatika ako samostatná vedecká disciplína

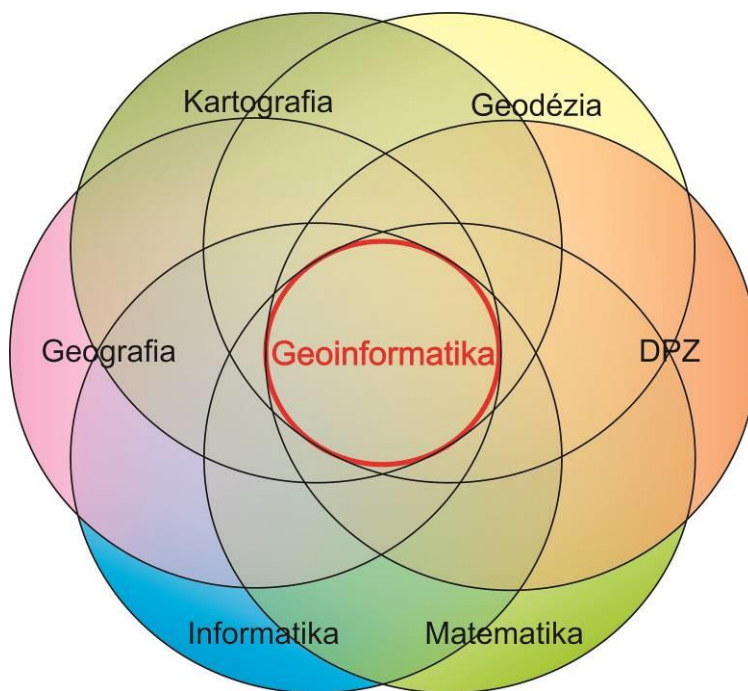
Goodchild (1992) síce ako prvý pomenoval novú rozvíjajúcu sa disciplínu názvom geografická informačná veda (geographic information science), avšak neuvádza jej konkrétnu definíciu, charakterizuje ju len nepriamo prostredníctvom opisu jej výskumných záujmov. Tie vidí najmä v oblasti zberu dát, priestorovej štatistiky, modelovania dát, dátových štruktúr a algoritmov, zobrazovania, priestorových analýz a aj širších aspektov používania GIS-u v praxi.

Pomerne rozsiahly prehľad názorov na definovanie geoinformatiky uvádza Feranec (1999). Autor konštatuje, že geoinformatika ako vedná disciplína by mala mať vlastný predmet skúmania, špecifickú teóriu a metodológiu. V tomto období geoinformatika nebola dostatočne vymedzená a preto ju chápe skôr ako interakciu vedných disciplín.

V práci Wright et al. (1997) autori rozlišujú tri úrovne chápania GIS-u a geoinformatiky: v prvej úrovni je GIS chápaný ako aplikačný nástroj, v druhej úrovni je cieľom vytváranie GIS-u ako nástroja a na tretej úrovni sa nachádza geoinformatika ako veda. Geoinformatiku definujú ako *vedu zaoberajúcu sa geografickými konceptmi, základnými prvkami potrebnými na opis, analýzu,*

modelovanie, vysvetlenie a rozhodovanie o javoch na zemskom povrchu. Mark (2000) uvádza, že geoinformatika je *oblasť základného výskumu, ktorej cieľom je predefinovať geografické koncepty a ich použitie pomocou geografických informačných systémov.* Zároveň zdôrazňuje interdisciplinárny charakter jej výskumu a prieniky s inými vednými oblasťami. Fotheringham a Wilson (2008) definujú geoinformatiku široko ako vedu zaoberajúcu sa *ľubovoľnými aspektami získavania, ukladania, integrácie, riadenia, obnovovania, zobrazovania, analýzy a modelovania priestorových dát.* Zdôrazňujú tak najmä metodický obsah geoinformatiky.

Pre geoinformatiku ako samostatnú vednú disciplínu je dôležitý okruh jej záujmu, ktorý musí byť špecifický v porovnaní s inými vedami. Ide predovšetkým o objekt a predmet výskumu (Demek 1987), (Mičian a Zatkálik 1986). Je zrejmé, že geoinformatika je veľmi interdisciplinárnou záležitosťou, čo je však pre mladé vedné disciplíny úplne prirodzené. Mnohé nové poznatky a objavy sa dejú najmä na rozhraní vedných disciplín. Ako by pomerne zjednodušene vyplývalo z názvu, materskými vedami geoinformatiky by mali byť geografia a informatika. V skutočnosti ich je viac, medzi najvýznamnejšie môžeme zaradiť aj kartografiu, diaľkový prieskum Zeme, geodéziu a matematiku. Ich vzájomnou interakciou vzniká GIS, ako spoločný produkt, ktorý je v praxi využívaný ktoroukoľvek vedou riešiacou svoje úlohy v geopriestorovom kontexte. GIS je preto v týchto vedných disciplínach chápaný ako nástroj na realizáciu vlastného výskumu a aj preto je v tomto období geoinformatika vnímaná skôr ako interakcia viacerých vedných disciplín, čo je možné schematicky vyjadriť na Obr. 1.2.



Obr. 1.2: Geoinformatika ako interakcia viacerých vedných disciplín.

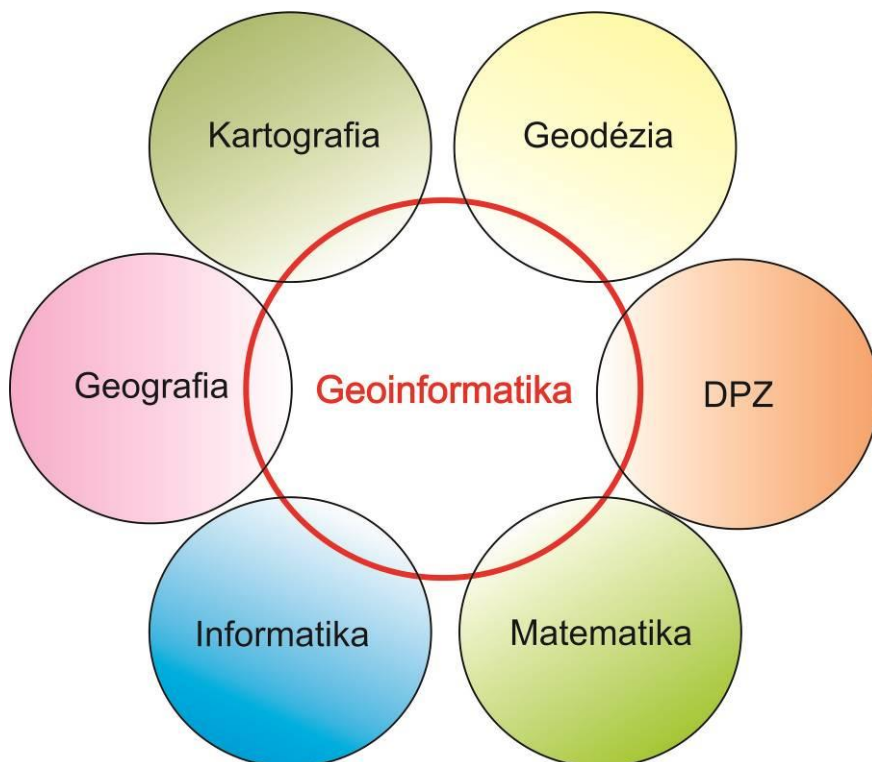
Rozvoj technológie GIS-ov postupne zvyšoval záujem o problematiku vyjadrenú nielen počtom aplikácií, ale najmä špecialistov, ktorí sa venovali výskumu a vývoju nových geoinformatických metód a svoje pôsobenie vymedzovali do oblasti geoinformatiky. Vzniklo množstvo špecializovaných vedeckých časopisov venovaných tejto problematike (napr. International Journal of Geographic Information Science, Transactions in GIS, Geoinformatica a iné), samostatné pracoviská a študijné odbory. Tento postupný proces vedie k prirodzenému etablovaniu geoinformatiky ako samostatnej vednej disciplíny s vymedzeným objektom výskumu a vlastnými výskumnými metódami. Hlavným predmetom záujmu geoinformatiky je *spracovanie geografických (geopriestorových) dát pomocou geoinformatických metód a informačných technológií tak, aby bolo možné z nich získavať nové informácie a poznatky o stave a spôsobe fungovania objektov a javov krajinskej sféry* (Hofierka, 2012a). Jedným z kľúčových problémov vymedzenia geoinformatiky ako samostatnej disciplíny je vlastná metodologická báza, odlišná od iných vied. V prípade interdisciplinárnych vedných oblastí je pochopiteľné, že miera prieniku s inými vedami je značná aj v metodologickej oblasti. V súčasnosti však môžeme identifikovať niekoľko oblastí výskumu so špecificky geoinformatickou metodologickou bázou, ktorá sa týka najmä osobitého charakteru geografických dát, napríklad ontologické aspekty dátových modelov a štruktúr (konceptuálne modely krajiny a ich digitálna reprezentácia), otázky neurčitosti dát, špecifické metódy transformácie dát a geopriestorových analýz, špecifická vizualizácia a publikovanie (Kemp, 2008).

Geoinformatické metódy na spracovanie geografických dát sú zvyčajne implementované do softvérového produktu, ktorým je GIS v jeho rôznych softvérových podobách. Sú tam však implementované aj geopriestorové metódy iných vedných disciplín alebo aj špeciálne informatické metódy. Základným predpokladom pre implementáciu geopriestorových metód v softvéri je ich matematická formulácia, to znamená, že každá metóda obsiahnutá v GIS-e musí byť vyjadriteľná formalizovaným spôsobom. Niektoré aspekty využívania GIS-u, najmä otázky interakcie človeka so softvérom, hardvérom a dátami majú aj charakter kognitívnej vedy. Vystupujú tu aj otázky ľudského myslenia a správania, psychológie, lingvistiky a umelej inteligencie. Geoinformatika tiež rieši organizačné aspekty nasadenia a používania GIS-u v praxi.

V konkrétnej rovine a stručným spôsobom môžeme tiež konštatovať, že *geoinformatika je vedecká disciplína, ktorá sa venuje teoretickým a metodickým aspektom spracovania geografických (geopriestorových) informácií pomocou geografického informačného systému* (Hofierka, 2012a). Geografické (geopriestorové) informácie sú priestorové informácie o krajinskej sfére Zeme. Ich najdôležitejšou vlastnosťou je *polohový aspekt*. Napríklad pri vyslovení slova Praha vieme, že ide o sídlo, ale nie je jasné, či myslíme na hlavné mesto Česka alebo obec v okrese Lučenec. Implicitne je teda pre nás dôležité poznať aj polohu objektov v priestore. Ďalšími vlastnosťami geografickej informácie sú *časová premenlivosť* platnosti informácie a *kvalitatívny alebo kvantitatívny atribút*, charakteristika opisujúca daný geografický objekt alebo jav. Atribútom môže byť číslo (napr. počet obyvateľov v obci), textový reťezec (napríklad názov) alebo logická hodnota (pravda-nepravda). Geografický informačný systém tu je chápaný ako geopriestorová technológia, ktorá je jednak produktom výskumu geoinformatiky, ale zároveň je aj nástrojom na riešenie geopriestorových problémov v krajine.

Vymedzenie geoinformatiky ako samostatnej vednej disciplíny je možné vyjadriť schematicky pomocou Obr. 1.3. Z neho vyplýva, že geoinformatika má naďalej veľmi interdisciplinárny charakter s rozsiahlymi prienikmi s príbuznými disciplínami, avšak teraz už má aj vlastnú, samostatnú oblasť výskumu. Uvedené sú tu len najdôležitejšie príbuzné disciplíny geoinformatiky, pričom schéma nerieši ich vzájomné prieniky alebo interakcie.

I keď diskusia o vymedzení geoinformatiky neustále prebieha, je možné konštatovať, že táto rodiaca sa vedná disciplína má veľmi dobré podmienky pre svoj ďalší rozvoj. Je nespochybniteľné, že bude mať aj naďalej veľmi interdisciplinárny charakter, ktorej rozvoj bude do značnej miery ovplyvňovaný inými vednými disciplínami, no na druhej strane bude svojím vnútorným rozvojom stimulovať aj tieto príbuzné vedy. Napríklad prebiehajúca revolúcia v metódach zberu geopriestorových dát (napr. GPS, LiDAR) podnecujú geoinformatiku k novým metódam ich spracovania, čo poskytne nové možnosti aplikácií a impulzy pre ďalšie oblasti výskumu krajiny.



Obr. 1.3: Geoinformatika ako samostatná vedná oblasť.

Z hľadiska širších metavedných, ale aj praktických súvislostí je možné si položiť otázku, či je geoinformatika súčasťou geografických alebo informatických vied. Z lingvistického hľadiska by názov geoinformatika evokoval subdisciplínu informatiky, avšak z obsahového hľadiska táto jednoznačná dominancia neexistuje. Vplyv informatiky sa prejavuje najmä v technologickej zložke, pri tvorbe softvéru GIS-u. Avšak implementované metódy musia mať väzbu na geopriestorové

prístupy a riešenia, musia vychádzať z poznania fungovania krajiny ako takej. To je aj dôvod, prečo historicky geoinformatika sa rozvíjala najmä na geografických pracoviskách a ani jej ďalší rozvoj nebude možný bez úzkej súčinnosti s geografiou, geovedami, ale aj inými technickými a spoločenskými vedami riešiacimi problémy v geopriestorovom kontexte. V dlhodobjšom horizonte je však možné očakávať prehlbovanie samostatnosti geoinformatiky. Podobný vývoj sme zaznamenali aj pri kartografii, ktorá sa dlho považovala za integrálnu súčasť geografie a až neskôr sa stala samostatnou disciplínou (Pravda a Feranec 1998).

1.2 Geografický informačný systém – nástroj alebo produkt výskumu?

Geografický informačný systém je najviditeľnejším výstupom geoinformatiky. V určitom období sa pojem geografický informačný systém často považoval za synonymum geoinformatiky. Z veľkej časti aj preto, že zo začiatku bolo úlohou predovšetkým implementovať metódy z iných vied do GIS-u a pochybovalo sa o existencii vlastného metodického aparátu geoinformatiky.

Určitá nejednotnosť existovala a existuje aj v chápaní geografického informačného systému. V užšom ponímaní ide o softvér, v širšom ponímaní do tohto systému patria aj hardvér, dáta a osoby tvoriace personálne zabezpečenie (Hofierka 2003). Softvér obsahuje kľúčové metódy na spracovanie geografických dát, pričom, ako sme spomenuli vyššie, tu nejde len o informatické metódy, ale predovšetkým o geopriestorové metódy umožňujúce priestorové analýzy a modelovanie krajiny. Práve táto zložka softvéru GIS-u odlišuje GIS od iných softvérových produktov využívaných v praxi najmä pre informačné systémy o území (napr. CAD a CAM softvér). Použitie tohto softvéru je možné aj pre geografické dáta, avšak funkčnosť týchto softvérov sa obmedzuje len na ukladanie a zobrazovanie dát s obmedzenými funkciami priestorových analýz. Účelom softvéru CAD (Computer Aided Design) je najmä priestorové navrhovanie a modelovanie priestorových objektov, najmä výrobkov, súčiastok alebo stavebných objektov bez nutnej väzby na ich absolútnu polohu na zemskom povrchu. Nie je to teda softvér primárne určený na spracovanie geopriestorových dát.

GIS-y sú teda využívané odlišnými skupinami používateľov, na rôzne účely a cez rôzne komunikačné kanály a technológie. Z toho vyplývajú aj rozdielne pohľady na ich funkčné využitie. Dôvody využívania GIS-u pracovníkom mestského úradu sú určite iné ako vedca-geografa. Spôsob vnímania GIS-u a jeho využitia v aplikáciách môžeme rozdeliť do týchto skupín, v ktorých sa GIS chápe nasledovne (Hofierka, 2003, 2012a):

- súbor digitálnych máp alebo tematických vrstiev zameraných na znázornenie geografických objektov a javov,
- počítačový nástroj na riešenie partikulárnych geografických problémov,
- systém na podporu priestorového rozhodovania,
- nástroj výskumu a modelovania krajiny.

Toto rozdelenie je aj hierarchické a naznačuje, že v aplikáciách, kde sa GIS využíva ako nástroj výskumu a modelovania, je jeho využitie z hľadiska funkčných možností a použitia metód na

maximálnej úrovni. Použitie GIS-u na úrovni súboru digitálnych máp korešponduje s úrovňou iných grafických programov (napr. CAD systémov) a výhody GIS-u tu nemusia byť úplne zrejmé. Je potrebné skonštatovať, že v mnohých organizáciách v praxi prevažuje najmä táto najjednoduchšia úroveň, často aj v dôsledku nedostatočnej geopriestorovej a geoinformatickej kvalifikácie personálu pracujúceho s GIS-om.

Vnímanie GIS-u používateľmi a geoinformatikmi-vývojármi býva odlišné. Geoinformatik chápe GIS predovšetkým ako produkt výskumu, pracuje na nových metódach a ich implementácii do softvéru GIS-u, čo mu umožňuje vytvoriť lepšiu digitálnu reprezentáciu krajiny a procesov v nej prebiehajúcich. Aby geoinformatik mohol vytvoriť a implementovať nové metódy, nevyhnutne potrebuje poznať spôsob fungovania krajiny a spôsoby zberu dát o krajine. Je nutné prepojenie na iný geopriestorový výskum, minimálne v rovine tímovej spolupráce pri tvorbe geoinformatických nástrojov, kde budú zastúpení aj odborníci z iných vied zaberajúcimi sa geopriestorovými problémami. V tejto fáze vzniká formulácia problému, návrh základnej štruktúry jeho algoritmickeho riešenia. Samotná softvérová implementácia je z veľkej časti doména informatikov, avšak ani tu nie je možné vynechať účasť odborníkov riešiacich priestorové problémy krajiny. Vzniknutý softvérový nástroj je nutné testovať, verifikovať na konkrétnych vzorkách reálnych dát, ktoré potvrdia jeho správnu funkčnosť. Geoinformatik v procese vzniku geoinformatických softvérových nástrojov zohráva kľúčovú úlohu, pretože premoštuje poznatky viacerých vedných disciplín, pozná ich metódy a terminológiu a riadi celý proces vývoja. V širšom ponímaní je kompetentnou osobou aj v oblasti navrhovania a riadenia informačných systémov s geografickou zložkou, keďže používanie GIS-u ako súčasti širších informačných systémov má svoje špecifiká vzhľadom na jeho hardvérové, dátové a personálne nároky.

V aplikačnej rovine sa GIS chápe ako nástroj na riešenie geopriestorových problémov. Toto chápanie GIS-u prevažuje u väčšiny vedných disciplín, ktoré ho používajú ako súčasť svojej nástrojovej a technologickej výbavy. Avšak aj tu môže byť geoinformatik veľmi nápomocný svojou znalosťou GIS-u. Jeho dokonalé poznanie implementovaných metód, problémov neurčitosti a kvality dát mu umožňuje nielen správne použiť nástroje GIS-u, ale výsledky aj správne interpretovať. Týmito otázkami správnej aplikácie geoinformatických nástrojov v praxi by sa, podľa nášho názoru, mala zaoberať aplikovaná geoinformatika.

1.3 Výskumné ciele geoinformatiky

Výskumné ciele geoinformatiky sa v priebehu desaťročí menili v súlade s technologickým vývojom a stavom poznania. Za pomerne kľúčové je možné považovať obdobie 80-tych rokov 20. storočia, keď došlo k významnému technologickému pokroku, nástupu unixových pracovných staníc a osobných počítačov, ktoré výrazne znížili obstarávacie náklady na GIS. S tým súvisel aj nástup softvéru určeného pre tento hardvérový segment. Goodchild (2008) identifikoval viacero nosných výskumných priorít riešených v tomto období: priestorové analýzy a priestorová štatistika, priestorové vzťahy a databázové štruktúry, umelá inteligencia a expertné systémy, vizualizácia, spoločenské, ekonomické a inštitucionálne otázky súvisiace s používaním GIS-u v praxi. V deväťdesiatych rokoch bol vývoj významne ovplyvnený najmä nástupom internetu, webu,

technológie GPS a mobilných technológií (Fotheringham a Wilson 2008). Výraznejšie sa prejavila aj širšia účasť ďalších disciplín na rozvoji geoinformatiky, najmä kognitívnej vedy, informatiky a štatistiky (Goodchild, 2008). Objavujú sa tu aj nové témy, ako je zahrnutie tretej priestorovej dimenzie a času do reprezentácie krajiny, distribuované výpočty, interoperabilita, problémy reprezentácie v rôznych mierkach, tvorba infraštruktúry pre priestorové informácie, otázky spojené s neurčitou a kvalitou dát, vplyv GIS-u na spoločnosť (Kemp 2008), (Goodchild 2010).

Aj v ďalšom období tieto otázky rezonujú v geoinformatickom výskume, ten sa však stáva ešte komplexnejší, nejde tu len o technické otázky riešenia spracovania geografických dát, ale aj širšie otázky týkajúce sa významu a interakcie zložiek GIS-u (napr. osoby pracujúce s GIS-om a ich schopnosť pochopiť priestorové vzťahy v krajine). Pre správne použitie GIS-u v praxi je práve táto zložka kľúčová, používateľ GIS-u je schopný plne využiť jeho funkcie len vtedy, ak správne pochopí spôsob fungovania krajiny, väzby medzi jej zložkami. To aj poukazuje na neustály význam geografie pre rozvoj geoinformatiky.

Za kľúčový moment v súčasnom období považujeme masifikáciu niektorých nástrojov a produktov geoinformatiky, predovšetkým na báze internetu a mobilných technológií (Hofierka 2012b). Produkty ako Google Maps, Google Earth a lokalizačné služby na báze GPS technológie a mobilných telefónov prinášajú širokej verejnosti k dispozícii geografické dáta o zemskom povrchu jednoduchým a atraktívnym spôsobom. Ich vizualizačné výstupy sa dokonca stávajú súčasťou prezentácie mediálnych správ (napríklad v televízii). To pochopiteľne vytvára vhodné spoločenské prostredie a dobré predpoklady pre ďalší rozvoj disciplíny.

Masovejšie rozšírenie GIS technológie a otvorených riešení (napr. koncept Wiki) umožní aj aktívnejšiu účasť občanov na zhromažďovaní relevantných geografických dát, napr. vo forme tzv. kolaboratívneho mapovania (Hofierka 2012b). Ďalšie výskumné ciele budú zamerané na lepšiu reprezentáciu priestorovosti a dynamiky krajiny (3-D a 4-D reprezentácia krajiny) s novými možnosťami pre tvorbu priestorových a temporálnych analýz a modelovania. Bude sa tiež klásť väčší dôraz na edukáciu geoinformatiky na základných a stredných školách, aby bol lepšie pochopený princíp fungovania masovo používaných geopriestorových technológií.

1.4 Vzťah geoinformatiky a geografie

Ako uvádza Hofierka (2012a), vo vzťahu geografie a geoinformatiky je možné do istej miery nájsť historickú paralelu vo vzťahu geografie a kartografie, ako ho uvádza Mičian (1995) alebo Pravda a Feranec (1998). Produkt kartografie, mapa, sa považovala za základný spôsob vyjadrenia javov a vzťahov v krajinnej sfére. Na druhej strane, obsah mnohých tematických máp bol napĺňaný najmä výsledkami geografického výskumu.

Geoinformatika, a jej produkt GIS, v mnohom prebrala úlohu kartografie, v súčasnosti je aj zrejme geoinformatizácia kartografie, mapy sa de facto vytvárajú najmä v GIS-e. Zásadný rozdiel vo vzťahoch kartografie a geoinformatiky voči geografii je v tom, že geoinformatika neponúka len digitálnu mapu, ale ponúka aj sofistikované metódy na realizáciu geografického výskumu. To stavia

geoinformatiku do veľmi výhodnej pozície, pretože poskytuje širokú metodickú a informačnú výbavu pre realizáciu geografického výskumu. GIS neobsahuje len geografické metódy, ale aj metódy z iných disciplín, čo značne rozširuje možnosti geografa pri analýze krajiny a jej javov. Na druhej strane geoinformatika a jej GIS, vďaka svojej interdisciplinarite a širokej palete aplikácií v praxi, ponúka geografii nové impulzy rozvoja a priestor na realizáciu výsledkov výskumu v praxi, čo vytvára geografii a geografom lepšie možnosti uplatnenia sa. Táto možnosť implementácie geografických metód v GIS-e však vyžaduje nutnosť ich matematickej formulácie, čo kladie nové nároky na exaktnejšie prístupy vo vlastnom bádani geografie.

Z historického pohľadu je vzťah geografie a geoinformatiky veľmi tesný už od vzniku GIS-ov. Prvé GIS-y a ich aplikácie vznikali práve na geografických pracoviskách, predovšetkým na amerických univerzitách a podobná situácia bola aj na Slovensku. Problematika GIS-ov sa u nás intenzívne rozvíjala v súlade s celosvetovým dianím predovšetkým pod gesciou prof. Krcha, čo sa neskôr prejavilo aj inštitucionálne vznikom Katedry kartografie, geoinformatiky a DPZ na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského v Bratislave. Geoinformatika sa aj v medzinárodnom kontexte stále rozvíja predovšetkým na geografických katedrách, na ktorých pôsobia najvýznamnejšie svetové osobnosti geoinformatiky, napr. prof. Michael F. Goodchild na University of California, Santa Barbara, prof. John P. Wilson na University of South California alebo prof. Paul. A. Longley na University College London. Zároveň je však nutné poznamenať, že sa rozširuje záujem informatiky o túto problematiku, ktorá naberá na celosvetovom význame, najmä zásluhou internetových technológií. V roku 2008 Association for Computing Machinery (ACM) zriadila špeciálnu záujmovú skupinu SIGSPATIAL, ktorá sa zaoberá získavaním a spracovaním priestorových informácií so zameraním na algoritmy, geometrické a vizualizačné aspekty. Zahŕňa aj problematiku GIS-ov, avšak záber tejto skupiny je širší. Skupina každoročne organizuje medzinárodnú konferenciu ACM SIGSPATIAL GIS, ktorá oslovuje predovšetkým informatikov pracujúcich na vývoji algoritmov a nástrojov pre GIS.

Je teda zrejmé, že záujem o geoinformatiku bude pretrvávať nielen z hľadiska aplikácií, ale aj zo strany iných vedných disciplín, pretože všetky vedné disciplíny pracujúce s geografickou informáciou považujú GIS za veľmi atraktívny nástroj pri riešení vlastných problémov. Aj z tohto dôvodu je potrebné, aby sa aj na Slovensku udržal veľmi blízky vzťah geoinformatiky a geografie nielen v teoretickej rovine, ale aj v inštitucionálnej a personálnej podobe, ako to je aj v mnohých iných krajinách.

Geoinformatika sa postupne stáva plnohodnotnou vedou s vlastným objektom výskumu ako aj metodologickým aparátom, avšak proces jej vymedzenia voči iným disciplinám stále nie je úplne ukončený. Má značne interdisciplinárny charakter s vysokou mierou prieniku záujmu s inými vednými disciplínami.

Predmetom záujmu geoinformatiky je spracovanie geografických dát tak, aby sme lepšie poznali stav a fungovanie krajinnej sféry, a z tohto aspektu ju môžeme chápať aj ako jednu z geografických vedných disciplín. Jej rozvoj je však významne ovplyvnený aj prudkým technologickým pokrokom, ako aj podnetmi prichádzajúcich z ďalších vedných disciplín, ako napr.

geológia, ekológia, biológia. Je preto pravdepodobné, že proces vymedzovania a osamostatňovania sa geoinformatiky bude pokračovať analogickým spôsobom, ako to bolo v minulosti v prípade kartografie.

1.5 Technologické aspekty GIS-u

Technologický vývoj geografických informačných systémov bola od svojho počiatku úzko spojený so všeobecným vývojom v oblasti informačných technológií. Preto bol GIS najprv viazaný najmä na oblasť sálových počítačov, neskôr pracovných staníc a osobných počítačov. Súčasný prudký rozvoj nových metód zberu geografických dát, vznik nových internetových a mobilných technológií významným spôsobom ovplyvňuje aj nástroje na spracovanie a komunikáciu geografických informácií, čo sa prejavuje aj v nových formách komunikácie geografických informácií prostredníctvom GIS-u (Longley et al. 1999, 2011), (Mitášová a Hofierka 2003), (Hofierka 2012b). Napríklad po príchode internetu táto sieťová technológia otvorila svet GIS-ov a geografických informácií aj pre používateľov, ktorí nemajú k dispozícii svoj vlastný softvér GIS-u. Mnohí prevádzkovatelia GIS-ov v tomto období už mali spracované rozsiahle priestorové databázy a internet im preto umožňuje časť týchto dát prezentovať na internete. Nejde však len o pasívne, statické obrázky a mapy, ale vďaka architektúre klient-server vznikajú interaktívne aplikácie nazývané WebGIS-om alebo mapovým portálom, ktoré umožňujú používateľom pracovať s geografickou informáciou interaktívne (Wilson a Fotheringham 2008), (Hofierka 2012b). Používateľ si môže vyberať, aký typ dát bude zobrazovať, môže určiť rozsah územia a mierku, vykonávať jednoduché dopytovanie na dáta alebo priestorové analýzy. Používateľ okrem vlastného webového prehliadača ani nepotrebuje ďalší samostatný aplikačný softvér.

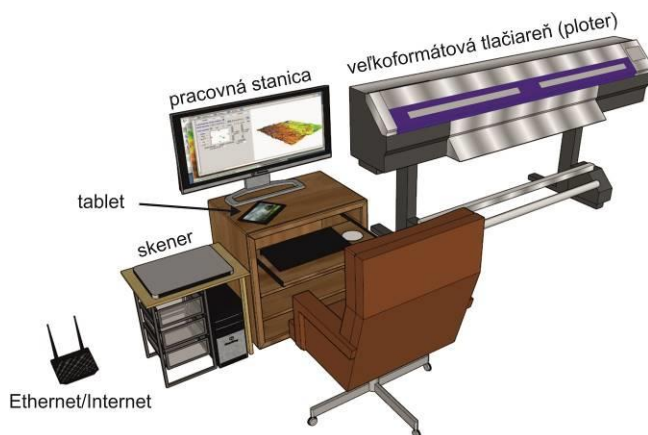
Hostiteľská architektúra (host-based systems)

V začiatkoch rozvoja počítačov prevažovali veľké sálové počítače, kde centrálny počítač zabezpečoval kompletnú kontrolu nad výpočtovými procesmi a dátami. Na prácu so systémom používatelia využívali najmä terminály, zvyčajne len s úlohou komunikačného kanála voči centrálnej jednotke. Pomerne zložitý bol proces riadenia používateľov a pridelovania výpočtového výkonu tak, aby to negatívne neovplyvnilo celý systém.

Samostatná architektúra (stand-alone systems)

Samostatná architektúra bola spojená s príchodom unixových pracovných staníc, neskôr tiež osobných počítačov na báze operačných systému DOS a MS Windows. Pracovné stanice postavené na variantoch operačného systému Unix priniesli mnohé inovácie vo vývoji GIS softvéru, masové nasadenie GIS-u však priniesli až osobné počítače, ktoré znížili náklady na obstaranie GIS-u pre mnohé organizácie. Zároveň sa však zvýšili nároky na správu GIS databáz spôsobené touto architektúrou. Táto architektúra zvyčajne znamenala, že GIS sa prevádzkoval na niektorom oddelení organizácie relatívne nezávisle od iných činností, čo však aj komplikovalo hlbšie prepojenie a využívanie inými časťami informačného systému organizácie. Príklad možného hardvérového riešenia je uvedený na Obr. 1.4. Táto konfigurácia obsahuje pracovnú stanicu, plotter, skener, tablet

alebo digitizér a pripojenie na lokálnu počítačovú sieť (LAN) a internet. Počítač môže obsahovať napr. operačný systém MS Windows a GIS softvér ArcGIS. Obsluhu môže tvoriť 1 človek a softvér môže pracovať s ľubovoľnými geografickými dátami.



Obr. 1.4: Príklad samostatnej architektúry GIS-u.

Distribúovaná architektúra

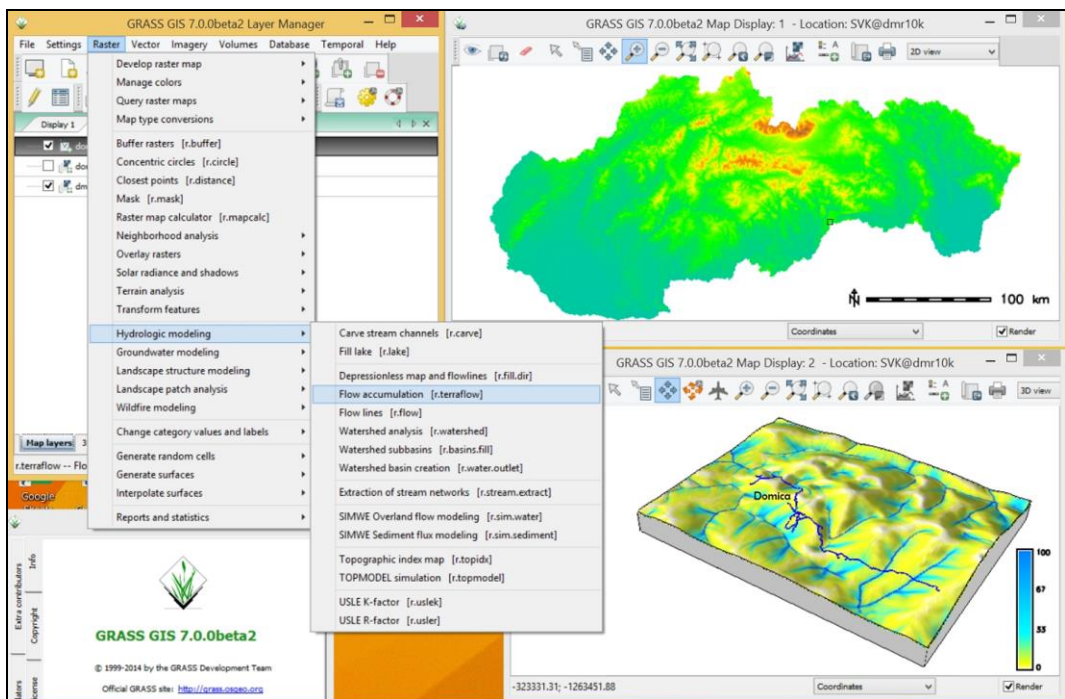
Rozvoj počítačových sietí typu LAN a WAN najmä v 90. rokoch 20. storočia priniesli nové možnosti v rozvoji GIS technológie. Zaviedol sa pojem distribuované počítanie (distributed computing), ktoré znamená, že prostredníctvom siete sa výpočtové úlohy a dáta rozdeľujú medzi rôzne hardvérové zložky v sieti. Tento model dominuje aj v súčasnosti, osobitne s rozvojom internetu. Prevažuje architektúra klient-server, pri ktorej používatelia pracujú na klientskych systémoch (počítačoch) pričom GIS funguje na serveri alebo viacerých serveroch v sieti. Server zabezpečuje prístup k dátam a spracovanie dát. V závislosti od miery spracovania dát serverom a klientom môžeme hovoriť o hrubých a tenkých klientoch. Hrubý klient vykonáva viac operácií na klientskom počítači, často vyžaduje aj dodatočný aplikačný softvér napr. vo forme plug-inu.

V súčasnosti sa pre pojem distribuované počítanie používa aj pojem cloud computing. Znamená možnosť využívať výpočtové možnosti viacerých počítačov v sieti bez toho, aby sme vedeli, kde presne v sieti sa tieto počítače nachádzajú. Dostupný výpočtový výkon je možné priebežne meniť podľa nárokov používateľov, čo zvyšuje flexibilitu a finančnú dostupnosť takejto služby. Príslušný softvér beží na vzdialenom serveri a používatelia môžu tieto aplikácie používať pomocou webového priehliadača alebo jednoduchej aplikácie. Softvér a dáta sú uložené na serveri. Príkladom cloudových služieb pre kancelárske účely sú Office 365 od firmy Microsoft, aplikácie od firmy Google (Disc, Calendar, Documents, a pod.) alebo Dropbox.

Jednou z bariér rozvoja GIS-u bol nedostatok geopriestorových dát. Osobitne v Európe a na Slovensku bola bežná situácia, že geopriestorové dáta, ktoré vznikli na pôde verejných inštitúcií z peňazí občanov boli verejnosti nedostupné alebo sa poskytovali len za vysoký poplatok. Vyššia

dostupnosť dát v USA výrazne pomohla rozvoju geopriestorových aplikácií v mnohých sektoroch ich ekonomiky. Lepšej dostupnosti geopriestorových dát napomohli aj špeciálne webové mapové služby ako sú WMS, WCS, WFS, ktoré postupne definovala organizácia Open Geospatial Consortium od roku 2000. Tie umožňujú GIS softvéru priamo získavať dáta zo serveru pomocou špeciálnej internetovej adresy bez toho, aby bolo nutné dáta priamo inštalovať na lokálnom počítači.

V oblasti softvéru sa situácia prispôbovala hardvéru, kde vývoj býva rýchlejší. GIS softvér bol pomerne nákladnou súčasťou celého systému a osobitne na Slovensku jeho cena pôsobila ako určitá bariéra rozvoja. S nástupom slobodného softvéru s otvoreným zdrojovým kódom (free, open-source) však táto bariéra postupne padá, pretože obstarávacie náklady v tomto prípade sú nízke. Napríklad GRASS GIS je softvér voľne dostupný na internete vrátane jeho zdrojového kódu (Obr. 1.5). Naopak, čoraz viac na význame nabera obsluha, t.j. personálne zabezpečenie celého systému. V súčasnosti sa tiež čoraz viac presadzuje škálovateľnosť softvérových riešení, od veľkých serverov pre veľké organizácie až po malé, špecializované GIS aplikácie pre mobilné zariadenia. V strednom segmente pre desktopové počítače je bežná modularita softvéru, používateľ si môže kúpiť len tie moduly softvéru, ktoré potrebuje (napr. rôzne moduly pre ArcGIS od firmy ESRI).



Obr. 1.5: Používateľské rozhranie slobodného softvéru s otvoreným kódom GRASS GIS.

2. Digitálna reprezentácia krajiny

Ako sme už uviedli, predmetom výskumu geoinformatiky sú geografické informácie, t.j. priestorové informácie o krajine. Krajinu tvoria rôzne objekty a javy. V geoinformatike sa vytvorili dva základné konceptuálne modely reprezentujúce tieto objekty a javy – *diskrétne objekty* a *spojité polia*. Diskrétne objekty majú presne definované hranice a sú spočítateľné. Medzi takéto objekty patria dopravné komunikácie, hranice administratívnych jednotiek, sídla, obyvatelia. Spojité, fyzikálne polia predstavujú priestor krajiny, v ktorom sa spojite menia hodnoty určitých fyzikálnych veličín charakterizujúce skúmané objekty alebo javy. Najmä v prírodnej časti krajiny je výskyt spojitých fyzikálnych polí bežný. Typickým príkladom je gravitačné pole Zeme. Prejav určitého zloženia krajiny ako spojitých fyzikálnych polí a tiež výskyt javov s priestorovou závislosťou úzko súvisí s Toblerovým prvým zákonom geografie: „Všetko spolu súvisí, ale objekty, ktoré sú k sebe bližšie spolu súvisia viac, ako objekty od seba viac vzdialené“ (Tobler, 1970). V štatistickej terminológii môžeme tiež povedať, že niektoré javy vykazujú priestorovú autokoreláciu. Spôsob nazerania na objekty a javy pomocou konceptuálnych modelov krajiny do značnej miery predurčuje aj ďalšie spôsoby priestorovej analýzy v GIS-e.

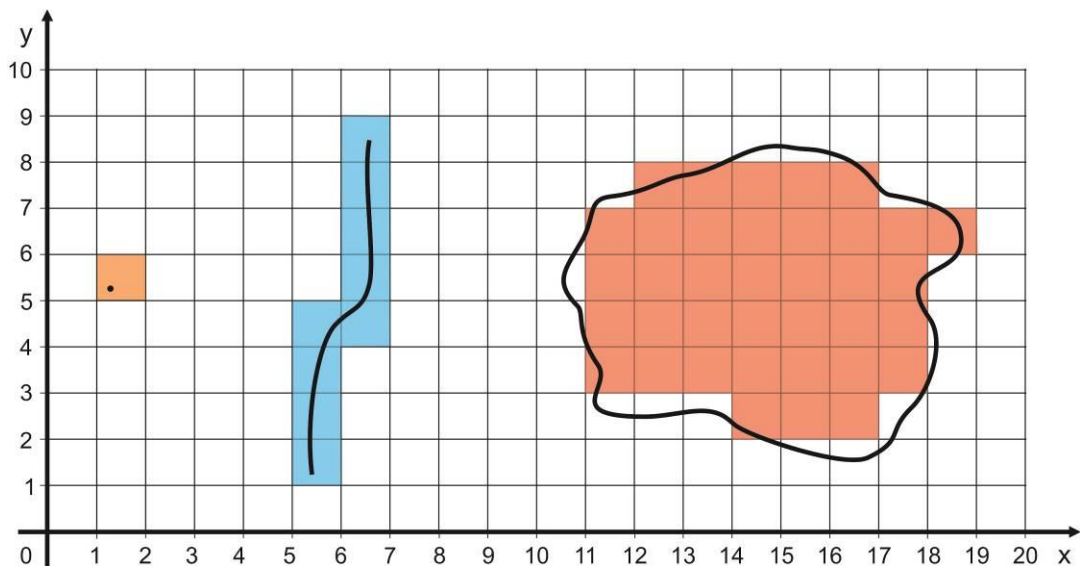
V rámci fyzikálnych polí vyskytujúcich sa v krajine rozlišujeme skalárne, vektorové a tenzorové polia. Skalárne polia obsahujú fyzikálne veličiny úplne určené jedným údajom vyjadrujúcim ich veľkosť (napr. teplota, hustota, pH). Vektorové polia obsahujú fyzikálne veličiny určené dvoma údajmi. Jeden údaj sa vzťahuje na veľkosť a druhý určuje smer (napr. tlak, rýchlosť, zrýchlenie). Tenzory sú určené viac ako dvoma údajmi. Pomocou tenzorov sa vyjadrujú vlastnosti deformovaných prostredí, anizotropné vlastnosti látok a podobne. Napríklad sa využívajú pri skúmaní napätia a deformácií horninového prostredia a v definíciách krivostí povrchov a priestoru (Hofierka, 1997, 2003). V krajine sa fyzikálne polia môžu vyskytovať ako dvojrozmerné (napr. georeliéf), kde poloha bodu s konkrétnou hodnotou sledovanej veličiny je vyjadrená dvoma nezávislými premennými, trojrozmerné (obsahujú tri nezávislé premenné priestoru) alebo až štvorrozmerné (štvrtou nezávislou premennou je čas).

2.1 Dátové modely

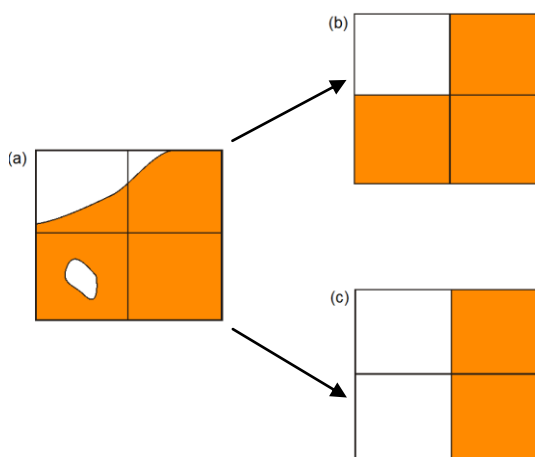
Tieto konceptuálne modely krajiny však nie je možné priamo vyjadriť v pamäti počítača. Počítač totiž pracuje s digitálnymi a diskretnými dátami. Z tohto dôvodu je potrebné využiť také modely digitálnej reprezentácie krajiny, ktoré umožnia nielen jej verné vizuálne vyjadrenie, ale aj matematické operácie a spracovanie v pamäti počítača. V súčasnosti sa presadili dva základné dátové modely - *rastrový* a *vektorový dátový model*. Tieto dátové modely reprezentujú objekty a javy krajiny v digitálnej podobe, v pamäti počítača. Pri výbere dátového modelu sa zvyčajne rozhodujeme aj na základe toho, či chceme reprezentovať spojité javy alebo diskretné objekty a aké operácie budeme s týmito dátami ďalej vykonávať.

Aj pri dátových modeloch je možné uvažovať o dvojrozsmernej (2D) alebo trojrozsmernej (3D) reprezentácii prvkov krajiny. Aj vzhľadom na kartografickú tradíciu papierových máp reprezentujúcich zakrivený povrch Zeme v rovine mapy a taktiež z hľadiska zjednodušenia sa v súčasných GIS-och stále používa najmä 2D reprezentácia. Krajina je však trojrozmerný a dynamický objekt, takže vhodná by bola 3D a aj 4D reprezentácia, v ktorej štvrtý rozmer predstavuje čas (Hofierka, 1993, 1997, 2003). Troj- a štvorrozmerné dátové modely sa bežne využívajú najmä v špecializovaných softvéroch na 3D vizualizáciu a modelovanie (napr. meteorologických a geologických javov). Existujú však aj GIS-y s implementovaným 3D dátovým modelom (napr. GRASS GIS, ArcGIS, MGE), ale len niektoré z nich majú aj dostatok nástrojov na komplexnejšie priestorové analýzy.

Rastrový dátový model (rastrová reprezentácia konceptuálnych modelov reality, raster, grid) predstavuje pravidelnú mozaiku, mriežku hodnôt, atribútov priestoru krajiny. Často sa používa na reprezentáciu prvkov krajiny vyjadrených pomocou fyzikálnych polí a spojitých matematických funkcií. Časté je aj použitie v digitálnych obrazoch z oblasti diaľkového prieskumu Zeme. Najčastejšie používaným rastrom je štvorcová alebo obdĺžniková mriežka, ale existuje aj hexagonálna a pravidelná trojuholníková mriežka. Základným, elementárnym prvkom rastra je *bunka*. V prípade digitálnych obrazov sa označuje pojmom *pixel* odvodeného z anglického slova picture element (obrazový element). V prípade 3D reprezentácie má bunka tvar kocky alebo kvádra. 3D ekvivalent pojmu pixel je *voxel* (volume element). Znáozornenie bodu, línie a plochy v rastrovom dátovom modeli je na Obr 2.1. Poloha bunky je v rastrovom dátovom modeli definovaná implicitne (nepriamo), a to jej poradím v riadku a stĺpci rastra. Známe sú absolútne súradnice jednej bunky rastra (napríklad v rohu rastra) a aj rozmery bunky. Pravidelný raster má rad výhod najmä z hľadiska spracovania v počítači - raster je vlastne matica hodnôt, v ktorej každú bunku reprezentuje jedno číslo. Bunka nesie jednoznačnú informáciu o reprezentovanom jave, takže ploche územia, ktorú bunka pokrýva je priradená len jedna hodnota. Z toho dôvodu je potrebné vybrať takú veľkosť bunky, ktorá by z priestorového hľadiska modelovaný jav dobre reprezentovala. Základným parametrom rastra je *rozlíšenie*, ktoré je určené *veľkosťou bunky*. Pri geografických štúdiách v rozsahu územia Slovenska sa rozlíšenie rastrových dát o krajine zvyčajne pohybuje v rozmedzí od 1 m do 500 m. Hengl (2006) uvádza niekoľko spôsobov ako určiť vhodnú veľkosť bunky rastra podľa typu zdrojových dát a riešenej úlohy. Rozlíšenie rastra je vhodné vybrať tak, aby daný jav bol dobre priestorovo reprezentovaný. To znamená, že rozlíšenie rastra musí dobre vystihnúť jav aj v miestach s jeho prudkými zmenami. Určitou nevýhodou tohto dátového modelu je redundancia (nadbytočnosť) dát na území s malými zmenami javu. Takisto v situáciách, keď daný jav len čiastočne zasahuje do bunky rastra, je dôležitý výber kritéria, či daný jav má alebo nemá byť reprezentovaný príslušnou hodnotou bunky v rastrí. Napríklad často sa používa pravidlo väčšinového podielu a pravidlo centrálného bodu (Obr. 2.2). Tieto pravidlá sa používajú aj pri konverzii dátových modelov.



Obr. 2.1: Znáozornenie bodu, línie a plochy v rastrovom dátovom modeli.



Obr. 2.2: Použitie pravidla (b) väčšinového podielu a (c) centrálného bodu. (Prevzaté z práce Longley et al., 2011)

V pamäti počítača je raster uložený ako matica hodnôt tvorená riadkami a stĺpcami tak, ako tieto tvoria riadky a stĺpce rastra. Pred touto maticou hodnôt je v súbore uložená tzv. hlavička súboru, ktorá obsahuje dáta o súradnicovom priradení, rozlíšení a podobne (Obr. 2.3). V rastri môžu byť zaznamenané rôzne typy hodnôt, napr. čísla (celé - dátový typ integer alebo reálne - dátový typ float/double). Pri digitálnej reprezentácii geografického javu pomocou rastra je potrebné definovať tieto parametre rastra aj s ohľadom na reprezentovaný jav a plánované GIS operácie. Napríklad z hľadiska úložiskovej kapacity a mapovej algebry je vhodnejšie krajinnú pokrývku reprezentovať pomocou číselných kódov (napr. 1,2,3,...) a nie pomocou textového reťazca (napr. “ihličnatý les”).

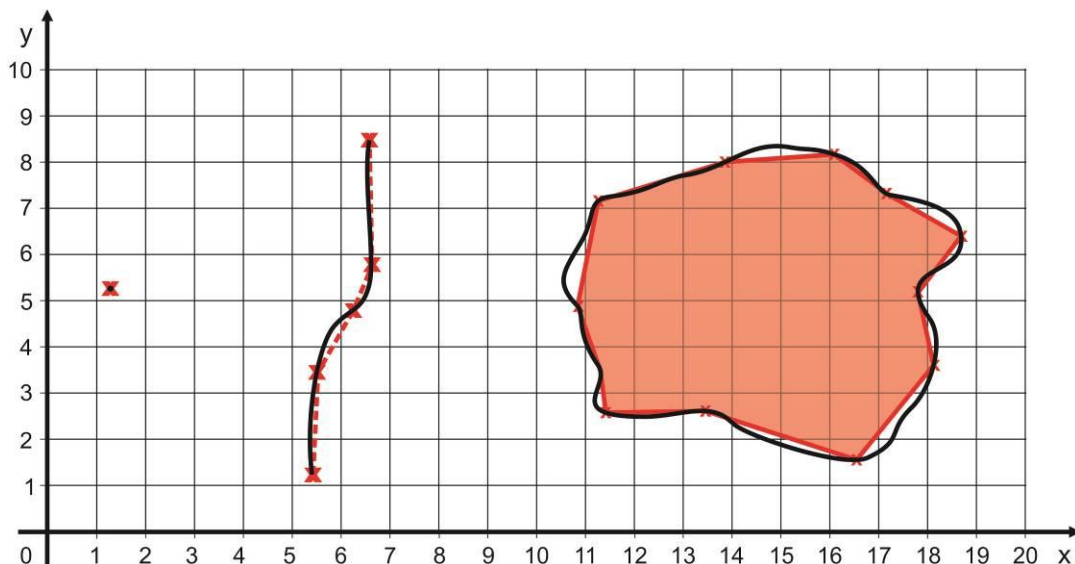
```

ncols      20
nrows      10
xllcorner  0
yllcorner  0
cellsize   1
NODATA_value -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 2 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 2 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 3 3 3 3 3 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 2 -9999 -9999 -9999 -9999 3 3 3 3 3 3 3 -9999
-9999 1 -9999 -9999 -9999 -9999 2 -9999 -9999 -9999 -9999 3 3 3 3 3 3 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 2 2 -9999 -9999 -9999 -9999 3 3 3 3 3 3 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 2 -9999 -9999 -9999 -9999 3 3 3 3 3 3 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 2 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 2 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 2 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999

```

Obr. 2.3: Zázpis matice hodnôt rastra zobrazovaného na Obr. 2.1 vo formáte ASCII grid.

Vektorový dátový model (vektorová reprezentácia konceptuálnych modelov reality) vychádza z polohovo explicitného vyjadrenia objektu v priestore. Objekt reality je reprezentovaný pomocou geometrických typov (prvkov) zložených z bodov, línií a plôch. Línie sa používajú pre cesty, vodné toky a podobne, kdežto plochy reprezentujú jazerá, typy pôdy, krajinného krytu, atď. Bodové objekty sú znázornené *bodmi*, línie sa skladajú z reťazca bodov-vrcholov spojených navzájom úsečkami. Plocha je reprezentovaná sériou bodov (vrcholov) navzájom spojenými úsečkami, pričom posledný bod série je totožný s prvým bodom. Plochy sa tiež nazývajú *polygónmi*. Vektorové dáta sú uložené v pamäti počítača pomocou súradníc bodov a často aj topologických väzieb. Pomocou topológie sa vyjadrujú priestorové súvislosti, väzby medzi jednotlivými geometrickými prvkami (napr. spoločná hranica polygónov a podobne). Geometrické vlastnosti objektov sú v topologickom zmysle reprezentované topologickými prvkami uzol, vrchol, hrana, reťazec, polygón. Spôsob reprezentácie bodového, líniového a plošného objektu je znázornený na Obr. 2.4. Kvantitatívne alebo kvalitatívne vlastnosti objektov sú vyjadrené atribútmi, t.j. číselnými hodnotami alebo textom. Pri vektorovom dátovom modeli je vyjadrenie priestorového rozlíšenia, resp. miery detailu reprezentácie krajiny zložitejšie, pretože sa zvyčajne mení od miesta k miestu. Možeme však hovoriť o mierke ekvivalentnej papierovej mape. Napríklad, obsah papierových máp býva často prevádzaný do digitálnej podoby, t.j. vektorizovaný. V porovnaní s rastrovým dátovým modelom nie je potrebná redundancia dát a z tohto hľadiska je to úsporný spôsob reprezentácie krajiny. Priestorové jednotky a miera detailu sa prispôsobuje priestorovej variabilite skúmaného javu.

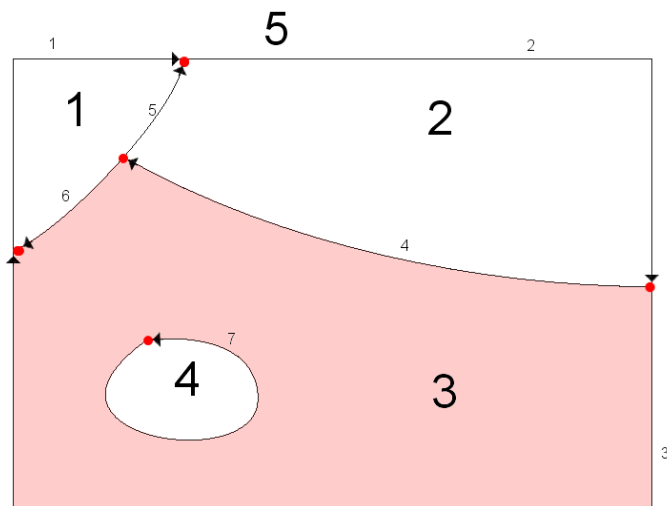


Obr. 2.4: Znárodnenie bodu, línie a plochy vo vektorovom dátovom modeli.

Existujú 3 základné vektorové dátové modely: špagetový, topologický a hierarchický (Tuček, 1998). Špagetový je najjednoduchší, je to jednoduché uloženie priestorovej informácie o každom objekte samostatne. Každý objekt je definovaný sadou priestorových súradníc, ale neobsahuje žiadne informácie o vzťahoch k susedným objektom. Pokiaľ chceme použiť tento model a mať presnú reprezentáciu objektov krajiny, je potrebné pomerne náročné ručné spracovanie dát. Inak môže obsahovať veľa nedostatkov, napríklad netotožné, či dvojité hranice medzi susednými polygónmi, nedotiahnuté, či naopak prekračujúce línie a podobne.

Pri topologickom a hierarchickom modeli sa analyzujú väzby, vzťahy medzi objektami a táto topologická informácia je uložená aj v databáze (Obr. 2.5). Vďaka topológii je možné ľahko určovať susedské vzťahy medzi geometrickými prvkami a objektami, analyzovať či jeden objekt obsahuje iný, vnorený objekt, nachádzať prieniky objektov a podobne. Vektorový dátový model s topologickými väzbami je všeobecne náročnejší na prípravu a spracovanie dát najmä v oblasti definovania topologických väzieb. Tie však pomáhajú identifikovať prípadné geometrické nepresnosti a aj ponúkajú väčšie možnosti v priestorových analýzach. Príkladom využitia topologickej informácie je sieťová analýza hľadania optimálnej trasy v rámci siete dopravných komunikácií, kde je dôležité mať informácie o prikázaných smeroch jazdy, resp. možnostiach odbočenia a slepých uliciach. Vďaka tomu je napríklad možné optimalizovať trasu doručovania zásielok, čo výrazne znižuje čas doručenia a náklady.

K vektorovým dátovým modelom môžeme zaradiť aj špeciálny vektorový dátový model v tvare nepravidelnej trojuholníkovej siete (angl. Triangulated Irregular Network – TIN), ktorý sa využíva v digitálnych modeloch reliéfu. Nepravidelná trojuholníková sieť je topologická štruktúra, ktorá obsahuje informácie o jednotlivých trojuholníkoch a ich susedoch.



Zoznam polygónov a línií

Číslo	Zoznam
1	1,5,6
2	2,4,5
3	3,4,6,7
4	7
5	

Zoznam súradníc bodov línií

Číslo línie	Súradnice bodov
1	(0,7), (0,10), (3,10)
2	(3,10), (13, 10), ...
3	...
4	...
5	...
6	...
7	...

Zoznam príľahlých polygónov

Číslo	Polygón	Polygón
1	5	1
2	5	2
3	5	3
4	3	2
5	1	2
6	3	1
7	3	4

Obr. 2.5: Topologické väzby pri vektorovom dátovom modeli.

Väčšina súčasných GIS-ov umožňuje pracovať s oboma dátovými modelmi a vykonávať medzi nimi konverzie. Rastrový dátový model je vhodnejší pre modelovanie spojitých, plynulo sa meniacich prírodných javov (napr. reliéf, atmosférické javy), kdežto vektorový dátový model je výhodný najmä pre diskrétny javy časté v humánnej geografii (napr. vyjadrenie plôch, hraníc, dopravných komunikácií). Rastrový dátový model je v počítačovom prostredí jednoduchší na spracovanie a mnoho zariadení pre zber a výstup dát používa raste (skenery, tlačiarne). Vektorový dátový model na druhej strane umožňuje lepšie vystihnúť priestorové, topologické vzťahy medzi jednotlivými prvkami modelovanej reality, čo je veľkou výhodou najmä pri topologických analýzach. Ďalšie výhody a nevýhody oboch dátových modelov sú uvedené v Tab. 2.1. Konverzia z vektorového dátového modelu do rastrového je z hľadiska polohovej presnosti zvyčajne menej problematická ako naopak.

Kritérium	Raster	Vektor
objem dát	závisí od rozlíšenia	závisí od hustoty bodov
zdroj dát	DPZ, skenery	humánnogeografické a environmentálne dáta
aplikácie	prevažne environmentálne	spoločenské, ekonomické, technické
rozlíšenie	pevné	premenlivé

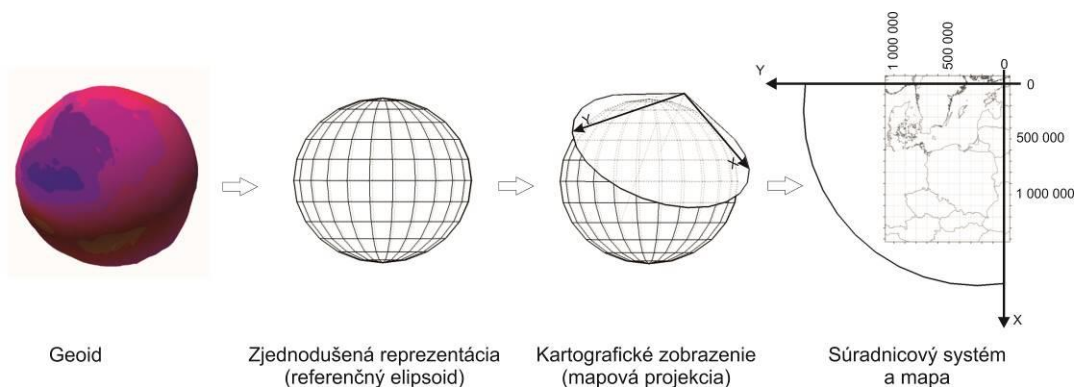
Tab. 2.1: Porovnanie rastrového a vektorového dátového modelu.

2.2 Neurčitost' a nepresnosť dát

V posledných rokoch sa v súvislosti s priestorovou reprezentáciou krajiny venuje zvýšená pozornosť problematike nepresnosti a neurčitosti geografických dát. *Nepresnosť* dát vyplýva z našej obmedzenej schopnosti presne odmerať polohu a vlastnosti priestorových objektov a je charakterizovaná chybou dát. *Neurčitost'* dát je spôsobená charakterom priestorového javu, spôsobom jeho reprezentácie, chybami v meraniach a metódach analýzy dát. Neurčitost' dát je aj odrazom nekompletnosti informácie, existencie meniacej sa koncentrácie atribútov v rámci objektu alebo použitia kvalitatívneho popisu hodnôt atribútov a vzťahov. Napríklad hranica medzi pôdnymi druhmi v skutočnosti býva len zriedka tak „ostrá“, ako je zakreslená na mape. Spracovanie dát zaťažených nepresnosťou a neurčitost'ou sa opiera predovšetkým o pravdepodobnostné metódy a metódy na báze fuzzy množín (Cebecauer, 2001). Základným princípom využitia fuzzy množín je stanovenie stupňa príslušnosti priestorového prvku ku každej z kategórií. Takto môže prvok súčasne patriť do viacerých kategórií. Čiastková príslušnosť prvku ku kategórii je následne zohľadňovaná aj pri analýzach dát (napr. logických operáciach). Medzi najčastejšie aplikačné oblasti využitia týchto prístupov patria určovanie vhodnosti územia pre ľudské aktivity a spracovanie pôdných dát.

3. Súradnicové systémy, georeferencovanie a transformácie geopriestorových dát

Základom pre prácu s geopriestorovými dátami v GIS-e je skutočnosť, že všetky dáta o krajine sú polohovo lokalizované, resp. je k nim priradený aj údaj o geografickej polohe. Skutočný povrch Zeme je veľmi zložitý, preto aj definovanie geografickej polohy je pomerne náročná úloha. Aby bolo možné určiť polohu krajinných objektov a javov, dochádza ku zjednodušeniu skutočného tvaru Zeme nahrádzaním rôznych telies a povrchov, ktoré je možné matematicky vyjadriť. Následne je možné pomocou projekcií zobrazit' zemský povrch do roviny a definovať súradnicové systémy, v ktorých sa poloha krajinných objektov a javov vyjadruje (Obr. 3.1). Problematika kartografických zobrazení a súradnicových systémov je podrobne rozpracovaná. V tejto kapitole sa chceme venovať základným pojmom a princípom, ktoré sú pre prácu s geopriestorovými informáciami v GIS-e nevyhnutné.

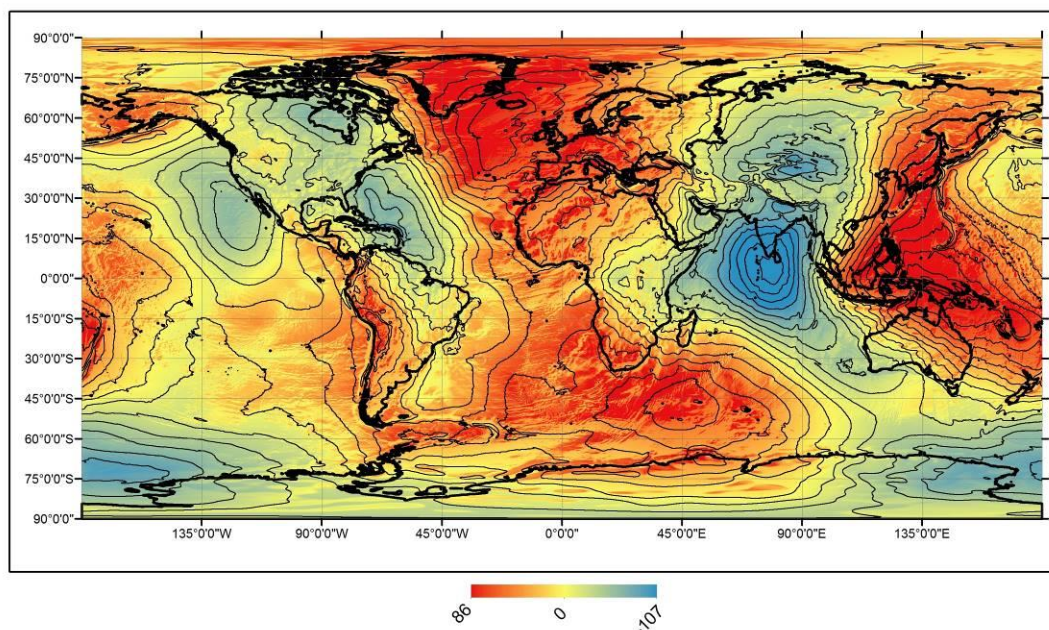


Obr. 3.1: Schéma priebehu zobrazovania objektov na zemskom povrchu do mapy (na príklade Křovákovho zobrazenia so súradnicovým systémom S-JTSK).

Skúmanie skutočného tvaru Zeme má veľký význam pre vyjadrenie polohy a tvorbu máp, resp. záznamu polohy pomocou geografických súradníc. Prvé pokusy o vyjadrenie skutočného tvaru Zeme siahajú do dôb antiky, kde na základe rôznych pozorovaní viacerí učenici dospeli k záveru, že Zem má guľovitý tvar (napr. loď strácajúca sa na obzore, zatmenie Mesiaca a pod.). Avšak až v období renesancie sa tvar Zeme začal skúmať podrobnejšie pomocou rôznych vedeckých metód. Veľmi dôležitým poznatkom, ktorý na základe fyzikálnych meraní zistil Isac Newton bolo, že Zem nemá tvar pravidelnej gule, ale je na póloch sploštená. Podrobnejším skúmaním a meraniami sa postupom času vytvárala predstava o skutočnom tvare Zeme a komplikovanosti jeho povrchu, čo významne sťažovalo úlohu kartografie zobrazovať objekty a javy nachádzajúce sa na zemskom povrchu na mape tak, aby v mape (obrazu skutočného sveta) ostali dôležité informácie, resp. aby ich bolo možné odvodiť, napr. topológia objektov (kto je sused s kým?), vzdialenosti medzi objektami, meranie uhlov alebo rozlohy územia a pod. (kartometria – meranie na mapách).

Základným východiskom pre tvorbu máp je vyjadrenie povrchu, resp. telesa reprezentujúceho skutočný tvar Zeme. Samotný povrch Zeme, ktorý vznikol pôsobením endogénnych a exogénnych procesov, je veľmi zložitý. Z tohto dôvodu bolo nevyhnutné definovať zjednodušenú plochu, ktorú je možné matematicky definovať. Geoid zaviedol v roku 1873 J. B. Listing, ktorý vychádzal z toho, že Zemské teleso vytvára nad svojim povrchom gravitačné pole, v ktorom pôsobí Newtonov zákon. Berúc do úvahy aj odstredivú tiaž vplyvom rotácie Zeme, je možné určiť tiažové pole Zeme a identifikovať hladinové plochy, ktoré sú v každom bode kolmé na smer zemskej tiaže. Ak by bola Zem ideálne tekutá a jej hladina by bola ovplyvnená iba tiažovým poľom Zeme, tak by Zem vytvárala ideálny povrch. *Geoid* by sme mohli definovať ako ekvipotenciálnu plochu (plocha s konštantným tiažovým potenciálom na svojom povrchu, $W_0 = \text{konšt.}$), ktorá sa najviac primýka strednej kľudovej hladine mora a zároveň prechádza daným výškovým bodom. Nakoľko Zem je tvorená heterogénnym materiálom s rôznym zložením a hustotou, výpočet geoidu nie je možný, nakoľko nepoznáme rozloženia hmoty a jej hustoty pod zemským povrchom. Geoid je ideálnou plochou, pre ktorú je možné vzťahovať výšky. Avšak problém vyjadrenia geoidu a teda aj vyjadrenia nadmorskej výšky je omnoho zložitejší, preto dochádza k jeho regularizácii (harmonizácii). Pre vyjadrenie geoidu sa v súčasnosti používa jeho sférická harmonická reprezentácia vypočítaná z radu koeficientov označovaných ako EGM 2008 (Earth Gravity Model 2008, Obr. 3.2).

Geoid sa využíva hlavne v geodézii, pričom jeho úloha spočíva predovšetkým v tom, že je základom pre vyjadrenie zjednodušenej reprezentácie zemského povrchu (referenčné teleso) a vyjadrenie nadmorskej výšky.

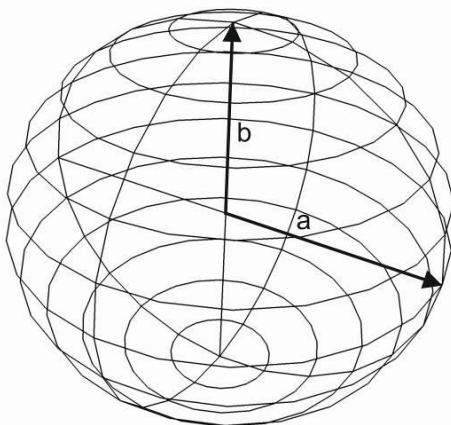


Obr. 3.2: Výška geoidu EGM 2008 nad referenčným elipsoidom WGS 84 vyjadrená v metroch (interval izolínii 10 m).

V roku 1945 predstavil ruský geodet Molodenskij novú koncepciu riešenia tvaru Zeme. Vychádzal z teórie určovania výšok na základe povrchových nivelačných a tiažových meraní bez použitia hypotéz a rozložení hustoty hmoty medzi geoidom a zemským povrchom. S tým súviselo zavedenie pojmu kvázigeoid. Ide o analytickú plochu veľmi podobnú geoidu (rozdiel výšok je približne 2 m v závislosti od lokality), ktorej presnosť je limitovaná presnosťou merania, pričom v oblastiach morí a oceánov splýva s geoidom.

Geoid sa ďalej nahrádza inými referenčnými plochami, ktoré vystihujú jeho tvar a používajú sa na premietanie objektov. Všetky plochy využiteľné na zobrazovanie povrchu Zeme sú konštruované v závislosti od tvaru, polohy a veľkosti územia, ako aj od účelu mapy, pričom sú vyjadrené matematickými funkciami. V kartografii sa používajú tri *referenčné* geometrické plochy. Ide o rotačný elipsoid, guľu a rovinu.

Rotačný elipsoid zvolený pre určitý geodetický systém sa označuje taktiež ako *referenčný elipsoid*. Referenčné elipsoidy sú definované na základe astronomických a geodetických meraní zemského telesa. V minulosti sa parametre jednotlivých elipsoidov určovali pomocou tzv. terestriálnych meraní. Z rôzne rozsiahlych a rôzne presných meraní boli určené parametre viacerých zemských elipsoidov. Plochu geoidu by najlepšie vystihoval trojosí elipsoid, avšak kvôli zložitej geometrii sa v praxi používajú zásadne dvojosé (rotačné) elipsoidy. Dvojosí elipsoid (Obr. 3.3) vzniká otáčaním elipsy okolo malej (vedľajšej) osi (os totožná s osou zemskej rotácie) a veľkej (hlavnej) osi (os leží v rovine rovníka).



Obr. 3.3: Schéma rotačného elipsoidu.

Každý dvojosí rotačný elipsoid je charakterizovaný polosami (a,b), ako aj excentricitou (e), ktorú vyjadrujeme pomocou funkcie

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

a sploštením (i) vyjadrené funkciou

$$i = \frac{a - b}{a}.$$

Normálny (hladinový) *elipsoid* môžeme definovať ako rotačný elipsoid, ktorý je vytvorený na základe určenia vonkajšieho tiažového poľa Zeme (t.j. tiažového poľa na a nad zemským povrchom). Normálnemu elipsoidu sa okrem geometrických parametrov (veľkosť poloosí a sploštenie) udávajú aj fyzikálne parametre Zeme (hmotnosť Zeme, uhlová rýchlosť rotácie Zeme, tiažové zrýchlenie, geocentrický gravitačná konštanta a ďalšie fyzikálne parametre). Normálne tiažové pole normálneho tvaru Zeme sa potom určuje na základe gravitačných a rotačných účinkov. Za *stredný zemský elipsoid* sa označuje taký elipsoid, ktorého parametre najlepšie zodpovedajú reálnej Zemi. Takýchto elipsoidov bolo určených viacero, napr. Besselov elipsoid, Krasovského a mnohé ďalšie.

Ďalším dôležitým parametrom je určenie tzv. *referenčného bodu elipsoidu*. Je to miesto na zemskom povrchu, ktorým je vedená ťažnica na geoid a ktorá je zároveň totožná s normálou referenčného telesa pri definovaných parametroch elipsoidu (rozмеры polosí a orientácia). Napríklad pre územie Ruska je použitý Krasovského elipsoid s referenčným bodom elipsoidu prechádzajúcim hviezdárňou v Pulkove, pre Nemecko je použitý Besselov elipsoid s referenčným bodom elipsoidu prechádzajúcim Helmer Hurn a pod. V anglickej literatúre sa špecifikácie referenčného elipsoidu pre určité územia a jeho presná orientácia označuje pojmom datum.

V geodetickej a kartografickej praxi sa na Slovensku používa niekoľko elipsoidov (Tab. 3.1). Pre civilné mapy v Křovákovi zobrazení sa používa Besselov elipsoid, ktorý bol odvodený podľa F.W.Bessela v roku 1841. Bessel odvodil parametre elipsoidu na základe desiatich stupňových meraní, pričom sa používa ako referenčná plocha topografických máp vo viacerých krajinách prevažne strednej Európy, okrem Slovenska a Česka aj napr. v Nemecku, Rakúsku, Švajčiarsku, Holandsku. Pre vojenské mapy sa po 2. svetovej vo všetkých štátoch bývalej Varšavskej zmluvy (teda aj Československa) využíval pre Gaussovo-Krügerovo zobrazenie Krasovského elipsoid. Krasovský odvodil jeho parametre na základe rozsiahlych astronomických, geodetických a gravimetrických meraní na území Ruska. Po vstupe Slovenska do Severoatlantickej aliancie sa v súvislosti so zavedením zobrazenia UTM (Universal Transverse Mercator) začal využívať Hayfordov elipsoid. Uvedené elipsoidy nemajú svoj stred totožný s ťažiskom Zeme, pretože boli skonštruované na základe meraní častí zemského povrchu (pre vybrané územia, napr. Severná Amerika, Stredná Európa, bývalé ZSSR a pod.) a boli navrhnuté tak, aby čo najlepšie vystihovali priebeh geoidu v týchto územiach. V minulosti sa využíval aj stredný zemský elipsoid GRS 1980, z ktorého vychádza terestrický súradnicový systém ETRS 89, od roku 1991 nahradený WGS 84. Najnovší referenčný elipsoid je WGS 84, ktorý bol odvodený z družicových meraní, má globálny charakter a jeho stred je totožný s hmotnostným stredom Zeme. Jeho povrch sa primyká k povrchu geoidu s odchýlkou 60 m. WGS 84 je platformou pre najpresnejšiu geometrickú reprezentáciu tvaru zemského telesa a presné určovanie polohy pomocou globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS).

Názov elipsoidu	Rok	Hlavná polos (a) vyjadrená v metroch	Vedľajšia polos (b) vyjadrená v metroch	Sploštenie (i)	Územie
Besselov	1841	6 377 397,2	6 356 079,0	1/299,15	Stredná Európa
Hayfordov	1909	6 378 388	6 356 912	1/297	Severná Amerika
Krasovského	1940	6 378 245	6 356 863	1/298,3	Bývalé ZSSR a bývalý východný blok (Východná a Stredná Európa)
WGS 84	1984	6 378 137	6 356 752,3	1/298,25	celý svet

Tab 3.1: Parametre vybraných referenčných elipsoidov.

Nakoľko má zemský elipsoid malé sploštenie, v určitých prípadoch sa môže nahradiť referenčnou guľou. Pri náhrade referenčných elipsoidov referenčnou guľou dochádza k podstatnému zjednodušeniu výpočtov, preto sa využívajú pre niektoré typy úloh, ako aj časti územia.

Referenčnú guľu ako referenčnú plochu používame hlavne v niekoľkých prípadoch:

- ak ide o územie, ktorého tvar má polomer približne 200 km. Spravidla ide o územia, kde sa neprejavuje dĺžkové a plošné skreslenie,
- v prípade kartografických úloh, ktoré nekladú vysoké nároky na presnosť (napríklad mapy malých mierok 1:1 000 000). V prípade takýchto úloh je možné referenčnú guľu určiť na základe viacerých kritérií, napr. objem gule je rovnaký ako objem elipsoidu; povrch gule je rovnaký ako povrch elipsoidu; polomer gule je aritmetickým priemerom veľkosti polosí; rovnaké dĺžky poludníkového kvadrantu a pod.

Referenčná guľa bola použitá taktiež aj pre bývalé Československo pri Křovákovom zobrazení, ktoré sa používa pre civilné účely, napr. pre kataster nehnuteľností, topografické (základné) mapy a mnohé ďalšie.

Referenčná rovina sa používa na zobrazenie územia s malým plošným rozsahom (max. do 700 km²), kde zakrivenie Zeme je zanedbateľné.

Poloha objektov nachádzajúcich sa na zemskom povrchu sa vyjadruje na základe kartografických zobrazení, ktoré sa v GIS-e označujú ako mapové projekcie. Jednotlivé mapové projekcie (kartografické zobrazenia) sa od seba odlišujú spôsobom premietania objektov. Existuje niekoľko typov kartografických zobrazení, ktoré sa klasifikujú na základe rôznych kritérií. Napr. podľa druhu zobrazovacej plochy na pravé (azimutálne, cylindrické, kónické), nepravé a neklasifikované (napr. polykónické, polyedrické); podľa polohy osi zobrazovacej plochy na normálne, transverzálne, šikmé; podľa polohy stredu premietania na perspektívne (gnomické, stereografické, externé, ortografické) a neperspektívne (obraz vzniká na základe definovaných podmienok, ktoré sú určené matematickými vzťahmi); podľa umiestnenia zobrazovacej plochy voči

referenčnej ploche na dotykové, sečné, odľahlé; podľa vlastnosti skreslenia na konformné, ekvidištantné, ekvivalentné, vyrovnávacie (Vajsáblová et al., 2013).

Pre mapové projekcie sú následne definované súradnicové systémy. Ide o číselné hodnoty (vyjadrené v určitých jednotkách napr. v stupňoch, metroch), na základe ktorých je určená poloha objektov. Pri definovaní súradnicového systému je potrebné okrem samotného zobrazenia definovať aj vlastnosti súradnicového systému (počiatočné body, orientáciu súradnicových osí). Číselné vyjadrenie polohy objektov v GIS-e sa vyjadruje prostredníctvom súradníc, ktoré sa označuje anglickým výrazom *coordinates*. Hlásny (2007) klasifikoval súradnicové systémy podľa špecifikácií Open GIS nasledovne:

- 2-D elipsoidický systém – jeden z najbežnejšie využívaných typov systémov, založený na koncepte elipsoidu (väčšinou geocentrického). 2-D vyjadruje skutočnosť, že slúži predovšetkým na určovanie horizontálnej polohy. Príkladom môže byť geografický súradnicový systém vyjadrujúci polohu bodov prostredníctvom geografickej šírky a dĺžky.
- 3-D karteziánsky systém – pre ktorý sú všetky polohy určované v rámci osí x , y a z . Ak začiatok súradnicového systému je zároveň stredom referenčného elipsoidu alebo referenčnej guli (bod 0;0;0), ide o geocentrický súradnicový systém. Poznáme aj topocentrický karteziánsky súradnicový systém, ktorý má svoj stred umiestnený na definovanom bode nachádzajúcom sa na povrchu uvažovaného referenčného telesa.
- Polárny (sférický) systém – kde stred súradnicového systému je umiestnený geocentricky alebo topocentricky, ale polohy sú vyjadrené formou polárnych súradníc (pomocou osí a sústredných kružníc). Polárne systémy sa používajú najmä pre azimutálne a kónické zobrazovacie plochy, kde začiatok súradnicového systému je umiestnený napr. do vrcholu kužeľa.
- Projekčný systém – ktorý je vyjadrený rovinnými (kartografickými) súradnicami. Je to typ karteziánskeho systému, v ktorom je začiatok súradnicového systému umiestnený topocentricky v uvažovanom bode (spravidla po rozvinutí zobrazovacej plochy do roviny) a je uvažovaná len horizontálna poloha. Poloha bodov sa potom vyjadruje napr. pomocou súradníc x a y a je vyjadrená v určitých jednotkách (napr. v metroch). Príkladom môže byť súradnicový systém S-JTSK.

Vertikálny (výškový) systém by sme mohli zdefinovať ako jednorozmerný systém skalárnych hodnôt výšok. Pre určovanie výšok je dôležité stanovenie nulovej referenčnej plochy. Rozoznávame niekoľko druhov výšok:

- *pravé ortometrické výšky* – pre ktoré je vzťažnou plochou hladinová plocha geoidu, ktorá prechádza nulovým výškovým bodom. Pravú ortometrickú výšku definuje dĺžka ťažnice medzi bodom na zemskom povrchu a geoidom.
- *normálne ortometrické výšky* - ktoré sa merajú od hladinového (normálneho) elipsoidu. Normálne ortometrické výšky sa používali napr. v Rakúsko-Uhorsku od roku 1873, neskôr aj v Československu do roku 1957 vo výškovom systéme ČSJS – J (Jadran). Nulovým výškovým bodom bola stredná hladina Jadranského mora meraná na značke Molo Sartorio pri meste Terst v Taliansku.

- *normálne (Molodenského) výšky* - sú definované vzdialenosťou medzi bodom na zemskom povrchu a bodom na kvázigeoide. Vzdialenosť sa určuje v smere siločiar normálneho tiažového poľa Zeme. Príkladom je Baltský výškový systém po vyrovnaní (Bpv), ktorý sa používal v Československu a teraz aj na Slovensku od roku 1983. V Bpv sa stredná hodnota morského vodočtu (nulový výškový bod) vzťahuje na hladinu Baltské mora pri Ruskom meste Kronštadt (na ostrove Kotlin, pri Sankt Peterburgu), ktoré sú korigované súborom normálnych výšok z medzinárodného vyrovnania nivelačných sietí.
- *elipsoidické výšky (geodetické)* - sú definované ako vzdialenosti medzi referenčným elipsoidom a bodom na zemskom povrchu v smere normály ku elipsoidu. V súčasnosti sa používajú pre vyjadrenie výšky použitím referenčného elipsoidu WGS84, čo súvisí najmä s určovaním polohy pomocou globálnych navigačných satelitných systémov.

Pre vyjadrenie nadmorských výšok v národných projekciách sa používajú v rôznych krajinách rôzne výškové systémy (nulové výškové body) odvodené od dlhodobých meraní výšok rôznych hladín morí (Jadranské, Baltské, Severné a pod.).

3.1 Súradnicové systémy používané na Slovensku

Zvyčajne každý štát má aspoň jeden geodetický súradnicový systém, pričom sa v priebehu času môže zmeniť. Pre územie Slovenska sa používa viacero súradnicových systémov a kartografických zobrazení. V každom štáte sa vyberá také kartografické zobrazenie a súradnicový systém, ktoré najlepšie vyhovuje jeho praktickým podmienkam a potrebám. Jedným z najpoužívanejších kartografických zobrazení na Slovensku je *Křovákovo zobrazenie*, ktoré navrhol v roku 1922 Ing. Josef Křovák pre územie Československa. Křovákovo zobrazenie je dvojité konformné kónické zobrazenie vo všeobecnej polohe, pomocou ktorého sa body polohového bodového poľa zobrazia do roviny s príslušným pravouhlým súradnicovým systémom. V Křovákovom zobrazení sa Besselov elipsoid konformne zobrazí na zmenšenú tzv. Gaussovu guľu, ktorá sa dotýka elipsoidu v jednom bode základnej rovnobežky ($\varphi_0 = 49^\circ 30'$). Následne sa Gaussova guľa konformne zobrazí na šikmo položenú kužeľovú plochu. Kužeľ bol navrhnutý tak, aby pretínal plášť gule v dvoch rovnobežných čiarach. Plášť kužeľa sa potom dotýka zmenšenej Gaussovej gule (polomere $r' = 0,9999 r$, kde $r = 6\,380\,703,6105$ m). Umiestnením kužeľa do takto navrhnutej polohy a zmenšením polomeru gule sa dosiahli nižšie hodnoty plošného a dĺžkového skreslenia (od $-0,10$ m do $+0,14$ m na jeden kilometer dĺžky). Pre geodetické výpočty, určovanie bodov a pre meranie v teréne bolo následne nevyhnutné vybudovať sústavu jednoznačne navzájom určených a orientovaných bodov v spoločnom súradnicovom systéme. Tento systém sa nazýva Systém jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej (S-JTSK). Body S-JTSK tvoria stabilizované polohové bodové pole so stanovenou presnosťou. Ich súradnice sa určili na základe výpočtov zohľadňujúc zakrivený tvar Zeme a kartografické zobrazenie. Je potrebné mať na pamäti, že S-JTSK bol vybudovaný v prvej polovici 20. stor., kde rozmer sietí bol odvodzovaný z dĺžok geodetických základní, ktoré boli merané invarovanými drôťmi. Výsledkom pomerne rýchleho vybudovania siete a limitov v presnosti merania a určovania polohy boli isté nedostatky (napr. orientácia siete, dĺžkové odchýlky, nižšia presnosť prevzatých astronomických súradníc a azimutov z iných sietí, a pod.). Prvé problémy

začali vznikať s nástupom presnejších zariadení umožňujúcimi meranie dĺžky svetelnými diaľkomermi. Tieto problémy sa rozšírili pri konfrontácii presných družicových meraní s S-JTSK. Pre zachovanie homogenity bodového poľa S-JTSK bolo nutné deformovať presné dĺžkové a družicové meranie. Prvá verzia korigovanej S-JTSK bola vypracovaná na základe siete S-42/83, ktorá v tej dobe mala kvalitnejšie základné polohové body v Československu. Následne došlo k viacerým korekciám S-JTSK použitím družicových systémov. Keďže v tomto zobrazení os x smeruje na juh a os y na západ, v GIS-e sa zvyčajne používa toto zobrazenie so zápornými a vymenenými osami súradníc x a y .

Na Slovensku sa najmä vo vojenských mapách v minulosti využívalo *Gaussovo-Krügerovo zobrazenie*. Základom pre tento projekčný systém je Krasovského elipsoid a valec v transversálnej polohe s dotykovou osou pozdĺž stredného (základného) poludníka. Základný poludník je bez dĺžkového skreslenia, pričom ostatné poludníky sa zobrazujú po rozvinutí valca do roviny ako symetrické krivky voči základnému poludníku a ich dĺžkové skreslenie sa zväčšuje so vzdialenosťou od základného poludníka. Pri Gaussovo-Krügerovom zobrazení sú zvolené 3° až 6° pásy územia. Pre zobrazenie celého elipsoidu pri 6° pásoch je potrebných 60 polôh valca. Územia Slovenska sa dotýkajú pásy so základným poludníkom 15° a 21° reprezentujúce 33. a 34. poludníkový pás. V rokoch 1955 až 1970 sa používali 3° poludníkové pásy pre potreby technicko-hospodárskeho mapovania. Pre každý poludníkový pás je definovaný vlastný súradnicový systém, kde os X tvorí obraz základného poludníka a os Y obraz rovníka. Takto definované súradnice sa používajú len na prepočet súradníc medzi jednotlivými pásmi a na určenie rohov mapových listov. V ostatných prípadoch sa používajú upravené súradnice, pričom zmena súradníc pre os Y je vyjadrená vzťahom

$$Y=K+y,$$

kde konštanta $K=500 \text{ km}+(n \cdot 10^3)$, n vyjadruje číslo poludníkového pásu a y je počiatkový bod základného poludníka.

Súradnice osi X sa nemenia. Týmto posunom začiatku súradnicového systému bolo docielené to, že všetky súradnice nad rovníkom majú kladné hodnoty. S využívaním tejto projekcie pre viaceré geodetické a kartografické úlohy úzko súviselo aj budovanie základnej astronomicko-geodetickej siete v roku 1931. Do roku 1938 bola budovaná spolu s S-JTSK. V tejto súvislosti bolo vykonaných mnoho astronomických aj geodetických uhlových meraní, čím vznikla sieť bodov. Tá sa v roku 1955 vyrovnala spolu so sieťami susedných štátov (ktoré patrili do východného bloku a bývalej RVHP). Zároveň sa napojila aj na sieť bývalého ZSSR, ktorá bola vyrovnaná v roku 1942 odvodenú na Krasovského elipsoide s referenčným bodom v Pulkove. Od nej sa odvodzuje názov Súradnicový systém 1942 (S-42).

V súvislosti s rozdelením bývalého Československa a vstupom samostatnej Slovenskej republiky do Európskej Únie bola potreba definovania nového kartografického zobrazenia, ktoré by najlepšie vyhovovalo potrebám Slovenskej republiky, ako aj súčasným technológiám GNSS. Vajsáblová (2014) navrhla pre územia Slovenska *Lambertovo konformné kuželové zobrazenie* s

dvomi neskreslenými rovnobežkami v normálnej polohe. Maximálne dĺžkové skreslenie dosahuje $\pm 6,7$ cm/km. Predpokladá sa, že toto zobrazenie (prípadne jeho modifikácia) by mohlo nahradiť doterajšie, aj v základnom digitálnom štátnom mapovom diele.

V súvislosti s hospodárskou integráciou štátov Európy je v súčasnosti používaný *Európsky referenčný systém ETRS 89*. Systém je budovaný ako geocentrický, rovníkový, terestrický s konvenciou Greenwichskej orientácie. ETRS 89 je definovaný 36 európskymi ITRS (International Terrestrial Reference System) stanicami. Počiatok systému je v ťažisku Zeme (vrátane hmoty zeme, oceánov a atmosféry). V roku 1991 bolo rozhodnuté, že pôvodný elipsoid GRS 80 bude nahradený elipsoidom WGS 89 (nakoľko parametre GRS 80 boli veľmi podobné až totožné s parametrami elipsoidu WGS 89). ETRS je navrhnutý ako stabilizovaný referenčný systém pre Európu. Územie Európy sa spolu s Euroázijskou geotektonickou platňou neustále pohybuje. Tento pohyb dosahuje v niektorých miestach až 25 mm za rok. Aby sa eliminoval globálny tektonický pohyb, bol vytvorený systém bodov, ku ktorým sa vzťahuje poloha. Týmto spôsobom bolo dosiahnuté, že body rotujú spolu so stabilizovanou časťou Európy, pričom rozdiely v rámci Euroázijskej geotektonickej platne majú milimetrový rozsah.

Pre globálne dáta pokrývajúce celú Zem sa pomerne často používa *geografický súradnicový systém* (s geografickými súradnicami φ, λ), ktorý jednoznačne určuje polohu každého bodu na Zemi. Tento systém obsahuje sústavu čiar – poludníkov (meridiánov) a rovnobežiek (paralel). Hodnoty zemepisnej šírky a dĺžky sú vyjadrené buď v decimálnej sústave (napr. $19,255^\circ$) alebo v šesťdesiatkovej sústave (napr. $19^\circ 15' 30''$). Ďalšie často používané súradnicové systémy sú *Universal Transverse Mercator* (UTM), čo je konformné, valcové Mercatorovo zobrazenie, ktoré rozdeľuje glóbus na 60 poludníkových zón so šírkou 6° . Každá zóna sa ďalej člení na osemstupňové šírkové pásy. UTM sa používa s rôznymi elipsoidmi podľa potrieb jednotlivých krajín. V mnohých krajinách sa používa Mercatorovo valcové zobrazenie v priečnej polohe označovanej ako *Transverse Mercator*, ktoré sa v GIS-och používa aj pri definícii nášho súradnicového systému S-42. Rozdiel medzi UTM a Transverse Mercator je v tom, že v UTM sa centrálny meridián škáluje faktorom 0,9996.

3.2 Transformácie súradnicových systémov

Pri práci s geografickými dátami z rôznych zdrojov sa používateľ GIS-u často stretáva s problémom, že dáta sú dostupné v rôznych súradnicových systémoch. V prípade, že tieto dáta sa majú navzájom kombinovať, porovnávať, resp. používať v ďalších analýzach, tak je potrebné ich zobrazovať v jednom súradnicovom systéme. Z tohto dôvodu je potrebné si stanoviť jednotný súradnicový systém a transformovať dáta z iných súradnicových systémov do zvoleného súradnicového systému. Táto operácia sa dá vykonať dvoma spôsobmi. V prípade, že oba súradnicové systémy sú v GIS-e explicitne definované, je možné vykonať *analytickú transformáciu* kartézskych súradníc x_1, y_1 pomocou zemepisných súradníc φ, λ na príslušnom elipsoide do cieľového súradnicového systému so súradnicami x_2, y_2 (Neteler a Mitasova, 2004):

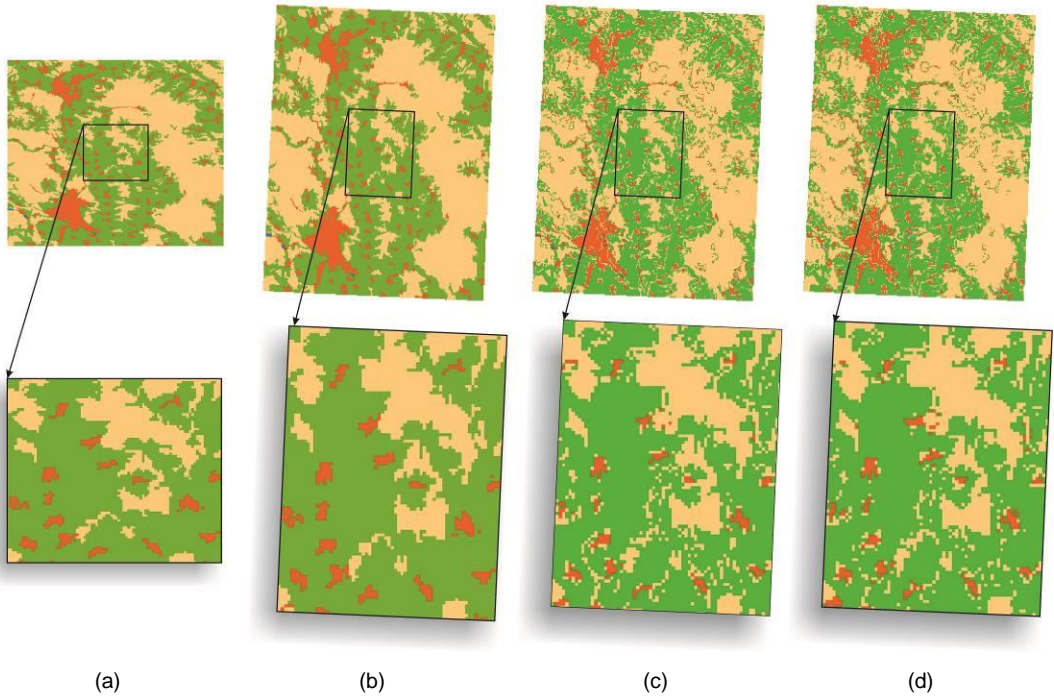
$$x_1, y_1 \rightarrow \varphi, \lambda \rightarrow x_2, y_2$$

V prípade rozdielnych elipsoidov (referenčných telies) k tomu pristupuje navyše aj transformácia zemepisných súradníc $\varphi_1, \lambda_1 \rightarrow \varphi_2, \lambda_2$:

$$x_1, y_1 \rightarrow \varphi_1, \lambda_1 \rightarrow \varphi_2, \lambda_2 \rightarrow x_2, y_2$$

Priama transformácia súradníc medzi rovinnými pravouhlými súradnicovými systémami sa vykonáva pomocou *numerických transformácií*. Numerické transformácie nevyžadujú znalosť zobrazovacích rovníc dotknutých súradnicových systémov, ale sú založené na poznaní presnej polohy určitého počtu vybraných, tzv. *referenčných bodov* v oboch súradnicových systémoch. Najčastejšie sa používa lineárna transformácia a polynomická transformácia. *Lineárna transformácia* (nazývaná tiež Helmertova) je vhodná pre transformáciu vzájomne posunutých a pootočených súradnicových systémov. Transformácia sa vykonáva pomocou transformačných rovníc, ktorých koeficienty sa odvodzujú z dvojíc referenčných bodov. *Polynomická transformácia* môže byť *n*-tého rádu, avšak zvyčajne sa používa transformácia 1. rádu (afinná). Polynomicke transformácie 2. a 3. rádu sa používajú len zriedka, a to najmä v prípade, že deformácie dát spôsobené transformáciou majú komplikovanejší charakter. V prípade afinnej transformácie je minimálny počet dvojíc referenčných bodov 3, ale odporúča sa použiť vyšší počet bodov, ktoré zmenšia polohovú chybu transformácie. Pri výbere bodov je potrebné vyberať objekty dobre identifikovateľné na oboch mapách, resp. dátových zdrojoch tak, aby optimálne pokryli celé územie. Pri polynomických transformáciach je potrebné mať nielen vyšší počet referenčných bodov, ale aj ich umiestnenie musí pokryť aj okrajové časti územia. Pri veľkých územiach môže dôjsť k veľkým polohovým deformáciám a preto je potrebné výsledky numerickej transformácie vždy dôkladne skontrolovať.

Pri transformácii rastrov dochádza ku problémom vtáhujuúcich sa na geometrický aspekt transformácie polohy bunky, ako aj problém stanovenia hodnoty (atribútu) v bunke pre transformovaný dátový súbor. Tento problém sa objavuje aj pri zmene rozlíšenia rastra. Existuje viacero metód výpočtu hodnoty v transformovanej bunke. Najčastejšie sa používa *metóda najbližšieho suseda*, *bilinéarna interpolácia* a *kubická konvolúcia* (Tuček, 1998). Na Obr. 3.4 je uvedený príklad transformácie rastra s kvalitatívnymi dátami (kategóriami) z Lambertovho azimutálneho ekvivalentného zobrazenia do Křovákovho zobrazenia.



Obr. 3.4: Porovnanie transformácie (a) pôvodného rastru pomocou (b) metódy najbližšieho suseda, (c) bilineárnou interpoláciou a (d) kubickou konvolúciou.

Výber vhodnej metódy závisí najmä od povahy a účelu spracovávaných dát. Metóda najbližšieho suseda sa používa najmä pre kvalitatívne dáta (kategórie). Nemenia sa pri nej výstupné hodnoty, len sa môžu posunúť. Polohový posun by nemal prekročiť $\frac{1}{2}$ veľkosti bunky rastra. Výstupnej bunke sa priradí atribúťová hodnota bunky v pôvodnom rastru, ktorej stred je najbližšie. Pri bilineárnej interpolácii sa identifikujú štyri bunky pôvodného rastra, ktoré sú najbližšie k stredu novej bunky a priradí sa jej hodnota, ktorá je váženým priemerom ich hodnôt podľa ich vzdialenosti. Táto metóda je vhodná najmä pre spojité hodnoty (napr. povrchy). Určitou nevýhodou metódy je vyhladzovanie hrán a extrémnych hodnôt. Kubická konvolúcia je analogická bilineárnej interpolácii, ale priradenou hodnotou je vážený priemer podľa vzdialenosti zo 16 najbližších hodnôt pôvodného rastra. Na Obr. 3.4c a 3.4d je vidieť, že metódy bilineárnej interpolácie a kubickej konvolúcie nie sú vhodné pre transformáciu kvalitatívnych dát. Opačná situácia by nastala pri transformácii rastrových vrstiev reprezentujúcich spojité javy ako napr. digitálny model reliéfu. Pri výbere metódy treba preto zväžiť charakter transformovaných dát, prípadne vzájomne porovnať výsledky.

4. Zber a príprava geopriestorových dát

GIS obsahuje zvyčajne množstvo geografických dát získaných rôznymi metódami (Tab. 4.1). V tejto súvislosti môžeme hovoriť o primárnych a sekundárnych GIS dátach. *Primárne GIS dáta* boli získané meraním (mapovaním) či už priamo v teréne alebo metódami diaľkového prieskumu Zeme (DPZ). *Sekundárne GIS dáta* boli odvodené z existujúcich (primárnych) podkladov (napr. z existujúcich máp alebo leteckých ortofotosnímkov). Geografické dáta existujú buď v analógovej alebo digitálnej podobe. *Analógové dáta* existujú na nejakom fyzikálnom médiu (napr. papierová mapa, fotografický film, textový zoznam súradníc a atribútov) a pre ich použitie v počítačovom prostredí GIS-u sa musí najprv vykonať *digitalizácia*, t.j. konverzia z analógovej do digitálnej formy. *Digitálne dáta* sa získavajú priamou digitalizáciou signálu, teda najmä odrazeného elektromagnetického žiarenia od objektov na Zemi metódami diaľkového prieskumu Zeme (kapitola 8). Pokiaľ sú dáta v digitálnej podobe, rozlišujeme vektorové a rastrové dáta. V rámci GIS projektu častokrát vznikne požiadavka konverziu z jedného dátového modelu do druhého. Taktiež je zvyčajne potrebné zabezpečiť transformáciu digitálnych dát do požadovaného kartografického súradnicového systému.

Zber a príprava dát je zvyčajne časovo a finančne najnáročnejšou časťou GIS projektu (15-50% nákladov, ale môže to byť až 85%). Vhodnosť konkrétnej formy dát alebo metódy ich zberu pre určitý projekt závisí od účelu použitia týchto dát, od dostupných finančných prostriedkov a od času pre realizáciu GIS úlohy v rámci projektu. Napríklad pre analýzu vekovej štruktúry obyvateľstva na celonárodnej úrovni postačujú informácie o obyvateľstve za jednotlivé obce. Lokalizácia služieb určených pre deti predškolského veku alebo pre seniorov vo veľkom meste vyžaduje informáciu na úrovni domov. Táto kapitola sa sústreďuje na hlavné metódy získavania geografických dát, ktoré je však iba jednou z etáp zberu a prípravy dát pre GIS projekt.

Rozdelenie	Metódy zberu rastrových dát	Metódy zberu vektorových dát
primárne	multispektrálne skenovanie	elektronická tachymetria
	letecká fotogrametria	globálne navigačné satelitné systémy (GNSS)
	radar	banské meračstvo
	sonar	laserové skenovanie
sekundárne	rasterizácia analógových podkladov (skenovanie máp, fotografií)	priama vektorizácia analógových podkladov na digitizéri
	odvodenie rastrových digitálnych modelov reliéfu z vektorových dát	vektorizácia rastrových podkladov (napr. skenovaných máp)

Tab. 4.1: Rozdelenie GIS dát podľa spôsobu vzniku.

Celý proces od získania a prípravy dát po ich použitie v GIS-e zahŕňa niekoľko etáp. *Plánovanie* je na začiatku každého projektu a súvisí so stanovením potrieb cieľovej skupiny (napr. zákazníka), zhromaždenie potrebného hardvéru, softvéru a personálu ako aj definovanie plánu projektu. Potom nasleduje *príprava* podkladov, získanie potrebných povolení pre zber dát, digitalizácia analógových podkladov. Vlastné *získanie dát* nasleduje až v tretej etape, kedy sa realizuje zameranie objektov záujmu v krajine (mapovanie) a záznam potrebných atribútov o objektoch. S tým nevyhnutne súvisí súradnicové priradenie geodát alebo ich kartografické transformácie, tak aby výsledné dáta boli dodané v požadovanom kartografickom systéme. Môže sa realizovať pred zberom dát (napr. oskenovaná mapa sa pred vektorizáciou v počítači súradnicovo priradí - georeferencuje), počas zberu (napr. GPS zaznamenáva súradnice v systéme WGS 1984), alebo po zbere (napr. súradnice WGS 1984 sa transformujú do systému JTSK). Štvrtou etapou procesu zber geodát je ich *editovanie, kontrola a opravy*. Zahŕňa stanovenie chyby merania, chyby atribútov, topologické chyby. Taktiež sa k získaným geodátam zaznamenávajú *metadáta*, ktoré sú informáciou o metóde ich zberu, autorských a legislatívnych vzťahoch, kartografickom systéme a pod. Napokon v poslednej, piatej fáze dochádza k *vyhodnoteniu* GIS projektu za účelom stanovenia potrebných doplnkových úloh. Uvedené etapy sú častokrát *iteratívne* a v priebehu riešenia GIS projektu sa zopakujú.

4.1 Zber primárnych dát pozemným meraním a diaľkovým prieskumom Zeme

Zdrojom primárnych GIS dát sú priame merania objektov. Primárne dáta sú získavané buď v rastrovom alebo vektorovom formáte. Zber rastrových dát je doménou diaľkového prieskumu Zeme (DPZ) najmä pomocou fotogrametrie a multispektrálneho skenovania. Z hľadiska získavania dát pre GIS sú v súčasnosti najvýznamnejšími zdrojmi letecké snímky, technológia LIDAR a RADAR a satelitné dáta. Metódami DPZ možno získavať aj vektorové dáta a to predovšetkým fotogrametricky alebo laserovým skenovaním. Nasledujúce podkapitoly sa venujú zberu primárnych vektorových dát priamym pozemným meraním pomocou tachymetrie a globálnych satelitných navigačných systémov (GNSS) ako je napríklad GPS (Global Positioning System). Podstatou zberu vektorových geodát je záznam o polohe a geometrii objektov explicitne v podobe karteziánskych alebo polárnych súradníc. O zbere GIS dát pomocou DPZ sa zmienime len stručne, nakoľko ide o širšiu problematiku a podrobnejšie sa jej venuje kapitola 8.

Elektronická tachymetria

Tachymetrické meranie patrí medzi najstaršie geodetické metódy používané od staroveku. Je založené na princípe určovania polohy bodu pomocou merania uhlov a vzdialeností z bodov so známou polohou. Pôvodne využívané teodolity, nivelačné prístroje a meracie pásma sú v súčasnosti nahradené elektrooptickými zariadeniami - tzv. totálnymi stanicami, ktoré umožňujú merať uhly aj vzdialenosti s presnosťou až 1 mm. Totálna stanica v sebe integruje laserový diaľkomer, optický teodolit a počítačovú jednotku, v ktorej sa vykonáva spracovanie meraných geometrických veličín do požadovanej podoby súradníc, uhlov, vzdialeností a pod. Meranie vykonávajú zvyčajne dve osoby, jedna obsluhuje merací prístroj a druhá sa pohybuje v teréne s odrazným terčom, ktorý sa umiestňuje na merané miesto alebo objekt. Existujú však aj tzv. jednomužné stanice (Obr. 4.1)

vybavené automatickým sledovaním terča, ktoré dokáže na diaľku plne obsluhovať iba jedna osoba. Diaľkové ovládanie umiestnené na tyči so zrkadlovým hranolom (terčom) umožňuje jednej obsluhujúcej osobe ovládanie stanice, ktorá automaticky sleduje hranol. Namerané dáta sa priamo prenášajú do laboratórneho počítača, prípadne priamo do GIS prostredia na ďalšie spracovanie až do formy mapy. Pre zákryty je zvyčajne nutné stanicu premiestniť na niekoľko stanovísk a presuny merača medzi meranými bodmi taktiež vyžadujú čas. Z toho dôvodu je tachymetrické merania pomalé a pomerne drahé, preto je vhodné pre mapovanie menších oblastí alebo menší počet objektov. Na druhej strane umožňuje získať veľmi presné dáta. Z hľadiska zberu dát pre GIS sa geodetické merania využívajú najmä na domeranie, resp. na získavanie dát v oblastiach neprístupných pre GNSS a leteckú fotogrametriu (napr. v lese alebo v zastavaných oblastiach).



Obr. 4.1: Totálna stanica TPS 1200+ od firmy Leica Geosystems.

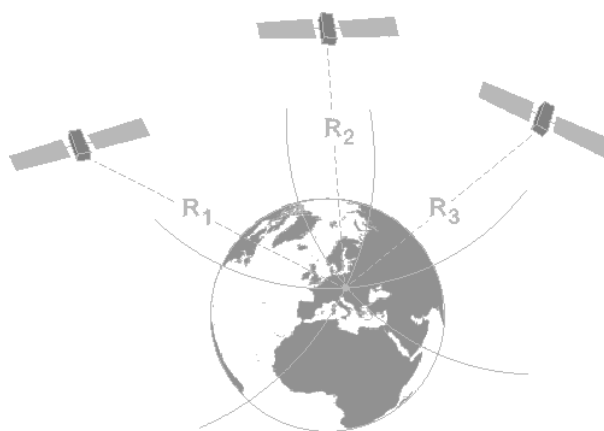
Globálne navigačné satelitné systémy (GNSS)

V súčasnosti ide o veľmi populárny spôsob určovania polohy pre vysokú presnosť merania porovnateľnú s elektronickou tachymetriou (niekoľko milimetrov) avšak s oveľa vyššou efektivitou zberu. K meraniu pomocou GNSS postačuje jedna osoba, ktorá postupne prechádza mapovaným územím a zaznamenáva súradnice bodov, línií alebo areálov. Súradnice sú automaticky ukladané vo zvolenom kartografickom systéme. Existuje viacero globálnych systémov (GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU) avšak princíp fungovania je rovnaký. GNSS tvoria tri segmenty: *satelitný, kontrolný a užívateľský segment*. Sieť satelitov v okolí Zeme vysiela signál obsahujúci dáta (napr. o vlastnej polohe a čase) pre presné určenie polohy zariadení prijímajúcich tento signál (prijímače) pomocou geografickej šírky (angl. latitude), geografickej dĺžky (angl. longitude) a nadmorskej

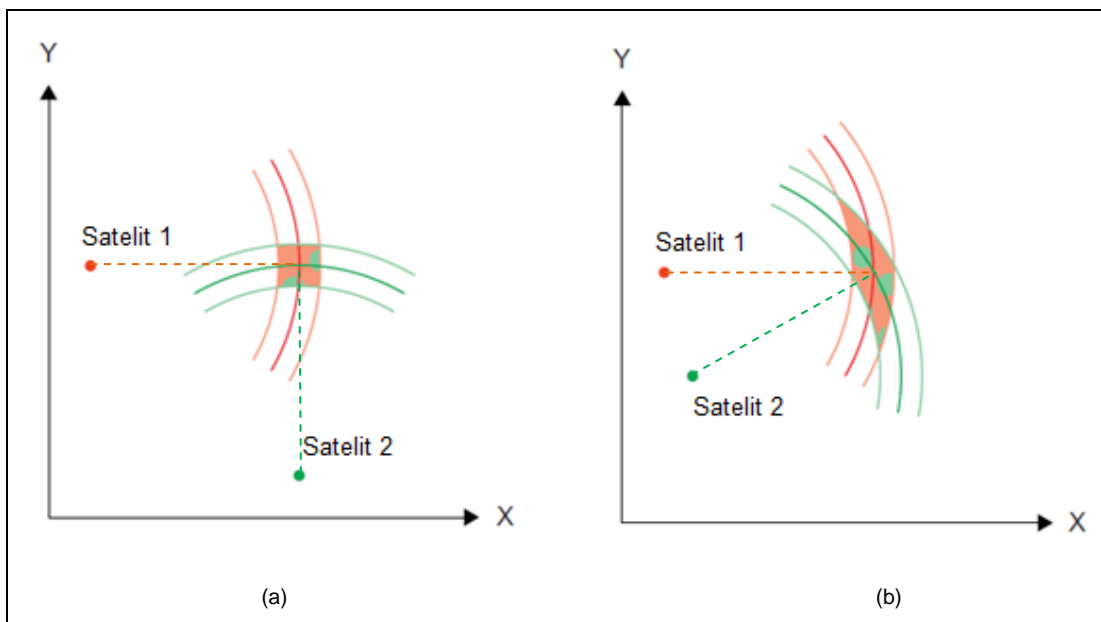
výšky (angl. height, elevation). Na určenie polohy kdekoľvek na Zemi potrebuje GNSS na orbite 20-30 satelitov rozmiestnených tak, aby boli nad obzorom pozorovateľa aspoň 4 satelity.

Princíp fungovania GNSS je v meraní času, ktorý uplynie medzi vyslaním signálu zo satelitu a prijatím signálu prijímaču na Zemi. Každý GNSS satelit vysiela jedinečný signál, ktorý informuje GNSS prijímač o čase na satelite. Každý satelit má tiež jedinečnú polohu na obežnej dráhe vo vesmíre. GNSS prijímač pozná teoretickú polohu všetkých GNSS satelitov, teda vie kde by mali byť. Prijímač pozná svoj čas meraný na Zemi a pozná čas vyslania signálu každým satelitom nad obzorom. Na základe týchto informácií o čase a teoretickej polohe satelitov dokáže prijímač určiť časový rozdiel medzi vyslaním a prijatím signálu jednotlivými satelitmi a tak vzdialenosť k satelitom. Výpočet polohy prijímača využíva *princíp trilaterácie* pomocou priesečníkov guľových plôch reprezentujúcich vzdialenosti medzi prijímačom a satelitmi. Teoreticky postačujú pre určenie polohy bodu v 3D priestore 3 body (Obr. 4.2). V rámci súradnicového systému GNSS po zhromaždení signálov z troch satelitov je možné presne určiť iba dve súradnice prijímača (zemepisnú šírku a dĺžku). Pre rozdielnu presnosť merania času hodinami na satelite a v prijímači je potrebné pre určenie tretej súradnice, ktorou je výška prijímača nad referenčnou plochou elipsoidu (elipsoidická výška) alebo hladinou mora (nadmorská výška), určiť vzdialenosť k ďalšiemu satelitmu. *V skutočnosti teda pre lokalizáciu objektov v 3D priestore pomocou GNSS potrebujeme prijímať signál aspoň zo 4 satelitov.*

Počet a rozmiestnenie viditeľných satelitov ovplyvňuje presnosť a rýchlosť merania. Indikátorom kvality konštelácie satelitov na oblohe je bezrozmerný parameter zhoršenia presnosti (PDOP, angl. Positional Dilution Of Precision). Jeho efekt zjednodušene v dvojdimenzionálnom prevedení znázorňuje Obr. 4.3. Vzdialenosť medzi prijímačom a satelitom je naznačená prerušovanou čiarou a neurčitosť merania zónou neurčitosti okolo výseku kružnice (tenká čiara).



Obr. 4.2: Princíp trilaterácie - na základe známych vzdialeností (R_1 , R_2 , R_3) k trom bodom (družiciam) je teoreticky možné určiť súradnice neznámeho bodu v 3D priestore.



Obr. 4.3: Vplyv priestorového rozmiestnenia GNSS satelitov na zhoršenie presnosti určenia polohy (PDOP) v 2D priestore (v rovine). Pri r satelitov (a) je hodnota PDOP nižšia (presnosť merania je vyššia) ako v prípade (b).

Poloha prijímača je kdesi v ploche ohraničenej prienikom zón neurčitosti merania vzdialenosti zo satelitu 1 a 2. Zhoršenie presnosti (DOP) má výraznejší vplyv na určenie polohy prijímača v prípade na Obr. 4.3b, pretože plocha prieniku zón neurčitosti jednotlivých satelitov je väčšia ako na Obr. 4.3a. Hlavným obmedzením pri mapovaní s GNSS je, že prijímač musí mať nezakrytý výhľad na minimálne 3 satelity a v prípade určovania nadmorskej výšky na 4 satelity. To býva problémom v zónach vysokej stromovej vegetácie a v zastavaných územiach s vysokými budovami. Na otvorených priestranstvách je zvyčajne nad horizontom k dispozícii 6-10 satelitov v rámci jedného navigačného systému (napr. GPS). Podrobne sa princípom GNSS venuje napr. Pisca (2005).

V súčasnosti je možné využívať signál z dvoch plne funkčných globálnych satelitných systémov (Tab. 4.2). Najpopulárnejším je Globálny polohový systém známy ako *GPS*. Presný názov je NAVSTAR GPS (NAVigation Signal for Timing And Ranging Global Positioning System) a tento systém je spravovaný letectvom armády USA. Ruská letecké obranné sily spravujú systém *GLONASS* (GLOBalnaja NAVigacionnaja SPUTNIKOVaja Sistema). Na rozdiel od GPS a GLONASS, Európska únia v spolupráci s ďalšími krajinami buduje systém *Galileo*, ktorý má fungovať ako civilný systém. Jeho spustenie v plnej funkcionalite sa však pre zložité financovanie už viackrát oddialilo. Čína má ambíciu rozšíriť svoj regionálny systém *BeiDou* na globálny systém pokrývajúci celú Zem. Okrem čínskeho BeiDou existujú ďalšie regionálne navigačné systémy ako indický *IRNSS* a japonský *QZSS*, ktoré pomáhajú spresňovať navigáciu v regióne týchto krajín a dopĺňajú funkcionalitu globálnych systémov GPS a GLONASS.

Globálny polohový systém, taktiež Globálny systém určenia polohy (GPS) je v súčasnosti významným zdrojom geografických dát, preto sa mu v nasledujúcej stati venujeme podrobnejšie. USA ho budovali od 70 rokov 20. storočia a v plnom operačnom režime je od roku 1994. Využitie GPS ďaleko presahuje sféru GIS-ov a okrem pôvodných vojenských aplikácií zasahuje napr. aj do turistiky a motorizmu. GPS tvorí sieť 24 až 32 satelitov NAVSTAR, viacerých kontrolných a monitorovacích staníc a individuálnych prijímačov. Poloha meraného bodu sa určuje voči referenčnému elipsoidu WGS1984, ktorý aproximuje skutočný tvar Zeme. GPS pôvodne vznikol pre potreby armády USA a veľa rokov mala prístup k presným dátom len americká armáda. Toto obmedzenie bolo odstránené v roku 2000, takže v súčasnosti všetci používatelia systému môžu relatívne ľahko a so štandardným vybavením získať merania s chybou menšou ako 10 m (Longley et al., 2011). Rozhodnutie prezidenta a vlády Spojených štátov 1. mája 2000 zrušiť selektívnu dostupnosť GPS signálu (angl. Selective Availability - S.A.), ktorou sa umelo zhoršovala presnosť určenia polohy pre verejnosť, prinieslo doslova revolúciu v mapovaní a navigácii, čo priamo stimulovalo ďalšie aplikácie GIS.

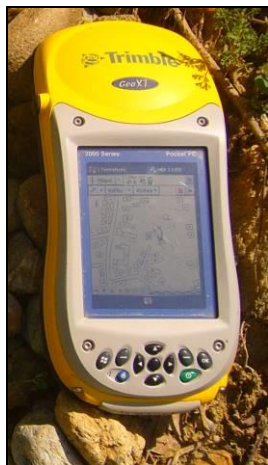
Moderné GNSS prijímače môžu prijímať naraz signál z rôznych GNSS systémov (napr. GPS a GLONASS) a tak zvýšiť presnosť merania. V geodézii pri meraní na otvorených priestranstvách GNSS prijímače vytlačajú totálne stanice. Navigácia s presnosťou niekoľkých metrov je možná aj vďaka lacným GNSS čipom v tabletoch a smartfónoch. GNSS prijímače sa odlišujú aj počtom kanálov, pomocou ktorých prijímajú signál zo satelitov. Modernejšie prístroje sú aspoň 12-kanálové, t.j. môžu naraz komunikovať aspoň s 12 satelitmi naraz. Lacnejšie GPS zariadenia (napr. turistické GPS, PDA GIS zariadenia, smartfóny) určujú polohu pomocou kódového merania, zatiaľ čo drahšie prijímače určené pre presnú geodéziu a navigáciu pracujú na princípe fázového merania vzdialenosti (Obr. 4.4). GNSS sa využívajú najmä na získanie polohy referenčných bodov pre diaľkový prieskum Zeme a lokalizáciu bodových, líniových a plošných objektov nielen v geodetických úlohách, ale vo všetkých oblastiach vedy a praxe. Z hľadiska mapovania krajiny je veľmi dôležité použitie GNSS pre presné určenie polohy leteckých zariadení nesúcich snímače DPZ. Nahrádza sa tak nevyhnutnosť zamerania kontrolných bodov na zemskom povrchu a šetrí sa čas i finančné zdroje potrebné pre nasnímanie územia.

Názov GNSS	Prevádzkovateľ	Plná funkčnosť	Počet orbitálnych dráh	Orbitálna výška nad Zemou	Počet aktívnych satelitov	Zdroj informácií
GPS	USA	od 1994	6	20 200 km	24	http://www.gps.gov
GLONASS	Rusko	od 1996	3	19 100 km	24	https://glonass-iac.ru/en
Galileo	EÚ a ďalšie krajiny	od 2020	3	23 222 km	30	http://www.gsa.europa.eu
BeiDou	Čína	od 2020	3 3	21 500 km 36 000 km	30 5	http://en.beidou.gov.cn

Tab. 4.2: Prehľad parametrov existujúcich a budovaných GNSS.



(a)



(b)



(c)

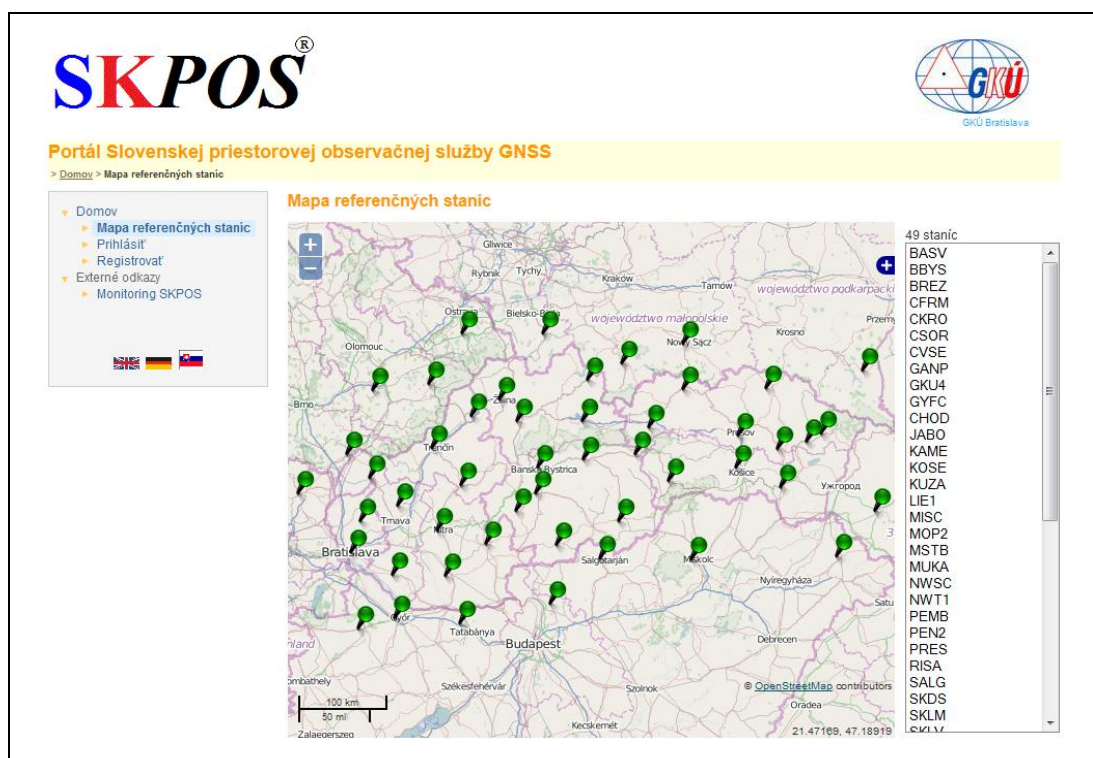
Obr. 4.4: Rôzne typy GNSS prijímačov: ručné PDA GIS prijímače od Trimble (a) Juno SB s menej presnou a (b) GeoXT s presnejšou anténou, (c) zostava dvoch presných geodetických GNSS prijímačov TOPCON Hyper II pre diferenciálne určovanie polohy.

Presnosť určovania polohy pomocou GNSS je ovplyvnená viacerými faktormi. Ich významnosť pre GPS uvádza Tab. 4.3. Najväčší vplyv majú vlastnosti atmosféry, ďalej odrazy signálu od viacerých zdrojov, drobné výkyvy polohy satelitov, nepresnosti v prijímačoch a v meraní času. Presnosť GNSS meraní je možné výrazne zvýšiť diferenciálnym určením polohy, ktoré sa v súvislosti s GPS označuje ako D-GPS. Pri tomto spôsobe merania sa používajú dva prijímače. Jeden je počas merania pevne umiestnený (báza, referenčná stanica) a druhý sa používa na zber dát (rover) (Obr. 4.4c). Obe prijímače synchronne určujú svoju polohu. Presná poloha bázy je známa alebo sa musí vopred určiť. Báza určuje odchýlky (diferencie) svojej polohy v čase t vzhľadom na známu presnú polohu. Odchýlky možno aplikovať pre spresnenie polohy rovera v rovnakých časových momentoch t . Merania pomocou DGPS obsahujú chyby menšie ako 1 m, s viacfrekvenčnými geodetickými prijímačmi je možné dosiahnuť až milimetrové presnosti v meraní polohy. Odchýlky sa k roveru môžu vysielajúť v reálnom čase (angl. Real Time Kinematic - RTK), alebo sa pomocou špeciálneho softvéru sa po skončení meraní spracujú dáta z oboch prijímačov a odstránia sa chyby (angl. post-processing). V mnohých krajinách sa dáta potrebné na korekciu chýb šíria rozhlasovými vysielacími, čo umožňuje okamžite, t.j. už počas meraní, výrazne spresniť merania. Príkladom takejto DGPS služby je zdarma dostupný EGNOS (European Geostationary

Navigation Overlay Service), ktorý je európskou aplikáciou SBAS (Satellite-Based Augmentation System). Pre presné geodetické merania bola v SR vybudovaná sieť permanentných staníc SKPOS (Slovenská priestorová observačná služba) využívajúca 49 referenčných staníc, z ktorých 17 je mimo územia SR (Obr. 4.5). Prevádzkovateľom služby je Geodetický a kartografický ústav SR a jej použitie je spoplatnené. Diferenciálne meranie pomocou siete SKPOS a GNSS prijímačov umožňuje určenie polohy na úrovni 0,25 m (pri kódovom meraní) a 0,015 m (pri fázovom meraní).

Chyba merania z jedného satelitu [m]	Štandardné GPS	Diferenciálne GPS
Satelitné hodiny	1,5	0
Orbitálne chyby	2,5	0
Ionosféra	5,0	0,4
Troposféra	0,5	0,2
Šum prijímača	0,3	0,3
Odraz signálu	0,6	0,6

Tab.4.3: Zdroje chýb v GPS meraniach. Zdroj: <http://www.trimble.com/>

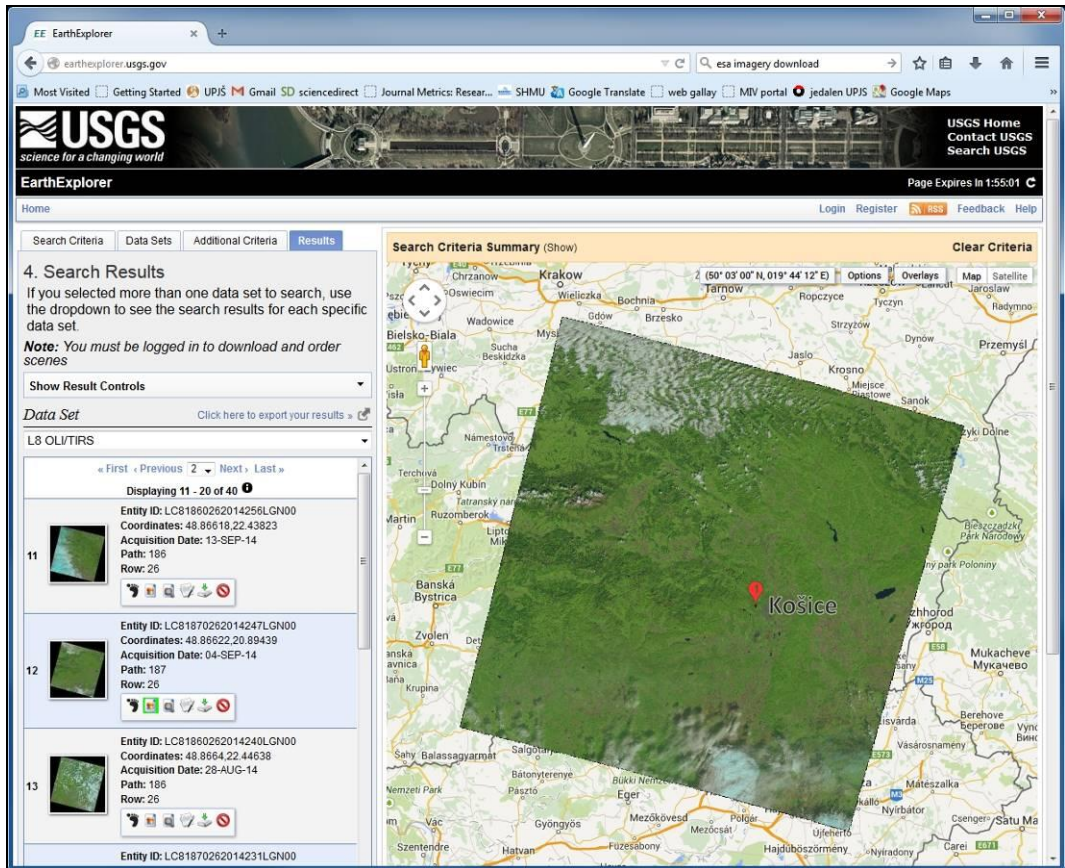


Obr. 4.5: Rozmiestnenie referenčných staníc SKPOS pre diferenciálne GNSS určovanie polohy. Zdroj: <http://www.skpos.gku.sk/>

Dial'kový prieskumu Zeme (DPZ)

Metódy DPZ výrazne uľahčujú zber priestorových informácií o krajine. Podstatou je snímanie elektromagnetického (EMG) žiarenia odrazeného alebo vyžiareného od objektov na zemskom povrchu bez priameho kontaktu s nimi. DPZ zahŕňa pasívne a aktívne metódy. *Pasívne metódy DPZ* zaznamenávajú odrazené slnečné žiarenie od zemského povrchu a objektov na ňom. Ide predovšetkým o *fotogrametriu* a *multispektrálne skenovanie*, ktorých hlavným produktom je snímka zachytávajúca spojitý obraz zemského povrchu. Záznam sa ukladá v rastrovom dátovom formáte a jeho ďalším spracovaním vznikajú ortofotomapy, digitálne modely reliéfu alebo 3D modely miest. *Aktívne metódy DPZ* sú nezávislé na slnečnom žiarení, pretože využívajú vlastný zdroj žiarenia, ktoré vysielajú k Zemi a odrazenú časť snímajú. Príkladom je *laserové skenovanie* a *radarové snímanie*, ktorých využitie menej ovplyvňuje oblačnosť a striedanie dňa a noci. Laserové skenovanie poskytuje veľmi husté bodové merania nadmorských výšok, z ktorých sa odvodzujú digitálne výškové modely alebo 3D modely budov. Na radarových snímkach možno sledovať štruktúru povrchu, jeho fyzikálne vlastnosti, či vytvárať zo záznamu digitálne modely reliéfu. Špecifickou metódou DPZ je *snímanie sonarom*, čo je aktívny systém využívajúci vysokofrekvenčný zvuk. Na rozdiel od elektromagnetického žiarenia je zvuk vlnením hmotného prostredia, takže ho nie je možné ho použiť vo vákuu teda napr. z vesmíru. Sonarom sa mapuje morské alebo riečne dno vo vysokom rozlíšení. V súvislosti so zberom dát pre GIS je na tomto mieste dôležité poznať *výhody a nevýhody DPZ*. Hlavnou výhodou oproti pozemným metódam zberu dát pre GIS je možnosť získavať informácie z oveľa rozsiahlejšieho územia, s vysokou presnosťou a úrovňou detailu dokonca aj mimo schopností ľudského videnia (mimo viditeľnej časti spektra). Metódami DPZ však nemožno nahradiť terénny prieskum na plošne malých lokalitách alebo detailnú polohovú lokalizáciu objektov na Zemi. Pre súradnicové priradenie záznamu DPZ a hodnotenie presnosti mapovania je nevyhnutné pozemné zameranie kontrolných bodov a priame overenie vlastností zemského povrchu na nich.

V súčasnosti sú dátové produkty viacerých satelitných a leteckých systémov voľne dostupné a stiahnuteľné cez webové portály (Obr. 4.6). Zahŕňajú multispektrálne snímky, radarové záznamy, digitálne modely reliéfu, fotogrametrické snímky alebo detailné modely zemského povrchu z laserového skenovania. V tomto smere ide najmä o záznamy systémov spravovaných Spojenými štátmi americkými dostupné na <http://earthexplorer.usgs.gov/> alebo <http://glovis.usgs.gov/>. Dáta sú použiteľné zdarma pre vedecko-výskumné a nekomerčné účely, ako nie je uvedené inak. Svoje dátové produkty poskytuje aj Európska vesmírna agentúra cez portál <https://earth.esa.int> alebo Ruská vesmírna agentúra na <http://catalog.scanex.ru>. Množstvo geopriestorových dát na báze DPZ pre Európu vzniklo v rámci programu Copernicus. Dáta sú dostupné cez portál <http://land.copernicus.eu/> a zahŕňajú vrstvy o krajinej pokrývke, využití zeme, stave vegetácie, hydrológii, obyvateľstve a iné. Pre priame zobrazovanie a analýzu dát v GIS-e sú dáta DPZ ako mozaiky poskytované aj formou vrstiev cez webové mapové služby (napr. WMS) ako ukazuje Obr. 4.7. Zobrazená je vrstva lokalít otvoreného ohňa (červené body) identifikovaného senzorom MODIS a je naložená na satelitných snímkach zo servera BingMaps. Lokality otvoreného ohňa súvisia so spaľovaním zemného plynu unikajúceho pri ťažbe ropy v okolí mesta Basra v Iraku dňa 12. decembra 2014.



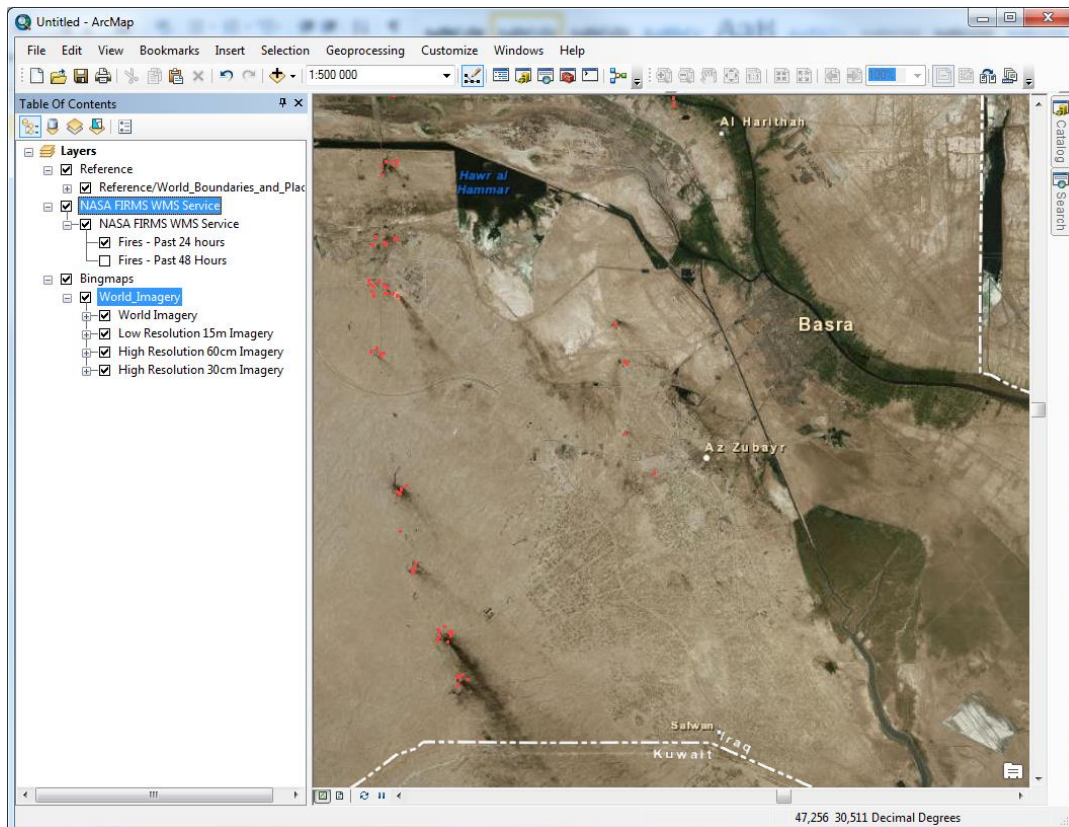
Obr. 4.6: Ukážka webového rozhrania EarthExplorer pre výber a sťahovanie dátových produktov DPZ. Portál spravuje geologická služba Spojených štátov (USGS).

4.2 Zber sekundárnych dát

Sekundárne dáta vznikajú odvodením z primárnych zdrojov a to najmä digitalizáciou máp, leteckých snímok a iných tlačенých alebo fotografických materiálov. Rastrové dáta sa získavajú pomocou skenovania, vektorové dáta sa získavajú vektorizáciou a spracovaním meračských leteckých snímok (fotogrametriou).

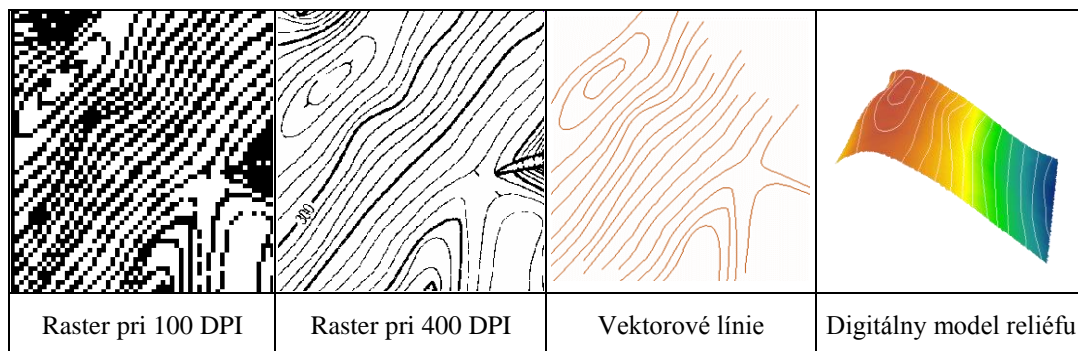
Skenovanie

Skener je počítačové periférne zariadenie, ktoré konvertuje tlačené, analógové médium na digitálny obraz postupným snímaním čiar zložených z obrazových elementov (pixelov) cez celý dokument alebo mapu a zaznamenávaním množstva svetla odrazeného od snímaného materiálu. Rozdiely v svetle sú zaznamenávané buď čiernobielo (1 bit na pixel), alebo v stupňoch šedej (8, 16, ... bitov).



Obr. 4.7: Dáta DPZ načítané prostredníctvom WMS vrstvy v prostredí GIS-u.

Farebné skenery zaznamenávajú 3 farebné pásma (zložky) – červené, zelené a modré, každé napr. v 8 bitovom rozsahu čomu zodpovedá 28 teda 256 farebných odtieňov. Priestorové rozlíšenie skenovania sa určuje v jednotkách DPI (angl. Dots Per Inch, počet bodov na palec; 1 palec = 2,54 cm) je veľmi rozdielne – od 100 dpi (4 body na 1 mm) až po 1800 dpi (72 bodov na 1 mm), alebo aj viac. Väčšina GIS dát býva skenovaná v rozsahu 400-1000 dpi. Skenovanie tlačných dokumentov má rôzne dôvody. Pomerne často sa skenované materiály ďalej spracúvajú, napr. sa vektorizujú, alebo tvoria rastrový podklad, na ktorý sa nakladajú ďalšie GIS dáta, najmä vektorové. Môžu tvoriť aj fotodokumentáciu k iným dátam (napr. fotografie objektov, projektová dokumentácia, alebo iné písomné dokumenty). Pri skenovaní máp je vhodné použiť skenovanie v stupňoch šedej (8 bit) na úrovni rozlíšenia 400 dpi. Pre farebné letecké snímky je vhodné rozlíšenie až 1000 dpi (Longley et al., 2011). Obr. 4.8 uvádza príklad nevhodnej a vhodnej voľby DPI pri skenovaní výškopisu topografickej mapy.



Obr. 4.8: Vrstevnícová mapa digitalizovaná skenovaním do rastrového dátového formátu a následne vektorizovaná v podobe línií s atribútmi o nadmorskej výške, z ktorých bol odvodený digitálny model reliéfu.

Vektorizácia

Skenovaním získané rastrové produkty zvyčajne slúžia ako podklad pre získanie vektorových dát, ktorým možno jednoduchšie priradovať atribúty a vykonávať geometrické výpočty či geoprocenálne analýzy. Napríklad v procese tvorby geodatabázy Registra obnovenej evidencie pozemkov (ROEP) na Slovensku za účelom úpravy katastra nehnuteľností boli pôvodné papierové katastrálne mapy skenované a vektorizáciou konvertované na vektorové digitálne vrstvy. Iným príkladom je tvorba digitálneho modelu reliéfu pre ktorú sa často využívajú vrstevnice vektorizované zo skenov topografických máp (Obr. 4.8). Existujú dva typy vektorizácie: manuálna (ručná) a poloautomatická. *Manuálna vektorizácia* je stále veľmi používaná. Jedným z jej spôsobov je vektorizácia obsahu tlačenej mapy pomocou digitalizačného zariadenia, ktorého súčasťou je digitalizačný stôl alebo tablet, ukazovátka a počítač.

Druhý spôsob je pohodlnejší, jednoduchší a presnejší a ide vektorizáciu na obrazovke počítača na skenovanom rastrovom podklade pomocou myši. Existujú softvéry, ktoré umožňujú tzv. *poloautomatickú vektorizáciu*. Tieto programy napr. automaticky vytvoria vektorové línie cez súvislé bunky rastra, dokonca umožňujú automatické priradenie atribútov (napr. nadmorské výšky vrstevniciam, keďže tie majú zvyčajne pravidelný krok zmeny nadmorskej výšky). Avšak aj potom je potrebné ďalšie ručné spracovanie a opravy. Poloautomatická vektorizácia je najvhodnejšia pre rastrové obrazy obsahujúce separované zložky obsahu mapy (napr. samostatne vrstevnice, vodné toky a podobne). Príkladom softvéru na poloautomatickú vektorizáciu je R2V firmy Able Software alebo GeoVec firmy Intergraph.

Zdroje analógových sekundárnych dát pre GIS

Významným zdrojom sekundárnych dát sú papierové mapy a letecké snímky. Väčšina v súčasnosti existujúcich digitálnych geodatabáz pre GIS vznikla v mnohých štátoch sveta skenovaním, vektorizáciou a ďalším digitálnym spracovaním tlačenej kartografických dokumentov. Z toho

dôvodu je dôležité poznať podstatné mapové diela, ktoré bežne spravujú štátne kartografické organizácie. V ďalšom texte sa sústreďujeme na mapové diela pokrývajúce územie Slovenska, ktoré sú často využívané pri geografických analýzach v GIS-e. Pri tvorbe, zhromažďovaní, uchovávaní, aktualizácií a distribúcii geodát pre celé územie našej krajiny sú zainteresované viaceré štátne organizácie. Hlavným úradom štátnej správy a odborného dozoru v rezorte geodézie, kartografie a katastra u nás je Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky (ÚGKSR, <http://www.skgeodesy.sk>), ktorý priamo riadi Geodetický a kartografický ústav (GKU, <http://www.gku.sk>) a Výskumný ústav geodézie a kartografie v Bratislave (VÚGK, <http://www.vugk.sk>). Pre zabezpečovanie priestorových informácií o území SR za účelom obrany a bezpečnosti štátu bol zriadený Topografický ústav v Banskej Bystrici (TOPÚ, <http://www.topu.mil.sk>), ktorý je spravovaný rezortom obrany.

Slovenské štátne mapové dielo, založené na bývalom československom štátnom mapovom diele, obsahuje množstvo máp civilného, alebo aj vojenského pôvodu, ktoré obsahujú mnoho veľmi cenných geografických informácií. Medzi základné kartografické produkty využiteľné v geografickej praxi patria *všeobecno-geografické mapy*. Plnia svoju funkciu najmä pri komplexnom hodnotení rozsiahlejších území. Zvyčajne sa využívajú v mierke 1: 500 000 až 1:300 000.

Topografické mapy tvoria najväčšiu skupinu máp štátneho mapového diela využiteľných v geografickej praxi ako zdroje sekundárnych dát pre GIS. Pokrývajú celé územie Slovenskej republiky. V jednotlivých mierkach a na zodpovedajúcom stupni generalizácie zobrazujú všetky základné topografické objekty a ich charakteristiky: geodetické body, sídla, priemyslové, poľnohospodárske a kultúrne objekty, komunikácie, vodstvo, rastlinný a pôdny kryt, hranice a ohrady, georeliéf a popisné údaje. Tento druh máp sa vyhotovuje v štandardnom mierkovom rade 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000 a 1:1 000 000. Osobitné postavenie má *Štátna mapa 1:5 000-odvodená*, ktorá sa začala využívať po 2.svetovej vojne ako hospodárska mapa. Pokrýva súvislo celé Slovenska. Bola viackrát obnovovaná, posledné vydanie obsahuje výškopis z mapy 1:10 000. Od roku 2000 je postupne nahradzovaná ortofotomapou 1:5000. *Základné mapy* stredných mierok predstavujú relatívne samostatné súbory mierok 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000 vydávaných od roku 1970, kedy došlo k radikálnemu oddeleniu civilného a vojenského mapového diela. Mapy vznikli odvodením z vojenských topografických máp ako ich prepracovaná neutajovaná verzia. Nové mapovanie sa vykonáva len pre mierku 1:10 000 a aj to len vo výnimočných prípadoch, kde došlo k veľkému rozsahu zmien. Aj napriek tomu, že obsah týchto máp je ochudobnený o mnohé technické dáta, sú plne využiteľné v geografickej praxi. Vo všetkých mierkach obsahujú polohopis, výškopis, vegetačný kryt, popis a mimorámové údaje (Obr. 4.9). Na mapách vydávaných po 1. 1. 1992 je súčasťou polohopisu aj polohové a výškové bodové pole, pravouhlá súradnicová sieť s krokom 1 km v systéme JTSK a zemepisná sieť. Výškopis je zobrazený vrstevnicami so základným intervalom spravidla 2 m a výškovými kótami. Vodstvo obsahuje zakres vodných tokov a nádrží. Porast zahrnuje plochy lesov, záhrad, parkov, viníc, chmeľníc atď. Popis obsahuje názvy sídiel, geografické názvoslovie a druhové označenie zobrazených objektov. Ďalšie mierky základných máp 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000 vznikli postupným odvodzovaním z mierky 1:10 000, obsahovo sú si príbuzné

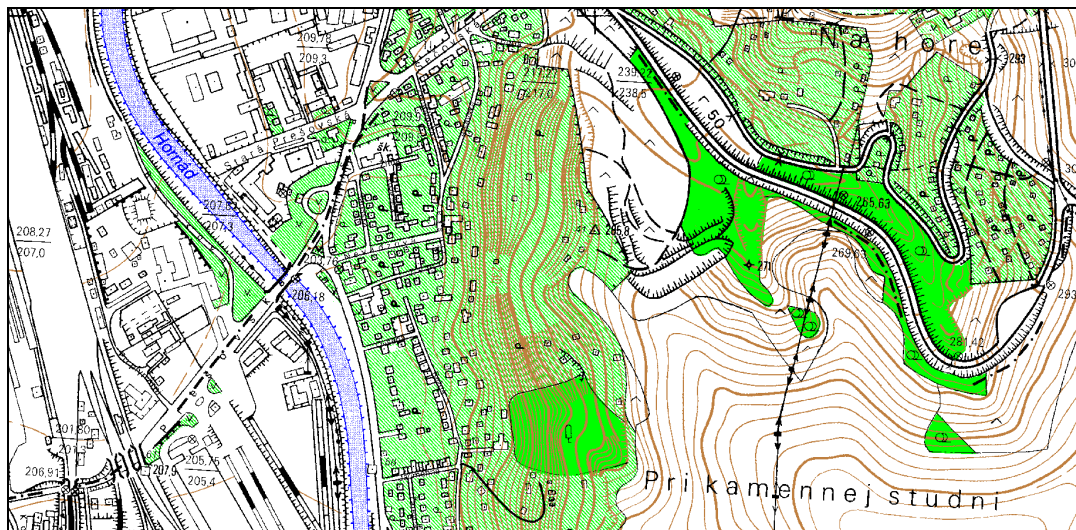
s patričnou generalizáciou. Všetky tieto produkty sú dostupné v príslušných mapových službách ÚGKK SR v analógovej a ako skeny v rastrovej podobe.

Dôležitú skupinu topografických máp tvoria *vojenské topografické mapy*. Vojenské topografické mapy tvoria ucelený a do značnej miery medzinárodne zjednotený súbor máp mierkovej rady 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000 zobrazujúci celé štátne územie s príľahlým okolím. Boli vytvorené kartografickým odvodením z podkladov pôvodného mapovania v mierke 1:25 000 v rokoch 1952-1957 v súradnicovom systéme S-1952 (Krasovského elipsoid, Gauss-Krugerove valcové zobrazenie v 6-stupňových poludníkových pásoch). Boli určené najmä pre potreby obrany štátu pred rokom 1989, no od samého začiatku boli koncipované tak, aby boli využiteľné aj v ostatných oblastiach hospodárstva, v štátnej správe, územnej samospráve, vo vede a kultúre. V súčasnej dobe základnou mierkou vojenských topografických máp je mierka 1:25 000 (Obr. 4.10). V tejto mierke je zobrazené celé územie štátu, ale s rozdielnym stavom aktuálnosti obsahu máp (Jakubík, 2006).

Obsahom polohopisu mapy 1:25 000 sú všetky trigonometrické body, pravouhlá súradnicová sieť s krokom 1 km, všetky sídla s farebným odlišením husto zastavaných blokov domov s prevládajúcimi ohňovzdornými stavbami a blokov s prevažne horľavými stavbami. Spolu s komunikáciami sú zobrazené i všetky dopravné stavby ako sú stanice, mosty, tunely a pod. Komunikácie sú rozlíšené na železnice, pozemné komunikácie, telekomunikácie, potrubné komunikácie a elektrické vedenia. Veľmi podrobne je zobrazené vodstvo vo všetkých formách vrátane hydrotechnických stavieb a zariadení. Z vegetačných porastov sa zobrazujú stromovité, krovinaté, trávnaté, machovité a lišajníkovité. Druh porastov je rozlíšený symbolickou značkou a pri stromovitých porastoch sú uvedené aj ďalšie kvalitatívne a kvantitatívne charakteristiky. Výškopis je vyjadrený základnými vrstevnicami s intervalom 5 metrov, výškovými bodmi a relatívnymi kótami. Pre terénne tvary, ktoré sa nedajú znázorniť vrstevnicami, sú použité samostatné značky. GKÚ ich distribuuje ako rastrový ekvivalent topografickej mapy (RETM).

Pri analýze historického vývoja krajiny je možné využiť *aj staršie vojenské mapy pochádzajúce* z 1. až 4. vojenského mapovania prebiehajúceho v 18. až 20. storočí. V období 1. Československej republiky boli napríklad značne využívané reambulované staré vojenské mapy v mierke 1:25 000 pochádzajúce z obdobia Rakúsko-Uhorska (Jakubík, 2008), (Boltižiar et al., 2008).

Ďalšou veľkou skupinou máp často využívaných v geografickej praxi sú *tematické mapy*. Obsah tematických máp tvorí topografický podklad a tematický obsah. V súčasnej dobe je možné využiť celý rad rôznych druhov tematických máp vydávaných štátnymi inštitúciami a komerčnými firmami. V oblasti analýz je možné využiť rôzne druhy tematických máp tvoriacich tematické štátne mapové dielo. Sú to rôzne druhy geologických, pedologických, geofyzikálnych, meteorologických, klimatických, hydrologických, a mnohých iných máp, ktoré sú určené pre vedecké štúdie vymedzujúce dané územie z hľadiska fyzikogeografických podmienok. Veľkú podskupinu tematických máp tvoria mapy dokumentujúce hospodárske podmienky a stav infraštruktúry územia. Sem patria mapy socioekonomické, dopravné, cestné, mapy obyvateľstva, administratívne mapy, atď.



Obr. 4.9: Základná mapa v mierke 1 : 10 000. Zdroj: GKÚ



Obr. 4.10: Vojenská topografická mapa v mierke 1 : 25 000. Zdroj: GKÚ

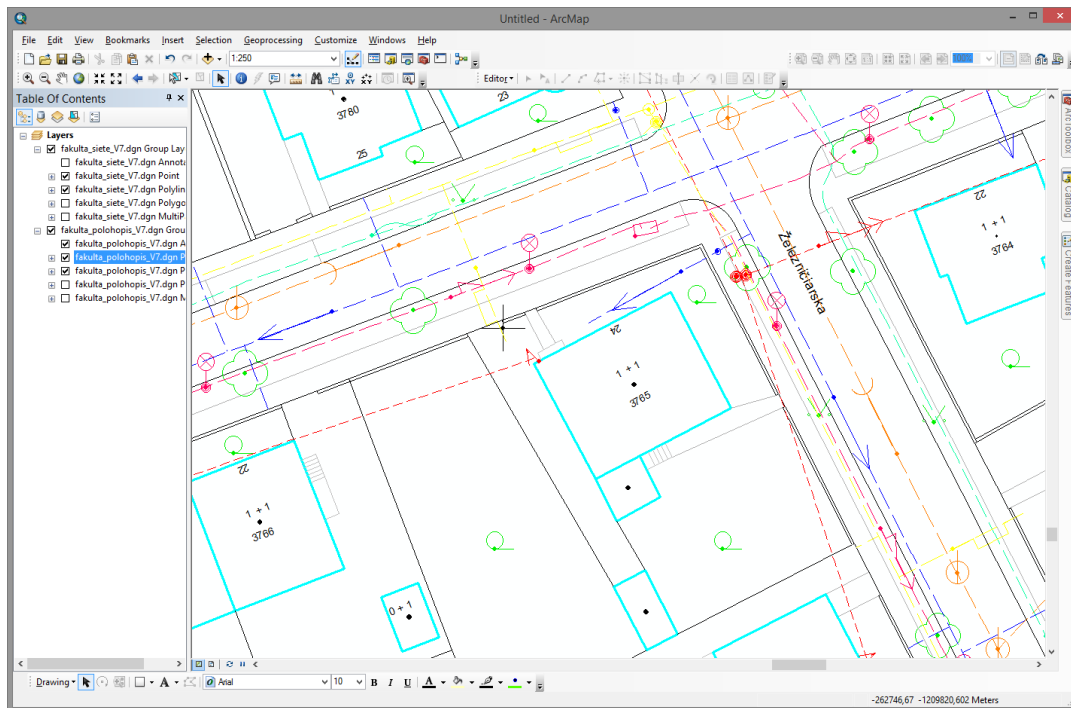
Pri skúmaní malých regiónov, pri konkrétnej realizácii vykonávacích projektov a riešení majetkovo-právnych vzťahov je nevyhnutné pracovať aj s mapami veľkých mierok. Využiteľné sú najmä katastrálne mapy, technicko-hospodárske mapy a základné mapy veľkých mierok (1 : 1000 až 1 : 5000). Čoraz častejšie sa však tieto klasické mapové podklady dopĺňajú ortofotosnímkami a ortofotomapami s priestorovým rozlíšením od niekoľko desiatok cm v intraviláne po 1-5 metrov v extraviláne.

Katastrálne mapy slúžia predovšetkým pre potreby katastra nehnuteľností, pretože sú mapovým podkladom pre určovanie právnych vzťahov k nehnuteľnostiam a určovaniu daní z nehnuteľnosti. Týmto ich určením je zásadne ovplyvnený ich obsah a spôsob vyhotovenia. V rôznej miere sa môžu použiť aj pre technické projektovanie. Vyhotovované a udržiavané sú zväčša v mierkach 1 : 1 000 a 1 : 2 000 v súradnicovom systéme S-JTSK. Pôvodné katastrálne mapy (spred roku 1927) boli vyhotovované najmä v mierke 1 : 2 880. Obsahujú hranice pozemkov a základný polohopis, neobsahujú výškopis. Evidovanie vlastníckych práv k pozemkom do roku 1991 bolo hlavne mimo zastavaného územia obce (v extraviláne) len čiastočné a vo veľkej časti bolo deklarované len v právnych listinách (napr. v prídelových listinách, dedičských rozhodnutiach a pod.), prípadne v značnom rozsahu aj v pozemkovej a železničnej knihe. Nedostatky v evidencii vlastníctva bolo potrebné odstrániť a preto prijatý program (konceptia) usporiadania pozemkového vlastníctva v Slovenskej republike formou spracovania registrov. V súvislosti s programom registra obnovenej evidencie pozemkov (ROEP) dochádza k spracovaniu novej evidencie (digitálnej databázy) nehnuteľností pre jednotlivé katastrálne územia na Slovensku a súčasťou tohto procesu je aj tvorba vektorovej katastrálnej mapy (VKM). VKM je digitálna pozemková mapa vo vektorovom dátovom modeli, ktorá je využiteľná aj v GIS-och (Obr. 4.11).

Prvé *technicko-hospodárske mapy* (THM) boli vyhotovované v období rokov 1962 až 1968 väčšinou univerzálnou fotogrametrickou metódou bez registrácie súradníc (len niektoré intravilány boli merané geodeticky), v mierke 1:2000 výnimočne v mierke 1:1000 v súradnicovom systéme S-42. Po roku 1968 sa začali vyhotovovať THM obdobnou technológiou (v obmedzenom množstve aj s registráciou modelových súradníc) v S-JTSK.



Obr. 4.11: Vektorová katastrálna mapa s podkladom v podobe ortofotosnímky.



Obr. 4.12: Digitálna technicko-hospodárska mapa.

Po roku 1971 sa začali vyhotovovať THM automatizovaným spôsobom. THM sú k dispozícii v rozličných mierkach: hospodársky významné oblasti v mierkach 1:200, 1:250, 1:500, 1:1000, ostatné 1:2000, 1:5000. V súčasnosti najmä väčšie mestá pristúpili k vlastnej tvorbe THM v digitálnej podobe. Tam, kde analógové THM neexistovali, alebo boli už veľmi neaktuálne, boli vytvorené digitálne THM na základe geodetického merania alebo aj pomocou leteckého snímokovania (Hofierka a Repáň, 1997). THM obsahujú podrobný polohopis a výškopis a v intraviláne aj priebeh inžinierskych sietí (Obr. 4.12).

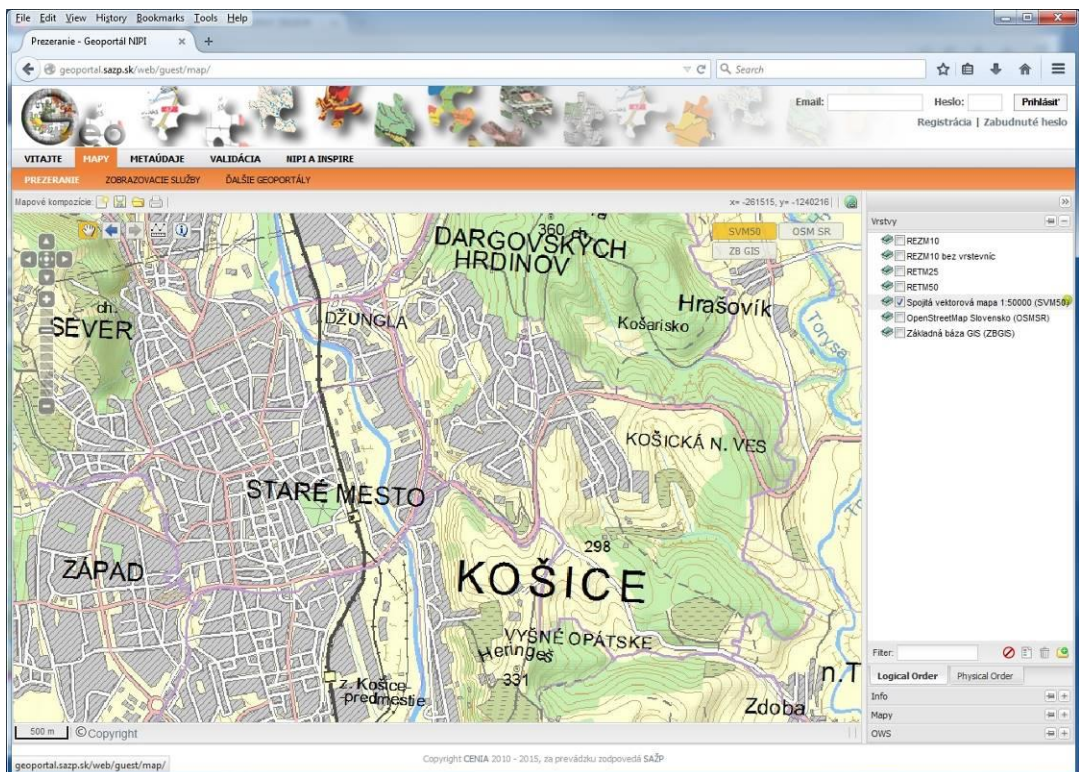
Digitálne mapové diela ako zdroje sekundárnych dát

Veľká časť klasických, analógových mapových diel je v súčasnosti k dispozícii aj v digitálnej rastrovej, v menšej miere aj vo vektorovej forme. Staršie mapové diela vytvorené analógovými technológiami boli postupne od polovice 90. rokov skenované a archivované v digitálnej podobe. Nové mapové diela sú už vytvárané v digitálnej podobe a takto boli aj archivované. Digitálne produkty možno považovať nielen za výsledný produkt geoinformatiky ale aj za zdroj dát pre ďalšie spracovanie.

Na báze základnej mapy v mierke 1:50 000 vznikla spojená vektorová mapa SR ako digitálne mapové dielo SVM 50. Obsah základných máp bol naskenovaný, georeferencovaný a zvektorizovaný do vektorovej podoby. Tematický obsah mapy bol rozdelený do jednotlivých

dátových vrstiev pre GIS. SVM 50 je vo svojej internetovej verzii k dispozícii aj na geoportáli Slovenskej agentúry pre životné prostredie (SAŽP) (Obr. 4.13). Generalizáciou SVM 50 vznikol odvodený digitálny produkt - Spojitá digitálna vektorová mapa SVM 500. Využitie SVM 50 a SVM 500 je mnohoraké, napríklad v oblasti sieťových analýz a logistiky, geomarketingu, priestorových analýz a modelovania.

Armáda SR začala viacero vlastných projektov v oblasti prípravy digitálnych databáz pre GIS. Napríklad *Vector smart map level* – je geografická databáza z územia SR v mierke 1:250 000. Základným zdrojom informácií sú vojenské topografické mapy 1:200 000 a obsahuje 9 tematických vrstiev – doprava, výškopis, energetika, fyziografia, hranice, priemysel, sídla, vegetácia a vodstvo. Správcom databázy je TOPÚ Banská Bystrica. Bola vytvorená pre účely spolupráce v rámci NATO a hoci nie je utajovaná je nutné mať povolenie príslušných orgánov. *Vektorová mapa Slovenskej republiky* je podobný produkt ako *vector smart map level* s tým, že databáza je ešte doplnená o niektoré národné špecifiká a ďalšie dôležité prvky ako sú administratívne hranice, priemyselné plochy, hraničné priechody, hotely, nemocnice, pošty, atď. Pokrytosť územia je 100%. V súčasnosti je k dispozícii už 2. vydanie. Správcom je TOPÚ Banská Bystrica. Produkt bol poskytnutý aj civilnému sektoru a je možné ho získať cestou ÚGKK SR.



Obr. 4.13: Spojitá vektorová mapa SVM 50 dostupná cez webové rozhranie.

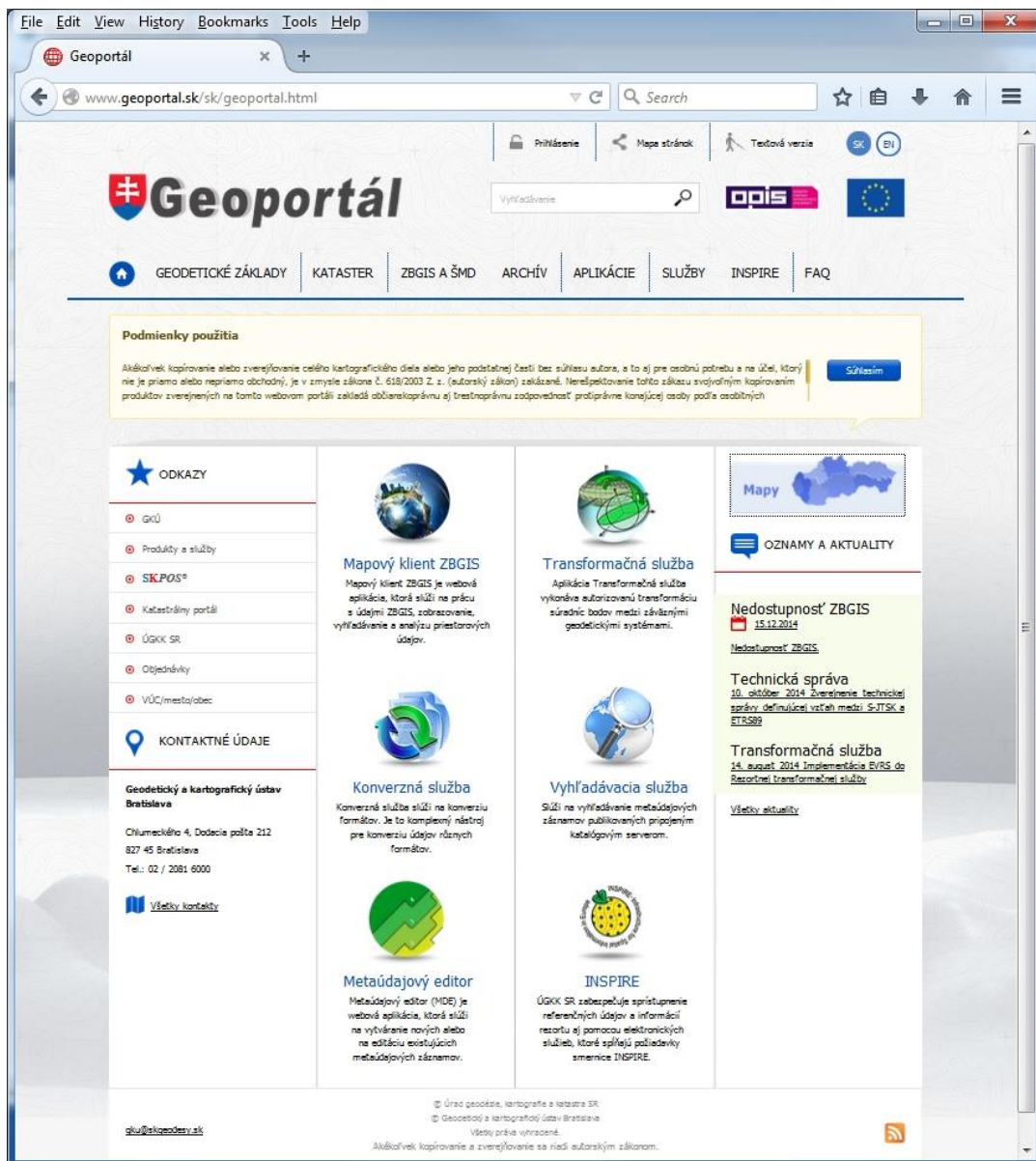
Digitálny model reliéfu úrovne 3 je digitálny súbor informácií o výškových údajoch terénu z územia SR. Základným zdrojom informácií pre jeho tvorbu boli vojenské topografické mapy v mierke 1:10 000 a 1:25 000. Bol poskytnutý aj pre civilné využitie cestou ÚGKK SR.

V civilnom sektore ÚGKK SR sa vytvára základná báza dát pre geografický informačný systém (*ZBGIS*). Cieľom je vytvoriť priestorovo a objektovo orientovanú databázu s úrovňou obsahovej podrobnosti zodpovedajúcej základnej mape 1:10 000, s polohovou presnosťou do 0,5 m.. Referenčnými geodetickými systémami sú ETRS89 a EVRS2000. Zber dát má prebiehať najmä na základe fotogrametrického zberu dát stereoskopickým spracovaním leteckých meračských snímok (LMS) metódami digitálnej fotogrametrie, čo zaručuje vysokú kvalitu databázy s možnosťou vytvorenia troch komponentov: digitálny model reliéfu, 3D digitálny vektorový polohopis, digitálna spojité ortofotomapa. Celý projekt má zabezpečiť kompatibilitu s Európskou úniou a poskytovanie informácií prostredníctvom internetu.

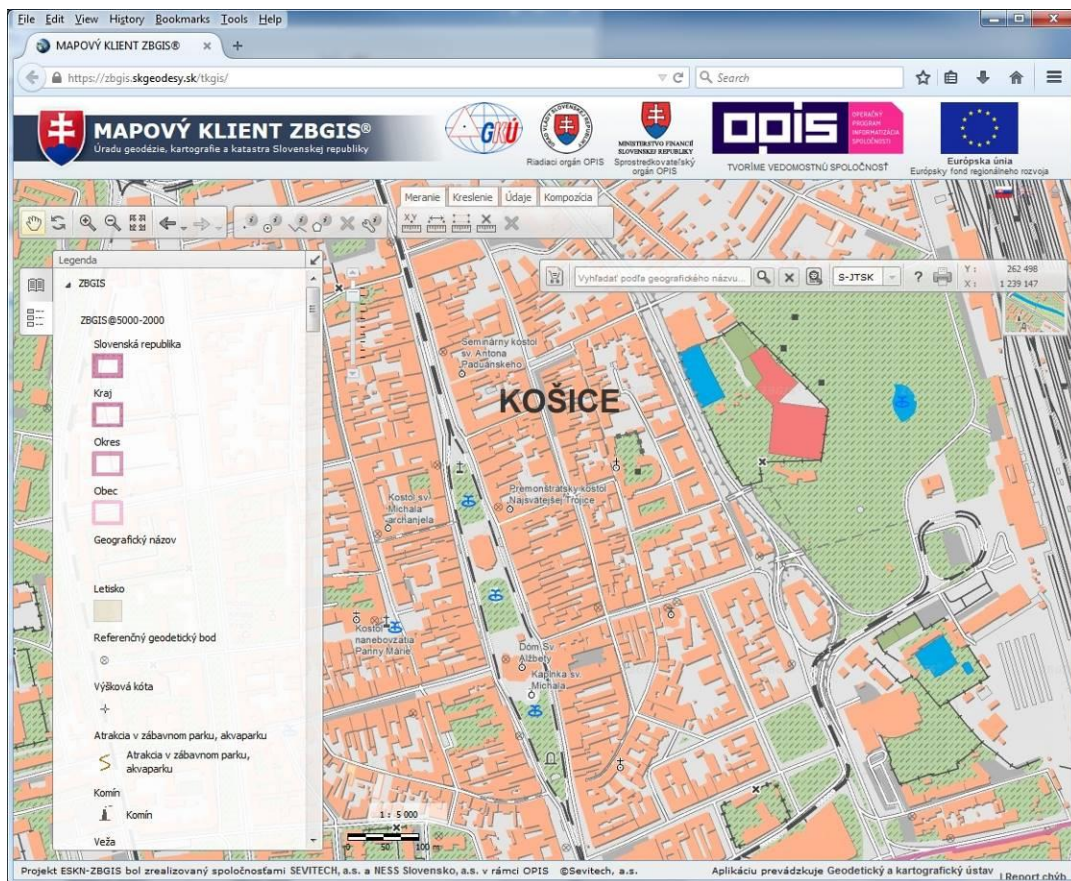
Pre potreby správy nehnuteľností, pozemkové úpravy a podobne je významným zdrojom dát *katastrálny portál* (<http://www.katasterportal.sk/>). Vznikol na základe uznesenia Vlády Slovenskej republiky č. 540/2002, ktorým nariadila zverejnenie údajov katastra nehnuteľností na internete. Katastrálny portál umožňuje autorizovaný prístup k dátam katastra nehnuteľností, získať základné informácie okamžite a bez návštevy príslušnej správy katastra, získať oprávneným subjektom súhrnné a detailné informácie v textovej podobe o vlastníctve nehnuteľností bez zložitej korešpondencie. Zverejnením dát katastra nehnuteľností na internete sa očakáva skvalitnenie dátovej základne, zlepšenie transparentnosti majetkových vzťahov, zníženie korupčného prostredia, zvýšenie kreditu Slovenskej republiky v zahraničí a zníženie záťaže správ katastra a Geodetického a kartografického ústavu na poskytovanie informácií. Dáta z katastrálneho portálu využívajú najmä realitné firmy a banky na preverovanie vlastníctva nehnuteľností, existenciu záložného práva, ale tiež občania a verejné inštitúcie. Prevádzkovateľom aplikácie Katastrálny portál je Geodetický a kartografický ústav Bratislava. Od 1. septembra 2007 sú dáta z katastrálneho portálu bezplatné.

Geoportál (Obr. 4.14) Úradu geodézie, kartografie a katastra SR prevádzkovaný Geodetickým a kartografickým ústavom Bratislava umožňuje prístup k ďalším mapovým informáciám v digitálnej podobe vrátane mapového klienta ZBGIS (Obr. 4.15).

V TOPÚ Banská Bystrica sa začal budovať tiež nový produkt GIS – centrálna priestorová databáza vojenského informačného systému o území (*CPD VISÚ*). Tento produkt je budovaný bezmierkovo s podrobnosťou nového mapovania. Vytváraná databáza má obsahovať takmer všetky prvky reálneho sveta z daného územia. Databáza sa vytvára z najaktuálnejších leteckých meračských snímok metódami digitálnej fotogrametrie čo zaručuje jej vysokú kvalitu. V súčasnej dobe je naplnená na cca 15%. V budúcnosti sa predpokladá, že bude základným zdrojom pre tvorbu vojenských topografických máp a po určitých opatreniach by mala byť dostupná pre odbornú verejnosť. Obe databázy majú byť vzájomne kompatibilné a pritom nezávisle na budovaní databáz v iných rezortoch (Jakubík, 2006).

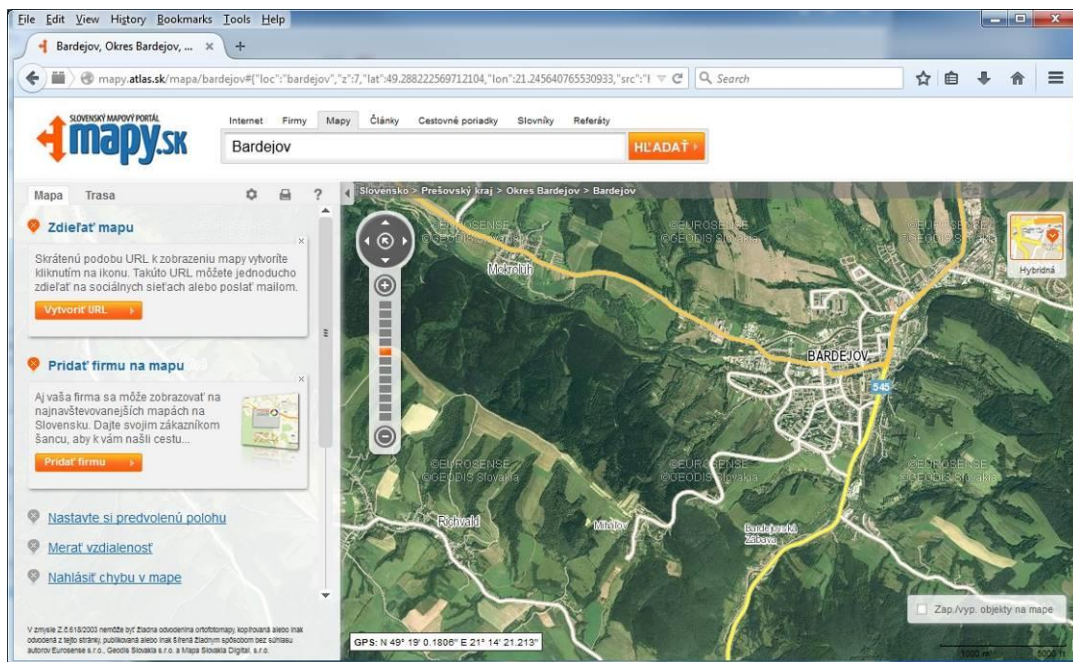


Obr. 4.14: Geoportál Úradu geodézie, kartografie a katastra SR.

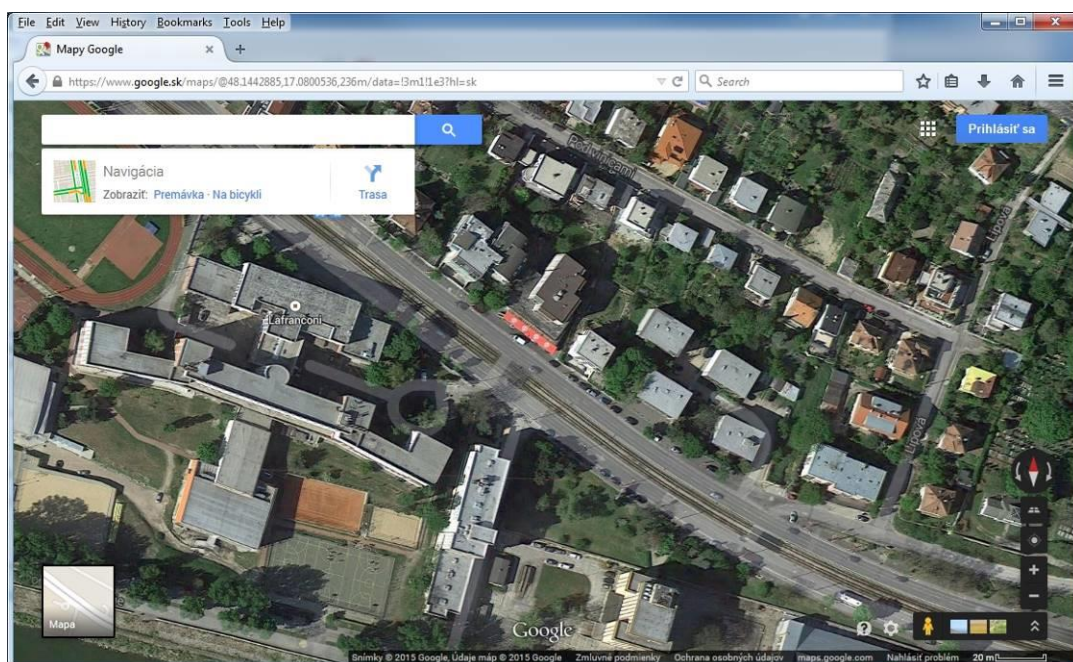


Obr. 4.15: Mapový klient ZBGIS.

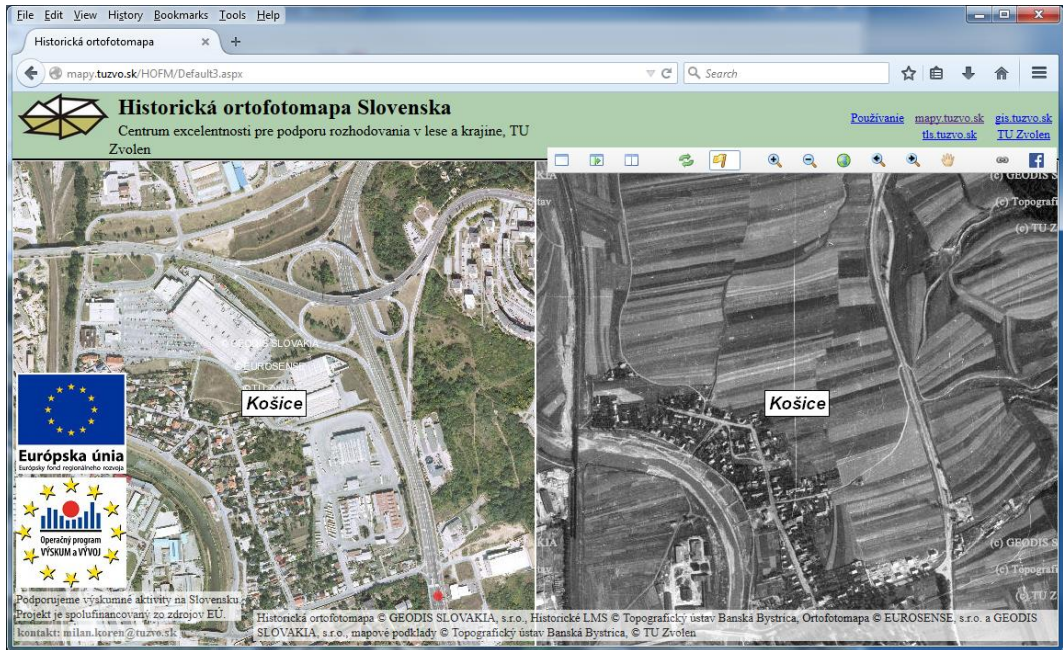
Súčasťou digitálnych, geografických databáz sa stávajú aj produkty leteckého snímkovania územia. Letecké meračské snímkovanie bolo v minulosti vykonávané pod gesciou Ministerstva obrany SR. V súčasnej dobe túto činnosť zabezpečujú aj súkromné spoločnosti. Leteckými meračskými snímkami, prípadne ortofotosnímkami je pokryté celé územie SR z rôzneho obdobia. Z armádnych archívov v TOPÚ Banská Bystrica je možné získať snímky od roku 1935. Tieto archívy disponujú databázou cca 400 000 snímok a sú dostupné podľa noriem vydaných MO SR. Voľne prístupné ortofotomapy najmä zo satelitných zdrojov (Obr. 4.16-18) pre územie Slovenska je možné získať aj na aplikačných webových stránkach spoločností Atlas SK, a.s. (<http://mapy.sk>), Google (<http://maps.google.com/>, <http://earth.google.com/>), NASA (<http://worldwind.arc.nasa.gov/>) a Microsoft (<http://www.bing.com/maps/>).



Obr. 4.16: Webové mapy spoločnosti Atlas.sk, a.s.

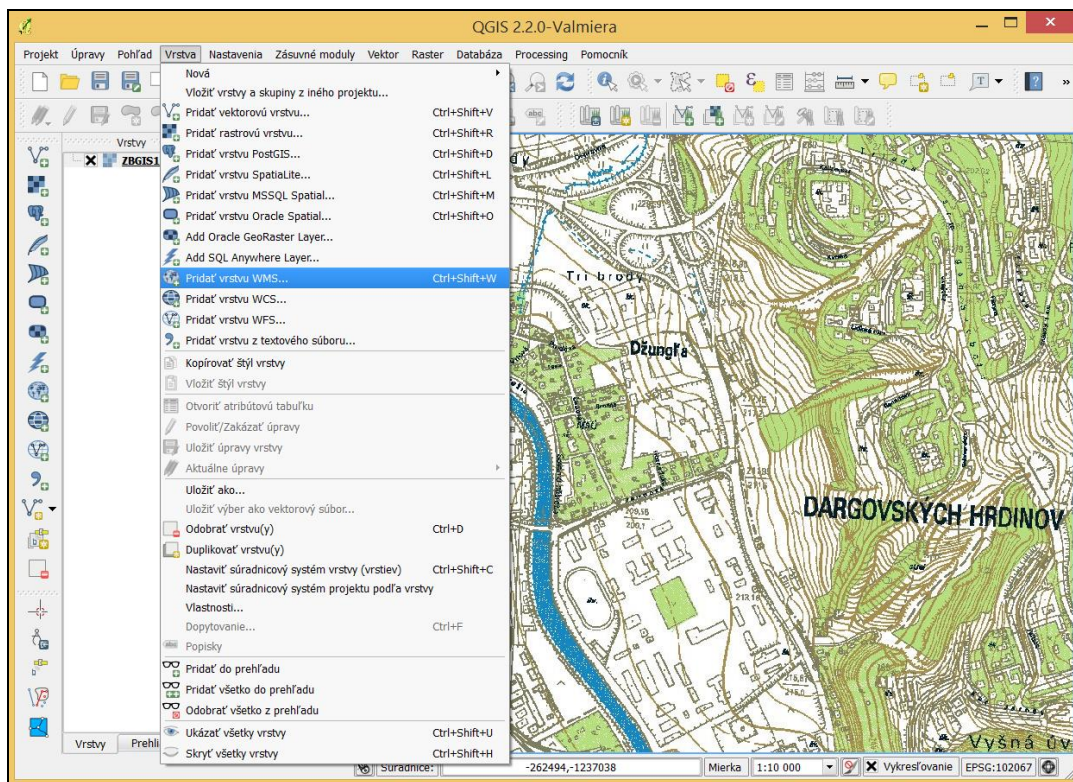


Obr. 4.17: Ortofotostnímká časti Bratislavy (Lafranconi) na mapovom serveri spoločnosti Google.



Obr. 4.18: Webový portál prezentujúci ortofotomozaiku zachytávajúcu súčasný a minulý obraz krajiny Slovenska k roku 1950 na príklade časti Košíc.

Význam digitálnych geodát zvyšuje ich dostupnosť cez webové mapové služby typu WMS (angl. Web Map Service), WFS (angl. Web Feature Service), WCS (angl. Web Coverage Service) alebo API (angl. Application Programming Interface) rozhrania. Tieto služby dovoľujú cez internet načítať rastrové alebo vektorové vrstvy priamo do GIS prostredia, ktoré sú umiestnené na serveroch a použiť ich či už ako podklad pre tvorbu vlastných geodát alebo aj pre analýzy a dopytovanie. Užívateľ tak má prístup k veľkoobjemovým dátam, ktoré by inak musel zakúpiť a skladovať na svojej pracovnej stanici (Obr. 4.7, 4.19). Načítané vrstvy môžu poslúžiť ako statický rastrový podklad (WMS) pre vektorizáciu vybraných prvkov, pre dopytovanie vektorových vrstiev (WFS), alebo dovoľujú plný prístup k dátam (WCS) a ich analýzy. Aplikačné programové rozhrania (API) umožňujú použiť GIS vrstvy pre programovanie vlastných aplikácií alebo tvorbu webových služieb.



Obr. 4.19: Webové mapové služby umožňujú vzdialený prístup ku geopriestorovým databázam. Ukážka načítania Základnej mapy 1:10 000 ako WMS vrstvy geodatabázy ZBGIS v prostredí QGIS.

4.3 Kvalita dát a metadáta

Významným faktorom pri práci v GIS-e je *kvalita dát*, či už ide o primárne alebo sekundárne dáta. Sekundárne dáta môžu dosahovať nanajvýš kvalitu primárnych dát, z ktorých boli odvodené, častokrát však nižšiu. Kvalitu dát možno ju vyjadriť piatimi zložkami: polohovou presnosťou, atribútovou správnosťou, logickou správnosťou, kompletnosťou a odvoditeľnosťou (Longley et al., 2011). Kvalita dát dosiahnutá pri ich zbere a príprave ovplyvňuje aj ďalšie fázy ich spracovania prostredníctvom *prenosu chýb* (angl. error propagation).

Niektoré chyby v dáтах môžu byť pri ďalších operáciách znásobené do takej miery, že znehodnocujú dosiahnuté výsledky. Napríklad nedostatočne presný digitálny model reliéfu môže pri analýze záplavových území poskytnúť nesprávnu informáciu o rozsahu zaplaveného územia. Pomocou metód prenosu chýb v procese spracovania dát je možné určiť vplyv chýb vstupných dát na celkovú chybu a tým aj spoľahlivosť výsledku. V prípade spracovania dát zaťažených nepresnosťou je možné informáciu o chybe zahrnúť priamo do procesu analýz a modelovania. Spracovanie takýchto dát využíva vyjadrenie chýb ako pravdepodobnostných charakteristík popisujúcich dáta.

Informácie o kvalite pripravovaných dát sa uchovávajú pomocou metadát. *Metadáta* obsahujú formálny popis dát (t.j. sú to dáta o dátach) – napr. čo dané dáta znázorňujú, kedy, kým, akou metódou a na základe akých podkladov boli dáta pripravené, aké je ich rozlíšenie (v prípade rastra), typy objektov a ich atribúty (v prípade vektorov) súradnicový systém a presnosť dát (polohová, výšková, atribútová). Metadáta sú veľmi dôležité pri použití dát rôznymi používateľmi, alebo aj pri ich neskoršom používaní a kombinácii s inými dátami.

Za posledné desaťročia sa výrazne zvýšilo množstvo dostupných geopriestorových dát. Vytvárajú ich verejné inštitúcie (výskumné ústavy, univerzity, úrady) alebo aj súkromné spoločnosti. Keďže získavanie dát je často veľmi nákladné, výhody GIS-u sa naplno prejavajú až opakovaným použitím tých istých dát. Preto na celoeurópskej úrovni vznikla iniciatíva *INSPIRE*, ktorej cieľom bolo podporiť rozvoj infraštruktúry pre šírenie geopriestorových dát najmä prostredníctvom internetu. V roku 2007 Európsky parlament schválil Smernicu č. 2007/2/EC o zriadení infraštruktúry pre priestorové informácie v Európskom spoločenstve (*INSPIRE*). Následne bola prijatá národná legislatíva v podobe Zákona o infraštruktúre pre priestorové informácie č. 3/2010 Z.z. z 2. decembra 2009, ktorá definuje niektoré pojmy a konkretizuje úlohy a kompetencie v oblasti zriadenia národnej infraštruktúry pre priestorové informácie vrátane zriadenia národného geoportálu (<http://geoportal.gov.sk/>). Pomocou národného geoportálu je možné vyhľadávať a využívať geopriestorové dáta a služby pomocou národnej katalógovej služby a metadát, vyhľadávať v zozname geografických názvov (miest, ulíc, pohorí a pod.) a lokalizovať ich pomocou gazetteeru, vytvárať vlastné mapové kompozície z dostupných zobrazovacích služieb a uložiť si ich lokálne.

5. Geodatabázy

Obrovské množstvo dát, ktoré sa každodenne vytvára je nutné spoľahlivo uložiť, spracovávať a poskytovať vymedzenému počtu používateľov. Preto každá organizácia a aj celé štáty si musia vytvárať spoľahlivé informačné systémy, ktorých súčasťou sú aj databázy. *Databázu* (nazývanú tiež bázou dát) teda chápeme ako organizovanú množinu účelovo zhromaždených dát. Napríklad, môže to byť databáza obsahujúca všetkých študentov univerzity alebo databáza automobilov vyrobených konkrétnou automobilkou. Čím je databáza rozsiahlejšia a má viac používateľov, tým náročnejšie je jej spravovanie. Hoci prvotné informačné systémy používali individuálne súbory na ukladanie dát, moderné informačné systémy sú založené na databázových systémoch. *Databázový systém* je programový systém na efektívne ukladanie, zmeny a výber veľkého množstva dát z databázy. Kľúčovou zložkou databázového systému je *systém riadenia databázy* (angl. database management system, skratka DBMS). Systém riadenia databázy je špeciálny softvér nad databázou, ktorý umožňuje ľahkú tvorbu, štruktúrovanie, údržbu a výber veľkého množstva dát. Iné softvérové aplikácie (vrátane GIS-u) majú prístup k dátam práve prostredníctvom systému riadenia databázy.

Geodatabáza (geopriestorová databáza) je databáza obsahujúca geopriestorové dáta z daného územia a na určitý účel. Môžu to byť napríklad záznamy meraní z meteorologických staníc na území Slovenska. Poloha každej stanice je určená súradnicami a tento objekt má priradenú množinu meteorologických premenných zaznamenaných v určitom časovom období.

5.1 Funkcie geodatabázy v GIS-e

Geodatabáza je zvyčajne jednou z najdôležitejších častí GIS-u. Jednak tu ide o vysoké náklady vynaložené na naplnenie databázy dátami, ale takisto databáza je základ pre tvorbu analýz, modelovanie a tvorbu výstupov. Organizovaná databáza má značné výhody pri využívaní množstva dát a to najmä ak má veľa používateľov. Rozsahom dát malé, jednoduché databázy využívané jedným alebo niekoľkými používateľmi môžu byť tvorené len jednoduchým súborovým systémom, kde GIS dáta (mapy) sú uložené ako súbory v špeciálnom adresári, pričom sú často určitým spôsobom štruktúrované (napr. rastrové, vektorové dáta, metadáta a podobne). Komplikovanejšie databázy s veľkým počtom používateľov vyžadujú systém riadenia databázy (DBMS). DBMS zabezpečuje viacero dôležitých funkcií, ktoré uľahčujú prácu s veľkým množstvom dát:

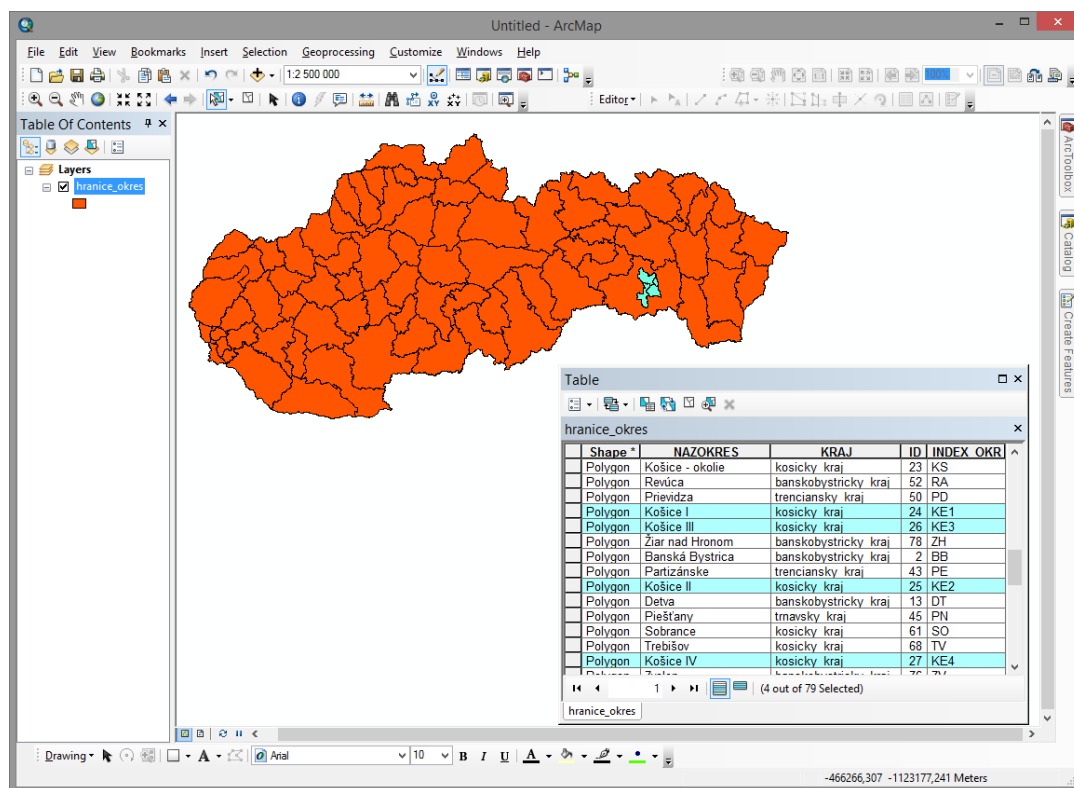
- poskytuje vhodné dátové modely pre popis objektov uložených v databáze,
- zabezpečuje vstup (konverziu) dát vkladaných do databázy,
- realizuje indexáciu položiek (dátovú štruktúru potrebnú na rýchle prehľadávanie),
- poskytuje dopytovací databázový jazyk,
- poskytuje zabezpečenie dát (prístupové práva),
- vykonáva riadenú aktualizáciu, zálohovanie a obnovu dát,
- poskytuje nástroje administrácie databázy,
- poskytuje aplikačné nástroje a programovateľné aplikačné rozhranie (API).

V GIS-och sa používajú nasledovné typy databáz: relačná, objektová, objektovo-relačná (Longley et al., 2011).

Relačná databáza

Relačná databáza obsahuje dvojrozmerné tabuľky s atribútmi o objektoch. Každá geografická trieda (vrstva) objektov je uložená ako tabuľka. Riadky obsahujú objekty (napríklad body reprezentujúce pôdne sondy) a stĺpce vlastnosti alebo atribúty objektov (namerané vlastnosti pôdy v danom bode). Tabuľky geografickej databázy obsahujú navyše aj dáta o polohe objektov buď priamo na základe súradníc, alebo pomocou odkazu na tieto súradnice uložené v binárnom formáte (Obr. 5.1).

Táto štruktúra uchovávania dát je dostatočne flexibilná a rozšírená. Približne 95% existujúcich dát je uchovávaných v relačných databázach. Príkladom relačných databáz a ich systémov riadenia bázy dát sú Microsoft Access, Microsoft SQL Server, Oracle Universal Server, Informix Dynamic Server, PostgreSQL, MySQL a iné. Relačné tabuľky je možné navzájom kombinovať (napr. spájať, aktualizovať obsah a podobne) pokiaľ položky v tabuľkách obsahujú totožný identifikátor.



Obr. 5.1 Relačná databázová tabuľka v ArcGIS-e. Vyselektované sú košické mestské okresy.

Objektová databáza

Niektoré nedostatky relačných databáz mali odstrániť objektové databázy. Napríklad relačné databázy nedokážu uchovávať kompletne objekty v databáze (teda aj stav a správanie sa objektu). Zvyčajne sú vhodnejšie najmä pre jednoduché typy objektov a dát. Objektové databázy uchovávajú samostatné objekty a poskytujú objektovo orientované dopytovacie nástroje na prácu s objektami (prvkami) databázy. Podstatný rozdiel medzi relačným a objektovo orientovaným modelom je v tom, že každý objekt reálneho sveta je v objektovo orientovanej databáze reprezentovaný jedným databázovým objektom, kdežto v relačnej databáze je charakterizovaný viacerými záznamami popisujúcimi vlastnosti tohto objektu.

Objektovo-relačná databáza

Komerčne však tieto databázy nie sú príliš úspešné a to aj vďaka tomu, že do relačných databáz boli postupne implementované aj objektovo orientované prvky, takže vznikli hybridné, objektovo-relačné databázy. Tie sa môžu chápať ako relačné databázy, ktoré môžu pracovať aj s objektami. Objekt je teda popísaný jednak z hľadiska atribútového a jednak behaviorálneho (procesného, algoritmickeho).

Databáza sa vytvára a manipuluje sa s ňou pomocou databázového jazyka. Na prácu s dátami v databáze sa používa dopytovací jazyk, ktorý sa používa na výber dát z databázy. Príkladom databázového dopytovacieho jazyka sú SQL, QBE, IQL, DATALOG a podobne. Najčastejšie sa používa jazyk SQL (Standard Query Language). Možnosti jazyka SQL boli nedávno rozšírené aj o priestorové typy a funkcie špecificky potrebné pre GIS (Longley et al, 2011).

Na vyjadrenie objektov a vzťahov medzi nimi sa používajú tzv. relácie. Sú to dvojrozmerné tabuľky, ktorých riadky tvoria prvky relácie. Stĺpce tvoria atribúty. Aspoň jeden zo stĺpcov je jednoznačný identifikátor (ID). Pre geografické dáta sa relačných databázach zavádza priestorový typ dát, funkcií a indexov.

5.2 Dopytovací databázový jazyk SQL

Jazyk SQL vyvinula firma IBM v 70-tych rokoch 20. storočia. Postupne sa stal štandardom v relačných databázach. Používa sa v komunikácii s databázou priamo v interaktívnom režime alebo prostredníctvom aplikačného softvéru, často s príjemnejším a komfortnejším používateľským rozhraním.

Základným príkazom jazyka SQL je príkaz SELECT (výber), ktorým sa vyberajú výstupné polia (stĺpce). Príkaz SELECT sa zvyčajne rozširuje o ďalšie príkazy, tzv. klauzuly. Výsledkom použitia tohto príkazu je nová relácia. Štandardný tvar (syntax) použitia príkazu SELECT:

SELECT pole FROM tabuľka

Pomocou klauzuly WHERE je možné podmieňovať výber na základe podmienky (kritéria):

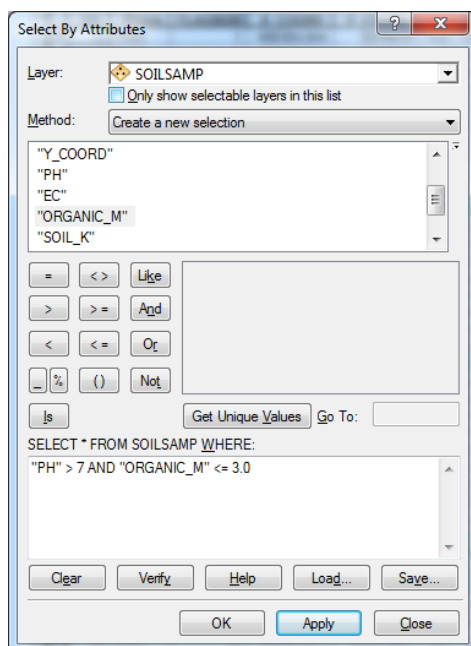
SELECT pole FROM tabuľka WHERE podmienka

Okrem toho je možné použiť aj štandardné logické a aritmetické operátory (napr. AND, OR, XOR, >, <, = a iné). Okrem toho jazyk SQL obsahuje aj ďalšie klauzuly, napr. JOIN, GROUP BY, BETWEEN, LIKE a podobne.

Príklad atribútového výberu z databázy pôdných sond:

```
SELECT * FROM soilsamp WHERE ph > 7 AND organic_m <= 3.0;
```

(vybrať všetky záznamy z tabuľky „soilsamp“, kde atribút ph je väčší ako 7 a zároveň atribút organic_m je menší alebo rovný 3.0). V ArcGIS-e sa atribútový výber vykonáva prostredníctvom SQL dopytu v grafickom okne (Obr. 5.2).



Obr. 5.2: Atribútový výber pomocou SQL príkazu v ArcGIS-e.

Priestorové výbery pomocou SQL

Jazyk SQL bol rozšírený aj o priestorové príkazy a funkcie:

- equals – porovnanie zhodnosti geometrických prvkov a výber prvkov, ktoré podmienku spĺňajú,
- disjoint – priestorové prvky nemajú spoločný bod,

- intersects - prienik priestorových prvkov,
- touches - priestorové prvky sa dotýkajú,
- within - priestorový prvok je v rámci iného prvku,
- contains - jeden priestorový prvok obsahuje druhý prvok,
- overlaps - priestorové prvky sa prekrývajú,
- relate - priestorové prvky sa prekrývajú svojím vnútrom, hranicou alebo okolím.

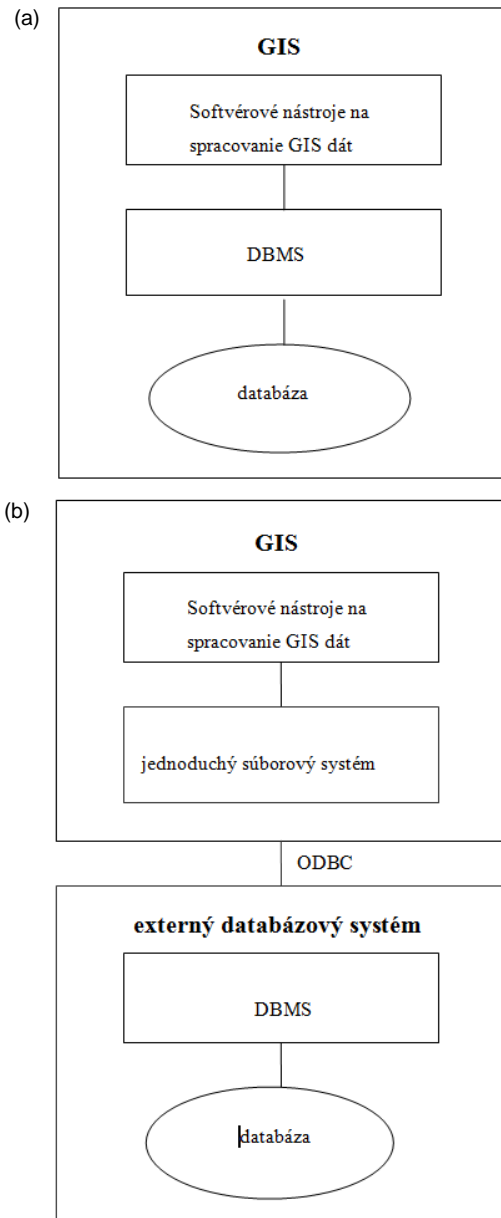
Ďalšie funkcie umožňujú realizovať priestorové analýzy prvkov, napríklad určovať vzdialenosti medzi prvkami, vytvárať zóny okolo prvkov, vytvárať ich prieniky alebo ich zjednocovať a podobne. Tieto funkcie môžeme tiež rozdeliť na operátory, ktoré sú zamerané na dĺžky, plochy, obvody, na operátory zamerané na topologické vzťahy (prienik, dotýka sa a podobne) alebo aj ich kombináciu. Mnohé z týchto operácií sa týkajú len vektorových dát (napr. operácia dotýka sa), pretože topologické vzťahy sú explicitne vyjadriteľné len vo vektorovom formáte. V prípade rastrov je často nutná interakcia používateľa – napr. označenie bodu alebo línie, voči ktorej sa má vykonať nejaká operácia.

5.3 Použitie geodatabázy v GIS-e

Pri projektovaní použitia geopriestorovej databázy musíme zvažovať viacero faktorov. V konceptuálnej rovine musíme zvážiť ciele použitia databázy, aké dáta, kto ich bude používať a na aký účel. To bude určovať triedy objektov, ich vzťahy a potrebné funkcie. Jednou z dôležitých úloh je aj určenie priestorovej reprezentácie používaných dát (vektor, raster), pretože každá konverzia znamená určitú stratu informácie. Dáta v databáze by mali byť určitým spôsobom štruktúrované. Existujú dva hlavné spôsoby štruktúrovania dát v geodatabáze: topológiou a indexovaním. Topológia sa vytvára pre vektorové dáta. Zvyčajne je to interaktívny proces, pretože vyžaduje aj manuálne úpravy. Indexovanie slúži na rýchlejšie dopytovanie databázy, najmä keď obsahuje veľmi veľa položiek. Namiesto prehľadávania jednotlivých položiek v databázovej tabuľke sa proces zrýchli použitím indexových položiek, ktoré ukazujú na skupiny položiek. V GIS-e sa najčastejšie využívajú metódy R-tree, quadtree a gridový index.

Spracovanie geografických objektov nepriestorovými databázami sa často zabezpečuje pomocou osobitnej nadstavby, prepojenia medzi databázou a GIS-om. Príkladom je ArcSDE pre databázy IBM DB2, IBM Informix, Microsoft SQL Server a Oracle, alebo PostGIS pre PostgreSQL.

Jednou z hlavných úloh, ktoré musí zabezpečiť systém riadenia bázy dát, je vykonávanie zmien v databáze súčasne viacerými používateľmi. Prístup k databáze musí vylúčiť konflikty a poškodenia databázy v prípade, že viacerí používatelia chcú naraz meniť obsah databázy. Skupina zmien v databáze (napr. pridanie plochy, línie, atribútu a podobne) sa vykonáva v tzv. transakciách. Počas transakcie nie je možné meniť tie isté dáta a ďalšia transakcia čaká na dokončenie predošlej. Keďže čas vykonania transakcie je veľmi krátky, väčšina používateľov zdržanie ani nezaznamená. Okrem toho sa v databáze uchováva zmeny v databáze formou tzv. verzií databázy.




Obr. 5.3: (a) databázový systém ako súčasť GIS-u, (b) externé použitie databázového systému.

Mnoho GIS-ov aj v súčasnosti pracuje s jednoduchým súborovým systémom bez systému riadenia bázy dát (napr. GRASS GIS, ArcGIS a iné). Toto riešenie je jednoduché a úsporné, avšak neumožňuje pracovať s dátami viacerým používateľom naraz najmä pri editácii dát. Tieto GIS-y však zvyčajne majú možnosť pracovať s externou databázou prostredníctvom softvérového

prepojenia. Môže sa jednať o exportno-importné moduly alebo o riešenie pomocou ODBC (Open DataBase Connectivity). ODBC je softvérové rozhranie, ktoré umožňuje GIS-u pracovať s dátami z rôznych databáz.

Existujú GIS-y (napr. ArcGIS), ktoré majú svoj vlastný, priamo integrovaný relačný databázový systém. Navyše, mnohé z nich súčasne ponúkajú aj možnosť prepojenia na iné, externé databázy pomocou špeciálnych softvérových modulov. Porovnanie oboch prístupov je na Obr. 5.3. Výber architektúry riešenia závisí od charakteru riešených úloh, počtu používateľov dát a finančných možností organizácie. Úlohou GIS-u je zabezpečiť vstup dát, ich editovanie a spracovanie, databázový systém zabezpečuje najmä ukladanie dát, indexovanie, efektívne dopytovanie, zálohovanie a zabezpečenie dát.



6. Transformácie GIS dát a priestorové analýzy

Transformácie dát, priestorové analýzy a modelovanie predstavujú jadro GIS-u a práve táto oblasť vymedzuje GIS oproti iným softvérom pracujúcim s grafickými dátami (napr. CAD, CAM). V týchto operáciách sú zakódované mnohé geopriestorové metódy prevzaté z aplikačných disciplín, vrátane geografie. Zaužívaný je pojem priestorové analýzy, i keď by bolo vhodné používať skôr pojem geopriestorové na vymedzenie ich zamerania týkajúceho sa geosféry, resp. krajiny.

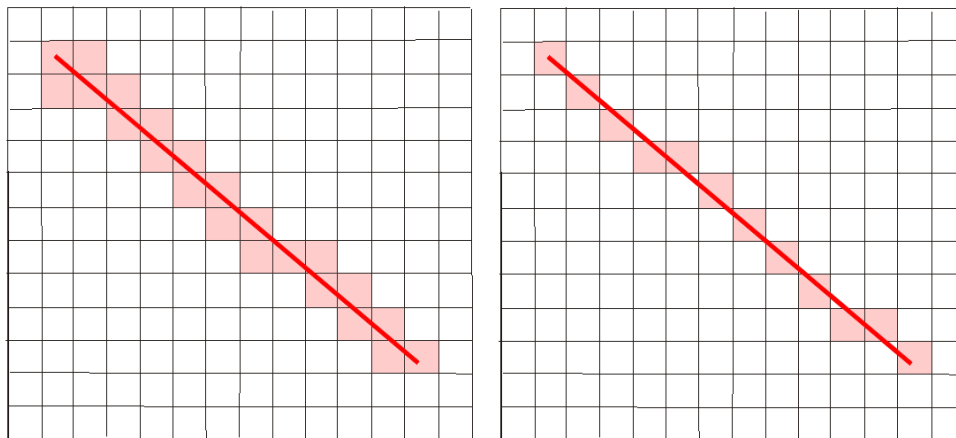
Priestorové analýzy umožňujú odhaliť mnohé väzby a súvislosti v krajine, sú preto jedným zo základných nástrojov geografa. Pomocou nich používateľ GIS-u z dát získava informácie potrebné pre priestorové rozhodovanie a manažment krajiny. Spolu s vizualizáciou a kartografickou prezentáciou výsledkov umožňujú vytvárať zrozumiteľné podklady pre iných odborníkov alebo rozhodovací proces.

Výber dátového modelu je dôležitý pre spôsob ďalšieho spracovania dát. Niektoré analýzy sú analogické pre oba dátové modely (napr. reklasifikácia, analýza susedstva, tvorba zón, atď), iné sú natoľko špecifické, že je potrebné využiť konkrétny dátový model (napr. rasterový dátový model pre modelovanie prúdenia vody metódou konečných rozdielov, vektorový model pre sieťovú analýzu). Pokiaľ naše zdrojové dáta nie sú už v tomto dátovom modeli, je potrebné pred ďalšími operáciami vykonať konverziu dátového modelu. Pri praktickom použití GIS-u je bežné, že dáta, ktoré vstupujú do GIS-u sú v rôznych dátových modeloch a formátoch, definované v odlišných súradnicových systémoch a podobne. Pokiaľ používateľ chce s týmito dátami neskôr pracovať a vykonávať priestorové analýzy, je potrebná transformácia, zjednotenie dát. Konverzie dátových modelov, ale aj transformácie súradnicových systémov môžu mať negatívny efekt na kvalitu dát. Často pri nich dochádza k strate polohovej, ale aj atribútovej presnosti, osobitne pri rastrovom dátovom modeli. Z toho dôvodu sa tieto konverzie snažíme minimalizovať a pri riešení konkrétneho problému alebo projektu už na jeho začiatku dôsledne zvažujeme výber dátového modelu, ako aj súradnicového systému. Prípadné konverzie vstupných dát preto robíme skôr na začiatku projektu a pred ďalšími operáciami.

6.1 Konverzie dátových modelov

Konverzia dátových modelov sa vykonáva vtedy, ak je potrebné zmeniť dátový model, v ktorom sú objekty a javy krajiny reprezentované. Napríklad je potrebné vykonať takú analýzu alebo modelovanie, ktoré vyžaduje konkrétny dátový model, prípadne je potrebné zjednotiť spôsob reprezentácie rôznych tematických vrstiev dát. Konverzia z vektoru na raster je relatívne jednoduchá. Je však dôležité zvoliť kritérium pre označenie príslušných buniek rastra. Na Obr 6.1 sú schematicky naznačené dve riešenia konverzie vektorovej línie do rastra, ktoré sú obe správne, avšak rozdiel je v "hrúbke" výslednej línie v rastrovom modeli a ako takýto prvok reprezentuje konkrétny jav v krajine (napríklad šírka cesty alebo rieky). V tomto prípade je dôležitý výber vhodného rozlíšenia rastra. Problém tiež vzniká, ak do jednej bunky patria dve alebo aj viac línií.

Zvyčajne sa bunka označí líniou, ktorá sa načíta ako prvá. Atribút, ktorý je priradený vektorovej línii sa analogicky priradí ako hodnota bunky rastra. V prípade, že atribútov je viac, je nutné vybrať atribút, ktorý sa má priradiť.



Obr. 6.1: Možnosti označenia rastrových buniek pri konverzii vektorovej línie do rastra.

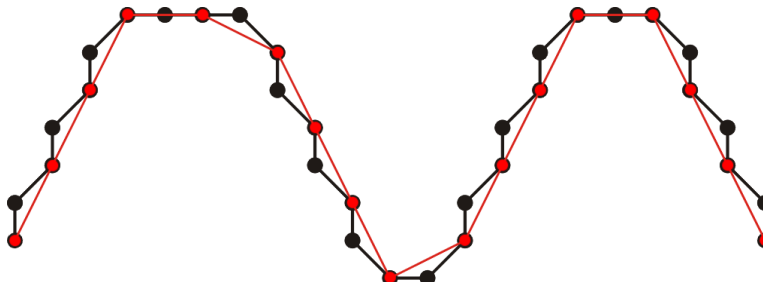
Aj pri konverzii polygónov vzniká problém príslušnosti buniek rastra, aby dostatočne presne reprezentovali daný objekt. Pri určení, či daná bunka má alebo nemá označovať daný objekt existujú 4 základné metódy (Tuček, 1998):

- metóda centrálného bodu,
- metóda väčšinového podielu obsadenia bunky,
- metóda najdôležitejšieho typu,
- metóda vážených podielov na obsadení bunky.

V metóde centrálného bodu sa bunke rastra priradí hodnota polygónu, ktorý sa nachádza v strede bunky. V metóde väčšinového podielu obsadenia bunky sa bunke priradí hodnota polygónu, ktorý zaberá najväčšiu časť bunky. V metóde najdôležitejšieho typu sa bunke priradí hodnota, ktorá je označená za najdôležitejšiu. V metóde vážených podielov na obsadení bunky sa bunke priradí hodnota, ktorá je váženým podielom plochy a hodnôt jednotlivých polygónov, ktoré sa nachádzajú v priestore bunky. Najčastejšie sa využívajú metódy väčšinového podielu obsadenia bunky a metóda centrálného bodu (Obr. 2.2).

Pri konverzii z rastrovej do vektorovej reprezentácie sa bodom vektorového objektu stáva stred bunky pri líniiach alebo hrana bunky pri polygónoch. To spôsobuje neprirodený, lomený priebeh (v tvare cik-cak). Problém sa rieši vyhladzovaním priebehu línie, t.j. generalizáciou. Najjednoduchším spôsobom generalizácie priebehu vektorovej línie je vynechanie n -tého bodu na línii. Na Obr. 6.2 je uvedený príklad vyhladzovania línie po konverzii z rastra vynechaním každého druhého bodu línie. V prípade, že pôvodná línia je vyjadrená v rasti s nižším rozlíšením alebo ak priebeh línie je

komplikovaný s veľkým zakrivením, tak metóda vynechávania bodov môže najmä pri väčšom počte vynechaných bodov spôsobovať problémy so zachovaním tvaru. Modifikáciou tohto postupu je vynechanie len tých bodov, ktoré sú blízko pri sebe (t.j. pod určitú hraničnú vzdialenosť) alebo je veľmi malý rozdiel v uhloch vektorov úsekov línie (t.j. malé zakrivenie línie).



Obr. 6.2: Vyhľadovanie priebehu línie po konverzii z rastra.

Iným spôsobom je výpočet hodnôt súradníc polohy bodu pomocou kľzavých aritmetických priemerov. Výsledkom je neredukovaný počet bodov línie s hladším priebehom. Ďalšími veľmi známymi technikami sú Douglas-Peuckerova metóda zjednodušujúca zložité objekty pomocou redukcie počtu bodov, ktorá je založená na testovaní hodnoty kolmej vzdialenosti medzi bodmi pôvodnej línie a úsekmi generalizovanej línie (Douglas a Peucker, 1973) alebo vyhľadovanie pomocou splajnových funkcií.

Zmena rozlíšenia rastrového dátového modelu

Pri práci s rastrovými dátami je niekedy potrebné zmeniť rozlíšenie rastra, t.j. veľkosť bunky. Napríklad spracovanie viacerých rastrových vrstiev pomocou mapovej algebry vyžaduje rovnaké rozlíšenie každej vrstvy. Pokiaľ to tak nie je, GIS softvér často automaticky zmení toto rozlíšenie v procese spracovania na úroveň najnižšieho rozlíšenia medzi použitými vrstvami. Pokiaľ by sme chceli zvýšiť rozlíšenie rastra, napríklad z 50 m na 10 metrov, výsledný raster síce bude mať vyššie rozlíšenie vyjadrené počtom buniek, avšak informačný obsah bude stále zodpovedať pôvodnému rozlíšeniu 50 metrov.

Zmena rozlíšenia má 2 aspekty – geometrický a atribútový. So zvyšovaním rozlíšenia (zmenšovaním veľkosti bunky) sa zvyčajne mení len geometria (veľkosť) bunky a nemení sa atribútová hodnota. So znižovaním rozlíšenia (zväčšovaním veľkosti bunky) sa však do priestoru novej, väčšej bunky dostanú aj bunky z vyššieho rozlíšenia a preto výsledná hodnota atribútu bunky by mala zohľadňovať aj hodnoty buniek z vyššieho rozlíšenia. Pri určení výslednej hodnoty sa používajú rôzne metódy. Najčastejšími metódami sú metóda najbližšieho suseda, bilinéarna interpolácia a kubická konvolúcia. Metóda najbližšieho suseda je vhodná pre diskrétna dáta (kategórie), pretože nemení ich hodnoty. Pri bilinearnej interpolácii a kubickej konvolúcii sa vypočíta hodnota bunky z váženého priemeru hodnôt buniek v okolí 2x2 alebo 4x4 buniek. Sú pomalšie ako metóda najbližšieho suseda. Bilinearna interpolácia a kubická konvolúcia by sa nemali

používať pre dáta s kategóriami, lebo menia hodnoty buniek. Všetky tri sa však môžu použiť pre spojité hodnoty, avšak metóda najbližšieho suseda vytvára v dátach bloky, ďalšie dve metódy výsledok zhladzujú.

6.2 Priestorové analýzy geografických dát

Tieto operácie sú kľúčové, pretože tvoria jednu z ťažiskových súčastí GIS-u. Priestorová analýza umožňuje odhaliť väzby, súvislosti, procesy, ktoré sú ukryté v analyzovaných dátach. Práve vďaka nej sa z dát stávajú informácie. Existuje celá paleta operácií s geografickými dátami. K dátam sa pristupuje cez polohu, atribút, alebo ich kombináciu. Existuje 6 základných skupín GIS operácií:

- *dopyty* – zamerané sú na lokalizáciu a výbery objektov z geodatabázy na základe určitých kritérií,
- *prekrývanie priestorových dát* – kombináciou vrstiev vzniká nová vrstva s novými objektami (rozdelením, splynutím pôvodných objektov a podobne)
- *klasifikácia priestorových dát* – zaraďovanie jednotlivých výskytov daného javu do kategórií na základe vybraných atribútov alebo funkcií
- *vzdialenostné analýzy* – určenie dĺžok, plochy, obvodu, tvaru, tvorba zón, sieťová analýza,
- *mapová algebra* – základný a komplexný nástroj na realizáciu priestorových analýz v rastrovom formáte
- *priestorové interpolácie* – slúži na modelovanie spojitých priestorových javov z bodových dát

Dopyty

Najjednoduchšou operáciou je *prehľadávanie*, resp. vyhľadávanie, výbery dát na základe polohy, hodnoty atribútu alebo ich kombinácie. Pri výbere na základe polohy sa definuje lokalita alebo oblasť, ktorá nás zaujíma. Môžeme to vykonávať interaktívne pomocou myši, keď kliknutím na konkrétny objekt získame dáta z atribútovej tabuľky alebo pomocou priestorového vymedzenia na základe objektu (polygónu), prípadne vzdialenosti od určitého objektu. Výbery pomocou atribútov zvyčajne realizujeme pomocou definovanej hodnoty atribútov, ktoré chceme vyhľadať, napríklad pomocou SQL príkazu. Vybraté objekty sa v GIS-e označia inou farbou či už v grafickom okne alebo v atribútovej tabuľke.

Vyhľadávacími kritériami môžu byť relačné alebo aj logické operácie. S prehľadávaním sú často spojené aj *triedenie* a *výpočet štatistických charakteristík* (napr. maximum, minimum, priemery, odchýlky a podobne).

Prekrývanie priestorových dát

Prekrývanie priestorových dát patrí medzi základné analytické operácie v GIS-e. Pod analytickým prekrývaním rozumieme operácie, keď kombináciou vektorových vrstiev vzniká vrstva s novými objektami (rozdelením, splynutím a pod. pôvodných objektov) alebo sa aplikuje matematická alebo logická operácia medzi rastrovými dátami. Svoj pôvod má v tradičnej technike nakladania máp na

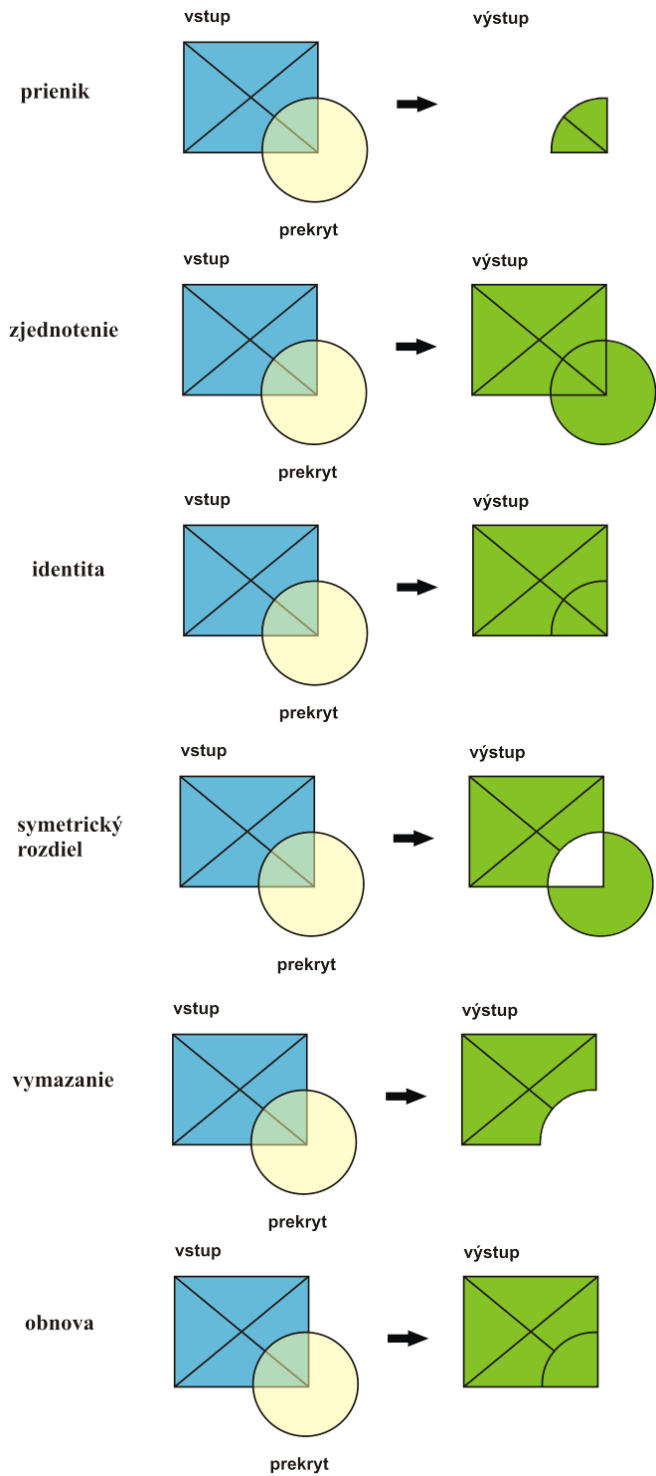
seba, ktoré sa využívali aj minulosti. Avšak bez GIS-u to bola technika pomerne komplikovaná, najmä ak mapy boli v rozdielnych mierkach. Zvyčajnými oblasťami využitia je napríklad detekovanie zmien vo vývoji krajiny, multikriteriálne rozhodovanie o optimálnom využití územia, aplikácie erózných modelov a mnohé ďalšie. Pri vektorových dátach aplikáciou operácií prekrývania často vznikajú nové objekty, dochádza k zmenám topologických vzťahov a prípadne aj k zmenám v atribútovej tabuľke (pripojenie ďalších záznamov).

Základné typy operácií prekrývania (Obr 6.3):

- *prienik* (intersection) - výsledok sú prekrývajúce sa časti vstupných objektov, ktoré sa nachádzajú na vrstvách A a B,
- *zjednotenie* (union) - výsledok sú objekty, ktoré sa nachádzajú na vrstve A alebo B,
- *identita* (identity) - výsledok je vrstva, ktorá obsahuje objekty vrstvy A, ktoré sú prekryté (nahradené) objektami vrstvy B,
- *symetrický rozdiel* (symmetrical difference) - výsledok je vrstva obsahujúca objekty vrstiev A a B, pričom prekrývajúce sa objekty oboch vrstiev sú odstránené,
- *vymazanie* (erase) - výsledkom sú objekty vrstvy A, z ktorých boli odstránené časti, na ktorých ležia objekty vrstvy B,
- *obnova* (update) - výsledkom je vrstva s objektami vrstvy A a B, pričom objekty vrstvy A sú nahradené prekrývajúcimi sa objektami vrstvy B.

Pri prekrývaní vektorových vrstiev je dôležitý priebeh spoločných hraníc. Pri vrstvách z rôznych zdrojov sa často presne nezhodujú hranice a na základe operácií prekrývania vznikajú rôzne úzke polygóny (slivers) alebo voľné konce línií (dangles). Tieto nedostatky je potrebné následne odstraňovať vhodnými nástrojmi v GIS-e.

Prekrývanie polygónov na seba pri vektorovom dátovom modeli je pomerne komplexný problém, pretože je nutné rozhodovať o počte a tvare nových polygónov. Úloha má rozdielny charakter pre diskkrétne objekty a pre polia. Úloha sa stáva náročnou najmä pre dátové vrstvy s veľkým počtom objektov. Pri rastrovom modeli ide o jednoduchú operáciu, ktorá však v porovnaní s vektorovým poskytuje odlišné výstupy (Obr. 6.4).



Obr. 6.3: Základné typy prekryvania vektorových dát.

Klasifikácia priestorových dát

Klasifikácia proces zaradovania jednotlivých výskytov daného javu do kategórií a tried na základe vybraných atribútov alebo funkcií. Má úzky súvis s geografickou regionalizáciou a aj kartografickou reprezentáciou javov. Klasifikácia má pomôcť lepšie pochopiť a interpretovať dáta. Rozlišujeme viaceré typy klasifikácie (Hlásny, 2007):

- *klasifikácia na základe explicitne stanoveného klasifikačného kritéria* - rozdelenie do intervalov na základe charakteru javu, avšak nie zo štruktúry klasifikovaných dát. Často ide o zaužívané alebo predpisom stanovené klasifikačné kritériá (napr. nerovnomerné intervaly sklonov).
- *arbitrárna klasifikácia* - nie sú stanovené klasifikačné kritériá, ide napr. o stanovenie hraníc vhodných z vizuálneho hľadiska.
- *idiografická klasifikácia* - na základe rozdelenia početnosti (frekvenčnej krivky), zohľadňuje štruktúru klasifikovaných dát.
- *sériová klasifikácia* - hranice intervalov sú v matematickom vzťahu (napr. kvantily, decily, odvodené od smerodajnej odchýlky, rovnomerné intervaly a pod.).
- *wombling* - vymedzenie tried, medzi ktorými existuje skutočný, štatisticky významný rozdiel. Rešpektuje sa prirodzená štruktúra javu. Na základe intenzity zmeny sledovaného atribútu sa určujú hranice kvalitatívnych alebo kvantitatívnych javov. Používajú sa aj ďalšie metódy, napr. detektory hrán, zhuková analýza, wavelet analýza a pod.

Pri klasifikácii je nevyhnutné brať do úvahy aj neurčitost' geografických dát, nepresnosť primárneho a sekundárneho zdroja dát a prenos chýb v priestorových analýzach a modelovaní. Výber klasifikačnej metódy závisí aj od jej účelu a interpretácie dát. Tu je priamy súvis s výberom vhodnej kartografickej metódy zobrazovania geografického javu a tvorby legendy.

Významnou oblasťou aplikácie klasifikačných metód sú dáta DPZ. Pri klasifikácii spektrálnych satelitných snímok sa vyžaduje použitie celej plejády sofistikovaných, najmä viacrozmerných štatistických metód. Využívajú sa riadené (supervised learning) a aj neriadené (unsupervised learning) metódy klasifikácie. Pri riadených metódach sa - využívajú tzv. trénovacie dáta, na základe ktorých sa zostavuje predikčný model (pravidlá). Patria tu napríklad diskriminačná analýza, logistická regresia, či niektoré metódy neurónových sietí. Pri neriadených metódach je to vo všeobecnosti zhuková analýza, metóda ISODATA, viacrozmerné škálovanie.

V súvislosti so zvyšujúcim sa množstvom dát a tvorbou rozsiahlych databáz vzniká tiež potreba získavania nových informácií na základe týchto dát. Tento proces sa vo všeobecnosti nazýva *dolovanie dát* (data mining). Využívajú sa pritom sofistikované štatistické metódy a postupy z oblasti umelej inteligencie a strojového učenia. Tieto metódy sa rozvíjajú v informatike a štatistike, ale nachádzajú čoraz širšie uplatnenie aj v geoinformatike a geografii. Niektoré metódy, ako sú napríklad viacrozmerné štatistické metódy, sa v geografii používali aj skôr, najmä na identifikáciu faktorov, či premenných vysvetľujúcich niektoré geografické javy.

Veľmi často vykonávanou operáciou v GIS-e je aj *reklasifikácia*, pomocou ktorej vytvárame dátovú vrstvu s novými hodnotami atribútov definovaných na základe reklasifikačného kritéria (predpisu) a pôvodnej dátovej vrstvy. Reklasifikácia slúži často na zjednodušenie obsahu dátovej vrstvy, redukuje nerelevantné detaily v dátach. Ak napríklad pracujeme na rozvojovom pláne regiónu, môžeme jednotlivé druhy lesa v takejto analýze zanedbať a reklasifikovať všetky zalesnené oblasti do jedného lesa odlišného od poľnohospodárskej plochy a obývaných oblastí. Inokedy nejde o zjednodušenie štruktúry dát, ale o definovanie úplne novej vrstvy dát. Napríklad na základe kategórií krajinej pokrývky môžeme reklasifikáciou definovať pre každú jej kategóriu hodnoty ochranného vegetačného faktora C pre model vodnej erózie pôdy USLE (Šúri et al., 2002). V následných GIS operáciách sa nepracuje s pôvodnými dátovými vrstvami, ale len s reklasifikovanými, parametrickými vrstvami.

Vzdialenostné analýzy

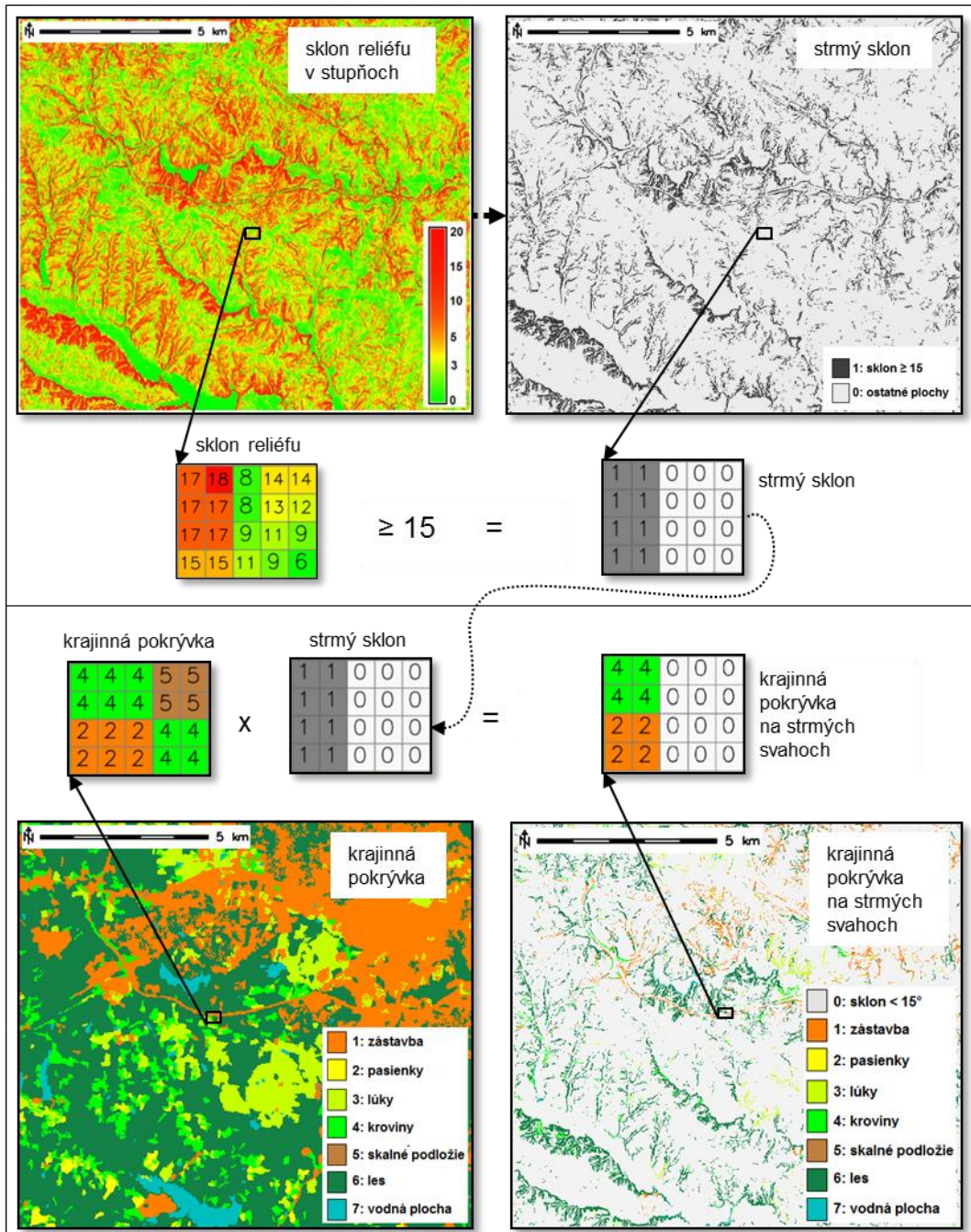
Tvorba zón (buffering) je operácia, pri ktorej sa na základe vopred definovanej vzdialenosti vytvára zóna okolo daného objektu (bodu, línie alebo plochy). Takto sa môžu definovať ochranné zóny okolo vodných tokov, alebo zóny so zákazom výstavby obytných objektov v blízkosti dopravnej komunikácie. Je to jedna z najužitočnejších operácií v GIS-e, ktorá sa dá vykonať s vektorovými a aj rastrovými dátami. Tvorba zón patrí do skupiny vzdialenostných analýz.

Mapová algebra

Mapová algebra je základný nástroj na vykonávanie priestorových analýz v rastrovom formáte. Jej podstatou je, že jednotlivé rastrové mapy môžeme považovať za členy aritmetických výrazov, v ktorých môžeme aplikovať štandardné aritmetické a logické operácie (*, /, +, -, >, <, =, &&, !=, atď). Okrem toho je možné použiť rastrové mapy aj ako argumenty matematických funkcií (cos(x), abs(x), max(x), log(x) a podobne). Vďaka tomu sa dajú jednoducho spočítať mnohé vzorce modelov krajinných procesov a javov. Tieto operácie sa vykonávajú medzi bunkami s rovnakou polohou alebo v určitom okolí danej bunky (kombinujú sa bunky s rôznou polohou v určitom okolí). V prípade GIS-u GRASS sa pôvodne 2D aplikácia mapovej algebry rozšírila aj na 3D dáta (modul r3.mapcalc).

Funkcie mapovej algebry je možné realizovať v rôznom priestorovom kontexte:

- lokálne,
- fokálne,
- zonálne,
- inkrementálne.



Obr. 6.4: Ukážka lokálnej operácie mapovej algebry pre identifikáciu krajinnej pokrývky na strmých svahoch. Zdroj dát: North Carolina GRASS GIS sample dataset.

Lokálna realizácia znamená, že operácie medzi bunkami vrstiev prebiehajú vo vertikálnom smere nad sebou. Príkladom takejto operácie je realizácia tohto príkazu modulom r.mapcalc v GIS-e GRASS:

$$\textit{kraj_pokryv_na_strm_svahoch} = (\textit{sklon} \geq 15) * (\textit{krajinna_pokryvka})$$

Schematicky túto operáciu znázorňuje Obr. 6.4 na príklade identifikácie typov krajinej pokrývky na strmých svahoch. Vstupnými rastrovými vrstvami sú: sklon reliéfu a krajinná pokrývka. Najprv sú z rastrovej vrstvy sklonu reliéfu identifikované bunky so sklonom väčším alebo rovným ako 15 stupňov. Výsledkom je binárny raster, v ktorom bunky s hodnotou 1 spĺňajú uvedenú podmienku sklonu a bunky s hodnotou 0 ju nespĺňajú. Potom nasleduje operácia vynásobenia rastrovej vrstvy krajinej pokrývky s binárnym rastrom strmých svahov. Navzájom sú násobené hodnoty korešpondujúcich si buniek s rovnakou polohou. Vzniká výsledný raster (*kraj_pokryv_na_strm_svahoch*) s hodnotami krajinej pokrývky v bunkách ktoré zároveň spĺňali podmienku strmého svahu.

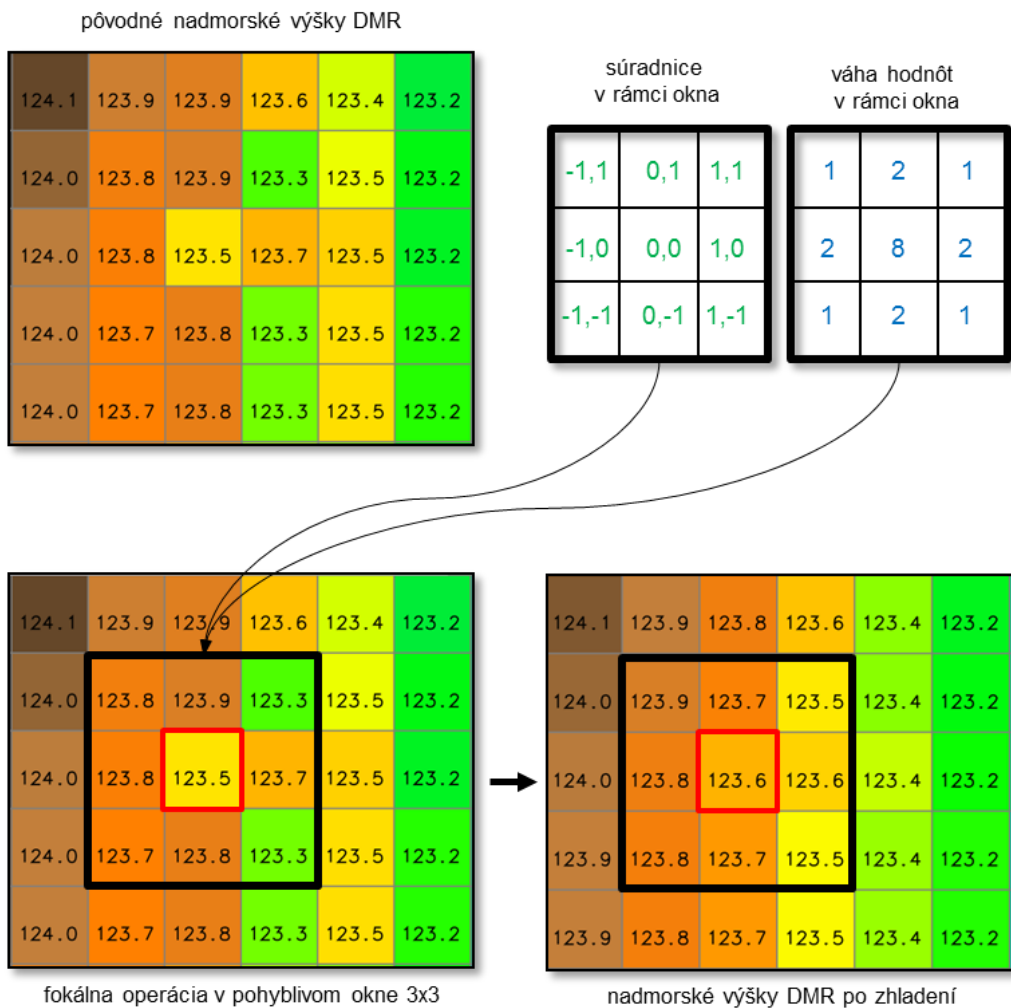
Pri fokálnej realizácii je hodnota výslednej bunky určená kombináciou hodnôt buniek nielen vo vertikálnom smere, ale aj hodnotami buniek v jej blízkom okolí (3x3, 5x5 a pod.). Príkladom fokálnej realizácie môže byť príkaz na zhľadenie digitálneho modelu reliéfu v tomto tvare:

$$\textit{smooth.elev} = (\textit{elev}[-1,-1] + 2 * \textit{elev}[-1,0] + \textit{elev}[-1,1] + 2 * \textit{elev}[0,-1] + 8 * \textit{elev}[0,0] + 2 * \textit{elev}[0,1] + \textit{elev}[1,-1] + 2 * \textit{elev}[1,0] + \textit{elev}[1,1]) / 20$$

Schematicky túto operáciu znázorňuje Obr. 6.5. S fokálnou realizáciou mapovej algebry úzko súvisia tzv. susedské analýzy na rastrí, ktoré určujú hodnotu v danom bode na základe hodnôt susedných buniek v presne definovanom okolí danej bunky. Okolie je definované počtom okolitých buniek (napr. 3x3, 5x5, atď.). Na základe hodnôt buniek z tohto okolia sa vypočíta nová hodnota v pôvodnej bunke. Najčastejšie sa k tomu používajú základné štatistické operácie ako sú priemer, medián, modus, minimum, maximum, smerodajná odchýlka, diverzita (počet odlišných hodnôt buniek v okolí) a podobne.

Pri zonálnej realizácii prebieha výpočet v určitej zóne definovanej ďalším, tzv. zonálnym rastrom, ktorý definuje oblasť, pre ktorú sa majú vypočítať štatistiky analyzovaného rastra. Používajú sa teda len dve rastrové vrstvy. Príkladom aplikácie zonálnej mapovej algebry môže byť výpočet indexov krajinných metrik (napríklad indexu diverzity) pre určité typy (regióny) krajiny.

Inkrementálna realizácia prebieha globálne na celom rastrí, avšak často iteračným spôsobom. Hodnota výslednej bunky je podobne ako pri fokálnych operáciách výsledkom okolia, ktoré však môže mať rozličný rozsah, v závislosti od prechádzajúceho stavu simulácie. Typickým príkladom aplikácie inkrementálnej mapovej algebry je modelovanie odtoku vody po povrchu reliéfu definovanom digitálnym modelom reliéfu.



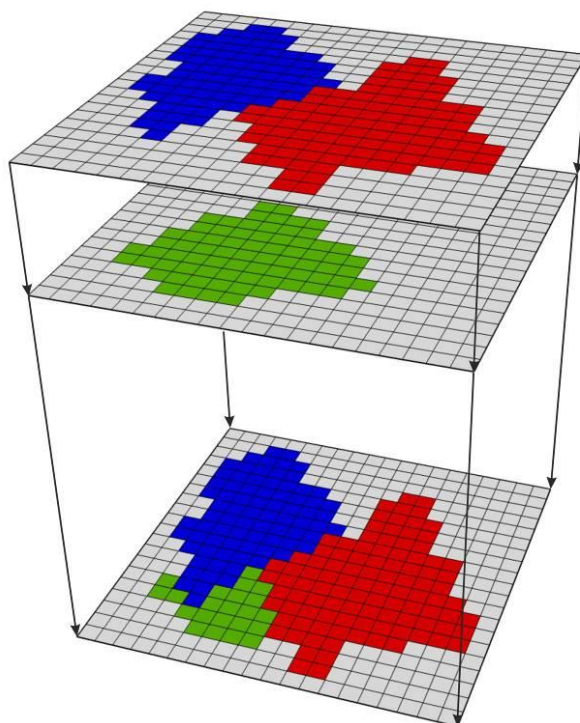
$$\text{smooth.elev} = (1 \cdot \text{elev}[-1,-1] + 2 \cdot \text{elev}[-1,0] + 1 \cdot \text{elev}[-1,1] + 2 \cdot \text{elev}[0,-1] + 8 \cdot \text{elev}[0,0] + 2 \cdot \text{elev}[0,1] + 1 \cdot \text{elev}[1,-1] + 2 \cdot \text{elev}[1,0] + 1 \cdot \text{elev}[1,1]) / 20$$

$$\text{smooth.elev}[3,3] = 1 \cdot 123,7 + 2 \cdot 123,8 + 1 \cdot 123,8 + 2 \cdot 123,8 + 8 \cdot 123,5 + 2 \cdot 123,9 + 1 \cdot 123,3 + 2 \cdot 123,7 + 1 \cdot 123,3 / (1 + 2 + 1 + 2 + 8 + 2 + 1 + 2 + 1) = 123,625 = \mathbf{123,6}$$

Obr. 6.5: Aplikácia fokálnej operácie zhladenia DMR váženým priemerom v pohyblivom okne 3x3 na príklade bunky v 3. riadku zdoľa a 3. stĺpci zľava.

Pri tejto operácii sa globálne aplikuje vzorec na inkrementálne zmeny v pohybe vody medzi jednotlivými bunkami podľa veľkosti a smeru gradientu nadmorskej výšky, ktorý definuje smer a rýchlosť pohybu hmoty. Do tejto kategórie aplikácie mapovej algebry patria aj bunkové automaty (cellular automata), ktoré využívajú rastrovú dátovú štruktúru. Iniciálny stav buniek sa iteračným procesom mení na základe matematických pravidiel a vplyvu okolia. Výsledkom je nový stav buniek, na ktorý sa opäť aplikuje pravidlo zmeny stavu bunky. Bunkové automaty sa v geografii využívajú napríklad v modelovaní rastu miest, či v simulácii šírenia látok po zemskom povrchu.

Existuje aj špecifický prípad mapovej algebry, keď nejde o vzájomnú kombináciu dátových vrstiev, ale o vkladanie/doplňovanie dát do tých buniek rastra, ktoré nemajú žiadnu hodnotu (Obr. 6.6). Ďalej existuje celý rad veľmi zaujímavých a užitočných analytických operácií s rastrovými dátami. Okrem najčastejšie používaných ako sú štatistické analýzy, reklasifikácie, tvorba zón, mapová algebra tu patria analýzy susedstva, analýzy nákladov, operácie s rastrovým digitálnym modelom reliéfu (napr. vyplňanie depresii, konštrukcia spádnic a morfometrických parametrov). Náročnejšie aplikácie obsahujú prvky modelovania (napr. slnečného žiarenia, povrchového tečenia vody a sedimentov, alebo aj iných krajinnoeekologických procesov). Medzi transformácie GIS dát patrí aj priestorová interpolácia. Jej cieľom je stanoviť hodnotu skúmaného javu v priestore, kde nie sú merania alebo vstupné dáta.



Obr. 6.6: Operácia vkladania rastrových vrstiev (spracované podľa práce Neteler a Mitasova, 2004).

Operácie s vektorovými dátami

Medzi najzaujímavejšie operácie s vektorovými dátami patrí *analýza sietí*. Sieť je definovaná ako súbor líniových objektov, cez ktoré prúdia nejaké zdroje (Tuček, 1998). Každý líniový objekt je charakterizovaný svojou dĺžkou, smerom a konektivitou. Využívajú sa pri analýzach a modelovaní prúdenia vody vo vodných tokoch a potrubíach, plynu a elektriny v rozvodných sieťach, pohybu dopravných prostriedkov po dopravných komunikáciách. Najčastejšie sa modeluje zaťaženie siete, prípadne sa hľadá optimálna trasa.

6.3 Modelovanie

Modelovanie krajiny a jej procesov patrí medzi najzložitejšie operácie v GIS-e. Vyplýva to z častej komplexnosti problému, nutnosti adekvátnej matematickej formulácie a softvérovej implementácie. Preto ide o najvyššiu úroveň používania GIS-u z hľadiska zložitosti a náročnosti, často vyžaduje aj vysoko kvalifikovanú obsluhu, ktorá ovláda nielen softvér, ale pozná aj podstatu modelovaného javu a skúmané územie.

Modely v zjednodušenej podobe reprezentujú alebo opisujú najdôležitejšie prvky a vlastnosti skúmaného javu. Vyžadujú dobrú teoretickú formuláciu a formalizovaný zápis problému a vstupné dáta (merané alebo predpokladané). Cieľom modelovania je odhad správania sa javu za určitých podmienok, často s cieľom pripraviť dobré podklady pre rozhodovací proces. Vo výskumnej rovine je možné modely použiť aj na testovanie teoretických predpokladov a hypotéz, či výskum správania sa geopriestorových javov (Mitas a Mitasova, 2000). Úlohou GIS-u v procese modelovania je poskytnúť komplexné prostredie na realizáciu viacerých krokov: príprava a vstup dát do modelu, programovacie prostredie, čiastkové geopriestorové operácie a nástroje na modelovanie, analýza a vizualizácia výsledkov.

V súčasnosti je v GIS-och implementovaných už mnoho modelov. Môžeme ich rozdeliť na modely prírodných javov, socio-ekonomických javov a ich vzájomnej interakcie. Napríklad z prírodných javov sú časté hydrologické a geomorfologické modely. V socio-ekonomickej oblasti sú veľmi časté modely dopravných systémov, rastu miest a populácie, či priestorovej distribúcie ekonomických aktivít. Z geoinformatického hľadiska je dôležité, v akých priestorových jednotkách prebieha modelovanie. Či sú to priestorovo distribuované modely využívajúce maximálne rozlíšenie použitého dátového modelu alebo ide o schematizované modelovanie s veľkými, priestorovo homogénnymi územnými jednotkami bez vnútorného rozlíšenia (napríklad povodia, kraje a pod.). To často predurčuje aj územný rozsah modelovania, detailné, priestorovo distribuované modelovanie je časté skôr pre menšie územia, z ktorých je dostatok vstupných dát a aj výpočtová náročnosť je prijateľná.

Empirické modely využívajú podrobnú štatistickú analýzu sledovaného javu. Na základe dlhodobého sledovania je možné predpokladať analogický vývoj v porovnateľných podmienkach. Fyzikálne, či procesne orientované modely sa sústreďujú na detailný popis fungovania javu na základe fyzikálnych, či chemických procesov a ich matematickej formulácie.

Rozlišujeme tieto základné typy modelov (Mitas a Mitsova, 2000):

- deterministické (často využívajú popis pomocou diferenciálnych rovníc),
- stochastické (využívajú náhodný charakter skúmaného javu a ich popis pomocou teórie pravdepodobnosti),
- modely na báze pravidiel (bunkové automaty),
- multiagentné systémy (aplikuje sa sada lokálnych pravidiel ako faktor/agent v systéme).

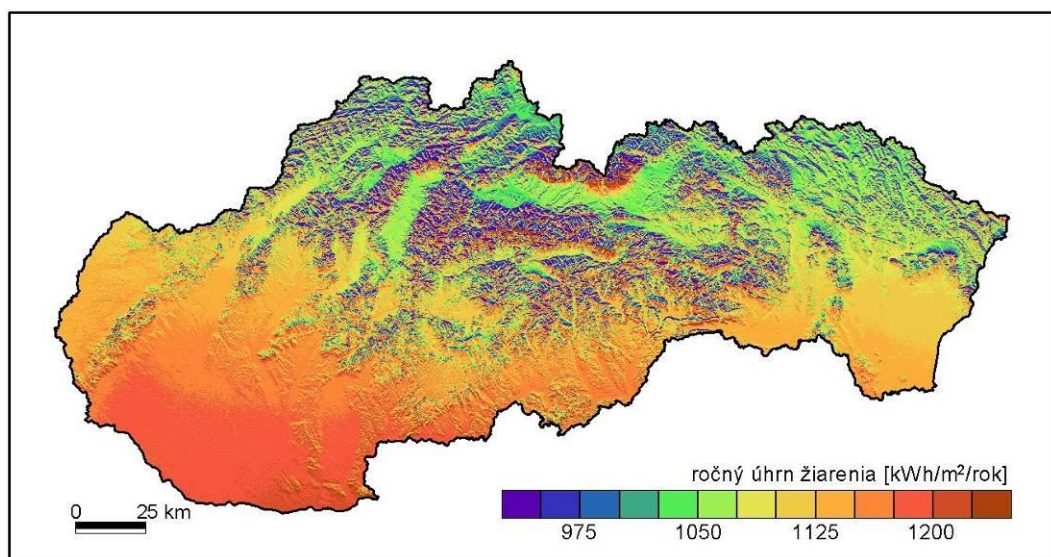
Modely môžu byť implementované v GIS-e rôznym spôsobom. Pri plnej integrácii je model kompletne naprogramovaný ako integrálna súčasť GIS-u, s využitím vlastného programovacieho prostredia. Model funguje ako jeden z jeho príkazov. Model priamo využíva dáta v GIS-e, nie sú potrebné externé vstupy dát. Modely naprogramované v niektorom zo skriptovacích jazykov však môžu byť pomalšie. Pri volnejšom prepojení je model naprogramovaný mimo GIS-u, využíva však používateľské rozhranie. Má vlastné dátové štruktúry, ktoré sa automatickým spôsobom konvertujú. Pri najvolnejšom prepojení model funguje mimo GIS-u, ale prostredníctvom vstupu a výstupu dát je možné model používať spoločne s GIS-om.

Vývoj a implementácia modelov do GIS-u predstavuje pomerne náročný proces. Súčasný GIS-y umožňujú určitú mieru prispôbenia GIS softvéru (customization). Relatívne najtransparentnejší a najjednoduchší je tento proces pre softvér s otvoreným zdrojovým kódom (napr. GRASS, QGIS, SAGA). Vývojár musí dodržať určité pravidlá vývoja, využíva pritom existujúce systémové prostriedky. Príkazy GIS-u sú zvyčajne vytvárané modulárnym spôsobom, takže je možné ich relatívne jednoducho pridávať, odberať alebo modifikovať. Programovanie prebieha v štandardných programovacích jazykoch ako ANSI, C++ či Java. V prípade komerčných, proprietárnych systémov je situácia zložitejšia, lebo vlastník produktu nezverejňuje celý kód softvéru, ale len poskytuje prístup k softvérovému dátovému modelu a základnú informáciu o možnostiach meniť, dopĺňať existujúce funkcie. Úpravy a vývoj nástrojov sa často opiera o nové programovacie nástroje a prostredie, ako sú IDE (integrated development environment), či .NET. Pre vývojára rozširujúceho existujúce funkcie, či moduly GIS-u je dôležité poznanie API (application programming interface) konkrétneho softvéru, ktorý mu uľahčuje využívanie systémových prostriedkov (funkcií) softvéru.

Medzi kľúčové aspekty použitia modelov v praxi je porovnanie so skutočnosťou, do akej miery model reprezentuje skúmaný jav. Prípadné nedostatky môžu byť spôsobené viacerými príčinami: nedostatočný teoretický popis javu, nevhodný dátový model a jeho úroveň priestorového detailu (rozlíšenie), nevhodná aplikácia modelu mimo predpokladaný rozsah podmienok, chyby vo vstupných dátach. Častým problémom modelov je nedostatok, či nízka kvalita vstupných dát. Preto mnohé modely sa kalibrujú. V modeli sa aplikujú dáta (parametre) s hodnotami v rozsahu prípustného intervalu a jeho výsledky sa porovnávajú so skutočnosťou. Analyzuje sa citlivosť modelu na zmenu dát, vplyv chyby na celkový výsledok (error propagation) a jeho neurčitost'

Na dokumentovanie vybratých aspektov modelovania v GIS-e sú v nasledujúcej časti uvedené dva príklady. Modelovanie slnečného žiarenia pomocou modelu *r.sun* v GIS-e GRASS a modelovanie vodnej erózie pôdy pomocou modelu USLE a SIMWE.

Slnečné žiarenie je jedným z najdôležitejších prírodných javov. Je zdrojom energie, ovplyvňuje obrovské množstvo iných procesov na Zemi. Preto je potrebné poznať priestorovú a časovú variabilitu slnečného žiarenia. Ovplyvňuje ju mnoho faktorov. Astronomické faktory, geografická šírka určuje základnú priestorovú a časovú distribúciu, na lokálnej úrovni je toto rozdelenie ďalej modifikované stavom atmosféry, georeliéfom a vlastnosťami zemského povrchu. Model *r.sun* bol v základnej verzii vyvinutý v roku 1997 pre slobodný softvér GRASS GIS a neskôr modifikovaný Šúrim a Hofierkom (2004). Je to model plne integrovaný do prostredia GIS-u. Umožňuje modelovať priestorovú a časovú distribúciu slnečného žiarenia v troch jeho zložkách (priame, difúzne a odrazené žiarenie) na vybranom území reprezentovanom v rastrovom dátovom modeli (Obr. 6.7). Okrem výpočtu žiarenia pre tzv. čistú oblohu (*clear-sky*) umožňuje na základe meraní odhadnúť aj hodnoty skutočného slnečného žiarenia (*real-sky*). Vplyv zatienenia okolitými tvarmi georeliéfu môže mať významný vplyv na množstvo dopadajúceho priameho slnečného žiarenia a preto jedným z rozhodujúcich vstupných parametrov je digitálny model reliéfu. Podrobný popis modelu je uvedený v práci (Šúri a Hofierka, 2004) a (Neteler a Mitasova, 2004). Syntax príkazu a vysvetlenie parametrov a nastavenie modelu je uvedené v manuáli k príkazu *r.sun* a je dostupný aj online na webovej stránke softvéru (grass.osgeo.org).



Obr. 6.7: Množstvo globálneho slnečného žiarenia dopadajúceho na georeliéf Slovenska modelované pomocou modelu *r.sun*.

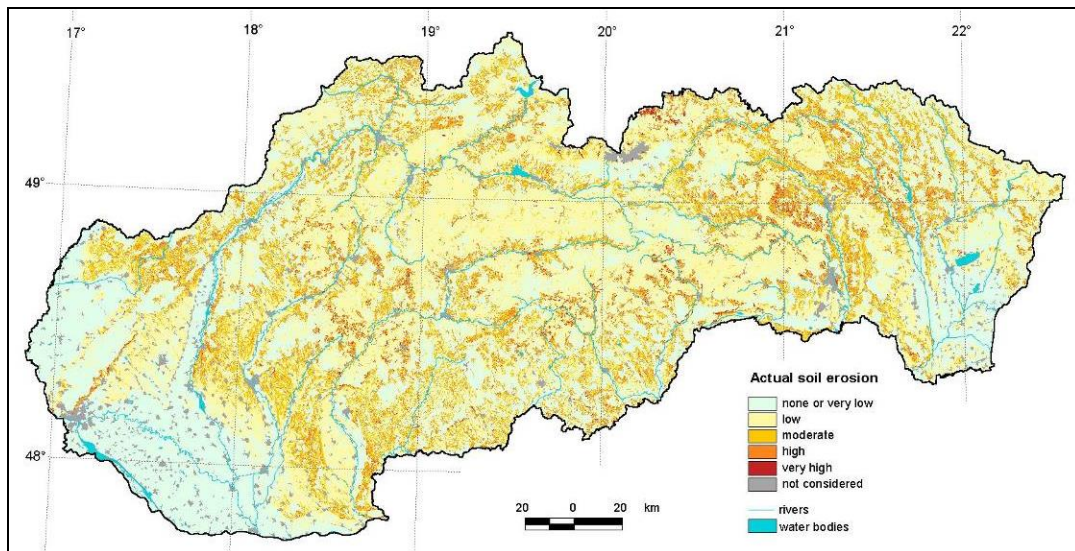
Vodná erózia pôdy patrí medzi typické javy modelované v prostredí GIS-u. Vyplýva to z množstva faktorov, resp. dátových vrstiev, ktoré vstupujú do modelovania, medzi nimi aj georeliéf, ktorý je reprezentovaný digitálnym modelom reliéfu. Pomerne často sa v praxi využíva empirický model USLE (Universal Soil Loss Equation), ktorý má nasledujúci tvar (Šúri et al., 2002):

$$E = R.K.L.S.C.P,$$

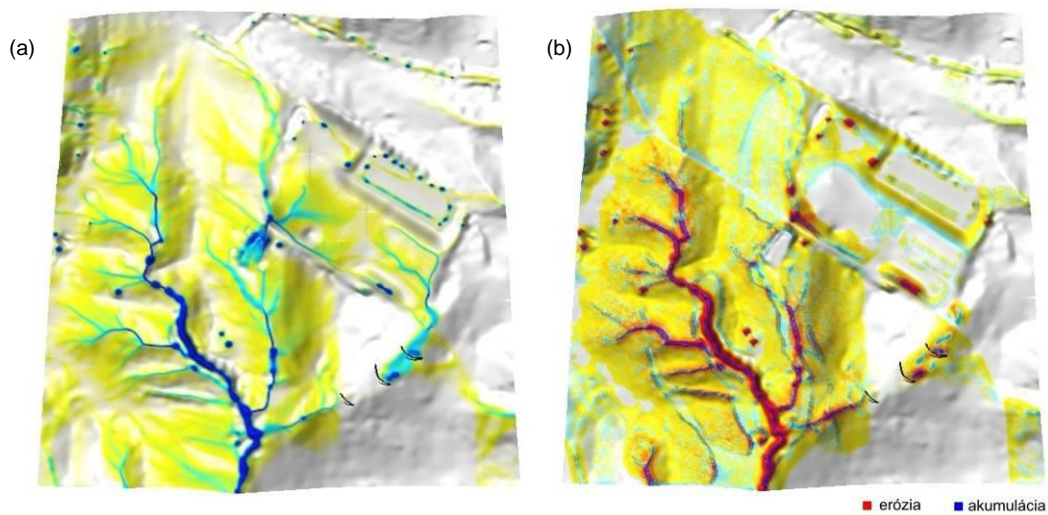
kde E je erózia [t/ha/rok], R - faktor erózneho účinnosti zrážok, K - faktor erodovateľnosti pôdy, L - faktor dĺžky svahu, S - faktor sklonu svahu, C - faktor ochranného vplyvu vegetačného krytu a P - faktor protieróznych opatrení. Model sa používa najmä v lokálnej mierke, keďže vyžaduje podrobné dáta o vlastnostiach georeliéfu zvyčajne odvodené z digitálneho modelu reliéfu. Model bol odvodený pre podmienky poľnohospodárskych pôd v USA, ale bol v neskoršom období adaptovaný aj na podmienky bývalého Československa (Pasák et al., 1983).

Model je pomerne jednoduchý, je to vlastne len súčin faktorov reprezentovaných parametrickými dátovými vrstvami a teda ide o jednoduchú operáciu pomocou mapovej algebry. Využíva sa najmä rastrový dátový model s vhodným rozlíšením, pre lokálnu mierku je to zvyčajne v rozmedzí 1-20 metrov. Kľúčová je príprava parametrických dátových vrstiev reprezentujúcich jednotlivé faktory, ktoré je potrebné odvodiť z existujúcich primárnych dát, ako sú dáta o zrážkach, pôdach a krajinej pokrývke, prípadne podrobnejších dátach o pestovaných poľnohospodárskych plodinách. Digitálny model reliéfu slúži na odvodenie faktorov L a S. Napríklad faktor L je možné odvodiť pomocou príkazu flow length (ArcGIS) alebo r.flow (GRASS GIS). Faktor S sa odvodzuje z mapy sklonov. Presné matematické vyjadrenie jednotlivých faktorov je uvedené napríklad v práci (Pasák et al., 1983), prípadne existujú tabuľky, ktoré dávajú do súvislosti všeobecné vlastnosti pôdy a vegetačného krytu s konkrétnymi hodnotami faktorov (viď napr. Šúri et al., 2002). Výpočet vyžaduje operácie reklasifikácie a mapovej algebry. Model USLE má aj svoje obmedzenia, ktoré vyplývajú z jeho empirickej podstaty a spôsobu odvodenia. Model neuvažuje o akumulácii erodovaného materiálu a preto v lokálnej mierke môže predpovedať eróziu na plochách, kde sa materiál zvyčajne ukladá (napr. v spodnej časti svahov). Preto jeho použitie v GIS-e by nemalo byť mechanické, ale v súlade s pôvodnou metodikou a vhodnou interpretáciou dosiahnutých výsledkov (Obr. 6.8).

Alternatívne riešenie modelovania vodnej erózie pôdy môže byť použitie fyzikálne (procesne) orientovaných modelov. V GIS-e GRASS existuje implementácia modelu SIMWE (Mitas a Mitasova, 1998), ktorá sa skladá z dvoch modulov. Modul r.sim.water slúži na simuláciu tečenia vody po povrchu georeliéfu (overland flow). Obsahuje aproximačné riešenie Saint-Venantových diferenciálnych rovníc na báze metódy Monte Carlo a s konceptom duality medzi reprezentáciou spojitým poľom a simulovaných pohybom častíc vody. Výsledky tohto modulu potom vstupujú do erózneho časti reprezentovanej modulom r.sim.sediment, ktorá modeluje eróziu a ukladanie materiálu (Obr. 6.9). Model je priestorovo distribuovaný a dynamický.



Obr. 6.8: Odhad skutočnej vodnej erózie pôdy na základe modelu USLE (Šúri et al., 2002).



Obr. 6.9: Simulácia vodnej erózie pôdy pomocou modelu SIMWE a) povrchový tok vody, b) intenzita eróznno-akumulačných procesov.

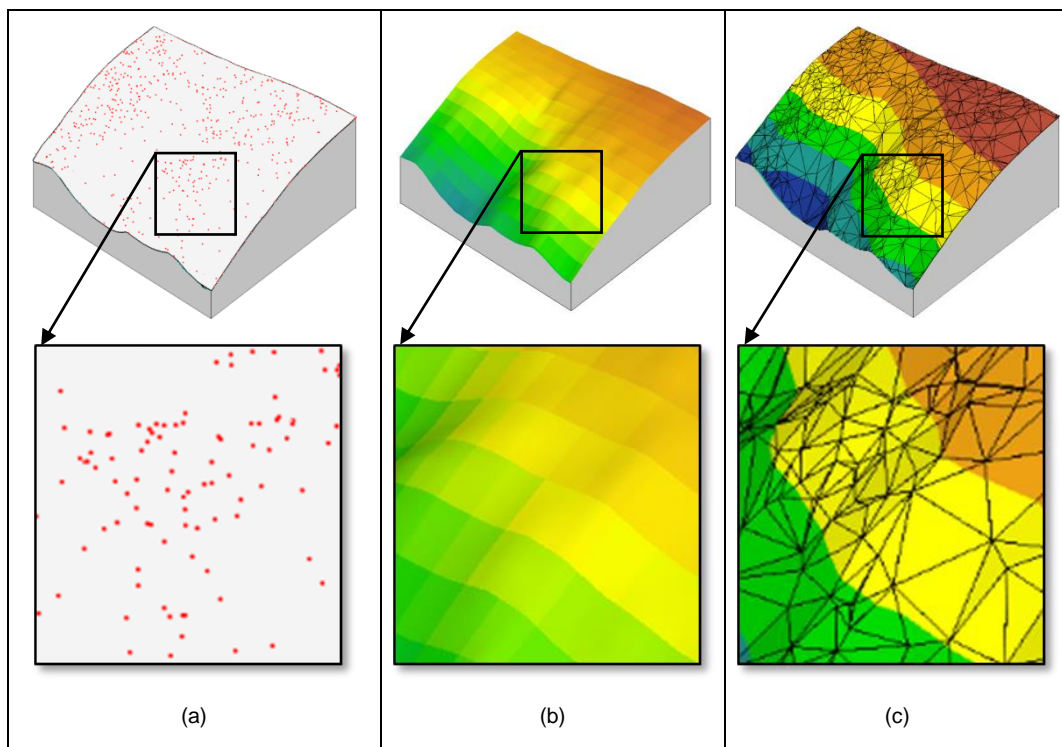
7. Digitálne modely reliéfu a geomorfometria

Reliéf Zeme (georeliéf) je kontaktná plocha medzi atmosférou, resp. hydrosférou a pedosférou, litosférou. Je výslednicou pôsobenia endogénnych a exogénnych síl. V krajinskej sfére má významné postavenie, pretože na jednej strane georeliéf vznikol ako výsledok pôsobenia fyzikálnych síl a procesov, a na strane druhej tieto procesy aj ovplyvňuje. Z toho dôvodu je potrebné georeliéf v prostredí GIS-u čo najpresnejšie modelovať a poznať jeho geometrické vlastnosti. Teoretické základy modelovania georeliéfu pomocou komplexného modelu reliéfu na Slovensku rozpracoval Krcho (1990). Georeliéf sa chápe ako spojité, skalárne pole nadmorských výšok, ktoré môžeme analyzovať pomocou metodického aparátu diferenciálnej geometrie. V tejto súvislosti je potrebné zdôrazniť, že podobným spôsobom môžeme chápať a modelovať aj iné spojité geografické javy, resp. skalárne veličiny charakterizujúce stavy jednotlivých komponentov krajinskej sféry. Nemusi pritom ísť len o dvojrozmernú reprezentáciu javu ako to je v prípade reliéfu, ale v prípade trojrozmerných javov a ich časových zmien môže aplikovať aj 3D a 4D modelovanie.

Digitálny model reliéfu (DMR) je v pamäti počítača obsiahnutý súbor čísel, ktoré vyjadrujú priestorové usporiadanie nadmorských výšok, prípadne aj ďalších morfometrických parametrov charakterizujúcich geometrické vlastnosti reliéfu. Ide o diskretnú reprezentáciu reliéfu, kde každé číslo v súbore reprezentuje konkrétny bod na reliéfe. V súčasnosti sa už vytvárajú aj DMR iných planetárnych telies, nielen Zeme, preto je vhodnejšie hovoriť vo všeobecnosti o digitálnych modeloch reliéfu, nie len o reliéfe Zeme (georeliéfe).

Podľa toho, či priestorové rozmiestnenie bodov je pravidelné alebo nepravidelné, hovoríme o rastrovom (mriežkovom) DMR (anglicky sa používa aj pojem grid) a o nepravidelnej trojuholníkovej sieti (anglicky TIN – Triangulated Irregular Network), ktorú môžeme zaradiť k vektorovej reprezentácii DMR. Priestorová 3D vizualizácia oboch typov DMR je na Obr. 7.1. Výber vhodnej priestorovej reprezentácie závisí najmä od účelu použitia DMR. Výhody rastrových DMR sú totožné s výhodami rastrového dátového modelu, pravidelná priestorová štruktúra dát však pri nižšom rozlíšení neumožňuje dobre zachytiť ostré zmeny v tvare reliéfu (napr. okraje lomov, výmoľov, zárezy na svahoch a podobne). Aj z toho dôvodu sa DMR na báze trojuholníkovej siete najčastejšie využívajú v technickej praxi. Vhodné vedenie hrán trojuholníkov umožňuje lepšie zachytiť prudkú zmenu povrchu. Nepravidelná trojuholníková štruktúra nie je vždy vhodná na modelovanie plôch a následné aplikácie, napríklad pri modelovaní procesov, keďže vzniknuté trojuholníky môžu mať veľmi rozdielnu veľkosť a nie je možná jednoduchá zmena ich veľkosti, t.j. úrovne priestorového detailu.

Trojuholníková sieť sa najčastejšie vytvára pomocou *Delaunayovej triangulácie*. Vrcholy trojuholníkov sú tvorené vstupnými bodmi. Vytvárané trojuholníky musia spĺňať určité kritériá. Základným kritériom je, že do vnútra kružnice opísanej danému trojuholníku nesmie padnúť vrchol iného trojuholníka. Navyše bývajú dopĺňané aj o predpis tvaru trojuholníkov v prípade údolnic, chrbátic a podobne. Na Obr. 7.1c je znázornená trojuholníková sieť vzniknutá Delaunayovou trianguláciou a Obr. 7.1b znázorňuje to isté územie vo forme rastrového DMR.



Obr. 7.1: Zobrazenie (a) bodového poľa meraní nadmorských výšok reliéfu a z neho odvodené DMR reprezentované formou (b) rastra a (c) nepravidelnej trojuholníkovej siete.

Najrozšírenejším zdrojom vstupných dát pre tvorbu digitálnej modelu reliéfu sú zvektorizované vrstevnice z existujúcich máp. Ďalším významným zdrojom sú *fotogrametrické dáta* založené na stereoskopickom spracovaní leteckých alebo družicových dát. Nová technológia *LiDAR* (*laserové skenovanie*), založená na zaznamenávaní odrazeného laserového lúča, poskytuje množstvo veľmi presných dát o nadmorskej výške nielen reliéfu, ale aj o výške a vlastnostiach objektov na reliéfe (budovy, vegetačný kryt a podobne). Ďalším zdrojom dát o reliéfe sú *pozemné geodetické merania* a *GPS*. Tieto však nie je možné využiť na mapovanie veľmi rozsiahlych území.

Všetky uvedené typy dát majú svoje charakteristické vlastnosti, výhody a nevýhody a zároveň ovplyvňujú aj výsledky modelovania (interpolácie). Napríklad merania pomocou GPS majú zvyčajne charakter nepravidelných línií, prípadne osamelých, nepravidelných bodov, kdežto LiDAR dáta majú veľmi husté, súvislé pokrytie územia. V určitých prípadoch je vhodná aj kombinácia viacerých zdrojov dát (napr. fotogrametrické dáta s domeraním pomocou GPS).

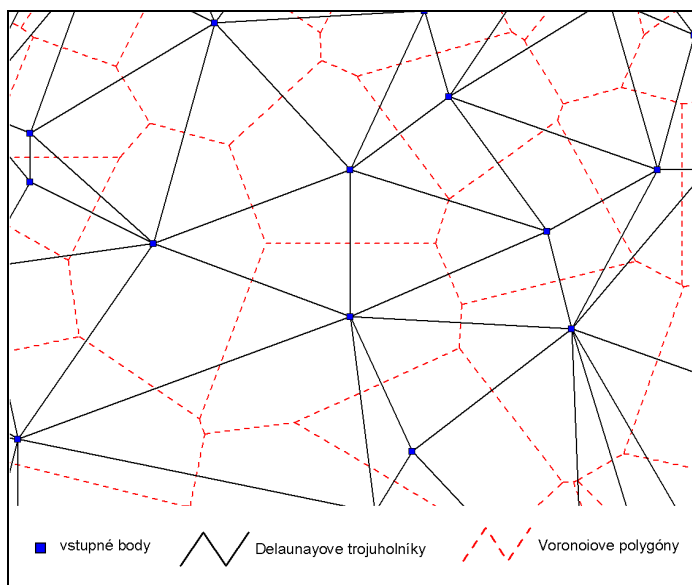
7.1 Priestorová interpolácia

Rastrový DMR sa zvyčajne vytvára pomocou interpolácie. Interpolácia je matematická metóda, pomocou ktorej sa vypočíta hodnota modelovaného javu v bode, ktorý leží v priestore medzi vstupnými, zadanými bodmi a cez ktoré funkcia musí prechádzať. Interpoláciu netreba zamieňať za

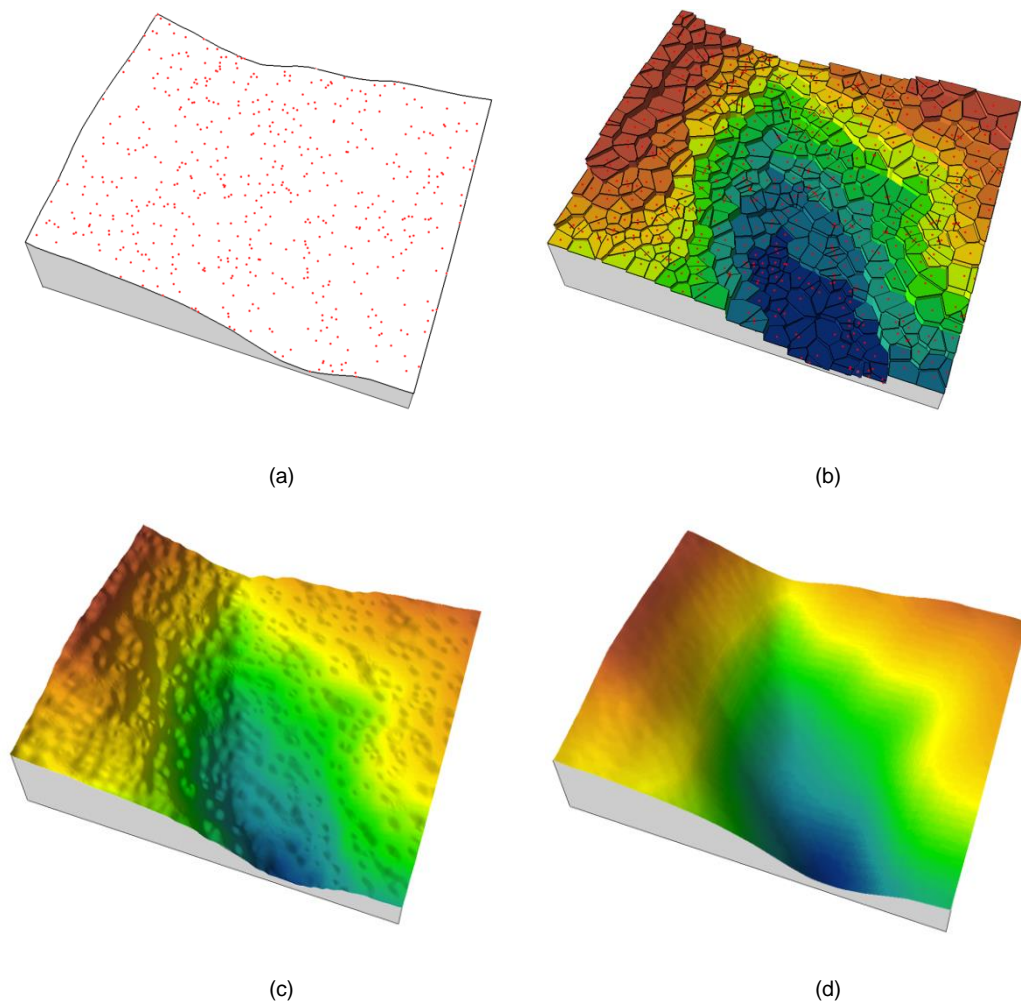
extrapoláciu, pomocou ktorej sa odhadujú hodnoty modelovaného javu mimo zadaných dát (napr. často sa jedná o extrapoláciu časového radu hodnôt do budúcnosti).

Existuje nekonečné množstvo interpolačných funkcií, ktoré prechádzajú zadanými bodmi a preto sa definujú ďalšie podmienky na základe ktorých vznikli rôzne interpolačné metódy. Takýmito podmienkami sú napríklad lokálnosť funkcie alebo jej hladkosť (Mitas a Mitasova, 1999). Najčastejšie používanou metódou v GIS-och je metóda *inverzne váženej vzdialenosti* (angl. *inverse distance weighted average*). Princípom tejto metódy je, že v okolí interpolovaného bodu sa zvolí určitý počet zadaných bodov, vypočítajú sa ich vzdialenosti k interpolovanému bodu a na základe váhy týchto vzdialeností sa vypočíta vážený priemer. Čím je zadaný bod bližšie k interpolovanému bodu, tým je jeho vplyv väčší. Jedná sa o jednoduchú metódu, avšak jej výsledky sú menej presné v porovnaní so splajnami, krigingom alebo mulikvadrikovou metódou (Mitas a Mitasova, 1999). Metóda je vhodná pre menej presnú interpoláciu menších dátových súborov s nižším rozlíšením tak, aby hustota bodov bola vyššia ako hustota buniek v rastru (Neteler a Mitasova, 2004).

V praxi sa používa aj metóda nazývaná *Voronoiove polygóny (diagramy)*. Metóda je vhodná na transformáciu kvalitatívnych bodových dát, pri ktorých nie je potrebné uvažovať o spojitosti dát. Základnou myšlienkou interpolácie pomocou tejto metódy je, že priestor interpolácie sa rozdelí na oblasti so sférou vplyvu známeho, vstupného bodu, ktorý sa nachádza v strede týchto oblastí. Tieto oblasti, nazývané aj *Thiessenove polygóny*, vznikajú ako dualita k trojuholníkovej sieti vzniknutej na základe Delaunayovej triangulácie (Obr. 7.2). Takto vzniknuté polygóny definujú „individuálne plochy vplyvu“ okolo každého vstupného bodu. Atribút daného bodu je priradený aj bunkám v okolí, ktoré do tohto okolia patria na základe Voronoiových polygónov. Porovnanie rôznych spôsobov interpolácie nadmorských výšok DMR znázorňuje Obr. 7.3.



Obr. 7.2: Delaunayova triangulácia a Voronoiove polygóny.



Obr 7.3: Porovnanie výsledku použitia rôznych interpolačných metód pre odvodenie digitálneho modelu reliéfu (a) vstupné bodové pole nadmorských výšok, (b) Voronoiove polygóny, (c) inverzne vážená vzdialenosť, (d) regularizovaný splajn s tenziou.

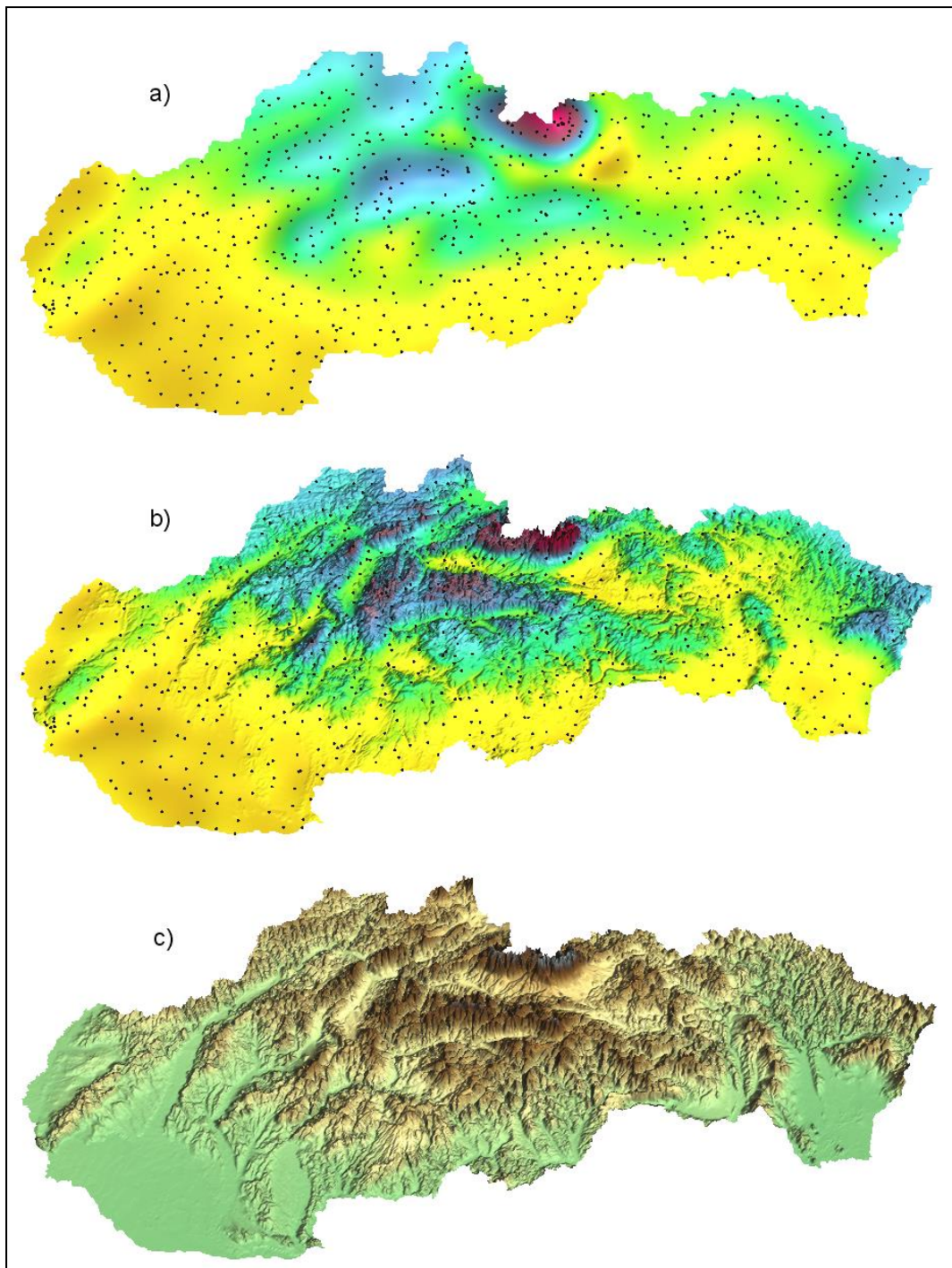
Kriging je súčasťou geoštatistických metód. Tieto metódy sa používajú na popis a hodnotenie prírodných javov opísaných premennými hodnotami v priestore. Metóda dostala názov krigeage (kriging) na počesť D. G. Krigeho. Táto metóda môže byť použitá pri modelovaní javov, pri ktorých sa predpokladá spojitý priebeh hodnôt alebo aspoň určitý vzťah medzi hodnotami javu lokalizovaného v priestore. Čiže kriging predpokladá určitý stupeň autokorelácie dát. Základnou myšlienkou metódy je nájsť priestorovú závislosť, ktorá charakterizuje vlastnosti javu v priestore, ako to vyplýva z meraných dát, a tieto odhalené vlastnosti použiť vo forme matematickej funkcie aj na zvyšný priestor. Interpolácia v geoštatistike je teda založená na dvoch krokoch: štruktúrálnej

analýze a krigingu. Štruktúrna analýza opisuje charakter distribúcie hodnôt v priestore pomocou špeciálnych grafov vyjadrujúcich priestorové závislosti vo vstupných dátach (nazývajú sa *semivariogramy*). Potom sa hľadá taký teoretický (matematický) model, ktorý najlepšie vystihuje tieto vlastnosti. Existuje mnoho teoretických modelov semivariogramov - napríklad gaussovský, sférický, exponenciálny alebo všeobecný lineárny a logaritmický. Jeho výber závisí od používateľa a preto je značne subjektívny, čo sa často uvádza ako nedostatok metódy. Ak parametre semivariogramu sú rôzne v rôznych smeroch, tak študované pole je anizotropné. Môže ísť o geometrickú alebo zonálnu anizotropiu.

Kokriging je geoštatistická interpolačná metóda, ktorá umožňuje pri interpolácii skúmanej premennej využívať informácie o priestorovom rozložení doplnkovej, sekundárnej premennej. Využíva sa najmä v situáciách, keď sa predpokladá vzťah medzi skúmanou (interpolovanou) a doplnkovou premennou v situácii, keď informácie o priestorovom rozložení doplnkovej premennej sú podrobnejšie ako pri interpolovaných dátach. Pri kokrigingu sa vychádza podobne ako pri krigingu z výsledkov geoštatistickej analýzy. Na rozdiel od krigingu je však potrebná konštrukcia nielen semivariogramu skúmanej premennej, ale aj semivariogramu doplnkovej premennej a krížového semivariogramu medzi skúmanou a doplnkovou premennou.

Najčastejšie aplikácie krigingových metód v praxi sú najmä v geológii, chémii, geomorfológii a hydrológii. V súčasnosti väčšina GIS softvérov umožňujúca spracovanie rastrových dát obsahuje moduly na interpoláciu, resp. geoštatistiku. Geoštatistické metódy poskytujú veľké možnosti analýzy skúmaného javu, avšak sú pomerne náročné na pochopenie a správne používanie.

Regularizovaný splajn s tenziou (RST) je príklad metódy, ktorá patrí medzi tzv. globálne splajny. Hodnota v interpolovanom bode sa počíta na základe matematickej funkcie, ktorá simuluje správanie sa tenkej, elastickej platne, ktorá prechádza cez zadané body. Jej výhodou je, že umožňuje súčasný výpočet morfometrických parametrov na základe parciálnych derivácií interpolačnej funkcie. Parametre tenzie a zhladzovania umožňujú ovplyvňovať vlastnosti interpolačnej funkcie podľa charakteru modelovaného javu. Ide o veľmi presnú metódu, ktorá však vyžaduje hlbšie znalosti o vplyve jej parametrov na výsledok. Jej použitie je však jednoduchšie ako v prípade krigingových metód. Metóda existuje v 2D, 3D a 4D verzii, pričom vo vyšších dimenziách umožňuje podobne ako cokriging interpolovať jav aj s doplnkovou premennou (Hofierka, 1997). Príkladom je interpolácia dlhodobého priemeru ročného úhrnu zrážok na území Slovenska na Obr. 7.4. Na obrázku je znázornený 20-ročný priemer ročných úhrnov zrážok. Poloha vstupných dát je vyjadrená čiernymi bodkami a modelovaný jav je znázornený ako farebný povrch s najvyššími hodnotami v okolí pohorí. Keďže v našich pohoriach s rastom nadmorskej výšky zvyčajne narastá aj ročný úhrn zrážok, v prípade 3D interpolácie je tento jav dobre zachytený prostredníctvom dát o nadmorskej výške odvodených z digitálneho modelu reliéfu s rozlíšením 500 metrov, ktorý vstupoval do interpolácie ako doplnková premenná (Hofierka et al., 2002).



Obr. 7.4: Interpolácia dlhodobého priemeru ročného úhrnu zrážok na území Slovenska pomocou (a) 2D RST, (b) 3D RST s vplyvom georeliéfu. Georeliéf je vo forme DMR s rozlíšením 500 m (c).

Hodnotenie kvality interpolácie

Výsledkom aplikácie konkrétnej interpolačnej metódy je interpolovaný povrch (model), ktorého presnosť je potrebné štatisticky vyhodnotiť. Presnosť interpolácie môžeme hodnotiť priamo v zadaných bodoch, avšak táto analýza nám nič nepovie o kvalite interpolácie mimo zadaných bodov. Na hodnotenie kvality interpolácie mimo zadaných bodov zvyčajne používame dve metódy. Pokiaľ máme dostatočne husté bodové pole (t.j. dostatok bodov), môžeme náhodným výberom vybrať evalvačnú množinu vstupných bodov, ktorú nepoužijeme v interpolácii, ale bude slúžiť na štatistické hodnotenie presnosti interpolácie práve v týchto bodoch. Inou možnosťou je použitie metódy krížového hodnotenia (cross-validation, jack-knife), keď v procese interpolácie vypustíme zo vstupného súboru vždy len 1 bod a pre jeho pozíciu vypočítame interpolovaný povrch a zistíme chybu interpolácie. Tento proces iteračným spôsobom opakujeme pre každý bod v súbore a dosiahnuté chyby za celý súbor štatisticky vyhodnotíme. Medzi najbežnejšie štatistické ukazovatele hodnotenia kvality interpolácie patria odchýlky, priemerné odchýlky, či ukazovateľ RMSE (druhá odmocnina priemeru štvorcov odchýlok). Minimalizáciou týchto chýb môžeme nájsť takú parametrizáciu danej interpolačnej funkcie, ktorá dosahuje najnižšiu chybu (Hofierka et al., 2002). Existujú mnohé metódy hodnotenia presnosti DMR, aj podľa zdroja vstupných dát (napr. Vojtek et al., 2013).

7.2 Geomorfometria

Georeliéf významne ovplyvňuje mnohé procesy v krajine. Napríklad strmé svahy často podliehajú eróznym a zosuvným procesom, orientácia voči svetovým stranám ovplyvňuje príjem slnečnej energie a tým aj energetickú bilanciu, hydrologický režim pôd a druhové zloženie vegetácie. Kvantifikácia vplyvu georeliéfu prebieha na základe poznania geometrických vlastností georeliéfu. Pri tejto analýze má kľúčové postavenie koncepcia fyzikálneho poľa a diferenciálna geometria. Ak sa georeliéf chápe ako fyzikálne, skalárne pole nadmorských výšok, tak je možné ho popísať spojitou funkciou dvoch premenných v tvare $z = f(x, y)$, kde z je nadmorská výška a x, y sú nezávislé premenné definujúce horizontálnu polohu bodu na georeliéfe. Výsledkom morfometrickej (geometrickej) analýzy georeliéfu sú morfometrické parametre popisujúce geometrické vlastnosti georeliéfu. Medzi najčastejšie používané patria predovšetkým sklon, orientácia voči svetovým stranám a normálové krivosti. Teoretické aspekty geomorfometrickej analýzy, aplikácie a aj popis dostupného softvéru je možné nájsť v práci (Hengl a Reuter, 2008).

Aby sme mohli definovať základné morfometrické parametre používané v GIS-och, označme parciálne derivácie (interpolačnej) funkcie popisujúcej priebeh georeliéfu vo všeobecnom tvare $z = f(x, y)$ nasledovným spôsobom:

$$f_x = \frac{\partial f}{\partial x}, f_y = \frac{\partial f}{\partial y}, f_{xx} = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}, f_{xy} = \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}, f_{yy} = \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

Pomocou parciálnych derivácií tejto funkcie potom môžeme vyjadriť nasledovné morfometrické parametre (Mitášová a Hofierka, 1993):

uhol sklonu georeliéfu v smere spádovej krivky

$$\gamma = \arctan\left(\sqrt{f_x^2 + f_y^2}\right)$$

orientácia georeliéfu voči svetovým stranám

$$\alpha = \arctan\left(\frac{f_y}{f_x}\right)$$

normálová krivosť v smere spádovej krivky

$$\kappa_s = \frac{f_{xx}f_x^2 + 2f_{xy}f_xf_y + f_{yy}f_y^2}{(f_x^2 + f_y^2)\sqrt{(f_x^2 + f_y^2 + 1)^3}}$$

normálová krivosť v smere dotyčnice k vrstevnici

$$\kappa_t = \frac{f_{xx}f_y^2 - 2f_{xy}f_xf_y + f_{yy}f_x^2}{(f_x^2 + f_y^2)\sqrt{f_x^2 + f_y^2 + 1}}$$

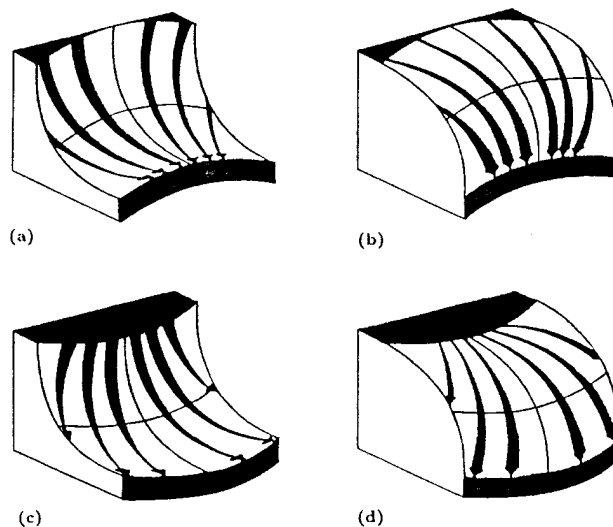
Sklon a orientácia georeliéfu je definovaná gradientom skalárneho poľa nadmorských výšok. Uhol sklonu georeliéfu sa vyjadruje v stupňoch v intervale $0^\circ - 90^\circ$. Orientácia voči svetovým stranám sa vyjadruje tiež v stupňoch, avšak v intervale $0^\circ - 360^\circ$, pričom je dôležité stanovenie základného, nultého smeru a smeru prírastku uhlu. Územie s nulovým sklonom nemá definovanú orientáciu voči svetovým stranám. Normálové krivosti vyjadrujú tvar georeliéfu v reze, ktorý vzniká ako priesečník georeliéfu a normálovej (kolmej) roviny. V rôznych smeroch však georeliéf má rôznu krivosť. Z hľadiska fyzikálnych procesov, ktoré prebiehajú na georeliéfe sú dôležité 2 smery: smer spádovej krivky (gradientu) a smer dotyčnice k vrstevnici, čo je smer kolmý na smer spádovej krivky. Krivosti sa vyjadrujú v jednotkách $[m^{-1}]$ a môžu mať kladné a záporné hodnoty vyjadrujúce vypuklé (konvexné) a v duté (konkávne) tvary georeliéfu v definovaných smeroch. Kombinácia tvarov georeliéfu v oboch smeroch vytvára geometrické formy georeliéfu (Krcho, 1990). Ohraničené sú nulovými izočiarami normálovej krivosti v smere spádovej krivky a normálovej

krivosti v smere dotyčnice k vrstevnici (alebo horizontálnej krivosti). Pri uvažovaní lineárnych foriem je potrebné pracovať s intervalovými hodnotami pre konvexné, konkávne a lineárne formy.

Vplyv jednotlivých morfometrických parametrov na geomorfologicko-hydrologické procesy je nasledovný:

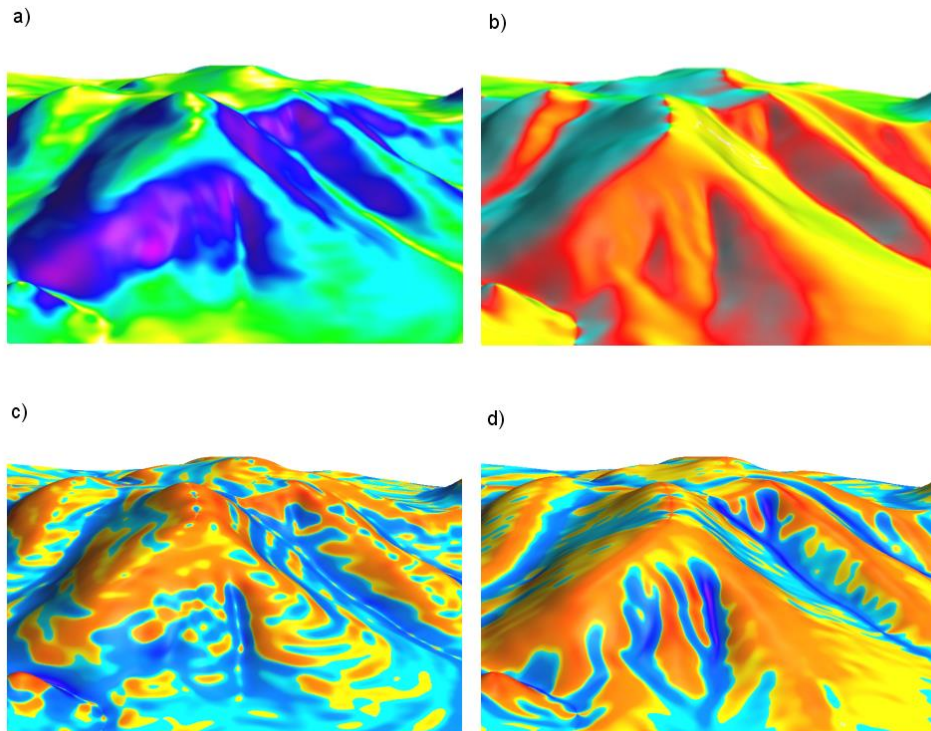
- sklon (veľkosť gradientu nadmorských výšok) určuje rýchlosť toku látok,
- orientácia voči svetovým stranám (smer gradientu) určuje smer pohybu látok,
- normálová krivosť v smere spádovej krivky určuje zrýchľovanie a spomaľovanie pohybu látok,
- normálová krivosť v smere dotyčnice k vrstevnici ovplyvňuje zbiehavosť a rozbiehavosť toku látok.

Každá z geometrických foriem georeliéfu vyčlenená na základe krivosti (rovnice 4-5) špecificky ovplyvňuje toky látok na georeliéfe (Krcho, 1990). Konkávna forma v smere spádovej krivky a zároveň konkávna v smere dotyčnice k vrstevnici (konkáv-konkávna forma) spomaľuje a zbieha tok látok, konvex-konkávna forma zrýchľuje a zbieha tok látok, konkáv-konvexná forma spomaľuje a rozbieha tok látok a konvex-konvexná forma zrýchľuje a rozbieha tok látok. Schematicky je vplyv jednotlivých foriem georeliéfu znázornený na Obr. 7.5.



Obr. 7.5: Vplyv geometrických foriem georeliéfu na tok látok: (a) konkáv-konkávna forma, (b) konvex-konkávna forma, (c) konkáv-konvexná forma, (d) konvex-konvexná forma. (Prevzaté z práce Mitášová a Hofierka, 1993).

Kombinácia (vzájomný pomer) oboch normálových krivostí určuje či v danom bode na georeliéfe sú topografické predpoklady pre čistý odnos alebo akumuláciu materiálu (Mitas a Mitasova, 1998). Trojrozmerná vizualizácia vyššie uvedených morfometrických parametrov formou farebného povrchu georeliéfu je na Obr. 7.6.



Obr. 7.6: Morfometrické parametre georeliéfu a) sklon, b) orientácia voči svetovým stranám, c) normálová krivosť v smere spádovej krivky, d) normálová krivosť v smere dotyčnice k vrstevnici.

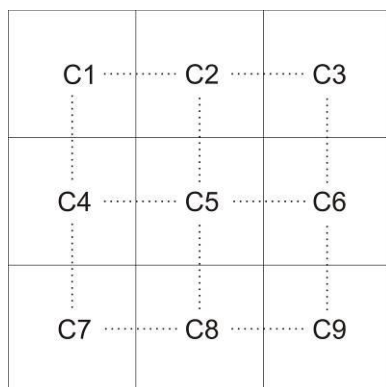
Výpočet parciálnych derivácií na rastru

Pri tvorbe DMR sa často používajú aj interpolačné funkcie, ktoré nie sú diferencovateľné. Výpočet morfometrických parametrov vyžaduje parciálne derivácie až druhého stupňa. Pokiaľ príslušná interpolačná funkcia neumožňuje priamy výpočet derivácií, ich výpočet sa rieši pomocou aproximačného výpočtu na rastru nadmorských výšok. Pre daný bod, ktorý je stredom bunky (bod C5), sa cez jeho okolie 3 x 3 buniek preloží polynóm druhého stupňa (Obr. 7.7), ktorý aproximuje skutočný priebeh povrchu (Neteler a Mitasova, 2004):

$$z(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2$$

Pomocou metódy najmenších štvorcov môžeme odvodiť koeficienty polynómu a tiež parciálne derivácie:

$$f_x = a_1, f_y = a_2, f_{xx} = 2a_4, f_{yy} = 2a_5, f_{xy} = a_3$$



Obr. 7.7: Okolie 3x3 pri výpočte parciálnych derivácií na rastrí.

Z hodnôt nadmorskej výšky v okolí 3x3 (hodnoty C1 až C9) a z rozlíšenia rastra dx a dy môžeme priamo vypočítať derivácie týmto spôsobom:

$$f_x = [(C7 - C9) + (2C4 - 2C6) + (C1 - C3)]/8dx$$

$$f_y = [(C7 - C1) + (2C8 - 2C2) + (C9 - C3)]/8dx$$

$$f_{xx} = [(C3 + C1 - 2C2) + (4C4 + 2C6 - 8C5) + (C9 + C7 - 2C8)]/6dx^2$$

$$f_{yy} = [(C1 + C7 - 2C4) + (4C2 + 2C8 - 8C5) + (C3 + C9 - 2C6)]/6dy^2$$

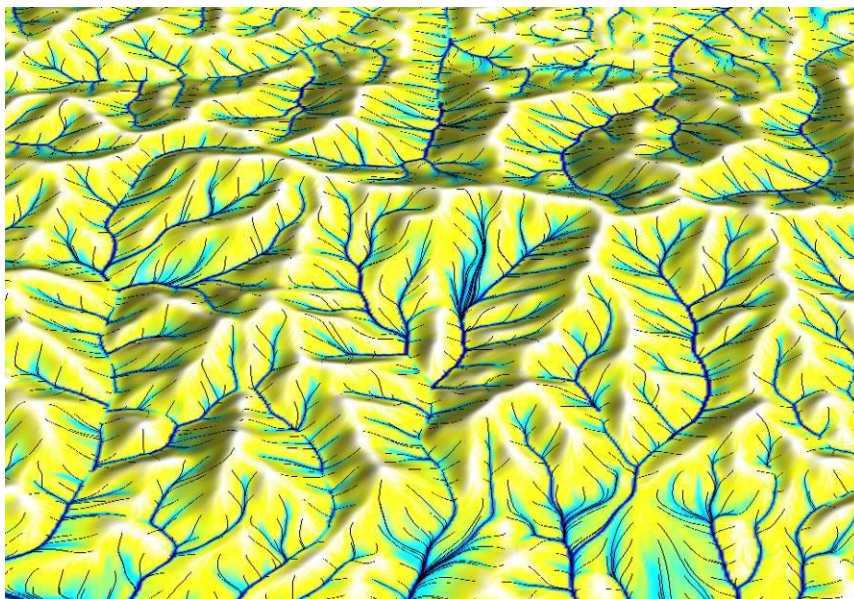
$$f_{xy} = [(C7 - C9) - (C1 - C3)]/4dxdy$$

Analogicky je možné odvodiť výpočet derivácií aj pre 3D raster.

Chórické morfometrické parametre

Okrem topických morfometrických parametrov vyjadrujúcich vlastnosti georeliéfu v diferenciálne malom okolí daného bodu (rovnice 2-5) existujú aj parametre charakterizujúce širšie geometrické vlastnosti georeliéfu. Medzi takéto parametre patria napr. vertikálna a horizontálna členitosť georeliéfu, dĺžky spádových kriviek, prispievajúca plocha. *Prispievajúca plocha* vyjadruje plochu

georeliéfu, z ktorého voda steká do daného bodu (Obr. 7.8). Tento parameter má veľké využitie pri modelovaní vodnej erózie alebo vlhkosti pôdy. Pri výpočte tohto parametru sa spočítava plocha jednotlivých buniek, ktoré sa nachádzajú nad danou bunkou, a to na základe smerovania vektora gradientu výškového poľa (Hofierka, 1997).



Obr. 7.8: Spádové krivky a prispievajúce plochy na rastrovom DMR (spracované príkazom *r.flow* v GIS-e GRASS).

Využitie DMR v praxi

Digitálne modely reliéfu zemského povrchu majú veľmi široké využitie v prírodovednej ako aj technickej praxi. O ich dôležitosti a potrebe vypovedá aj to, že takmer každý GIS softvér má moduly (príkazy), ktoré zabezpečujú tvorbu DMR. Navyše existuje aj špecializovaný softvér (napr. softvér Surfer od firmy Golden Software). Moore et al. (1991) detailne popisuje rôzne metódy spracovania digitálnych modelov georeliéfu a viaceré prírodovedné aplikácie zamerané najmä na geomorfologické procesy (napr. erózia pôdy, zosuny), modelovanie distribúcie slnečného žiarenia dopadajúceho na georeliéf a hydrologické procesy (povrchové tečenie vody, vlhkosť pôdy). Mnohé z týchto abiotických faktorov ovplyvňuje aj biologickú zložku krajiny, napríklad vo forme druhového zloženia vegetácie alebo šírenia škodcov. Georeliéf prostredníctvom svojich geometrických vlastností vyjadrených morfometrickými parametrami teda ovplyvňuje celý rad krajinnokoekologických procesov, ktoré prebiehajú na zemskom povrchu. V technickej oblasti je takisto veľmi veľa zaujímavých aplikácií. Šírenie signálu mobilných operátorov je významne ovplyvnené členitosťou georeliéfu, takže pri zabezpečení pokrytia daného územia signálom musí operátor brať do úvahy aj tento faktor. Dopravná dostupnosť, resp. nákladovosť dopravy je taktiež ovplyvnená aj prevýšeniami na trase. Platí to nielen pri cestnej a železničnej doprave, ale napríklad

aj pri preprave ropovodmi a plynovodmi. Pri výstavbe dopravných komunikácií predstavuje georeliéf jednu z najvýznamnejších prekážok. Analýza viditeľnosti je dôležitá z urbanistického, ale aj turistického hľadiska. Vojenská sféra venuje digitálnym modelom reliéfu veľkú pozornosť, pretože georeliéf je prirodzená bariéra, s ktorou musí armáda počítať v mnohých operáciách. Komplexný prehľad aplikačných možností pre rastrové DMR podáva napríklad práca (Hofierka et al., 1998).

3D morfometrické parametre

3D geomorfometria je priamym rozšírením 2D geomorfometrie, resp. špecifickým prípadom n-dimenzionálnej morfometrickej analýzy (Hofierka, 1997). V prípade 3D priestoru majú hlavné geometrické parametre nasledujúce tvary (Hofierka a Zlocha, 1993):

veľkosť gradientu

$$|\nabla f| = \sqrt{f_x^2 + f_y^2 + f_z^2}$$

Smer vektora gradientu je definovaný dvoma uhlami:

horizontálnym uhlom A_n

$$A_n = \arctan\left(\frac{f_y}{f_x}\right)$$

a vertikálnym uhlom B_n

$$B_n = \arctan\left(\frac{\sqrt{f_x^2 + f_y^2}}{f_z}\right).$$

Zmena veľkosti gradientu v smere jednotkového vektora n (v smere toku látky) má nasledovný tvar:

$$\frac{\partial |\nabla f|}{\partial n} = \frac{f_x^2 f_{xx} + 2f_{xz} f_x f_z + 2f_{xy} f_x f_y + 2f_{yz} f_y f_z + f_y^2 f_{yy} + f_z^2 f_{zz}}{f_x^2 + f_y^2 + f_z^2}$$

Ak označíme hlavné krivosti v 3D kartézskom priestore ako k_1, k_2, k_3 tak *Gauss-Kroneckerovu krivosť K* môžeme vyjadriť ako ich súčin

$$K = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$$

a strednú krivosť H ako ich aritmetický priemer

$$H = \frac{k_1 + k_2 + k_3}{3}$$

Explicitné vyjadrenie týchto krivostí pomocou parciálnych derivácií pre 3D prípad majú nasledovný tvar

$$K = \frac{f_{xz}^2 f_{yy} + f_{yz}^2 f_{xx} + f_{xy}^2 f_{zz} - f_{xx} f_{yy} f_{zz} - 2f_{xy} f_{yz} f_{xz}}{\left(\sqrt{1 + f_x^2 + f_y^2 + f_z^2}\right)^5}$$

$$H = \frac{\begin{vmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{vmatrix}}{3(1 + f_x^2 + f_y^2 + f_z^2)},$$

kde

$$h_{11} = \frac{-f_{xx}}{\sqrt{1 + f_x^2 + f_y^2 + f_z^2}} + 2(1 + f_x^2)$$

$$h_{12} = h_{21} = \frac{-f_{xy}}{\sqrt{1 + f_x^2 + f_y^2 + f_z^2}} + 2f_x f_y$$

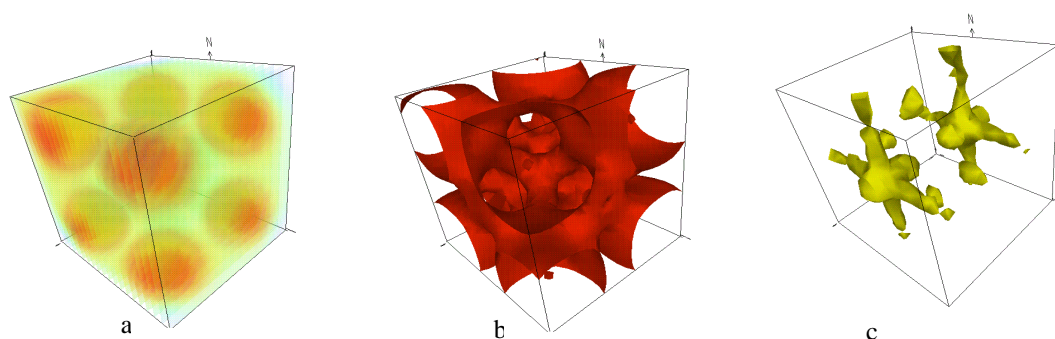
$$h_{22} = \frac{-f_{yy}}{\sqrt{1 + f_x^2 + f_y^2 + f_z^2}} + 2(1 + f_y^2)$$

$$h_{13} = h_{31} = \frac{-f_{xz}}{\sqrt{1 + f_x^2 + f_y^2 + f_z^2}} + 2f_x f_z$$

$$h_{23} = h_{32} = \frac{-f_{yz}}{\sqrt{1 + f_x^2 + f_y^2 + f_z^2}} + 2f_y f_z$$

$$h_{33} = \frac{-f_{zz}}{\sqrt{1 + f_x^2 + f_y^2 + f_z^2}} + 2(1 + f_z^2)$$

Interpretácia 3D morfometrických parametrov je analogická 2D parametrom. *Smer a veľkosť gradientu* určuje smer a veľkosť zmeny skúmaného javu, prípadne potenciálny smer a rýchlosť prúdenia tekutín v skúmanom priestore. Tieto parametre sa môžu využiť na výpočet a konštrukciu priestorových (3D) prúdnic. Na základe výpočtu potenciálnych prúdnic je možné vypočítať potenciálne dĺžky dráh častíc tekutín a kontaminantov, prispievajúcich a disperzných objemov (objem látky, ktorá priteká do daného objemu, resp. z daného objemu sa rozteká do vypočítaného objemu) (Obr. 7.9). *Zmena gradientu* definuje rýchlosť zmeny gradientu. Pri pohybe látky ovplyvňuje zrýchľovanie a spomaľovanie pohybu. *Gauss-Kroneckerova a stredná krivosť* sú vypočítané ako súčin a aritmetický priemer hlavných, t.j. extrémnych krivostí. Hlavné krivosti popisujú mieru zakrivenia skúmaného priestoru a teda aj potenciálne napätie. Je možné ich využiť na identifikáciu kritických miest priestoru (tvorba zlomov, deformácie horninového prostredia).



Obr. 7.9: Geometrická analýza 3D gridu: a) interpolované hodnoty; b) izopovrch veľkosti gradientu 1,5; c) izopovrch prispievajúceho objemu ($5\text{m}^3/\text{m}^2$).

8. Metódy diaľkového prieskum Zeme

Diaľkový prieskum Zeme (DPZ, angl. Remote Sensing) je vedecká disciplína aj technológia, ktorej predmetom je záznam informácií o objektoch na Zemi bez priameho kontaktu s týmito objektami. DPZ zohráva kľúčovú úlohu v zbere dát o povrchu Zeme pre GIS. Hlavnou výhodou technológií DPZ je možnosť mapovať oveľa rozsiahlejšie územie ako to dovoľujú pozemné metódy a zachytiť aj tie vlastnosti krajiny, ktoré sú neviditeľné pre ľudské oko. Ďalšou významnou prednosťou je zber veľkého množstva dát platných pre určitý časový moment a možnosť pravidelne opakovať záznam (najmä satelitné systémy). Schopnosť periodického snímania tak dovoľuje získavať časové rady geodát, vďaka ktorým sa dajú hodnotiť zmeny krajiny (napr. rozsah povodní, zastavanosť územia, výnos poľnohospodárskych plodín, snehová pokrývka). DPZ v celej šírke problematiky prezentujú napr. Žihľavník a Scheer (2001), Jensen (2007), Lillesand et al. (2008), Campbell a Wynne (2011), Železný (2012), Canadian Centre for Remote Sensing (2012). Z pohľadu geoinformatiky je dôležité poznať základné princípy metód DPZ používaných pre zber GIS dát, vlastnosti týchto dát a konkrétne DPZ systémy, čomu sa venuje táto kapitola. *Kľúčovým princípom metód DPZ* je záznam *elektromagnetického (EMG) žiarenia* odrazeného od skúmaného objektu bez priameho kontaktu s ním. Rôzne typy objektov rozličným spôsobom modifikujú na ne dopadnuté EMG žiarenie, ktorého analýza umožňuje skúmať vlastnosti týchto objektov. Technické zariadenia snímajúce odrazené EMG žiarenie sa nazývajú snímače (senzory). Tie sú súčasťou skupiny zariadení zahŕňajúcej napr. zdroj energie, riadiacu jednotku, jednotku určovania polohy, GNSS prijímač. Spolu tak tvoria jeden celok tzv. systém zariadení DPZ alebo inak DPZ systém. Na základe povahy zdroja EMG žiarenia môžeme identifikovať dva typy DPZ systémov určených pre skúmanie krajiny sféry. *Pasívne systémy DPZ* zaznamenávajú slnečné žiarenie odrazené od objektov na Zemi, zväčša ide o optické systémy využívajúce fotogrametrické kamery a multispektrálne skenery. *Aktívne systémy DPZ* (RADAR, LIDAR) majú vlastný zdroj žiarenia, ktoré vysiela smerom k objektom a zaznamenávajú jeho odrazenú časť. Súčasná technológia aktívnych systémov sú založené na emitovaní mikrovlnného a infračerveného žiarenia. Výhodou týchto systémov je nezávislosť na slnečnom svite a oblačnosti. Pri pasívnych systémoch je oblačnosť častou prekážkou snímania povrchu Zeme. Mikrovlnné žiarenie však prechádza aj oblakmi a umožňuje snímať povrch Zeme v akomkoľvek časovom momente.

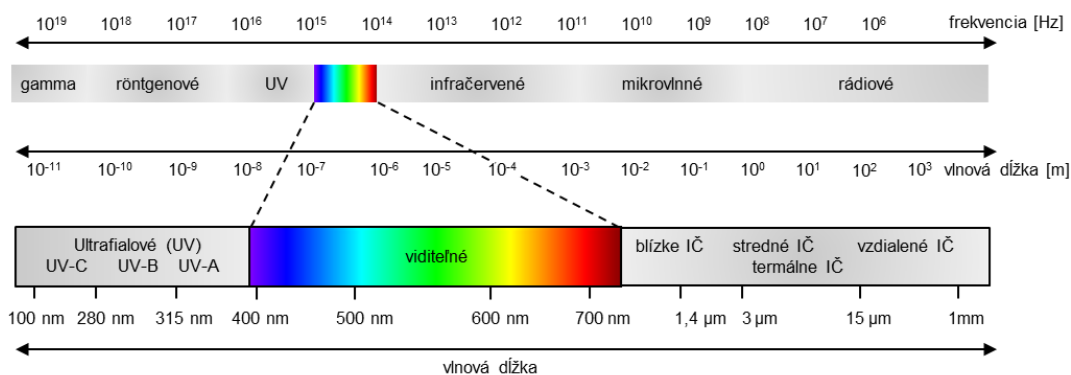
8.1 Fyzikálna podstata elektromagnetického žiarenia

V tomto kontexte je dôležité najprv vysvetliť fyzikálnu podstatu EMG žiarenia. EMG žiarenie sa prejavuje ako vlnenie elektromagnetickej energie, ale aj ako prúd častíc (kvánt energie). Vlnením rozumieme v priestore sa šíriace zmeny elektrického a magnetického poľa. Tieto sú neoddeliteľne spojené a nemôžu existovať samostatne. EMG žiarenie sa však javí aj ako prúd častíc (kvánt energie, fotónov), ktoré majú hmotnosť a teda aj hybnosť. EMG žiarenie tak možno charakterizovať vlnovou dĺžkou (λ), frekvenciou (ν) amplitúdou vlnenia (E) a hybnosťou (p). Vlnová dĺžka je vzdialenosť, v priebehu ktorej sa tvar vlny zopakuje a meria sa v metroch, najčastejšie v nanometroch (nm, 10^{-9} m) alebo v mikrometroch (μm , 10^{-6} m). Frekvencia definuje

počet opakovaní vlny za sekundu a meria sa v hertzoch (Hz). Amplitúda energie EMG vlny (intenzita) je rozdiel medzi nulou a extrémnymi hodnotami energie jednej vlny. Energia sa vyjadruje sa v jouloch (J) alebo elektrónvoltoch (eV). Okrem energie má EMG vlnenie aj hybnosť (p), čo je typická vlastnosť častíc. Rýchlosť šírenia sa EMG žiarenia vo vákuu je konštantná ($c = 299\,792\,458\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Vzťahy medzi jednotlivými veličinami sú nasledovné:

$$\lambda = c/f; \quad f = c/\lambda; \quad E = h\cdot f; \quad E = h\cdot c/\lambda; \quad p = E/c; \quad p = h\cdot f/c; \quad p = h/\lambda.$$

Pričom h je Planckova konštanta $6,6260689633\cdot 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$ alebo $4,1356673310\cdot 10^{-15}\text{ eV}\cdot\text{s}$. Z uvedeného vyplýva, že frekvencia a vlnová dĺžka EMG žiarenia sú navzájom nepriamoúmerné, rovnako tak energia a hybnosť EMG žiarenia vzhľadom k vlnovej dĺžke. Každý objekt s nenulovou absolútnou teplotou vyžaruje EMG žiarenie spojitě v celom rozsahu vlnových dĺžok, resp. frekvencie, ktorý sa nazýva EMG spektrum. Rozloženie jednotlivých častí spektra EMG žiarenia je na Obr. 8.1. Menšia časť EMG spektra sa nazýva *spektrálne pásmo* (angl. spectral band) a bežne sa vyjadruje rozsahom vlnových dĺžok. Napríklad vlnové dĺžky približne medzi 400-700 nm vymedzujú časť spektra, ktoré človek vidí ako biele svetlo. Toto spektrálne pásmo možno rozdeliť na užšie časti definujúce EMG žiarenie, ktoré vnímame ako farby, napr. pásmo 650-700 nm zodpovedá červenej farbe. Vytváranie záznamu odrazivosti v ostatných pásmach (napr. v ultrafialovom, v infračervenom) umožňuje zachytiť vlastnosti objektov, ktoré človek nedokáže inak vnímať.



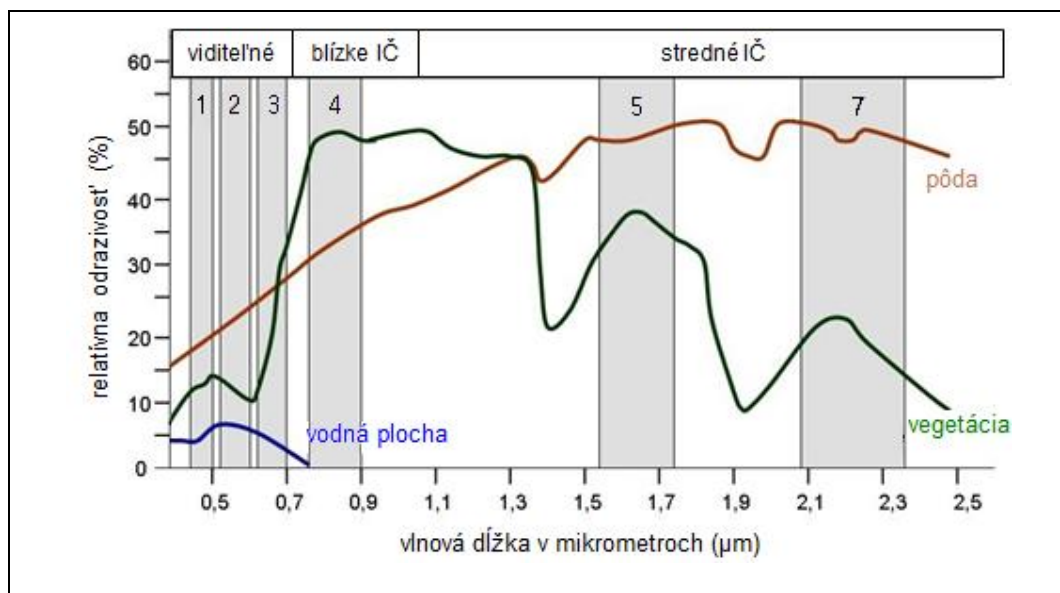
Obr. 8.1: Spektrum elektromagnetického žiarenia.

8.2 Interakcia elektromagnetického žiarenia s prostredím a spektrálne správanie objektov

Objekty na Zemi a vo vesmíre vyžarujú alebo odrážajú žiarenie rôznych spektrálnych pásiem rôznym spôsobom. Vzhľadom na prieskum Zeme je hlavným zdrojom žiarenia Slnko, ktoré emituje plné spektrum EMG žiarenia. Pri prechode atmosférou je časť žiarenia rozptýlená, pohltená alebo odrazená atmosférou a len časť spektra emitovaného Slnkom dopadne na povrch Zeme. Po dopade na zemský povrch je časť žiarenia pohltená povrchom a časť odrazená späť do atmosféry, kde je opäť pohlcovaná, odrážaná alebo rozptýlená. Len tú časť EMG žiarenia, ktorá bola odrazená od

zemského povrchu a prenikla naspäť do atmosféry, prípadne až mimo nej možno zaznamenať systémami DPZ. Z toho vyplýva, že pomocou týchto systémov určitú časť spektra EMG žiarenia nemožno snímať. Množstvo a vlnová dĺžka odrazeného žiarenia závisí predovšetkým od fyzikálnych vlastností objektov zemského povrchu. Napríklad voda absorbuje väčšinu radiácie vo viditeľnej a infračervenej časti spektra. Naopak piesočnaté pôdy bez vegetácie odrážajú veľkú časť žiarenia od viditeľnej po infračervenú oblasť. Odráž žiarenia od vegetácie závisí najmä od obsahu chlorofylu. Napríklad zmeny v zdravotnom stave vegetácie sú osobitne viditeľné v blízkej infračervenej oblasti spektra, ktorej žiarenie výrazne odráža chlorofyl zdravých listov. Tepelné vlastnosti zemského povrchu možno zachytiť snímaním dlhovlnného infračerveného vyžarovania Zeme.

Z hľadiska interpretácie záznamu diaľkového prieskumu je z toho dôvodu dôležité poznať spektrálne správanie objektov a podľa typu aplikácie vybrať záznam vo vhodnom pásme, v ktorom ho vyhotovuje konkrétny DPZ senzor. Tento fakt názorne dokumentuje Obr. 8.2, ktorý závislosť vlnovej dĺžky odrazeného EMG žiarenia a relatívnej odrazivosti povrchu vody, suchej pôdy a zelenej vegetácie. Čím väčší sú od seba vzdialené krivky odrazivosti (angl. reflectance), tým výraznejšie sa im zodpovedajúce typy povrchu odlišujú. Nastavenie snímania DPZ senzorov v určitých spektrálnych pásmach preto zodpovedá častiam spektra, v ktorých má určitá skupina objektov charakteristické prejavy. Ako príklad toho Obr. 8.2 znázorňuje rozsah šiestich pásiem, v ktorých vytvára záznam senzor ETM+ na družici LANDSAT 7. Iné snímače môžu mať šírku, počet a poradie pásiem nastavené inak, avšak väčšina zaznamenáva odrazivosť v modrom, zelenom a červenom pásme pre zobrazenie krajiny v prirodzených farbách blízok ľudskému videniu. Veľmi prínosné je snímanie v infračervenej (IČ) pásme.



Obr. 8.2: Relatívna spektrálna odrazivosť troch rôznych typov povrchu a spektrálny rozsah pásiem (1-5, 7) multispektrálneho skenera ETM+ na družici Landsat 7.

Záznam odrazivosti v jeho dielčích častiach (blízke, stredné, vzdialené IČ) umožňuje analyzovať zdravotný stav vegetácie, jej druhové zloženie, vlhkosť pôdy, vodné plochy, obsah minerálov na zemskom povrchu a mnohé iné parametre. Mikrovlnné žiarenie má schopnosť prenikať skrz vegetačnú pokrývku, pod zemský povrch, ľadovce a vodu, preto sa DPZ v tejto časti EMG spektra využíva na analýzu lesnej pokrývky, vyhľadávanie nerastných surovín, monitorovanie pohybu vody, ľadovcov a štúdium povrchu pod nimi. Obr. 8.3 demonštruje rozdielnú odrazivosť zemského povrchu v kanáloch 3 a 4 multispektrálneho skenera ETM+ na družici LANDSAT 7, ktoré zachytávajú odrazivosť v červenej (Obr. 8.3a) a blízkej infračervenej časti spektra (Obr. 8.3b) v odtieňoch šedej. Odrazivosti sú veľmi odlišné. Zreteľne možno odlišiť rieku Uh, pretože voda výrazne pohlcuje infračervené žiarenie a rieka sa preto javí ako čierna kľukatá línia (viď krivku odrazivosti pre vodu na Obr. 8.2). Taktiež zastavaná plocha mesta a poľa s nezarastenou vlhkom ornou pôdou sú tmavé, slabo odrazivé. Naproti tomu sú plochy s vysokou odrazivosťou v infračervenom pásme svetlé až biele. Reprezentujú oblasti s vysokým zastúpením zelenej vegetácie s chlorofylom ako sú listnaté lesy, či poľa s už vyrastenými zelenými plodinami. Na Obr. 8.3a sa tieto plochy javia tmavo, pretože zelené listy slabo odrážajú žiarenie v červenej časti spektra (viď krivku pre vegetáciu na Obr. 8.2). Využitelnosť konkrétnych spektrálnych pásiem pre skúmanie krajiny pomocou DPZ ovplyvňujú aj vlastnosti atmosféry, čo platí o to viac pre satelitné senzory umiestnené mimo nej. Chemické zloženie plynov a ich obsah v jednotlivých vrstvách spôsobuje, že atmosféra neprepúšťa EMG žiarenie uniformne, ale niektoré časti spektra blokuje. Oblasti EMG spektra prenikajúce atmosférou sa nazývajú atmosférické okná (Obr.8.4).

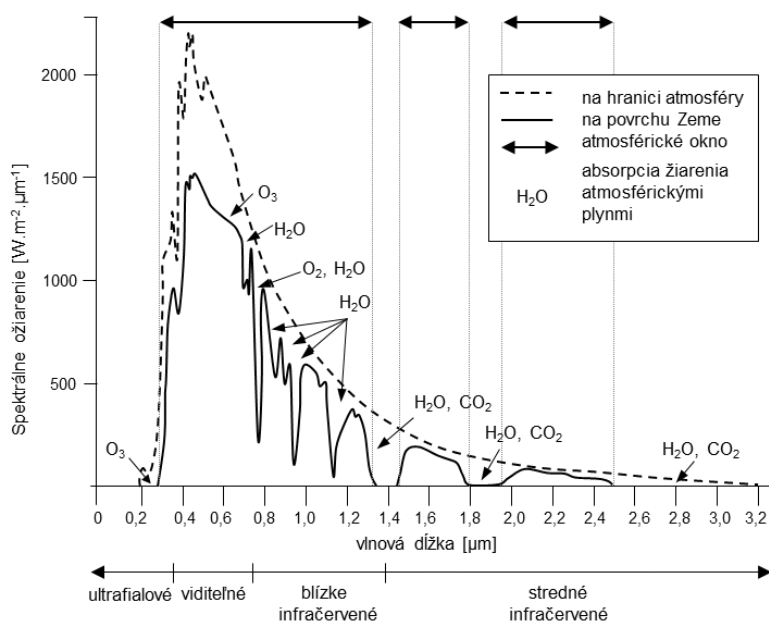


(a)



(b)

Obr. 8.3: Výrez snímky zaznamenávajúcej odrazivosť v červenej (a) a v infračervenej časti spektra (b) získanej družicou LANDSAT 7 senzorom ETM+ pre oblasť Užhorodu (12 x 12km) na slovensko-ukrajinskom pohraničí dňa 15. mája 2008. Zdroj dát: NASA/USGS

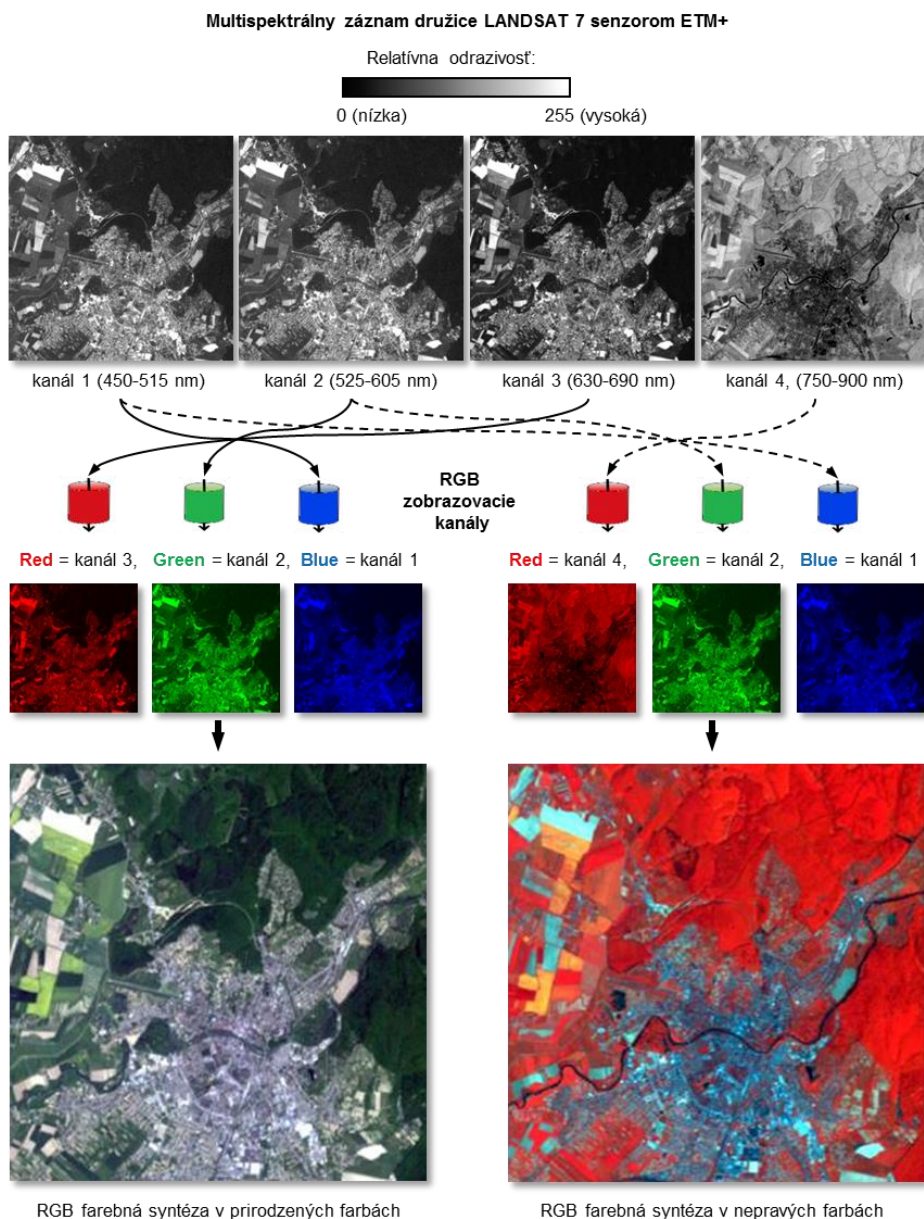


Obr. 8.4: Pohlcovanie slnečného žiarenia zemskou atmosférou vo viditeľnej a infračervenej časti spektra. Zdroj: Neteler a Mitasova (2004)

8.3 Zobrazovanie záznamu DPZ

Väčšina metód diaľkového prieskumu zachytáva spektrálne vlastnosti objektov a javov vo forme dátovej mriežky a teda v rastrovom dátovom formáte. Výnimkou je laserové skenovanie, ktoré priamo poskytuje vektorové dáta v podobe bodov. Vo svojej podstate rastrový formát poskytuje spojitú vizualizáciu snímaného územia vo forme obrazu. Jednotlivý obrazový element sa nazýva *pixel* (z angl. picture element) alebo *bunka* (angl. cell) a obsahuje hodnotu odrazivosti žiarenia v určitom spektrálnom pásme. Záznam v jednom spektrálnom pásme tak tvorí jednu obrazovú vrstvu, ktorá sa nazýva *spektrálny kanál* (angl. spectral band). Pre zobrazenie možno použiť konkrétny kanál samostatne v odtieňoch jednej farby, najčastejšie šedej. Pre dosiahnutie farebného vnemu sa používa kombinácia troch spektrálnych kanálov, ktoré sa zobrazujú tromi zobrazovacími kanálmi v odtieňoch červenej, zelenej a modrej v tzv. farebnom modeli RGB (angl. skratka Red, Green, Blue). Vznikajú tak *farebné syntézy (kompozície)*, napr. v prirodzených (pravých) farbách (angl. true/natural colour composites) alebo v nepravých farbách (angl. false colour composites). Obr. 8.5 individuálne zobrazuje vizualizáciu záznamu senzorom ETM+ na družici LANDSAT 7 v štyroch spektrálnych kanáloch 1-4, ktoré vyjadrujú relatívnu odrazivosť EMG v určitom spektrálnom pásme. Každý pixel obsahuje iba jednu hodnotu preto sú snímky v odtieňoch šedej. Kombináciu odrazivosti troch spektrálnych pásiem možno zobraziť cez tri zobrazovacie kanály RGB (napr. v monitore) ako farebnú syntézu. Skombinovaním kanálov 3, 2, 1 získavame farebnú snímku v prirodzených farbách (angl. true/natural colour composite). Na Obr. 8.5 je aj ukážka kombinácie kanálov 4, 2, 1, ktorou je územie zobrazené v nepravých farbách (angl. false colour

composite). Odtiene červenej tu vyjadrujú vysokú odrazivosť v infračervenom pásme, ale nízku odrazivosť v zelenom a modrom pásme. Tyrkysová farba tu vzniká v dôsledku kombinácie vysokej odrazivosti v kanáli 2 a súčasne v kanáli 1. Takáto farebná kompozícia veľmi dobre zobrazuje zdravú zeleň. Taktiež výrazne odlišuje vodné a vlhké plochy, ktoré sa javia ako tmavá až čierna farba.



Obr. 8.5: Vizualizácia záznamu v štyroch spektrálnych kanáloch multispektrálneho skenera ETM+ na družici LANDSAT 7 a odvodené RGB farebné syntézy pre oblasť Užhorodu (12 x 12km) na slovensko-ukrajinskom pohraničí dňa 15. mája 2008. Zdroj dát: NASA/USGS

8.4 Rozlíšenie záznamu DPZ a jeho vplyv na informačný obsah

Detailnosť informácie o objektoch a javoch získanej metódami DPZ súvisí s rozlíšením záznamu, ktoré možno vnímať z hľadiska priestorového, spektrálneho, rádiometrického a časového.

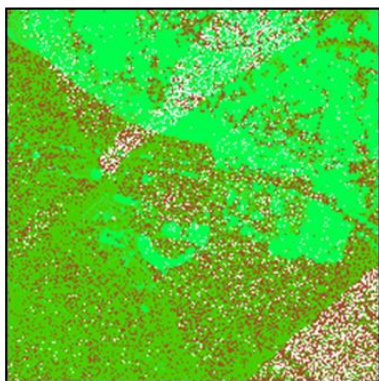
Priestorové rozlíšenie definuje rozsah oblasti ktorá zodpovedá obrazovému elementu, tiež nazývanému pixel (z anglického picture element) alebo veľkosť bunky (angl. cell size). Takto definované rozlíšenie priamo súvisí so záznamom v rastrovom dátovom formáte. V environmentálnych aplikáciách sa využíva priestorové rozlíšenia 0,5-100 m. Toto rozlíšenie určuje aj využiteľnosť dát pre určité mapové mierky.



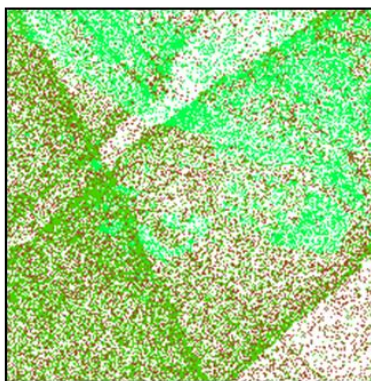
(a) Satelitná snímka LANDSAT 8 OLI, veľkosť pixla 15 m



(b) Letecká ortofotosnímka, veľkosť pixla 0,20 m



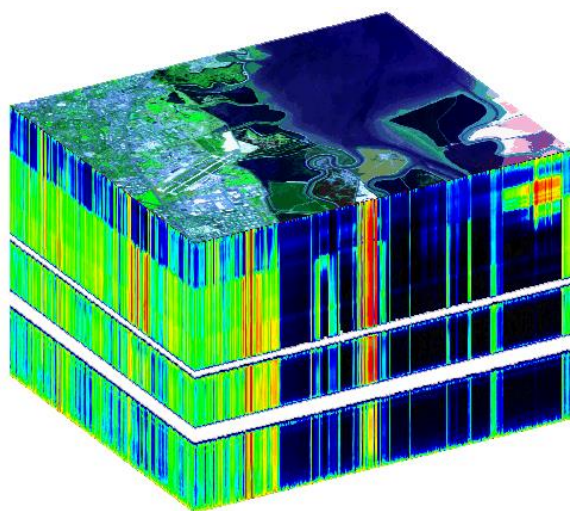
(c) Laserové skenovanie, 500 000 meraní, hustota 1,38 bod/m²



(d) Laserové skenovanie, 125 000 meraní, hustota 0,35 bod/m²

Obr. 8.6: Porovnanie záznamov DPZ v rôznom rozlíšení definovanom pre satelitný a letecký fotogrametrický záznam veľkosťou pixla (a,b) a pre mračno bodov z leteckého laserového skenovania hustotou bodov (c,d). Bodové pole (c, d) je klasifikované na body na teréne (hnedá) a mimo terénu (zelená), každý bod je meraním nadmorskej výšky. Oblasť v okolí vstupu do jaskyne Domica na Slovensku (600 x 600 m) zachytená na jar v roku 2014. Zdroj: Ústav geografie PF UPJŠ v Košiciach

Napríklad záznam družice LANDSAT 7 v rozlíšení 30 metrov je reprezentatívny pre prácu v mierke 1:100 000, čo je vhodné pre analýzy na úrovni regiónov (napr. povodia, okresy). Priestorové rozlíšenie môže byť definované aj hustotou meraní na jednotku plochy, čo je prípad zberu bodových dát laserovým skenovaním vo vektorovom formáte. Obr. 8.6 porovnáva rôzne priestorové rozlíšenie záznamu v rastrovom a vektorovom formáte. Výber dátových produktov DPZ na základe priestorového rozlíšenia musí vychádzať z minimálnej veľkosti objektov, ktoré požadujeme na snímke rozoznať a je voľbou užívateľa dát. Pre mapovanie budov v meste postačuje rozlíšenie na úrovni niekoľkých metrov až decimetrov, avšak pre spočítanie osôb v dave na ulici je potrebné rozlíšenie na úrovni niekoľkých centimetrov.



Obr. 8.7: Vizualizácia záznamu 224 spektrálnych pásiem (tzv. dátová kocka) získaného leteckým hyperspektrálnym snímačom AVIRIS v rozsahu 400 – 2500 nm z výšky 20 km na oblasti Moffett Field v Kalifornii (8x9 km). Zdroj: NASA

Spektrálne rozlíšenie sa týka spektrálnej citlivosti snímača EMG žiarenia. Dôležitý je počet spektrálnych pásiem v ktorých sa vykonáva záznam ako aj spektrálny rozsah každého z nich. Bežné satelitné skenery a letecké meračské kamery sú *multispektrálne snímače*, teda vytvárajú záznam vo viacerých spektrálnych pásmach (bežne 4 až 8) s rozsahom niekoľko desiatok nanometrov. Najčastejšie ide o modré, zelené, červené a blízke infračervené pásmo (RGB+CIR). Obr. 8.8 znázorňuje parametre vybraných multispektrálnych satelitných systémov. Výhoda snímání vo viacerých spektrálnych pásmach je najmä v možnosti pozorovať špecifické vlastnosti objektov. Napríklad vlastnosti vegetácie sa dobre javia v úzkom pásme medzi červenou a blízkou infračervenou časťou spektra. Vo vzdialenom infračervenom pásme sa dobre pozorujú tepelné vlastnosti objektov. Ešte vyššie spektrálne rozlíšenie ako multispektrálne snímače, dosahujú *hyperspektrálne snímače* pretože zaznamenávajú EMG žiarenie v niekoľkých desiatkach až stovkách pásiem s veľmi úzkym rozsahom (niekoľko nanometrov). Príkladom je pasívny letecký senzor AVIRIS s 224 spektrálnymi pásmami s rozsahom 10 nm pre každý z nich (Obr 8.7).

Oproti veľmi úzkym spektrálnym pásmam hyperspektrálnych snímačov stojí záznam v *panchromatickom pásme*, ktoré má rozsah široký niekoľko 100 nm. Panchromatický záznam zachytáva celkovú sumu EMG žiarenia najmä vo viditeľnej časti spektra (približne 500-800 nm), čo predstavuje jednu hodnotu odrazivosti pre každý pixel. Vizualizácia panchromatickej snímky je teda v odtieňoch šedej a nie je farebná (Obr. 8.8b). Takýto záznam je veľmi užitočný, pretože nižšia spektrálna citlivosť dovoľuje zaznamenávať EMG žiarenia pri vyššom priestorovom rozlíšení ako je možné pri užších spektrálnych pásmach na tom istom senzore. Napríklad, družica QuickBird produkuje panchromatické scény s veľkosťou pixla okolo 0,6 m, zatiaľ čo multispektrálne snímanie prebieha s priestorovým rozlíšením 2,4 m. Vyššiu úroveň detailu v panchromatickom zázname možno skombinovať s informáciami multispektrálnej zložky a zvýšiť tak jej priestorové rozlíšenie. Táto operácia sa nazýva *pan-sharpening* a na príklade scény družice LANDSAT 8 ju znázorňuje Obr. 8.8. Snímka v prirodzených farbách (Obr. 8.8a) vznikla RGB farebnou syntézou záznamu v troch kanáloch s užším spektrálnym rozsahom (450-510 nm, 530-590 nm, 640-670 nm) s priestorovým rozlíšením 30 m. Snímka v odtieňoch šedej je panchromatickým záznamom so širším spektrálnym rozsahom (500-680 nm) ale s vyšším priestorovým rozlíšením 15 m. Obr. 8.8c ukazuje operáciou *pan-sharpening* zostrenú farebnú snímku (Obr. 8.8a) prostredníctvom geometrickej informácie obsiahnutej v Obr. 8.8b. Spektrálny rozsah a počet kanálov je rôzny pre rozličné multispektrálne systémy. Obr. 8.9 pre niektoré z nich porovnáva spektrálne kanály a priestorové rozlíšenie záznamu.

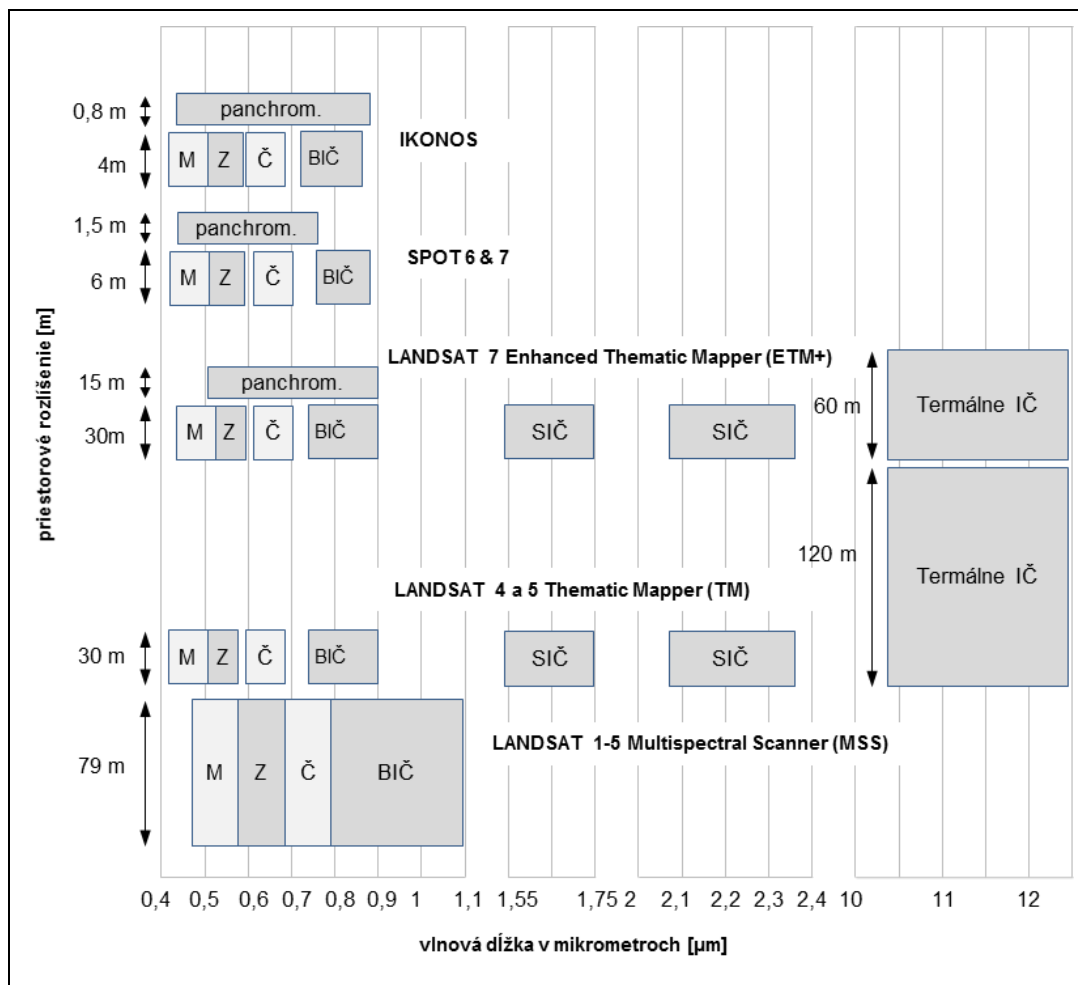


(a) veľkosť pixla 30 m

(b) veľkosť pixla 15 m

(c) veľkosť pixla 15 m

Obr. 8.8: Ukážka zaostrenia satelitnej snímky pomocou počítačovej operácie „pan-sharpening“ pre juhozápadnú časť Košíc s obchodnou zónou (2 x 2 km) zachytenú multispektrálnym skenerom OLI na družici LANDSAT 8 dňa 28. marca 2014. Vysvetlivky sú uvedené v texte. Zdroj dát: NASA/USGS



Obr. 8.9: Porovnanie priestorového a spektrálneho rozlíšenia vybraných satelitných systémov DPZ. Upravené podľa Jensen (2007).

Rádiometrické rozlíšenie popisuje dynamiku signálu charakterizovanú počtom úrovní, ktoré je snímač schopný registrovať. Zaznamenané hodnoty odrazeného žiarenia sú obyčajne normalizované do rozsahu hodnôt 0-255 (8 bitov), pre každý pixel v rámci záznamu jednotlivých spektrálnych pásiem. Každá hodnota (angl. Digital Number, DN) tak vyjadruje relatívnu odrazivosť plochy zemského povrchu v danom spektrálnom pásme. Napríklad dáta z kanálov LANDSAT7-ETM+ sú efektívne zaznamenané v 8 bitoch (256 stupňov), iné satelity majú rádiometrické rozlíšenie až 12 bitov (4096 stupňov). Obr. 8.10 porovnáva rozdiely medzi rôznymi úrovňami rádiometrického rozlíšenia.

Časové rozlíšenie je určené frekvenciou (periodicitou) snímania daného územia konkrétnym nosičom (satelitom, lietadlom). Rádovo sa pohybuje od desiatok minút v prípade meteorologických družíc po niekoľko desiatok dní. Opakované snímanie umožňuje sledovať zmeny v krajine

napríklad v súvislosti s rozsahom záplav, výstavbou, výškou morskej hladiny, či výškou reliéfu. Rámcovo vzťah medzi periodicitou snímania, priestorovým rozlíšením a aplikáciami v praxi znázorňuje Obr. 8.11. Napríklad sledovanie počasia vyžaduje časté snímkovanie, nakoľko objektom záujmu sú dynamické atmosférické javy, pre ktorých zachytenie však postačuje nižšie priestorové rozlíšenie nakoľko dosahujú relatívne veľké rozmery resp. sú plošne rozsiahle. Reagovanie na prírodné alebo humanitárne katastrofy v krízovom manažmente taktiež požaduje diaľkový prieskum vykonávaný s vysokou periodicitou, napr. pre monitorovanie postupu požiarov alebo vojenských jednotiek. V tomto prípade je však dôležité aj priestorové rozlíšenie, ktoré by malo byť vysoké, aby sa dali na snímkach rozoznať budovy, cesty, ba aj osoby a väčšie živočíchy. Vysoké priestorové rozlíšenie snímok DPZ je taktiež potrebné pre aktualizáciu topografických máp pre zachytenie zmien krajiny pokrývky na malých plochách. Vzhľadom na nižšiu dynamiku zmien v krajine stačí vykonávať nové snímkovanie raz za niekoľko rokov. Množstvo príkladov vyhodnotenia zmien krajiny na zemi Slovenska pútavým spôsobom ponúka práca Feranec et al. (2013). Na opačnom rohu Obr. 8.11 stojí monitorovanie klímy. Tak ako pre účely predpovede počasia, postačuje pre klimatologický výskum rozsiahlych území menej detailné priestorové rozlíšenie a menej frekventované pozorovanie atmosféry, avšak dlhodobé.



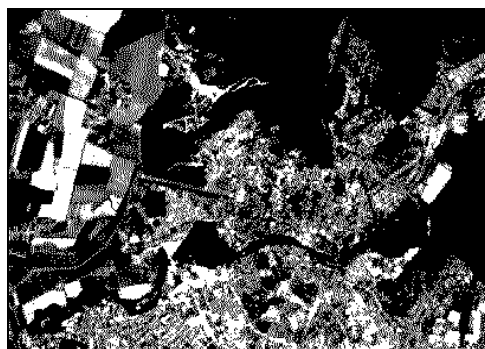
16 úrovní (4 bitová stupnica)



8 úrovní (3 bitová stupnica)

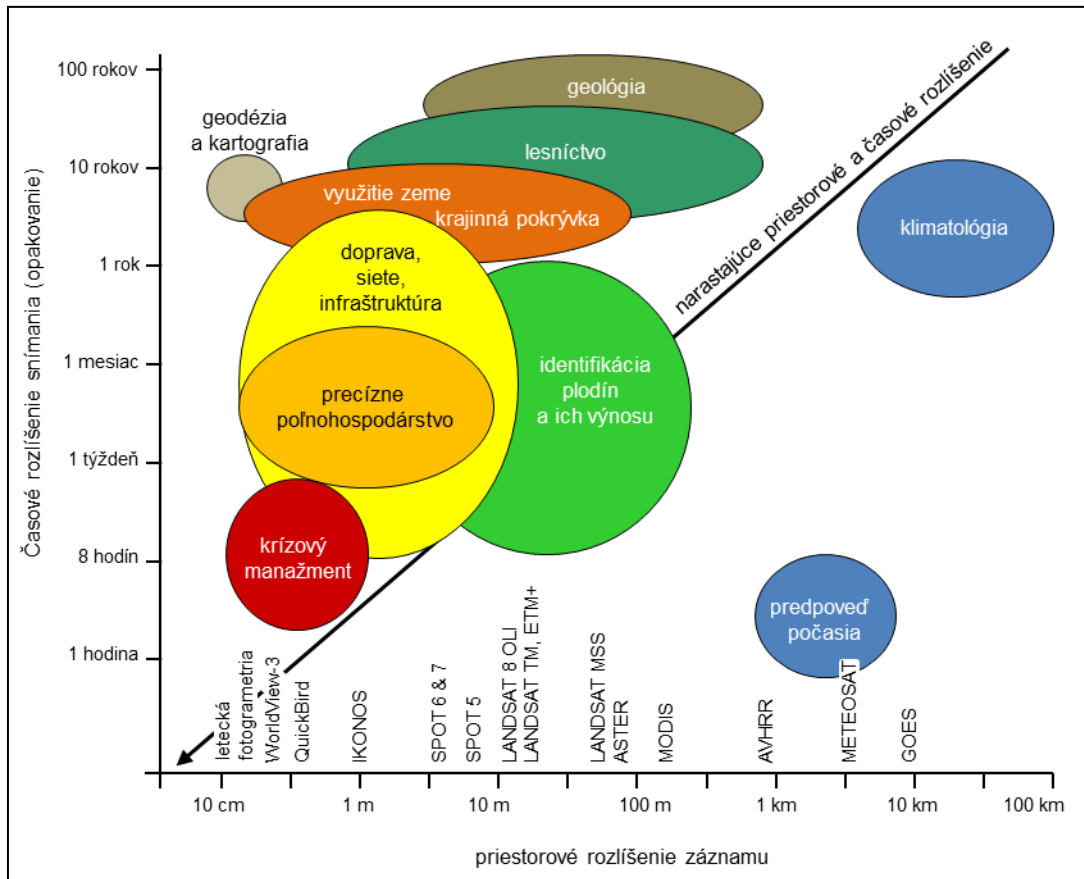


4 úrovne (2 bitová stupnica)



2 úrovne (1 bitová stupnica)

Obr. 8.10: Porovnanie rôznych úrovní rádiometrického rozlíšenia v odtieňoch šedej pre záznam odrazivosti v panchromatickom pásme (520 - 900 nm) zachytenom pomocou senzora ETM+ na družici LANDSAT 7 s priestorovým rozlíšením 15 m. Oblasť mesta Užhorod (7x12 km) na slovensko-ukrajinskom pohraničí dňa 15. mája 2008. Zdroj dát: NASA/USGS



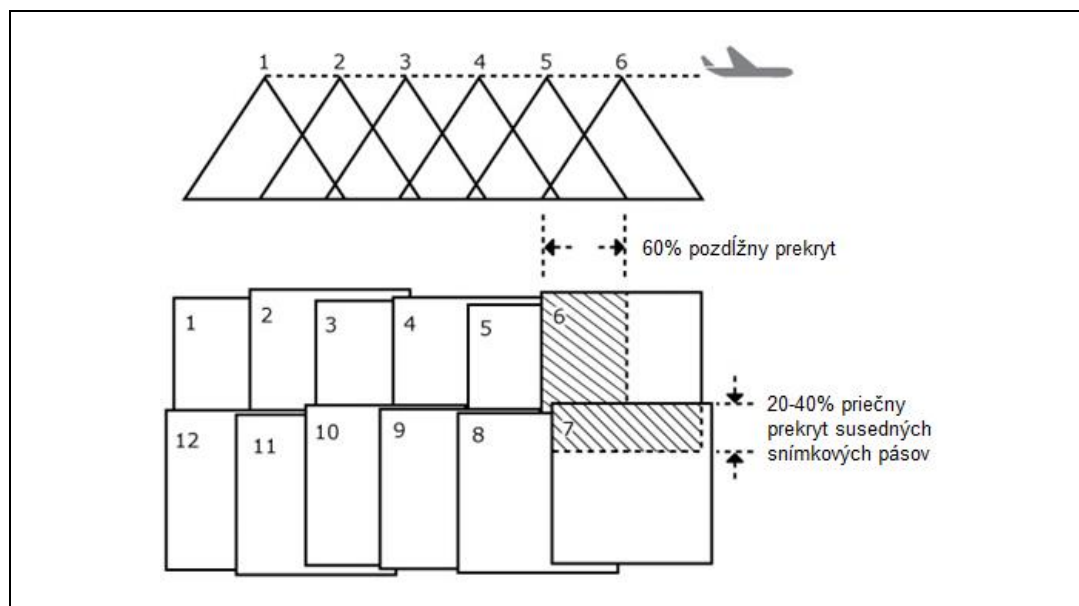
Obr. 8.11: Vzťah medzi priestorovým a časovým rozlíšením vybraných satelitných systémov DPZ v súvislosti s konkrétnymi aplikáciami v praxi. Upravené podľa Jensen (2007).

8.5 Letecká fotogrametria

Vedecko-technická disciplína, ktorá sa venuje priestorovým meraniam a geometrickej analýze krajiny pomocou fotografického záznamu sa nazýva fotogrametria. Z hľadiska zdroja EMG žiarenia ide o pasívnu metódu DPZ. Fotografický záznam patrí medzi prvé technológie využité za účelom diaľkového prieskumu Zeme. Prirodzene sa nástup fotogrametrie odvíjal od vynájdenia princípu fotografickej komory a záznamu na svetlocitlivý papier v prvej polovici 19. storočia ako aj od prvých úspechov v letectve na prelome 19. a 20. storočia. Analýze snímok vyhotovených z leteckých nosičov sa venuje letecká fotogrametria (angl. long-range / aerial photogrammetry). Snímky získané pozemným fotografovaním analyzuje blízka (pozemná) fotogrametria (angl. close-range photogrammetry). Princípy sú si v oboch prípadoch podobné a vychádzajú z rekonštrukcie skutočných objektov na báze stereoskopického videnia. Základnými meranými veličinami sú poloha objektov, vzdialenosť medzi nimi, rozmery objektov, nadmorská výška, prevýšenie, plocha. Základným produktom fotogrametrie sú *letecké meračské snímky*, ktoré sú získavané kalibrovanými

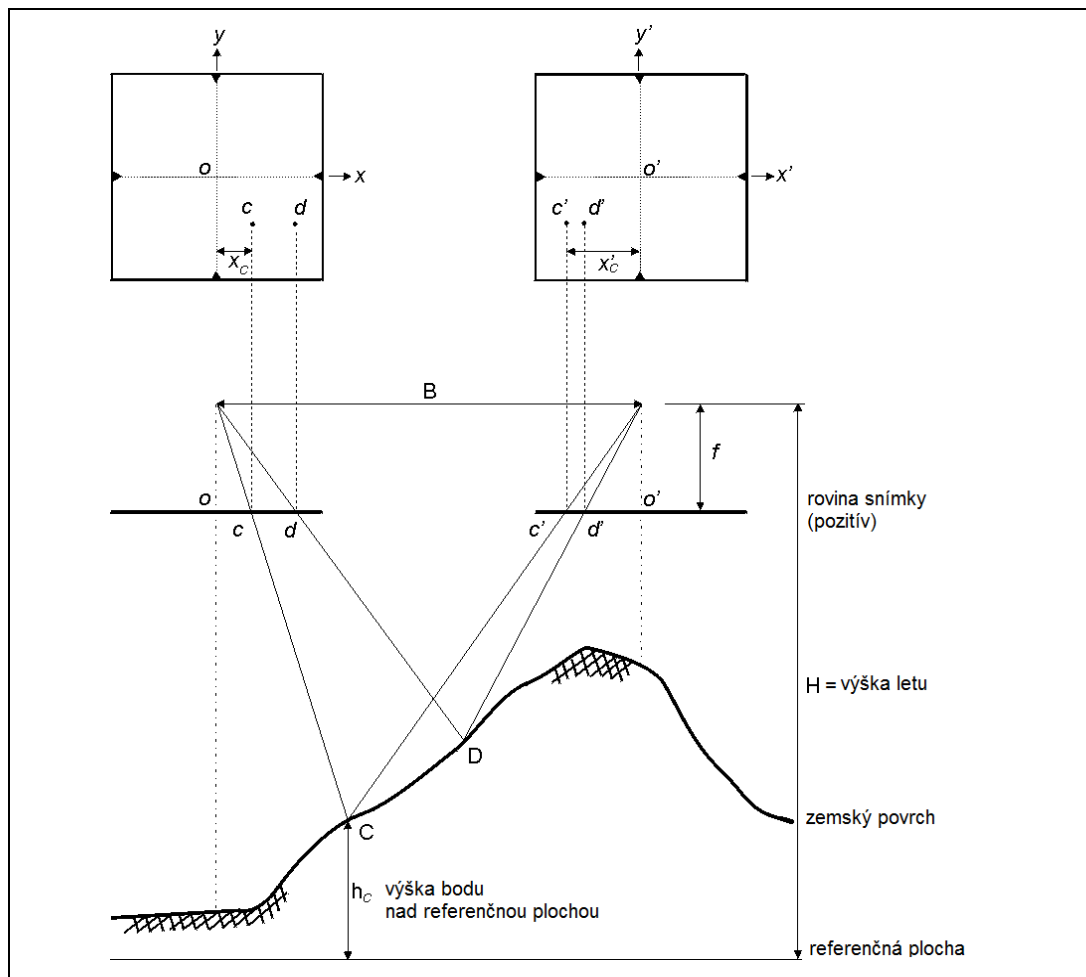
fotografickými prístrojmi, tzv. *fotogrametrickými kamerami*. Snímky sú v podstate fotografie, ktoré majú presne dané rozmery a navyše na okrajoch obsahujú rámové značky pre určenie geometrického stredu snímky. Ďalej sú na nich uvedené údaje o lete, dátume, čase a poradí vyhotovenia snímky, nadmorskej výške letu, náklone a ohniskovej vzdialenosti kamery, prípadne aj ďalšie údaje o parametroch kamery. Letecké meračské snímky sú významným zdrojom dát pre veľkomierkové mapovanie. Aj v minulosti sa používali pre tvorbu a aktualizáciu máp vrátane štátnych mapových diel. Z leteckých snímok je možné získať informáciu o reliéfe, stave pôdnej a lesnej pokrývky, či prvkoch urbánnej krajiny (Boltižiar, 2007). Z hľadiska mapovania a použitia v GIS-e sú najdôležitejšie vertikálne snímky, pri ktorých sa povrch Zeme sníma fotografickým prístrojom v kolmici na horizontálnu rovinu. Podrobnejšie teóriu fotogrametrie a jej využitie rozoberajú skriptá Bitterer, L. (2005) alebo Čerňanský et al. (2013).

Spracovaním leteckých snímok vznikajú ortofotosnímky, ortofotomapy, tematické dáta odvodené zo snímok (napr. krajinná pokrývka), digitálne výškové modely, alebo trojdimenzionálne (3D) modely budov. Podmienkou tvorby týchto dát sú stereopáry fotografií s dostatočným vzájomným prekrytom (cca 60% medzi snímkami a 30% medzi letovými dráhami) (Obr. 8.12). Z územia prekrytu možno rekonštruovať priestorový 3D model a získať tak 2D a 3D dáta. Obr. 8.13 znázorňuje určenie polohy objektov pomocou stereoskopického premietania. Dve snímky s vertikálnym uhlom pohľadu zachytávajú územie s výrazným prevýšením, ktoré medzi bodmi C a D podmieňuje relatívny posun (paralaxu x) ich obrazu c, d a c', d' na snímkach. Meraním tohto posunu možno získať polohu bodov v 3D priestore za predpokladu, že poznáme vzdialenosť miest expozície snímok I a ohniskovú vzdialenosť kamery f . Z územia prekrytu tak možno rekonštruovať skutočné rozmery a polohu objektov.



Obr. 8.12: Mozaika prekrývajúcich sa leteckých snímok s poradím vyhotovenia počas letu.

Rozsah územia zachytenom na snímke sa zväčšuje s výškou letu avšak priestorové rozlíšenie snímky klesá. Voľba letových parametrov závisí od účelu mapovania, veľkosti územia, požadovaného rozlíšenia a parametrov kamery. Fotogrametrický prieskum sa vykonáva v prípade pilotovaných lietadiel (Obr. 8.14a) alebo helikoptér vo výškach na úrovni niekoľkých stoviek metrov až kilometrov na teréne. V súčasnosti sa do popredia dostávajú malé bezpilotné letecké systémy (angl. Unmanned Aerial Systems, UAS) s kompaktnými digitálnymi kamerami, ktorými možno mapovať malé územia z nižších výšok avšak vo veľmi vysokom rozlíšení (Obr. 8.14b). Nalietavanie územia sa zvyčajne vykonáva v smere východ-západ alebo opačne najmä z dôvodu minimalizácie efektov oslnenia (napr. tieň).



Obr. 8.13: Premietanie obrazu a určenie polohy objektov v rámci prekrytu v stereopáre snímok s vysvetlením v texte. Upravené podľa: Lillesand et al. (2008)



(a)

(b)

Obr. 8.14: Letecké nosiče pre fotogrametrický prieskum. (a) Lietadlo Piper s pilotom a (b) diaľkovo ovládateľný bezpilotný systém DJI Phantom 2. Zdroj: (a) Photomap, s.r.o., (b) Ústav geografie PF UPJŠ v Košiciach

Spracovanie leteckých snímok a tvorba ortofotomapy

Až do nedávnej minulosti sa snímky zaznamenávali analógovo, teda na fotografický film, a uchovávali sa ako jeho negatívy, resp. pozitívy alebo fotografie (staršie formáty 180 x 180 mm, novšie 230 x 230 mm). V poslednom desaťročí analógové snímkovanie úplne nahradil digitálny záznam svetlocitlivými čipmi (CCD alebo CMOS) digitálnych meračských kamier, ktoré produkujú digitálny obrazový záznam v rastrovom formáte. Pre masové spracovanie analógových leteckých meračských snímok sa pred nástupom výkonnej počítačovej techniky využívali stereoplotre (Obr. 8.15a). V súčasnosti sa merania vykonávajú na *digitálnych fotogrametrických stanicich*, ktoré zahŕňajú výkonný hardvér, 3D monitor a 3D myš (Obr. 8.15b). Spracovanie analógových snímok v počítačovom prostredí predpokladá ich digitalizáciu na skeneroch. Prvotným krokom pri spracovaní leteckých snímok je ich správna orientácia. Najprv sa vykoná *vnútorná orientácia* (angl. interior orientation) individuálne pre každú snímku a potom sa snímky na základe niekoľkých identických bodov zorientujú vzájomne. Tak vznikne snímková mozaika, ktorú je potrebné zorientovať vzhľadom na kartografický systém (napr. SJTSK). Tento proces sa nazýva *vonkajšia orientácia* (angl. exterior orientation). Súradnicové priradenie snímky (georeferencovanie) vyžaduje použitie referenčných (vlicovacích) bodov, ktoré možno jednoznačne určiť na snímkach a presne zamerať v teréne. Zameranie sa realizuje väčšinou pred samotným letom použitím GNSS alebo tachymetricky. Celý proces vnútornej a vonkajšej orientácie uľahčujú v súčasnosti prijímače GNSS a merače náklonu fotogrametrickej kamery (inerciálny merací systém, skr. IMS). Obidva typy zariadení kontinuálne pre každú expozíciu snímky zaznamenávajú polohu kamery v kartografickom súradnicovom systéme a jej náklon vzhľadom na osi x, y, z. Tieto parametre spoločne s parametrami kamery (ohnisková vzdialenosť, skreslenie objektívu, rozmer snímok) možno potom použiť pre automatickú orientáciu snímok v príslušnom softvéri. Ako príklad uvádzame Photomod od f. Racurs, Geomatica od f. PCI Geomatics, Inpho od f. Trimble. Pre nízkonákladovú fotogrametriu na báze malých bezpilotných systémov možno využiť progresívnu

technológiu „structure-from-motion“, ktorú implementuje softvér Photoscan od f. Agisoft alebo voľne šíriteľný VisualSFM od Changchang Wu.

Zorientovaním snímok vzniká optický 3D model územia, na ktorom sa vyhodnocuje obrazová a 3D geometrická informácia. Vektorové objekty sa extrahujú z územia prekrytu stereosnímok pomocou procesu, ktorý je podobný 2D vektorizácii, avšak s tým rozdielom, že sa získava aj výšková súradnica z , ktorá vyžaduje 3D kurzor (ukazovátka). Operátor pre zabezpečenie 3D vnemu využíva počas vyhodnocovania 3D okuliare. Existujú však aj automatizované postupy získavania 3D dát nevyžadujúce zásah operátora. Fotogrametrické metódy sú najvhodnejšie pre vektorizáciu plošných líniových a bodových objektov ako sú budovy, dopravná infraštruktúra, krajinná pokrývka, terénne hrany, body na teréne. Z bodových a líniových prvkov na reliéfe možno odvodiť digitálne modely reliéfu (DMR) v podobe nepravidelných trojuholníkových sietí (TIN) alebo v rastrovom formáte. Popri vektorových dátach a DMR sú významným produktom spracovania leteckých snímok ortofotosnímky a ortofotomapy v rastrovom dátovom formáte.

Leteckú snímku nemožno priamo použiť pre meranie dĺžok, plôch a smerov tak ako klasickú mapu. Letecká snímka má, na rozdiel od mapy, centrálnu projekciu. Obraz vzniká premietaním cez jeden bod, ktorým je ohnisko kamery. Z toho dôvodu sú objekty na snímke skreslené, čo sa zvyrazňuje smerom k okrajom snímky. Obraz je odklonený od stredu premietania. Ukazuje to Obr. 8.16a, ktorý je výrezom leteckej snímky a stred premietania je v jeho dolnej časti. Vysoké objekty (napr. bytovky, stromy) sa so vzrastajúcou vzdialenosťou od stredu premietania od neho väčšími odkláňajú, hoci v tomto prípade sú bytovky rovnako vysoké. Toto geometrické skreslenie sa zvyrazňuje pri členitom reliéfe a náklone lietadla. Odstrániť sa dá ortorektifikáciou snímky (Obr. 8.16b).



(a)



(b)

Obr. 8.15: Zariadenia pre fotogrametrickú analýzu stereosnímok: (a) stereoploter A8 od výrobcu Wild Heerbrugg, (b) fotogrametrická stanica so softvérom od firmy Racurs. Zdroj: (a) www.blom-uk.co.uk, (b) Ústav geografie PF UPJŠ v Košiciach.



(a)

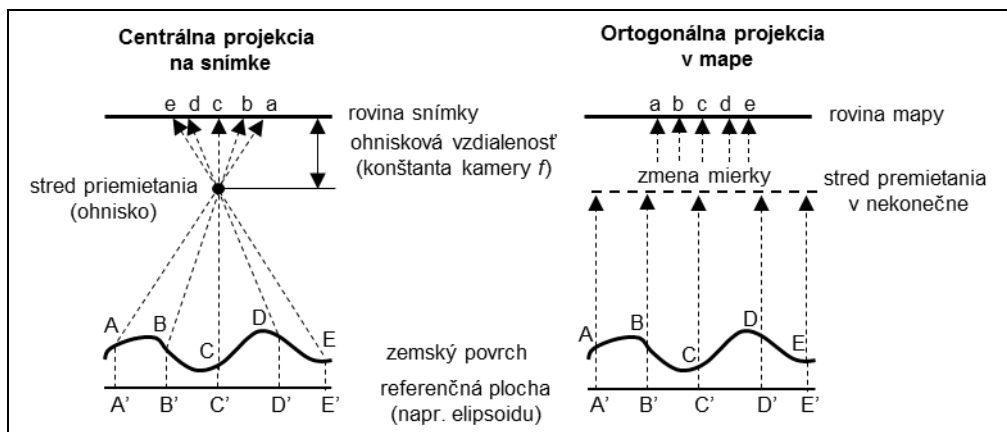


(b)

Obr. 8.16: Časť sídliska Terasa v Košiciach zachytená na výreze (a) nespracovanej leteckej snímky s centrálnou projekciou, (b) po ortorektifikácii. Zdroj: Photomap, s.r.o.

Ortorektifikácia je proces zahŕňajúci geometrickú transformáciu obrazu nespracovanej snímky, ktorou sa odstránia jeho deformácie vznikajúce v dôsledku výškovej členitosti územia a centrálnej projekcie (Obr. 8.17). Obraz získaný stredovým premietaním vo fotogrametrickej kamere sa prevedie do ortogónalnej projekcie, ktorej stred premietania je v nekonečne. Týmto procesom vzniká ortofotosnímka, ktorá dovoľuje vykonávať korektné merania plôch a dĺžok podobne ako prostredníctvom mapy. Ortorektifikácia nie je potrebná na rovinatých územiach a v malých mierkach. Variačné rozpätie výšky by nemalo presiahnuť $1/500$ z mierkového čísla z mierky, v ktorej bola snímka nasnímaná. Napríklad pre snímkovanie v mierke $1:25\,000$ by rozsah nadmorských výšok v snímanom území nemal presiahnuť 50 metrov ($25\,000/500$). *Ortofotosnímka* je teda spracovaná letecká snímka, na ktorej sú odstránené vplyvy náklonov lietadla, smerov jeho pohybu a centrálna projekcia je zmenená na ortogónalnu pričom sú odstránené aj vplyvy reliéfu (Obr. 8.16b, 8.18d). Ortofotosnímka v tlačenej podobe, ktorá obsahuje aj legendu, mierku, prípadne textové prvky, polohopis a výškopis sa nazýva *ortofotomapa*. Využitie ortofotomáp je všestranné a v mnohých prípadoch nahrádza aj klasické mapy, ktorých obsah veľmi rýchlo zastaráva.

Pri tvorbe ortofotosnímkov je nevyhnutný digitálny model reliéfu (DMR) a referenčné mapy (Obr. 8.18a, b). DMR je potrebný na odstránenie vplyvov reliéfu. Rozlíšenie rastrového DMR by malo byť blízke rozlíšeniu leteckých snímkov, ktoré býva veľmi vysoké (aj menej ako 0,2 m). DMR sa zväčša odvodzuje pre menšie rozlíšenie (5 m – 50 m), preto je pre účely ortorektifikácie vhodné prevzorkovať DMR na potrebné rozlíšenie, aby nedochádzalo k polohovým nepresnostiam. Prevzorkovanie sa dosiahne interpoláciou pôvodného DMR do rastra s veľkosťou bunky zodpovedajúcej rozlíšeniu budúcej ortofotosnímkou (napr. 0,2 m). Referenčná mapa je potrebná na určenie referenčných bodov medzi snímkom a mapou, aby bolo možné vykonať georeferencovanie snímky. Mierka mapy by mala byť blízka mierke snímky, prípadne aj väčšia. Ak pre dané územie nie je k dispozícii vhodná mapa, potrebné je zamerať referenčné (vlicovacie) body pre ortofotomapu v teréne.

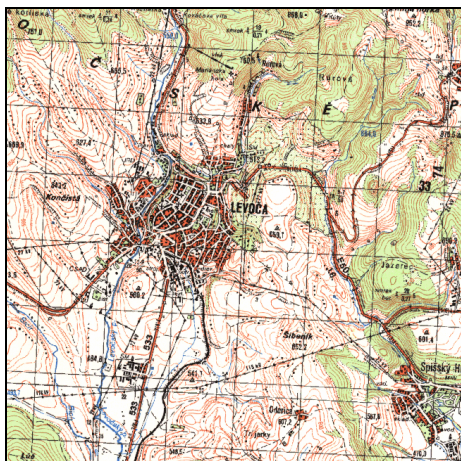


Obr. 8.17: Porovnanie efektu centrálnej a ortogónnej projekcie obrazu (premietania).

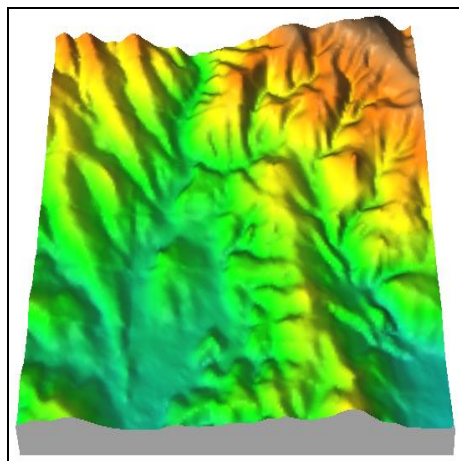
Postup ortorektifikácie približuje Obr. 8.18. Topografická mapa (a) zobrazuje nasnímané územie a jeho hypsometriu vyjadruje digitálny model reliéfu (b). V pôvodnej leteckej snímke z roku 1997 (c) sa v procese ortorektifikácie upravili radiálne posuny vznikajúce v dôsledku výraznej výškovej členitosti územia využitím modelu reliéfu. Vznikla tak ortofotosnímka (d). Naložením cestnej siete odvodenéj z mapy (a) možno porovnať správnosť polohopisu na pôvodnej snímke (e) a ortofotosnímke (f).

Existujú dva typy ortofotomáp: *pravé ortofotomapy* a *pseudoortofotomapy*. Pri tvorbe pravých ortofotomáp sa vykonáva polohová korekcia všetkých vyvýšených objektov (napr. striech domov) tak, že na ich pôvodnom mieste na snímke nie sú žiadne dáta. Pri tomto type ortofotomáp je potrebné mať nielen DMR ale aj výšky všetkých vyvýšených objektov. Digitálny model povrchu vrátane objektov na ňom sa dá odvodiť pomocou stereopárov leteckých snímok alebo z mračna bodov získaných pomocou laserového skenovania (vid' kapitolu 8.9). Pri pseudoortofotomapách sa použije jednoduchší model zahŕňajúci iba terén. Polohový posun obrazu sa tak vykonáva iba vzhľadom na nerovnosti terénu, ale nie v prípade vyvýšených objektov, takže napríklad časť stien budov týchto zostáva viditeľná.

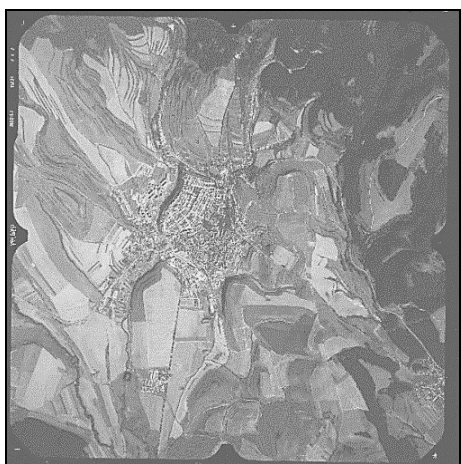
Po výbere DMR a zadaní interných a externých parametrov fotokamery pri snímkovaní je potrebné identifikovať aj niektoré významné body na leteckej snímke definujúce jej geometrické vlastnosti. Na základe referenčných bodov medzi snímkou a mapou (optimálny počet je 12) sa môže vykonať ortorektifikácia. Výška sa automaticky odčítava z DMR. Proces identifikácie referenčných bodov vyžaduje interakciu operátora, ktorý musí ručne identifikovať a zaznamenať body na snímke a mape. Referenčné body môžu byť merané aj pomocou GPS. Presnosť identifikácie bodov a rektifikácie sa sleduje pomocou strednej chyby RMSE (angl. root square mean error). Akceptovateľná chyba je menšia ako polovica cieľového rozlíšenia.



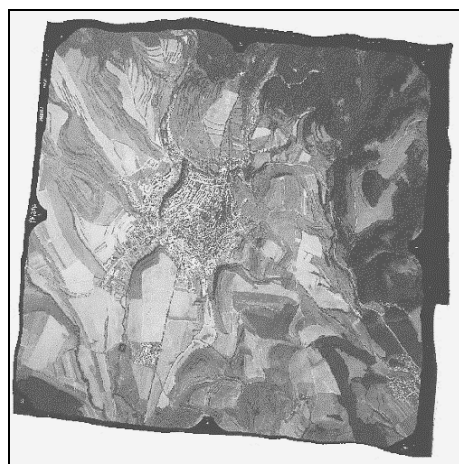
(a)



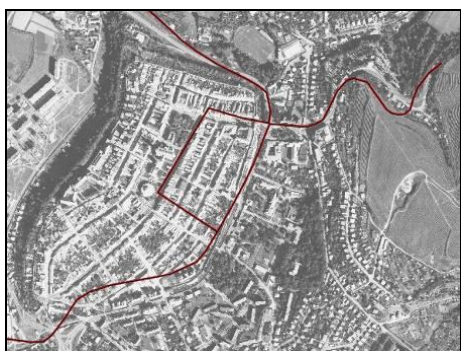
(b)



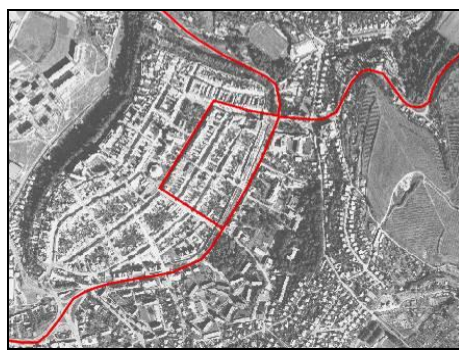
(c)



(d)



(e)

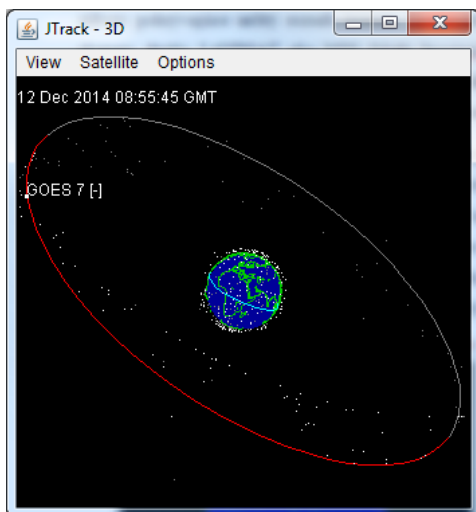


(f)

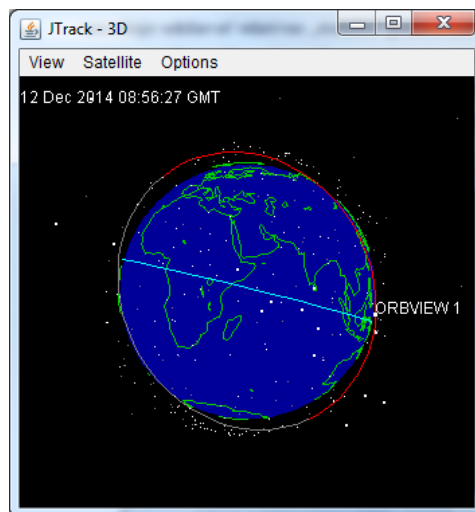
Obr. 8.18: Ukážka nespracovanej leteckej snímky a odvodenej ortofotosnímky pre okolie Levoče s vysvetlením v texte. Zdroj dát: Topografický ústav Banská Bystrica, GKÚ SR

Ortofotomapy sa dajú veľmi dobre použiť nielen namiesto máp, ale aj za účelom klasifikácie krajiny pokrývky. Oproti satelitným dátam je rozdiel najmä v rozlíšení a v tom, že zvyčajne je k dispozícii len 1 spektrálny kanál. Preto preferovaný spôsob spracovania je najmä vizuálna interpretácia. V niektorých GIS-och existujú metódy na poloautomatickú extrakciu prvkov (plôch, hrán). Pri menšom rozsahu územia je možná aj ručná vektorizácia plôch pomocou interpretátora na obrazovke počítača. Najbežnejšie je použitie ortofotomapy v kombinácii s inými vektorovými vrstvami (Obr. 8.19).





(a)



(b)

Obr. 8.20: Vizualizácia okamžitej polohy jednej z geostacionárnych družíc systému Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) vo výške 35,790 km (a) a polohy družice Orbview-1 (b) na polárnej orbitálnej dráhe vo výške 733 km. Satelity GOES sú určené pre meteorologický výskum a predpoveď počasia a Orbview-1 zaznamenáva predovšetkým intenzitu bleskov v atmosfére. Zdroj: NASA

NASA

Satelitné dáta sú vhodné najmä pre veľké územia a pre územia ťažko dostupné. Výhodou je aj vysoká periodicita záznamov z daného územia na úrovni niekoľkých dní až hodín, čo umožňuje mapovanie a analýzy zmien sledovaného javu. Spomedzi multispektrálnych satelitných systémov sú príkladom skenery družíc LANDSAT ako MSS (Multi Spectral Scanner), TM (Thematic Mapper), ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), ďalej snímač ASTER na družici Terra, snímače družíc SPOT, IKONOS, RESURS, GeoEye. Príkladom satelitných hyperspektrálnych skenerov je Hyperion na americkej družici EO-1. Parametre záznamu vybraných multispektrálnych skenerov sú uvedené na Obr. 8.9 a Obr. 8.11

Z hľadiska výšky orbity (dráhy) nad Zemou rozlišujeme geostacionárne a polárne satelity (Obr. 8.20). Geostacionárne satelity sú značne vzdialené od zemského povrchu, približne okolo 36 000 km. Táto vzdialenosť od Zeme im umožňuje udržiavať relatívne „statickú“ polohu nad určitou oblasťou, pretože doba ich obehu je synchronná s otáčaním Zeme. Naopak satelity na polárnej orbite obiehajú bližšie k Zemi s vyššou rýchlosťou akú má jej rotácia. Vďaka tomu môžu v pravidelných časových periódach prechádzať a snímať rovnaké územie a tak postupnými obletmi Zeme vo forme pásov pokryť celý zemský povrch.

Spracovanie multispektrálnych rastrových dát

Použitie multispektrálneho záznamu DPZ v GIS-e vyžaduje prípravu dát. Proces spracovania dát zahŕňa úpravu kartografických, geometrických, rádiometrických a spektrálnych vlastností záznamu, ktoré vysvetľujeme v nasledujúcom texte. Multispektrálne obrazové dáta sú v súčasnosti distribuované s informáciou o kartografickom systéme (napr. WGS 1984 alebo UTM), v ktorom vznikli alebo do ktorého boli transformované. V prípade surových dát, alebo nutnosti spresnenia súradnicového priradenia pre menší región je nevyhnutné snímku nanovo georeferencovať. *Georeferencovanie* (rektifikácia) sa vykonáva pomocou kontrolných, referenčných bodov (GCP - ground control points). Sú to body identifikovateľné na snímke, a zároveň so známymi súradnicami z iného zdroja. Týchto referenčných bodov je zvyčajne viac (rádovo desiatky) a pokrývajú celé územie na snímke. Potrebný počet závisí od rektifikačnej metódy. Najbežnejšie sú polynomicke a parametrické metódy. Na získanie referenčných bodov je vhodné využiť priame zameranie pomocou GNSS prijímača, mapy alebo iné polohovo lokalizovaných dáta z DPZ. V prípade polynomickej transformácie (lineárnej, afinnej alebo kubickej) sa počet referenčných bodov potrebných pre georeferencovanie zvyšuje s narastajúcim stupňom použitej polynomickej funkcie. Polynomická transformácia je jednoduchá, avšak vhodná je skôr pre menšie a ploché územia, keďže okrem vyššieho počtu referenčných bodov nekoriguje skreslenia spôsobené reliéfom. Parametrické metódy umožňujú korigovať aj skreslenia reliéfom. Sú založené na matematickom popise geometrie snímania zemského povrchu. Georeferencovanie je svojou podstatou totožné s transformáciou súradnicových systémov.

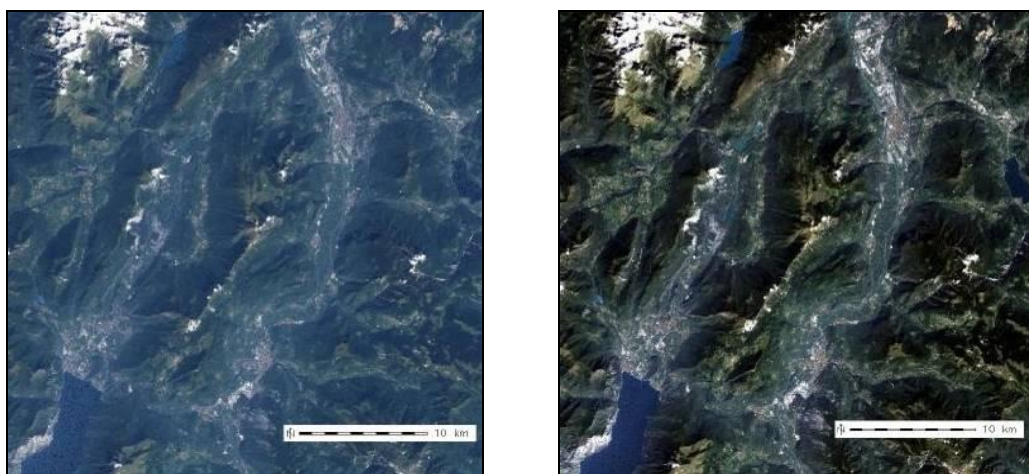
Geometrickej korekcii, ktorá okrem polohovej lokalizácie obsahuje aj odstránenie skreslenia spôsobené reliéfom hovoríme *ortorektifikácia*. Geometrické skreslenie spôsobené reliéfom vzniká vtedy, keď snímač nesníma povrch Zeme kolmo, ale pod určitým uhlom. V prípade vertikálneho snímokovania satelitnými skenermi alebo leteckými meračskými kamerami vznikajú nepresnosti pri veľkom vertikálnom prevýšení zemského povrchu a tak dochádza k polohovým nepresnostiam a deformáciám plôch, ktoré nie sú planimetricky správne. Pri ortorektifikácii sa využíva digitálny model reliéfu, ktorého rozlíšenie by malo zodpovedať rozlíšeniu satelitných snímok. Často sa na tento účel využíva DMR odvodený priamo zo stereo párov scén zo satelitných nosičov, ktoré ich poskytujú (napr. SPOT, IKONOS, ASTER). Presnosť geometrickej korekcie (chyba ortorektifikácie) sa stanovuje porovnaním georeferencovanej snímky a referenčných bodov na mape.

Po georeferencovaní nastupuje fáza *rádiometrickej korekcie* skreslení obrazu vyplývajúcich z pôsobenia rôznych faktorov. Ide najmä o charakteristiky snímacieho systému (v prípade kvantitatívneho porovnávania dát rôznych snímacích systémov), vplyv rôznych vlastností atmosféry, rôznej polohy Slnka nad obzorom, vplyv reliéfu a anizotropných odrazových vlastností zemského povrchu (Šúri, 1998). Atmosférické a reliéfné (topografické) korekcie sú najčastejšími korekciami, ktoré sa aplikujú na satelitné snímky, najmä ak sa majú využiť na klasifikáciu a multitemporálnu analýzu (t.z. analýzu dát z viacerých časových období). Vplyv atmosféry je rôznorodý a zvyčajne nie sú k dispozícii detailné informácie o stave atmosféry v čase snímania. Preto sa stav atmosféry zisťuje priamo zo snímky. Výraznejší vplyv atmosféry je často viditeľný aj

priamo na farebných kompozíciách ako bledomodrý závoj (hmla) na snímke (Obr. 8.21). Štatisticky sa atmosférické vplyvy zisťujú na základe známych tmavých objektov (napr. voda alebo ihličnaté lesy), ktoré vplyvom atmosféry nie sú tmavé. Od hodnôt odrazivosti na týchto pixloch sa odpočítava hodnota, ktorá je spôsobená atmosférickými vplyvmi.

Vplyv reliéfu spočíva v rozličných uhloch dopadu slnečných lúčov na zemský povrch. To sa prejavuje odlišnou odrazivosťou toho istého objektu. Okrem toho pri nízkej výške slnka nad obzorom môžu v hornatom reliéfe vznikáť aj tieňe, ktoré sa prejavujú ako tmavé až čierne plochy (Obr. 8.21). Existuje viacero metód na elimináciu vplyvu reliéfu. V princípe ide o korekciu hodnôt radiácie v závislosti od uhla dopadu slnečných lúčov na zemský povrch.

Ďalším metodickým krokom v etape predspracovania je často aplikácia *spektrálnych transformácií*. Tie zahŕňajú celé spektrum algoritmov zvyrazňujúcich v dátach tie vlastnosti objektov krajiny, ktoré významne ovplyvňujú ich spektrálne charakteristiky. Použitie spektrálnych transformácií zlepšuje interpretovateľnosť dát pri výraznom zmenšení ich množstva. Medzi najpoužívanejšie patrí metóda hlavných komponentov (angl. principal component analysis, PCA) a lineárne, resp. nelineárne kombinácie spektrálnych kanálov, označované tiež pojmom spektrálne indexy. Skupina spektrálnych indexov zahŕňa veľa prístupov, z ktorých sa v stručnosti zmienime o spektrálnej transformácii Tasseled Cap a indexe NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Tasseled Cap predstavuje lineárnu kombináciu spektrálnych kanálov tak, že veľká časť ich variability je vyjadrená prostredníctvom troch spektrálnych indexov svetlosť (brightness), zelenosť (greenness) a vlhkosť (wetness), ktoré priamo súvisia s charakteristikami pôdy, vegetácie a vody.



(a)

(b)

*Obr. 8.21: Nežiaduci vplyv atmosférického rozptylu slnečného žiarenia na kvalitu obrazu a jeho korekcia modulom *i.landsat.dehaze* v GRASS GIS. Oblasť mesta Trento v talianskych Alpách na snímke družice LANDSAT 7 TM, 13. septembra 1999. Zdroj dát: NASA/USGS, Spracoval: Markus Neteler.*

Index NDVI kombinuje odrazivosť v červenom a infračervenom spektrálnom pásme tak, že zvyrazňuje informáciu o zelenom vegetačnom kryte. NDVI je štandardizovaný index vyjadrujúci zelenosť obrazu podmienenú obsahom chlorofylu v rastlinných organizmoch. Vychádza zo spektrálnej vlastnosti chlorofylu, ktorý absorbuje červené svetlo, ale výrazne odráža blízke infračervené žiarenie. NDVI je bežne používaným indexom pre monitorovanie poškodenia vegetácie suchom, požiarimi, ďalej pre monitorovanie výnosu poľnohospodárskych plodín alebo intenzity dezertifikácie. Jeho výhodou oproti analýze individuálnej odrazivosti v červenom a infračervenom pásme je minimalizácia efektu rôzneho osvetlenia (zatienevia) reliéfu v dôsledku rôzneho sklonu a orientácie a ďalších efektov prostredia (Lillesand et al., 2008). Používajú sa aj iné typy spektrálnych indexov a ich kombinácie, ktoré umožňujú analyzovať minerálne zloženie hornín na povrchu a tak pomáhajú identifikovať potenciálne zdroje nerastných surovín.

Okrem spektrálnych transformácií vyžaduje obrazový záznam DPZ odstránenie korelácií medzi rôznymi kanálmi alebo odstránenie šumu a periodických pásov na zázname. Lokálny maticový filter („pohyblivé okno“ vytvorené z okolia daného pixla) umožňuje zvyrazniť určité geometrické útvary na obraze – napr. zvyrazniť hrany, zostriť obraz, zhladiť a podobne. Na tento účel sa v GIS-e používajú príkazy mapovej algebry pre rastre. Osobitne dôležité sú postupy fúzie obrazov, ktoré umožňujú kombinovať obrazy s odlišným rádiometrickým a geometrickým (priestorovým) rozlíšením. Cieľom je zvýšiť priestorové rozlíšenie výsledného obrazu zvyčajne pomocou panchromatického kanálu a zároveň zachovať rádiometrické rozlíšenie multispektrálnych kanálov (Obr. 8.8).

Po úpravách obrazu nasleduje fáza transformácie dát DPZ na zmysluplné informácie o krajine prostredníctvom *interpretácie*. Jedným z cieľov je tvorba alebo aktualizácia tematickej mapy o krajinej pokrývke, vybraných vlastnostiach rôznych objektov v krajine (obsah vody v pôde, objem biomasy, minerálne zloženie hornín). Interpretácia sa vykonáva pomocou vizuálnej (analogovej) interpretácie alebo metódami digitálnej interpretácie (Šúri, 1998). V praxi sa najmä v posledných rokoch využívajú rôzne kombinácie oboch prístupov jednak v etapách predspracovania (geometrické a rádiometrické transformácie, zvyraznenie obrazu), ako i v priebehu samotnej interpretácie (počítačom podporovaná vizuálna interpretácia).

Metódy *vizuálnej interpretácie* sú založené na vizuálnej analýze rôznych interpretačných znakov interpretátorom. Jedná sa o polohu, tvar, veľkosť, odtieň (farba), textúru a štruktúru. Uvedené interpretačné znaky umožňujú aplikovať postupy, ktoré sú digitálnymi metódami nevládnuteľné, avšak na druhej strane sú zaťažované vyšším stupňom subjektivity a unikátnosti.

Skupinu metód *digitálnej interpretácie* dát DPZ tvoria matematicko-štatistické metódy, ktoré vychádzajú z analýzy spektrálnych (experimentálne i texturálnych) znakov objektov krajiny, reprezentovaných digitálnymi hodnotami pixlov tvoriacich obrazový záznam. Tieto metódy, v porovnaní s vizuálnou interpretáciou, umožňujú pracovať s väčším dynamickým rozsahom spektrálnych znakov, spracovanie multispektrálnych (mnohorozmerných) dát, vykonávané operácie sú exaktné a možno ich použiť opakovane. Najčastejšie sa používajú metódy kontrolovanej a nekontrolovanej klasifikácie. V oboch prípadoch sa zisťujú podobnosti v spektrálnych prejavoch dát

a potom sú podobné pixely zaradené do skupín alebo priradené k jednotlivým objektom. Tento proces sa nazýva *klasifikácia obrazu*. *Nekontrolovaná klasifikácia* je plne automatická, využíva štatistickú analýzu obrazu (klastrovú analýzu), ale poskytuje len abstraktné triedy objektov. Hlavnou úlohou je nájsť vhodný počet tried objektov a priradiť ich reálnym objektom v krajine. *Kontrolovaná klasifikácia* vyžaduje interakciu používateľa v tom, že sa v prvej fáze identifikujú a vyznačia na dátach tzv. tréningové plochy, na základe ktorých sa pripraví vstupné štatistické hodnoty pre klasifikačnú funkciu. Na základe tréningových plôch klasifikačná metóda zaradi zvyšok dát do triedy s podobným spektrálnym prejavom. Príkladmi konkrétnych reklasifikačných metód sú nekontrolovaná metóda maximálnej pravdepodobnosti (angl. Maximum Likelihood classifier), a kontrolovaná metóda sekvenčne maximálneho následného odhadu (angl. Sequential Maximum A Posteriori classifier). Ďalšie metódy sú napríklad metóda umelých neurónových sietí (angl. artificial neural networks), klasifikácia k-najbližšieho suseda a iné. Najväčším problémom klasifikácie sú plochy so zmiešaným spektrálnym prejavom viacerých (rôznorodých) objektov, napr. vody, ornej pôdy a lúky. Komplikovaný spektrálny prejav je tiež typický pre urbanizované areály, kde sa na malých plochách striedajú rôznorodé objekty. Pri dostatočne veľkom počte tréningových plôch môže kontrolovaná klasifikácia dosahovať lepšie výsledky ako nekontrolovaná klasifikácia. Použitie každej klasifikačnej metódy má svoje opodstatnenie a presnosť klasifikácie závisí aj od skúseností interpretátora a jeho znalosti geografického prostredia. Výsledky digitálnej klasifikácie sa môžu následne upresňovať vizuálnou interpretáciou v prostredí GIS-u za podpory ďalších mapových a iných podkladov.

Pekným príkladom využitia multispektrálnych záznamov DPZ a ich interpretácie jednotnou metodikou na nadnárodnej úrovni je program CORINE (angl. COoRdination of INformation on the Environment). Program bol iniciovaný Európskou úniou v roku 1985. Už v začiatkoch sa doň zapojil kolektív na Geografickom ústave SAV (Feranec et al. 1996, 2013), neskôr sa pridali ďalšie organizácie. Jednou z hlavných úloh programu je produkcia geodatabázy a máp krajinej pokrývky (angl. land cover). Databáza CORINE je výsledkom vizuálnej a digitálnej interpretácie družicových snímok získaných najmä satelitmi LANDSAT. Je pripravovaná v referenčnej mierke 1:100 000 a predstavuje cenný zdroj GIS dát pre hodnotenie zmien krajinej pokrývky. Tematické dátové vrstvy CORINE boli doposiaľ vyhotovené k roku 1990, 2000, 2006 a 2012. Geodatabáza je voľne dostupná na webe Európskej agentúry pre životné prostredie (EEA, <http://www.eea.europa.eu>), podobne, ako mnohé ďalšie produkty odvodené zo satelitných záznamov DPZ

8.7 Radarové snímanie

Radar je systémom aktívneho diaľkového prieskumu, ktorý využíva vlastný zdroj mikrovlnného žiarenia. Pomenovanie radar je akronymom anglického termínu „Radio Detection And Ranging“ (RADAR). Skratka RADAR označuje technológiu snímania radarom. Termín rádiové vlny sa vzťahuje k EMG s vlnovou dĺžkou väčšou ako má infračervené žiarenie (viac ako 1 mm). Konkrétne pre mikrovlny ide o vlnové dĺžky od 1 mm do 1 m, ktorých špecifické hodnoty sú vzostupne označované písmenami K, X, C, S, L, P. Podstatou radarového snímania je určovanie charakteru a polohy objektov, pričom sa meria čas t , ktorý uplynie medzi vyslaním mikrovlnného

pulzu, jeho odrazom a následným zaznamenaním radarom. Na základe známej rýchlosti šírenia EMG c možno vypočítať vzdialenosť s ku objektom, od ktorých sa pulz odrazil:

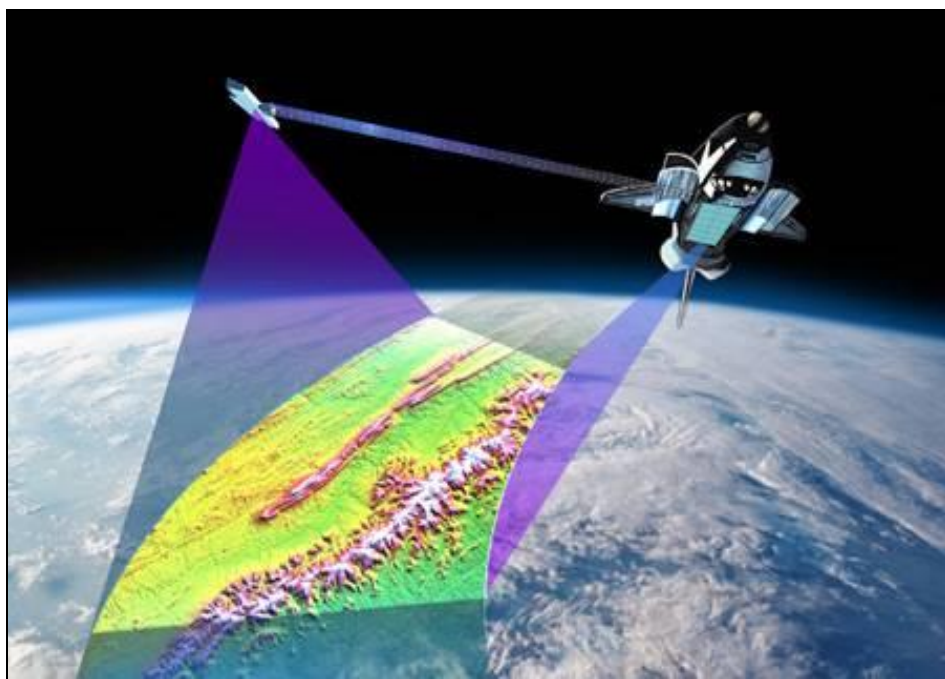
$$s = c.t/2$$

Zároveň sa zaznamenáva intenzita odrazeného žiarenia (amplítuda), ktorá tvorí obrazovú zložku záznamu v rastrovom dátovom formáte. Vďaka aktívnej povahe snímania mikrovlnným žiarením prináša radar pre skúmanie krajiny významné výhody v porovnaní s ostatnými metódami DPZ. Použitie radaru je nezávislé na slnečnom svite, a tak dovoľuje mapovať vo dne i v noci. Mikrovlnné žiarenie preniká oblačnosťou, hmlou, jemným dažďom a smogom, čo sa využíva pre skúmanie v trópoch či v iných oblastiach s vlhkou oceánskou klímou. Radarový záznam poskytuje odlišný pohľad na štruktúru zemského povrchu ako pasívne metódy DPZ, vďaka čomu možno skúmať parametre krajinej pokrývky (výška objektov, hrúbka kmeňov stromov, druhové zloženie vegetácie, štruktúra vegetačného krytu). V závislosti od vlnovej dĺžky a obsahu vody v pôde mikrovlny prenikajú zvetralinovým plášťom a pôdnym krytom, a taktiež snehom a ľadom. Táto vlastnosť sa využíva pri mapovaní pôdnej vlhkosti, hrúbky zvetralín, morských a pevninských ľadovcov a povrchu pod nimi, výšky morských vln. Prvé civilné aplikácie v DPZ boli smerované práve do tropických oblastí Strednej a Južnej Ameriky v 60-tych rokoch 20. storočia za účelom mapovania terénu a krajinej pokrývky. Príkladom satelitných radarových systémov pre mapovanie krajiny sú Seasat-1, SIR-A, SIR-B, SIR-C, Almaz, JERS, RADARSAT, ENVISAT, ERS-1, ERS-2.. Radarové dáta sa úspešne používajú v mapovaní geologických štruktúr, druhového zloženia prirodzenej vegetácie a poľnohospodárskych plodín, pre určenie druhov morského ľadu, mapovanie povrchových vôd. Radarový obraz pripomína leteckú fotografiu snímanú pri nízkej výške slnka nad obzorom. Rôzna intenzita odrazeného mikrovlnného žiarenia je vyjadrená v stupňoch šedi, pričom čierne plochy reprezentujú oblasti nachádzajúce sa v čase snímania v radarovom tieni. Radarový záznam obsahuje informačný šum, ktorý sa v obraze prejavuje ako svetlé a tmavé pixle. Tento vzor sa označuje ako „korenie a soľ“ (angl. salt and pepper). Rôznymi spôsobmi filtrácie obrazu možno tento šum potlačiť.

Pre DPZ sú využívané letecké alebo satelitné radarové systémy so šikmým uhlom snímania (angl. side looking radar, SLR). SLR bol najprv vyvinutý pre vojenské účely až neskôr sa začal využívať v civilnom sektore pre mapovanie krajiny. V dôsledku šikmého uhla snímania dochádza v radarovom zázname k systematickému skresleniu obrazu v porovnaní s vertikálnymi snímkami, preto radarový záznam musí prejsť výraznými matematickými a geometrickými korekciami. Problém prvých SLR systémov bol v slabom priestorovom rozlíšení obrazu, pretože je závislé od fyzickej veľkosti antény vysielajúcej mikrovlnné žiarenie (tzv. apertúra). Čím dlhšia bola anténa tým lepšie bolo možné radarom zaostriť na zemský povrch. Pre mapovanie krajiny to je obmedzujúci faktor nakoľko dosiahnuteľné rozlíšenie bolo prinajlepšom na úrovni niekoľkých desiatok metrov.

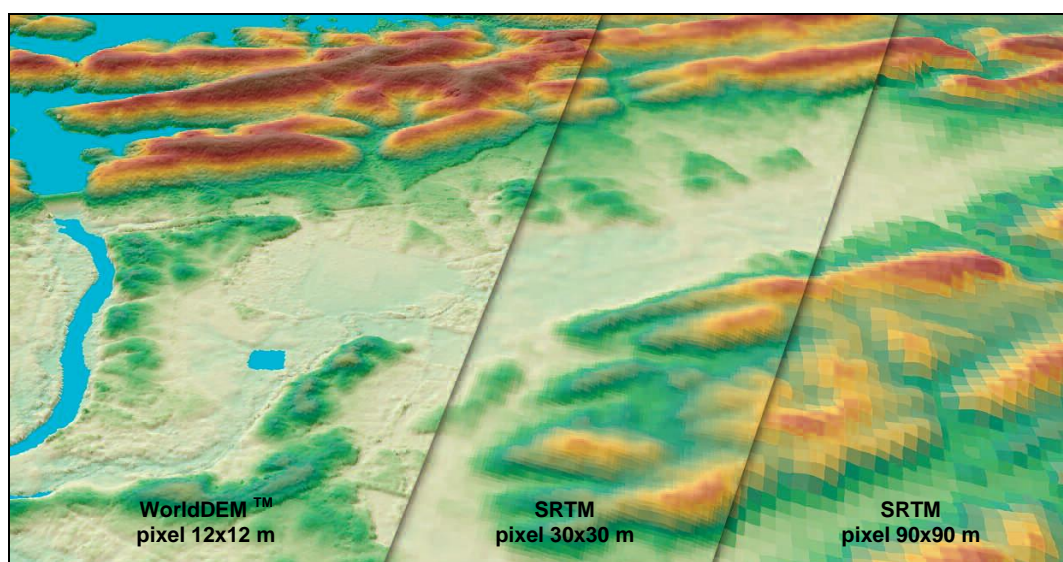
Pokrok priniesol radarový systém, v ktorom sa matematickým prepočtom apertúra umelo zväčšuje nemeniac fyzickú veľkosť antény, čím možno dosiahnuť detailnejšie priestorové rozlíšenie, rádovo v metroch až decimetroch. Tento typ radaru sa nazýva SAR (angl. Synthetic

Aerture Radar). Zemský povrch sníma nielen pomocou merania času a intenzity signálu, ale aj frekvencie a fázy žiarenia. Z informácie o fáze vlny možno pri použití dvoch radarových antén odvodiť výšku zemského povrchu. Táto metóda sa nazýva *SAR interferometria*. Dve antény snímajú povrch pod odlišným uhlom (Obr. 8.22) a vysielajú koherentné žiarenie, t.z. v rovnakej fáze vlny. V dôsledku odlišnej polohy antén vzhľadom na snímaný bod a tým rozdielnej vzdialenosti od tohto bodu majú odrazené pulzy žiarenia rozdielnu fázu, ktorú možno veľmi presne merať a využiť pre určenie nadmorskej výšky daného bodu. Základom interferometrie je porovnanie fáz zodpovedajúcich si pixelov dvoch SAR snímok daného územia. Výsledkom je interferogram, ktorého ďalším spracovaním možno odvodiť digitálny model povrchu krajiny vrátane budov a vegetácie. Filtrovaním sa dá odvodiť model terénu (DMR). SAR interferometria umožňuje topografické mapovanie s relatívnou presnosťou niekoľko metrov alebo mapovanie deformácií zemského povrchu so subcentimetrovou presnosťou. Príkladom je detekcia porúch v dôsledku zemetrasenia, poddolovania, alebo zosuvov (Kianička a Čapková 2005, Svobodová et al. 2013). Ďalšou možnosťou využitia je detekcia zmien výšky povrchu napr. po výrube lesa, zastavaní územia alebo demolácii budov. Pre uvedené výhody radaru a SAR interferometrie bolo radarové snímanie využité pre tvorbu relatívne detailných DMR celej Zeme. V roku 2000 Spojené štáty americké s Nemeckom a Talianskom realizovali misiu *SRTM* (angl. Shuttle Radar Topography Mission), ktorou bol v priebehu 11 dní získaný interferometrický SAR záznam v priestorovom rozlíšení približne 30 metrov (Obr. 8.23). Vizualizáciu raketoplánu Endeavour počas misie SRTM ukazuje Obr. 8.22.



Obr. 8.22: Princíp SAR interferometrie je založený na radarovom snímaní územia dvomi anténami s určitým rozstupom. Zdroj: NASA/USGS

Najdôležitejším produktom misie SRTM bolo vytvorenie globálneho rastrového DMR pre 80% zemského povrchu, ktorý je verejne dostupný v rozlíšení 90 metrov (<http://srtm.usgs.gov>). Od roku 2015 má byť sprístupnená aj jeho verzia v rozlíšení 30 metrov (Obr. 8.23). Bezplatné poskytnutie SRTM dát predstavuje významný míľnik v geoinformatike, pretože umožnilo výskum doposiaľ nemapovaných odľahlých oblastí a tiež globálnu analýzu reliéfu Zeme vo vysokom rozlíšení, čím stimulovalo záujem širokej vedeckej ale i laickej komunity o geoinformatické spracovanie týchto dát. Najnovšou iniciatívou mapovania celej Zeme je misia TanDEM-X, ktorej výsledkom je DMR pokrývajúci celú Zem v rozlíšení 12 metrov. Misiu realizuje Nemecké stredisko pre letectvo a kozmonautiku (DLR) a firma Airbus Defence and Space. Dátový produkt sa nazýva *WorldDEM* (<http://www.geo-airbusds.com/worlddem/>) a je k dispozícii na komerčnej báze od roku 2015 (Obr. 8.23). *WorldDEM* bol odvodený z interferometrických SAR dát, ktoré snímali dva súbežne obiehajúce satelity TerraSAR-X.



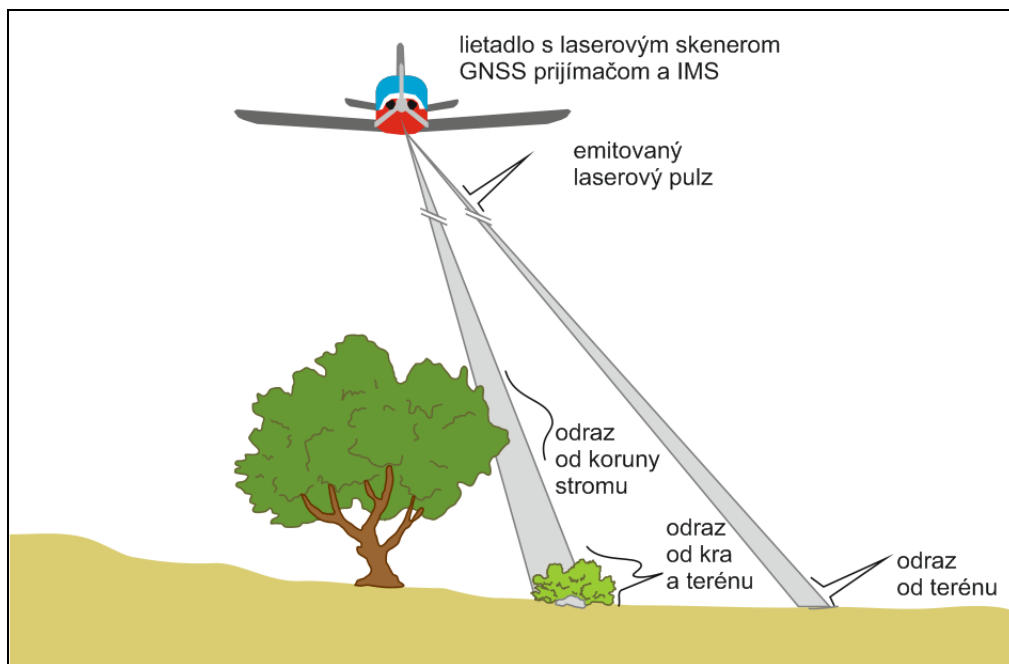
Obr. 8.23: Porovnanie priestorového rozlíšenia DMR produktov odvođených zo satelitných dát získaných SAR interferometriou. Zdroj: Airbus Defence & Space

8.8 Laserové skenovanie (LiDAR)

Laserové skenovanie je zaužívaný termín pre technológiu, ktorá zahŕňa detekciu objektov a meranie vzdialenosti k nim pomocou laserového žiarenia vysielaného z vlastného zdroja. Metóda je známa aj pod skratkou *LiDAR* (Light Detection And Ranging), pričom celý systém na báze laserového skenovania sa nazýva *lidar*. Špecificky pre účely mapovania krajiny sa používa termín topografický lidar alebo topografické laserové skenovanie (Shan and Toth, 2009). Laserové skenovanie je teda aktívnou metódou DPZ a jej princípy sú analogické radarovému snímaniu. Zatiaľ čo radar využíva mikrovlnné žiarenie, lidar vysiela viditeľné alebo blízke infračervené žiarenie. Laserové žiarenie má *vysoký stupeň koherencie*, čo znamená, že EMG vlny kmitajú v rovnakej fáze a majú veľmi malý rozptyl. Laserový pulz preto aj na relatívne veľkú vzdialenosť osvieti malú plochu, ktorá sa nazýva

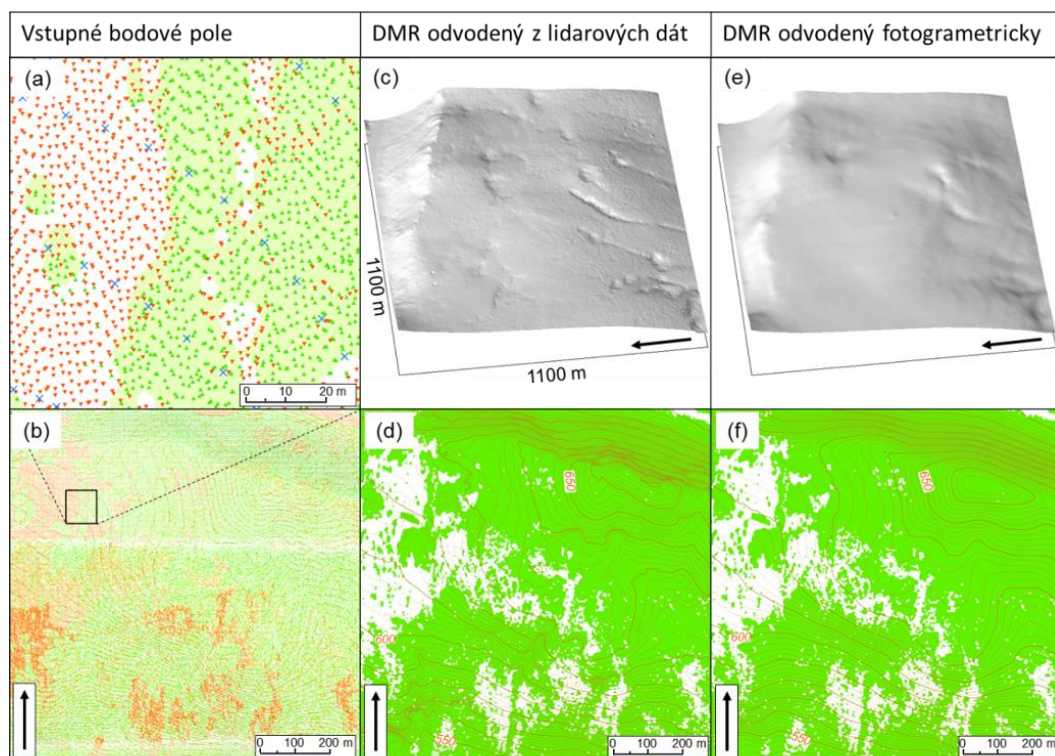
stopa. Laserová stopa má kruhový alebo eliptický prierez a jej veľkosť, v závislosti od vzdialenosti k povrchu objektov, je bežne menšia ako 1 m^2 . Lidar emituje EMG žiarenie, ktoré sa odráža od povrchu objektov. Čas t , za ktorý svetelný lúč prejde dráhu k objektu od laserového skenera a späť sa používa na určenie vzdialenosti s medzi skenerom a snímaným objektom (viď rovnicu v kapitole 8.7). Na stanovenie presnej polohy laserovej stopy na povrchu objektu je potrebné veľmi presne poznať polohu skenera vzhľadom na nosič (napr. na palube lietadla). Tá sa meria pomocou IMS vzhľadom na lietadlo a pomocou diferenciálneho GPS vzhľadom na kartografický súradnicový systém. Laserové skenery pre topografické mapovanie využívajú tzv. *pulzný laser*. V tomto prípade sa lúč emituje s vysokou frekvenciou (30 tis. až 100 tis. pulzov za sekundu) a jeho smer určuje rotujúce zrkadlo postupne do rôznych uhlov. Vysoká koherencia a energia laserového žiarenia umožňuje meranie s relatívne malým rozstupom (typicky 0,5 – 3 m), pričom vzniká veľmi husté bodové pole. Súbor bodových meraní polohy miesta odrazu laserového lúča sa nazýva preto *mračno bodov* a vo svojej podstate je zaznamenávané vo vektorovom dátovom formáte. Dosahovaná presnosť merania nadmorskej výšky je relatívne vysoká, okolo 10-15 cm, závisí však od viacerých faktorov ako krajinná pokrývka, sklon a orientácia reliéfu, odrazivosť povrchu, vlastnosti atmosféry.

Pre už uvedené vlastnosti laserového žiarenia má táto metóda podstatnú výhodu oproti fotogrametrii a pasívnemu multispektrálnemu skenovaniu v tom, že umožňuje prienik vegetačným krytom a zachytenie odrazu od viacerých úrovní (Obr. 8.24). Preto sa lidar uplatňuje najmä v mapovaní geometrie vegetačného krytu a povrchu pod ním. Jeden pulz energie sa môže odraziť napr. od vrcholkov stromov, konárov stromov, krovín a terénu.



Obr. 8.24: Princíp leteckého laserového skenovania pomocou lidar.

Klasifikáciou a filtrovaním mračna bodov sa dajú separovať merania výšky budov, vrchnej časti vegetácie, ktoré sa použijú pre odvodenie digitálneho modelu povrchu krajinej obálky (angl. Digital Surface Model, DSM). Z bodových meraní nadmorskej výšky terénu sa odvodí digitálny model reliéfu (angl. Digital Terrain Model, DTM). Na Obr. 8.25a a v detaile na Obr.8.25d je lidarové mračno bodov vyjadrené červenými (merania na teréne) a zelenými trojuholníkmi (merania na vrcholoch stromov). Pre porovnanie sú zobrazené aj fotogrametrické body ako modré krížiky. Zelená plocha vymedzuje les, biela trávnaté plochy. Z lidarových bodov na teréne a fotogrametrických bodov sú odvodené DMR v rozlíšení 2x2 metre zobrazené ako 3D povrchy (c, e) alebo 2D vrstevnice (d, f). Vo všeobecnosti leteckou fotogrametriou a leteckým laserovým skenovaním možno dosiahnuť porovnateľnú presnosť merania nadmorských výšok na úrovni decimetrov až centimetrov (Baltsavias 1999). Avšak prednosťou laserového skenovania je získanie veľkého mračna bodov veľmi presne a detailne zachytávajúceho 3D geometriu krajiny ako to vidieť na príklade foriem reliéfu pod lesnou pokrývkou na Obr. 8.24c, e, d, f. Na fotogrametrickej snímke totiž možno v súvislom lesnom poraste výšku terénu iba odhadovať, nakoľko jeho obraz zakrývajú koruny stromov. Laserové skenovanie, na rozdiel od fotogrametrie, neumožňuje vytváranie spojitého obrazu vo viacerých spektrálnych pásmach, ktorý by napomáhal vizualizácii krajiny formou ortofotomapy a lepšej interpretácii mračna bodov. Z toho dôvodu sa simultánne so skenovaním častokrát realizuje aj fotogrametrický zber dát.



Obr. 8.25: Porovnanie priestorového rozlíšenia a detailnosti meraní nadmorských výšok získaných leteckým laserovým skenovaním a leteckou fotogrametriou pre lesnatú časť Slovenského krasu s vysvetlením v texte. Upravené podľa: Gally (2013)

Letecké laserové skenovanie je veľmi progresívnou metódou, ktorá sa rapídne rozvíja v poslednom desaťročí. Hlavné aplikácie súvisia s potrebou presného a detailného modelovania terénu alebo tvorby 3D modelov budov pre rozsiahlejšie oblasti ako je možné zamerať tachymetricky či prostredníctvom GNSS. Príkladom je modelovanie potenciálnych povodní, hodnotenie rizika zaplavenia, identifikácia geomorfologických foriem reliéfu (zosuvy, výmole, závrtý), tvorba 3D modelov urbanizovanej krajiny, 3D katastra, lesnícke mapovanie a iné. Časové rady lidarových dát dovoľujú vyhodnocovať dynamiku geomorfologických procesov (Mitasova et al. 2009). Národné kartografické úrady viacerých krajín Európskej únie či Spojených štátov pristúpili k nasadeniu leteckého lidar pre mapovanie povrchu svojho územia a aktualizáciu výškopisu topografických máp a geodatabáz. Pre územie Slovenska zatiaľ súvislé pokrytie lidarovými dátami neexistuje. Ide skôr o individuálne realizovaný zber pre komerčné alebo vedecko-výskumné účely (Gallay et al. 2013b). Naproti tomu Česko alebo Poľsko už realizujú opätovnú aktualizáciu lidarových dát s celonárodným pokrytím.

Vyššie uvedený text implicitne hovorí najmä o leteckom laserovom skenovaní (angl. airborne laser scanning). Analógiou leteckého laserového skenovania je pozemné laserové skenovanie (angl. terrestrial laser scanning), pre ktoré platia obdobné princípy. Pozemné skenery skenujú objekty v priestore okolo seba v horizontálnom (360°) a aj vo vertikálnom smere ($60-150^\circ$). Letecké skenery sú zvyčajne umiestnené na leteckom nosiči a smerujú nadol, preto skenujú len v horizontálnom smere a sú na nosiči pevne zafixované (Obr. 8.26). Ukážky pozemných skenerov vidieť na Obr. 8.27. Dosah pozemného lidar je od 0,5m až po niekoľko kilometrov podľa výkonu. Vzhľadom na menšiu vzdialenosť objektov od skenera ako pri leteckom skenovaní je dosahovaná presnosť a hustota merania pozemného laserového skenovania vyššia. Bežne možno dosiahnuť presnosť pod 1 cm a hustota bodov sa pohybuje na úrovni niekoľkých milimetrov až centimetrov (Vosselman a Mass 2010, Gallay et al. 2013a). Časté je použitie aj s fotoaparátom umiestneným na skeneri alebo integrovaným vnútri skenera, aby bolo možné vytvoriť fotorealistický 3D model skenovaných objektov. Typické aplikácie zahŕňajú tvorbu 3D modelov budov, tunelov, ťažobných lokalít, stromovej a krovinovej vegetácie (Obr. 8.28), alebo jaskynných priestorov (Obr. 8.29). Menšie skenery sa používajú aj v interiéri budov. Pozemné skenovanie sa uplatňuje aj v kriminalistike pre presné zachytenie miesta zločinu alebo nehody.



Obr. 8.26: Bezpilotná helikoptéra Scout B1-100 s integrovaným laserovým skenerom VUX-1 od firmy Riegl. Zdroj: Aeroscout GmbH



(a)

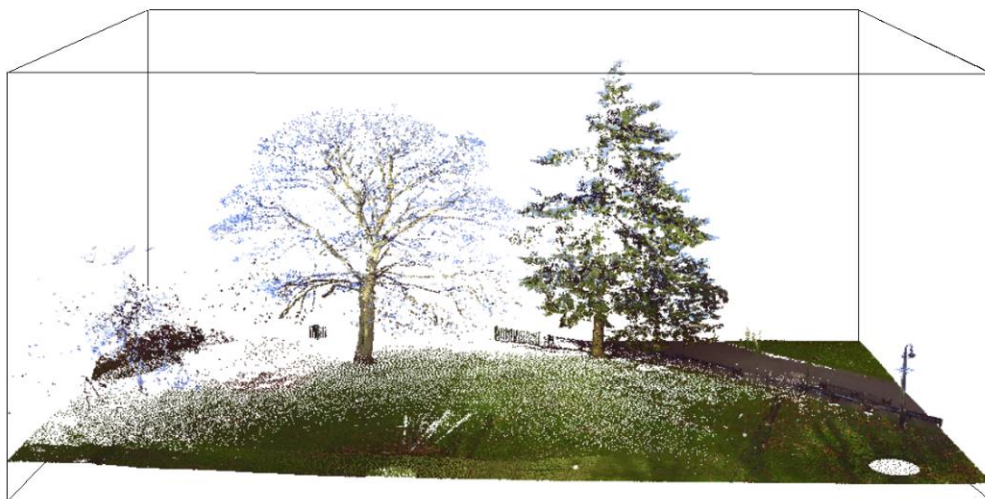


(b)

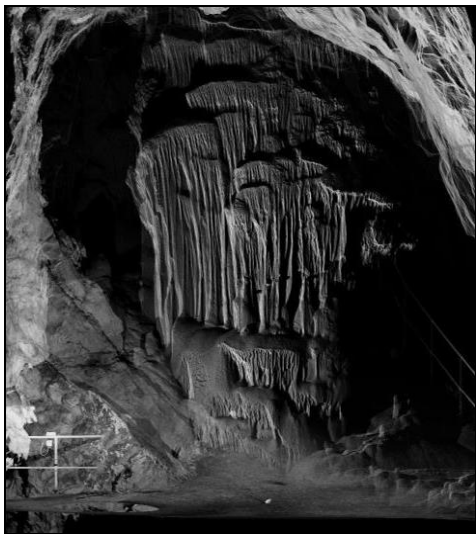


(c)

Obr. 8.27: Pozemný laserový skener Riegl VZ-1000 (a), Leica HDS 3000 (b), FARO Focus 3D (c).



Obr. 8.28: Mračno bodov získané pozemným laserovým skenovaním v Botanickej záhrade v Belfaste obsahujúce okolo 2 miliónov bodov zafarbených na základe farebnej fotografie. Zdroj: Ústav geografie PF UPJŠ v Košiciach, spracoval: Andrew Bell



(a)



(b)

Obr. 8.29: Samsonove stĺpy v jaskyni Domica reprezentované mračnom bodov (a) z pozemného laserového skenovania a (b) na fotografii. Zdroj: Ústav geografie PF UPJŠ v Košiciach

9. Vizualizácia a kartografická prezentácia

Človek prijíma najviac informácií o okolitom svete prostredníctvom vizuálneho vnemu a to aj napriek skutočnosti, že ľudské oko vidí iba malú časť elektromagnetického spektra, nie je schopné rozoznávať malé alebo vzdialené objekty, nevidí v tme a pod. Úlohou vizualizácie v geoinformatike je sprostredkovanie obrazovej *komunikácie* medzi používateľom a geopriestorovými dátami pomocou GIS-u. Pod komunikáciou rozumieme pochopenie, analyzovanie a interpretáciu modelovaných geografických objektov a komplexných priestorových vzťahov. Úlohou vizualizácie teda nie je len prezentovať výsledky práce vo forme máp, ale aj v priebehu riešenia úlohy poskytovať používateľovi požadovanú grafickú informáciu takým spôsobom, ktorý mu umožní dobre pochopiť a analyzovať dáta, hľadať priestorové vzťahy a súvislosti. Vizualizácia je teda jedna z kľúčových súčastí GIS-u, ktorá okrem vlastných teoretických koncepcií a poznatkov využíva mnohé teórie a znalosti z iných odborov, napr. najmä z kartografie, počítačovej grafiky, spracovávania obrazov, matematiky, psychológie vnímania, výtvarného umenia, polygrafie. Osobitný význam má počítačová kartografia, ako špecializovaná časť kartografie, ktorá využíva počítačom podporované technológie pre tvorbu máp a vizualizácií. Zásadným spôsobom zmenila kartografickú tvorbu tak, že zvyšuje efektivitu a flexibilitu tvorby mapy a jej aktualizáciu. Moderná kartografia a tvorba máp sa bez týchto technológií už nezaobíde. V súčasnosti sa väčšina máp vytvára v GIS-e, preto hovoríme o geoinformatizácii kartografie. Každý GIS obsahuje kartografické moduly, ktoré umožňujú definovať nielen matematické základy mapy (referenčné plochy, kartografické zobrazenie, súradnicové systémy), ale aj kartografické metódy a vyjadrovacie prostriedky.

GIS však umožňuje flexibilne vytvárať aj také výstupy, ktoré síce nie sú kartografickými dielami v klasickom zmysle, ale pomáhajú používateľom GIS-u lepšie pochopiť modelovanú realitu a lepšie interagovať s geopriestorovými dátami. Táto oblasť vizualizácie sa nazýva vedeckou vizualizáciou. *Vedecká vizualizácia* a tvorba dynamických kartografických modelov našli svoje uplatnenie aj v GIS-e najmä v oblasti modelovania a simulácií (Mitas et al., 1997). Cieľom vedeckej vizualizácie je umožniť vedcovi interaktívne skúmať, interpretovať a hodnotiť výsledky simulácií a modelov a na základe toho operatívne meniť nastavenia a parametrizáciu modelov. Vedecká vizualizácia obsahuje moderné spôsoby vizualizácie pomocou trojrozmerného zobrazovania (3D), animácií, prípadne aj vo väzbe na ďalšie formy multimedialnej prezentácie (virtuálna realita, iluminačné materiály a iné). Pri vnímaní vizualizácie GIS dát je potrebné si uvedomiť, že detailnosť geopriestorových dát uložených v pamäti počítača nemusí byť totožná s detailnosťou jej vizualizácie. Súvisí to s rozlíšením monitora, alebo iného výstupného zariadenia a tiež s nastavením parametrov konkrétneho vizualizačného nástroja.

Hlavné výhody vizualizácie v GIS-e sú:

- zobrazovanie veľkého množstva geopriestorových dát určených používateľom naraz,

- možnosť priamej interakcie používateľa s geopriestorovými dátami prostredníctvom dopytovania (poloha objektu, atribút),
- dynamické znázorňovanie prostredníctvom zmeny parametrov vizualizácie (napr. mierky, rozsahu územia, uhla pohľadu, osvetlenia povrchu, tieňovania a podobne),
- flexibilná zmena kartografickej metódy, obsahu mapy, legendy a podobne,
- rôzne formy vizualizácie geopriestorových dát (2D, 3D, 4D), popisu, rôzne zobrazenie atribútov a podobne.







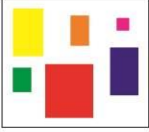


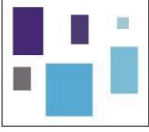



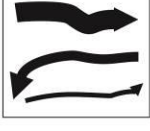

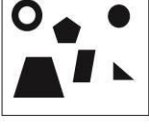





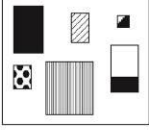
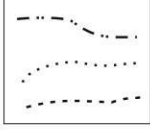
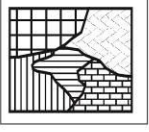
Úlohou vizualizácie v GIS-e nie je zobrazovať geopriestorové dáta len v mapovej forme, ale aj inými formami (napr. text, grafy, tabuľky a podobne), ktoré dopĺňajú množstvo informácií o skúmanom území. Tieto doplnkové dáta môžu byť previazané na konkrétne objekty alebo územie.

Keďže vizuálna informácia sa pripravuje v počítačovom prostredí, musí byť spracovaná postupmi a pravidlami bežnými v počítačovej grafike. Alfamerické dáta sa transformujú na grafické znaky tak, aby boli jednoznačne interpretovateľné. Tejto úlohe sa venuje grafická sémiológia, ktorá pozná 10 základných grafických premenných (Tab 9.1). Základnými elementami grafického zobrazovania v 2D sú *bod*, *linia* a *plocha*. Kombináciou grafických premenných a elementov vzniká vizuálna informácia. Aby bola však dostatočne zrozumiteľná a interpretovateľná, musia existovať ďalšie pravidlá, ktoré určujú spôsob ich umiestnenia a znázornenia na mape alebo obrazovke počítača.

9.1 Farebné modely

Farba v ľudskom vizuálnom vnímaní zohráva kľúčovú úlohu. Farbu by sme mohli definovať ako viditeľnú časť spektra elektromagnetického žiarenia s vlnovými dĺžkami pohybujúcimi sa v intervale približne od 380 do 720 nm. Existuje veľké množstvo modelov farieb definujúcich konkrétnu farbu – napr. RGB, HSV, CMYK, CIE Lab a iné. Najčastejšie používanými sú model RGB (využíva sa pri zobrazovaní na monitore) a model CMYK (tlač na tlačiarni). Špecializované grafické programy umožňujú prechod medzi jednotlivými farebnými modelmi, separáciu jednotlivých zložiek (kanálov), zmenu farebnej hĺbky a podobne. Modely farieb však majú význam nielen z hľadiska vizualizácie, ale aj pri spracovaní a transformácii obrazov v DPZ.

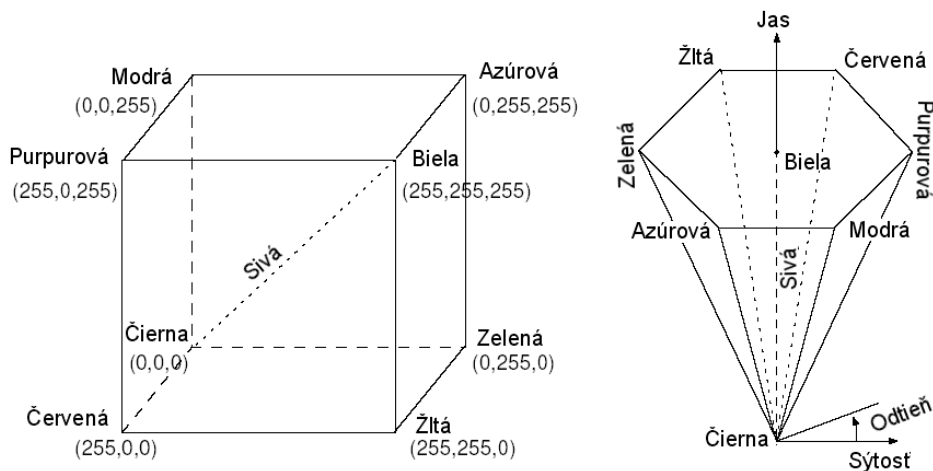
Model RGB je zložený z troch základných farieb (Red - červená, Green – zelená, Blue – modrá), ktoré sa miešajú a podľa ich vzájomného pomeru sa vytvárajú všetky ostatné farby. Hodnota každej farby (kanálu) sa mení v rozmedzí 0-255. Trojica hodnôt 255-255-255 vytvára bielu farbu a 0-0-0 je čierna farba. Rovnaké pomery farieb vytvárajú stupne šedej. Nedostatkom tohto modelu je, že nepokrýva celé viditeľné spektrum. Avšak farby, ktoré sú mimo modelu RGB sa v prírode vyskytujú veľmi zriedkavo, čiže pre vyjadrenie farieb a prácu s geopriestorovými dátami je tento model postačujúci. Ďalším nedostatkom tohto modelu je jeho závislosť na schopnosti zariadenia miešať a zobrazovať kanály farieb. Každé zariadenie inak zobrazí rovnako definovanú farbu, dokonca po nejakom čase sa tento problém môže prejaviť na tom istom monitore.

premenná	bodový prvok	líniový prvok	plošný prvok
veľkosť			
jas			
farba			
sýtosť			
orientácia			
tvar			
usporiadanie			
textúra			

Tab. 9.1: Základné grafické premenné (grafická premenná Poloha nie je znázornená). Zdroj: (Longley et al., 2011)

CMYK je dualitou k RGB modelu. Jedná sa o kombináciu komplementárnych farieb k základným farbám (Cyan – Azúrová, Magenta – Purpurová, Yellow – žltá, black – čierna). Každá komplementárna farba k základnej farbe vzniká zmiešaním zvyšných základných farieb. Hodnoty každého farebného komponentu sú v rozsahu 0-100. 100% pridaním všetkých zložiek by mala vzniknúť čierna, ale nevznikne úplne čierna (s hnedastým nádychom) a preto sa pridáva osobitne do tohto modelu čierna farba. Ani tento model nie je úplne presne zopakovateľný na rozličných zariadeniach.

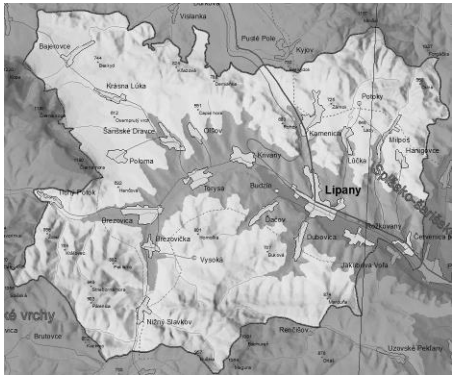
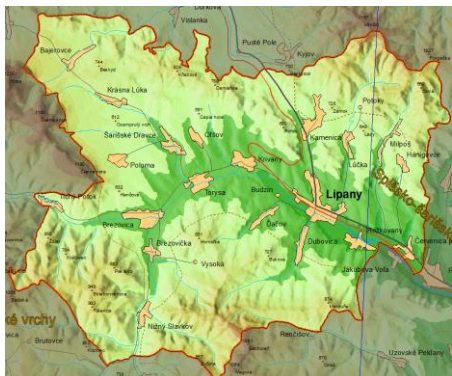

Model HSB (Hue-Saturation-Brightness) označovaný tiež ako HSV, IHS, HIS, HSI (I = Intensity) je založený na systéme, v ktorom je farebný model reprezentovaný kužeľom, ktorý má tri komponenty – hue - farbu (odtieň), saturation - sýtosť a intensity/brightness/value – jas (hodnota podielu bielej) (Obr 9.1). Farebný odtieň (hue) sa stanovuje ako uhol proti smeru hodinových ručičiek okolo farebného kužeľa a teda má hodnoty 0-360 (napr. červená je 0, žltá 60, zelená 120, azúrová 180, modrá 240 a purpurová 300). Sýtosť (saturation) určuje intenzitu sýtosti farby. Definuje sa ako vzdialenosť od neutrálnej farby (šedej). Pri sýtosti 100 je farba úplne sýta, pri 0 je nenasýtená a javí sa ako šedá, biela alebo čierna. Jas (value) určuje intenzitu bielej. Čierna je 0 a biela 100. Hlavnou výhodou tohto modelu je, že oproti modelom RGB a CMYK zachováva farby pri zmene jasú.



Obr. 9.1: Farebný model RGB a HSB.

Pri zobrazovaní farieb je dôležitým ukazovateľom maximálna farebná hĺbka. Určuje sa v bitoch, pričom počet farieb je definovaný ako 2^n , kde n je počet bitov. 1 bitová grafika je 2-farebná (čierna a biela) a je určená pre najjednoduchšiu vizualizáciu dát, pričom zaberá aj najmenej miesta v pamäti počítača. 8-bitová grafika má 256 farieb a zvyčajne sa používa pre vyjadrenie odtieňov šedej. 24-bitová viac ako 16,7 mil. farieb (True Color), ktoré sa používa u štandardných monitorov. V niektorých špecifických prípadoch sa pracuje aj s vyšším počtom bitov. Napr. 32-bitová grafika sa používa hlavne pri vykresľovaní (angl. rendering) 3D grafiky so štyrmi 8 bitovým

kanálmi, kde 3 kanály slúžia na vyjadrenie RGB farieb a alfa kanál sa používa na vykreslenie ich priehľadnosti. 64-bitové kanály sa používajú hlavne pre obrazový záznam vo formáte RAW a používa sa pri fotoaparátach s vysokou citlivosťou senzora (napr. pri fotogrametrii).

<p>8 bitová grafika</p> <p>Odtiene sivej (grayscale)</p> <p>Formát *.bmp</p> <p>Veľkosť súboru: 787 426 Bajtov</p>	
<p>8 bitová grafika</p> <p>Paleta farieb (palette)</p> <p>Formát *.bmp</p> <p>Veľkosť súboru: 787 426 Bajtov</p>	
<p>24 bitová grafika</p> <p>Pravé farby (true color)</p> <p>Formát *.bmp</p> <p>Veľkosť súboru: 2 377 590 Bajtov</p>	

Obr. 9.2: Porovnanie farebnej hĺbky vizualizácie.

Grafické formáty

Podľa spôsobu zobrazovania dát sa rozlišuje vektorová a rastrová grafika. Vektorová grafika využíva ako základné prvky zobrazovania body a línie. Objekty sú matematicky popísané a umožňuje dosiahnuť vyššiu rozlišovaciu schopnosť a presnosť zobrazenia. Príkladom softvéru zameraného na grafické aplikácie sú napr. Adobe Illustrator alebo Corel DRAW. V rastrovej grafike sú všetky objekty zobrazované ako rastre (matice pixelov). Hlavnou výhodou rastrovej grafiky je možnosť manipulácie s obrazom prostredníctvom rôznych grafických efektov. Príkladom softvéru zameraného na rastrovú grafiku je Adobe Photoshop alebo Corel Photo-Paint.

Existuje množstvo grafických formátov, v ktorých je možné uchovávať výstupy vizualizácie v GIS-e. Rastrovými formátmi sú napríklad TIFF, JPG, BMP, GIF, vektorový formát predstavujú formáty DXF, CDR, AI, EPS. Existuje však veľké množstvo rôznych grafických formátov a väčšina grafických programov umožňuje konverziu medzi týmito formátmi. Pri použití rastrových grafických formátov je dôležité venovať pozornosť maximálnemu počtu farieb a použitej komprimačnej metóde. Niektoré metódy sú totiž tzv. „stratové“, t.j. úspora miesta na disku je dosiahnutá za cenu zníženia kvality obrazu.

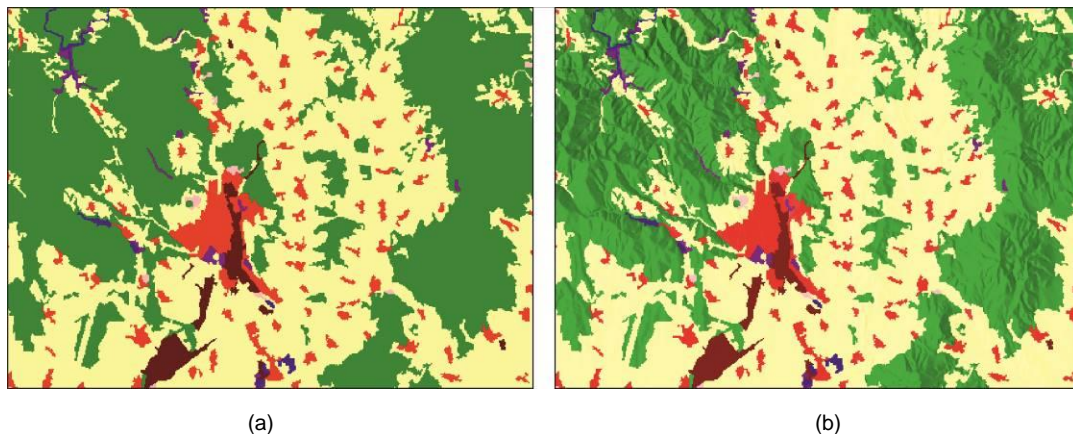
V súvislosti s rozvojom dynamického modelovania a vizualizácie sa častejšie využívajú aj formáty pre uchovávanie animácií – napr. AVI, MPEG alebo GIF. Osobitnú úlohu pre tlač grafiky má PostScript (PS, EPS), čo je jazyk popisujúci grafiku a text na stránke. Je platformovo nezávislý a umožňuje vytlačiť rovnako danú stránku na každom zariadení, ktoré obsahuje podporu tohto jazyka.

Spôsoby vizualizácie

Dvojmerná (2D) vizualizácia v GIS-e má veľmi blízko ku klasickým kartografickým výstupom. V GIS-e však používateľ má väčšiu flexibilitu vytváraní výstupov a možnosť interakcie. Obraz má vzhľad podobne ako na klasickej mape. V prípade, že zobrazovaný jav má určitú väzbu aj na georeliéf, je vhodné použiť tieňovanie obsahu mapy pomocou georeliéfu. Používateľ tak získava pseudopriestorový vnem, ktorý mu pomôže lepšie pochopiť priestorové súvislosti vo väzbe na georeliéf (Obr. 9.3). Podstatou tvorby tieňovaného georeliéfu je simulácia osvetlenia georeliéfu Slnkom v určitej pozícii nad obzorom. V závislosti od intenzity osvetlenia sa modifikuje zložka jas a sýtosť definovaných modelom HSB, čím sa dosiahne pseudopriestorový vnem (Cebecauer, 2002).

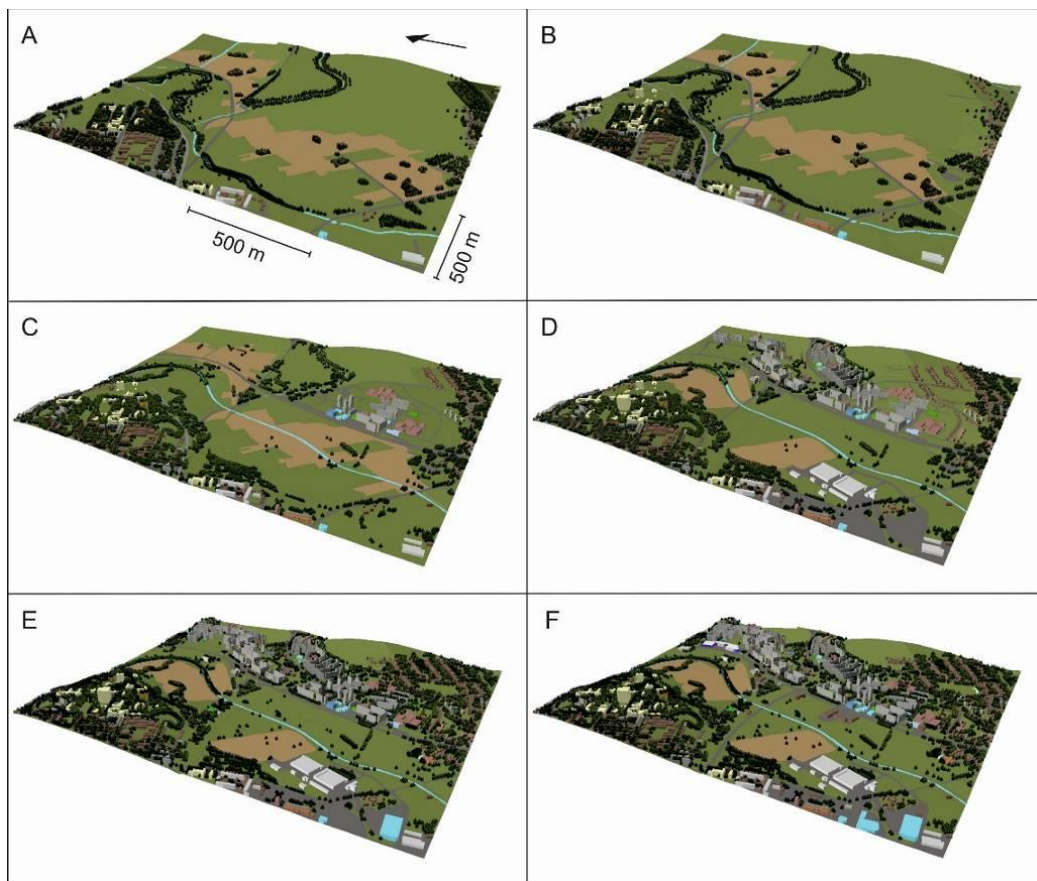
Pri trojrozmernej (3D) vizualizácii ide o zobrazenie územia v 3D priestore (t.j. z vtáčej perspektívy). Používateľ musí nastaviť viac parametrov zobrazenia – najmä výšku a uhol pozície pozorovateľa nad obzorom, polohu centra pohľadu, vzdialenosť od centra pohľadu, prevýšenie terénu. Vyspelejšie vizualizačné nástroje umožňujú aj definovanie svetelného zdroja, spôsobu vykresľovania povrchu, tieňovania a rôznych grafických efektov. Ich implementácia zvyčajne vyžaduje použitie grafických knižníc ako je napríklad OpenGL. Pekným príkladom 3D vizualizačného softvéru na báze OpenGL je NVIZ implementovaný do GIS-u GRASS (Obr 9.4). Umožňuje vizualizáciu rastrových aj vektorových dát, nakladanie viacnásobných povrchov a tiež

tvorbu animácií pomocou skriptov. VRML (Virtual Reality Modeling Language) a osobitne GeoVRML umožňujú vysoký stupeň interakcie s geografickými dátami priamo na webových stránkach. Používateľ pomocou myši môže ľubovoľne manipulovať s objektom tak, aby získal maximálny vizuálny vnem o vlastnostiach objektu.



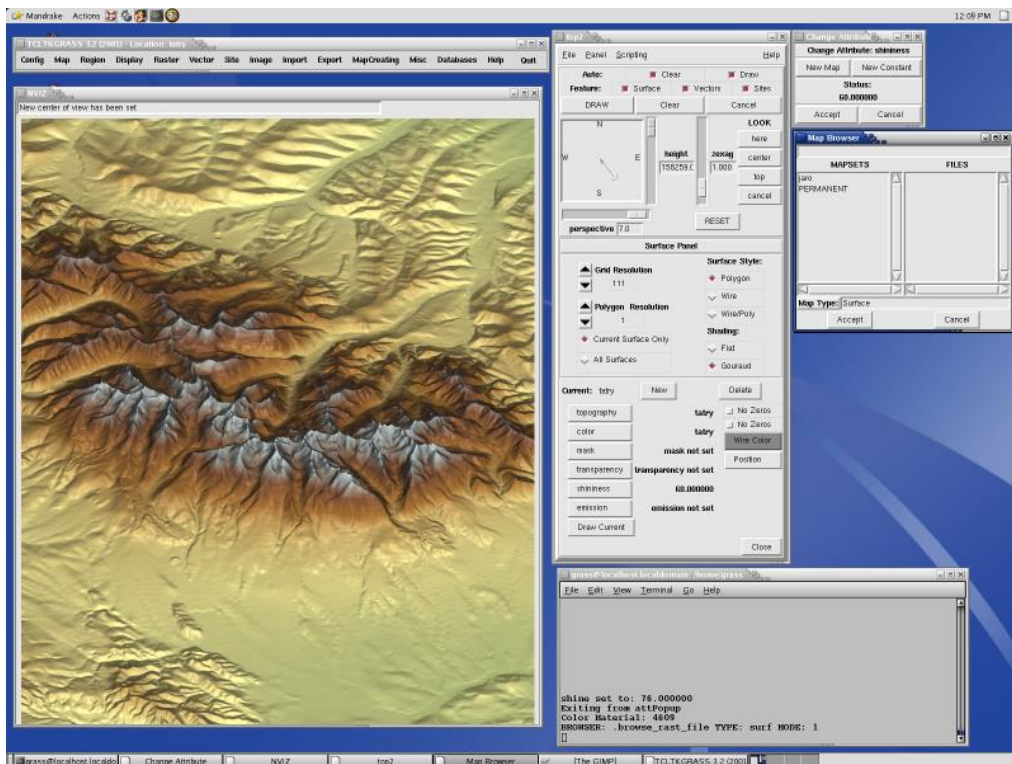
Obr. 9.3: 2D vizualizácia obsahu mapy krajinej pokrývky a) bez tieňovania a b) s tieňovaním.

Animácia je významným nástrojom na skúmanie veľkých a komplexných dátových súborov. Animácia sa používa na vizualizáciu zmien vlastností sledovaného javu (dát) v čase alebo zmien pozorovacieho miesta (bez zmeny dát) vo forme „preletov“ nad územím (Mitášová et al., 1994). Vyjadrenie zmeny vlastností sledovaného javu sa vyjadruje rôznymi spôsobmi. Môže to byť napríklad animovaná séria povrchov reprezentujúcich modelovaný jav, plynulá zmena farieb alebo aj ich kombinácia (Obr. 9.4). Pri vizualizácii 3D dát je takisto možné použiť animáciu zmien izoplôch a farieb vyjadrujúcich rôzne hodnoty javu, alebo sériu rezov skúmanou oblasťou.

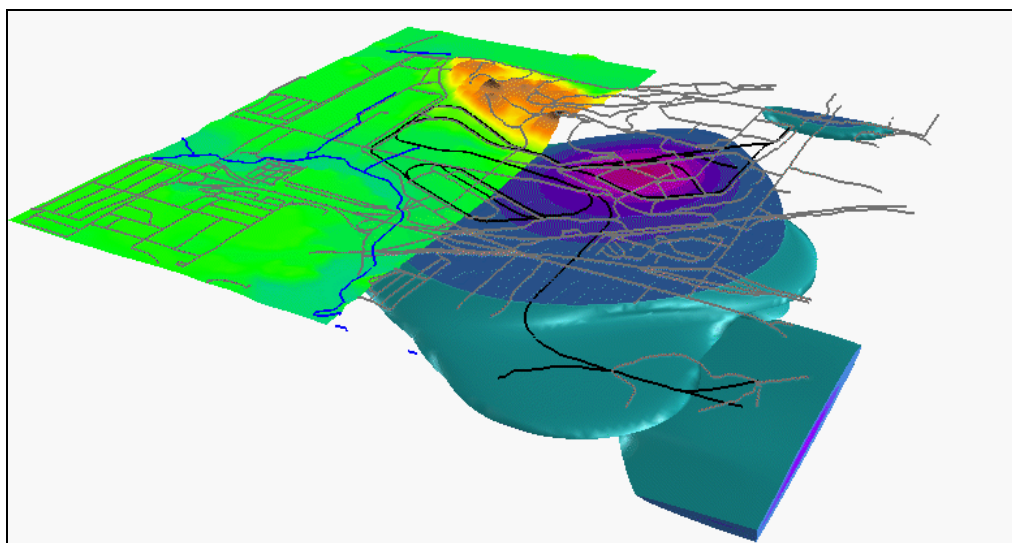


Obr.9.4: Časová séria virtuálneho 3-D modelu mesta reprezentujúca sídlisko Sekčov v meste Prešov v rokoch (A) 1960, (B) 1970 (C) 1980 (D) 1990 (E) 2000 a (F) 2010. Zdroj: Kaňuk et al. (2014)

NVIZ v GRASS-e vo verzii 5.1 a vyššej umožňuje zobrazíť aj 3D dáta definované 3 priestorovými súradnicami x , y , z a atribútom (Obr. 9.5, 9.6). Vizualizácia 3D dát v čase (animácia) predstavuje päťdimenzionálnu vizualizáciu. Príkladom implementácie takejto vizualizácie je Vis5D používaný najmä na zobrazovanie meteorologických javov.



Obr 9.5: NVIZ - nástroj na vizualizáciu geografických dát.



Obr. 9.6: Vizualizácia objemov. (Autor: Helena Mitášová)

9.2 Základné kartografické metódy v GIS-e

Tvorba kartografických výstupov v podobe máp je jednou z hlavných úloh komunikácie geografickej informácie pomocou GIS-u. Preto väčšina súčasných GIS-ov obsahuje základné kartografické metódy na tvorbu kartografických výstupov. Pri tvorbe kartografických výstupov v GIS-e je potrebné, aby používateľ volil správne kartografické nástroje, metódy, postupy. Správne využívanie kartografických metód vedie k tvorbe kartograficky správnych a dobre interpretovateľných máp. Zvyšuje sa ich komunikačná hodnota a využiteľnosť v praxi (Voženílek a Kaňok, 2011; Pravda a Kusendová, 2004; Robinson et al., 1995).

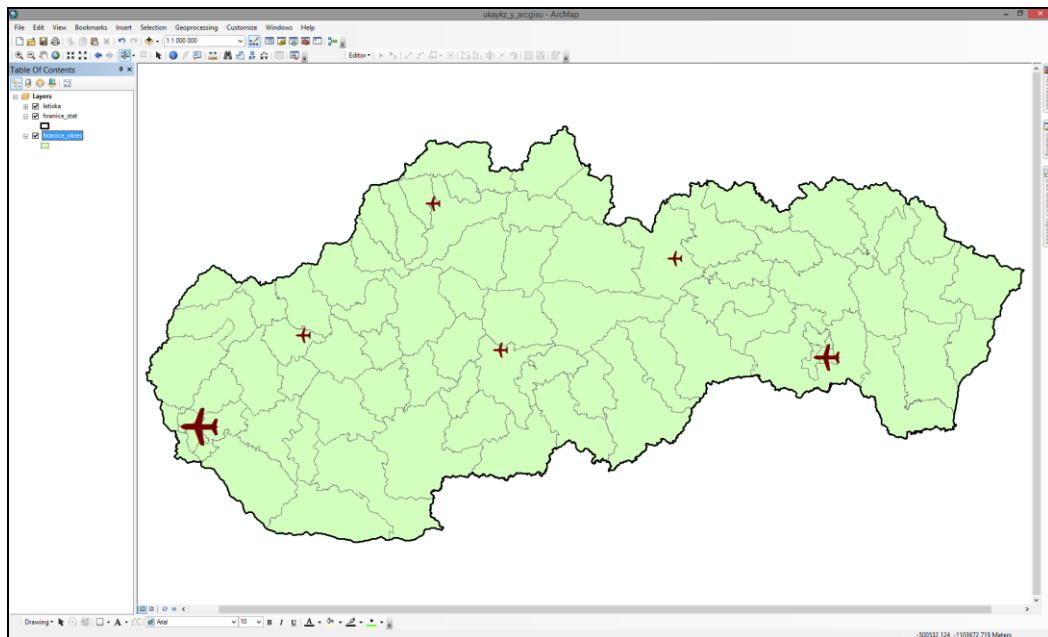
Pri použití jednotlivých kartografických metód vychádzame najmä z charakteru zobrazovaných fyzikogeografických alebo socioekonomických javov. Bodové javy sa značíme vyjadriť bodovými značkami, línové javy líniovými značkami a plošné javy plošnými kartografickými metódami (napr. areálovou metódou, metódou izočiar a pod.). V nasledujúcich častiach uvádzame schematické príklady použitia niektorých kartografických metód v ArcGIS-e v. 10.

Bodová kartografická metóda

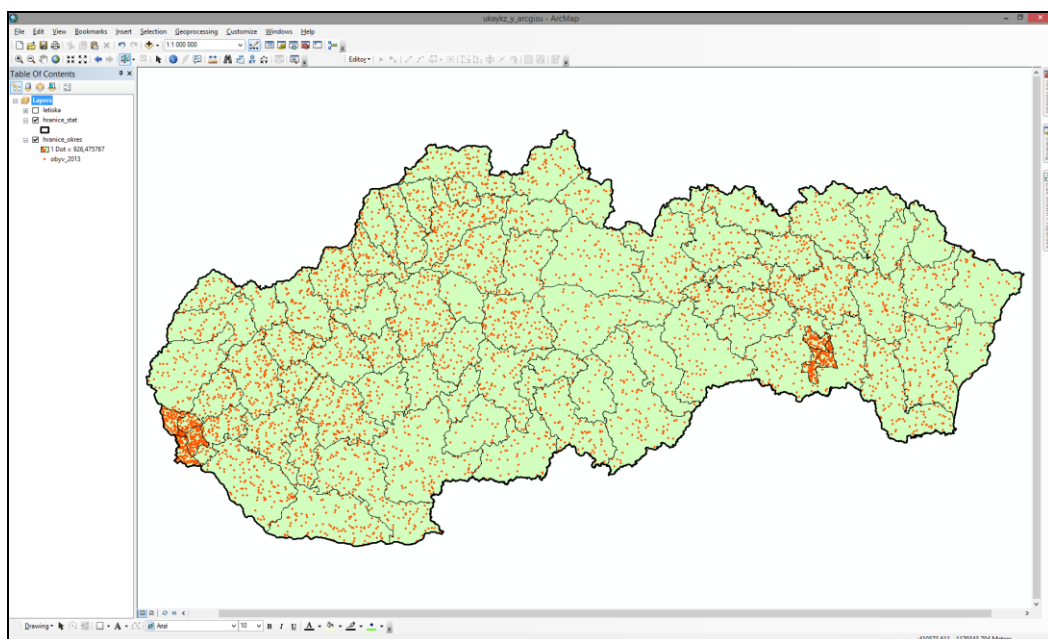
Pri bodovej kartografickej metóde sa využívajú bodové značky a lokalizované diagramy na znázornenie bodových javov, resp. objektov, ktorých pôdorys nie je možné v danej mierke znázorniť. V takom prípade stred značky zvyčajne označuje polohu objektu v skutočnosti (Obr. 9.7). V praxi sa využívajú tieto druhy bodových značiek:

- geometrické (často vyjadrujú kvantitatívnu stránku javu),
- symbolické (svojou podobou symboly vyjadrujú zobrazovaný jav),
- obrázkové (zobrazovaný obraz/kresba objektov na plánoch a mapách),
- písmenné (označujú napr. náleziská kovov Au, Cu, Mg).

Pri vyjadrení kvantitatívnych javov v územných jednotkách sa bodová kartografická metóda používa ako metóda absolútneho vyjadrenia. Jedna bodová značka na vymedzenom území vyjadruje určité jednotkové množstvo daného javu (Obr. 9.8). Pri použití tejto metódy sa musí riešiť problém veľkosti a počtu bodiek na mape tak, aby kartografické vyjadrenie javu bolo čitateľné.



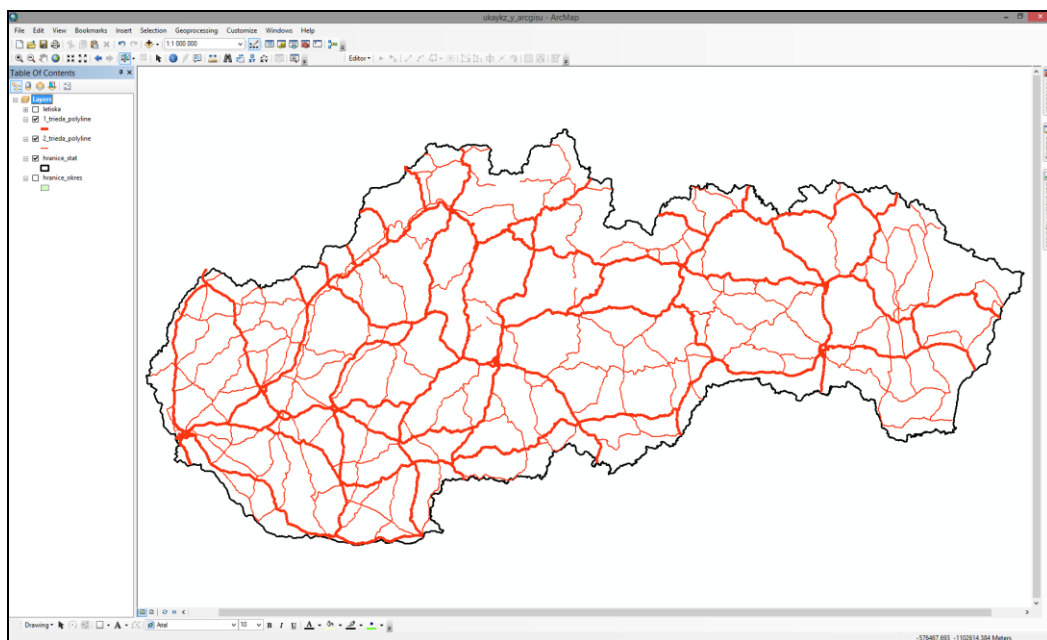
Obr. 9.7: Použitie bodových symbolických značiek v ArcGIS-e.



Obr. 9.8: Bodová kartografická metóda na vyjadrenie absolútneho počtu jednotiek v regiónoch (okresoch). 1 bod reprezentuje 1000 obyvateľov..

Čiarová kartografická metóda

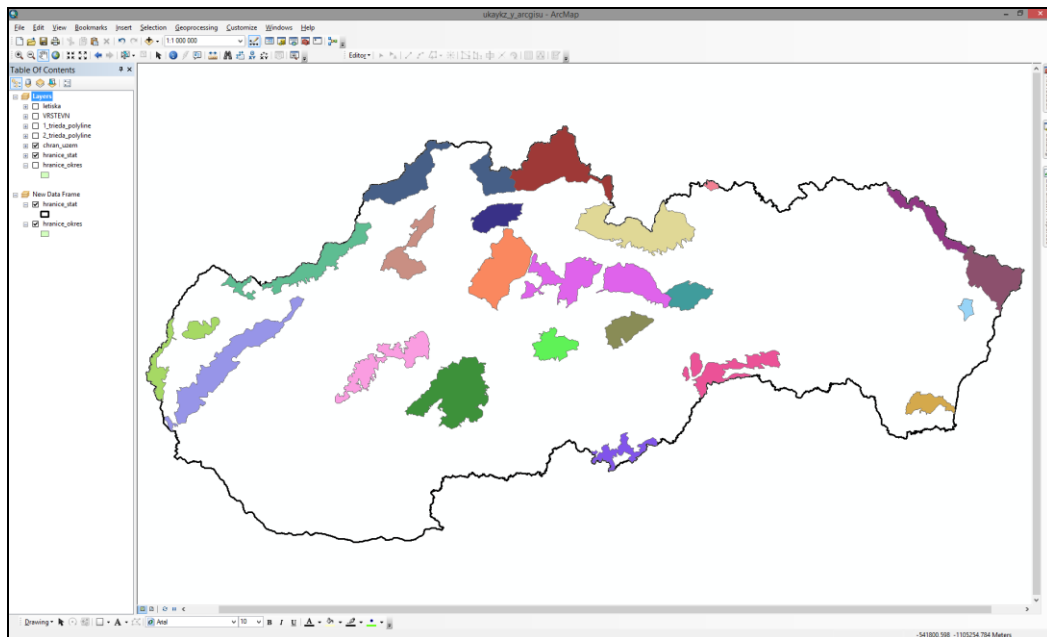
Táto metóda sa používa na vyjadrenie líniových, čiarových javov (hranice, cesty, priestorové toky vzdušných a vodných mäs, tovaru a ľudí...) pomocou čiarových značiek (Obr. 9.9). Čiarové značky môžu byť pôdorysné alebo pohybové (kvantitatívne a kvalitatívne charakteristiky javov vyjadrené pomocou šípky, stuhy a pod.).



Obr. 9.9: Čiarová kartografická metóda na vyjadrenie cestnej siete (na príklade ciest 1. a 2. triedy).

Areálová kartografická metóda

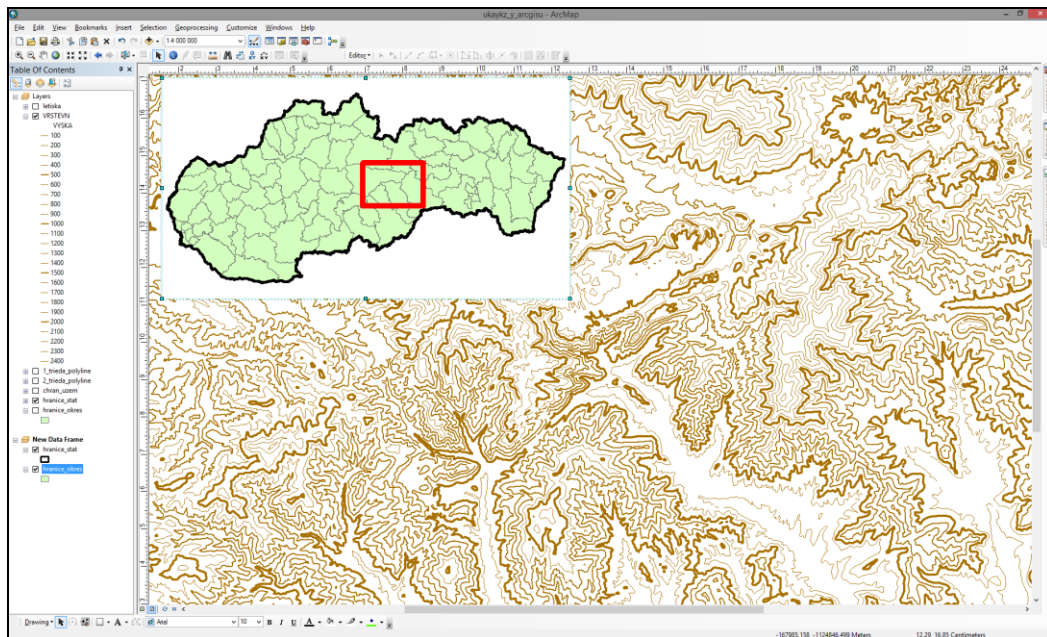
Touto metódou sa označujú plochy, kde sa vyskytuje určitý jav. Vymedzenie kvalitatívnej homogenity javu na danom území je však úlohou geografa, alebo iného odborníka. Typickými príkladmi kvalitatívnych areálov sú klimatické oblasti, chránené územia, územno-správne členenie ako výsledok územnej regionalizácie (Obr. 9.10). Bežne sa používa na topografických a tematických mapách (napríklad geologických, biogeografických a pod.). Pokiaľ je kvalita mapovaného javu zachytená len bodovo, je možné na vyčlenenie kvalitatívnych areálov použiť Voronoiove (Thiessenove) polygóny.



Obr. 9.10: Areálová kartografická metóda pri vyjadrení chránených území.

Metóda izočiar (izolínií)

Metóda izočiar sa používa na vyjadrenie spojitéch javov, ktoré sa bežne vyskytujú najmä vo fyzickogeografickej sfére. Najčastejšie použitie je pri vyjadrení georeliéfu pomocou vrstevníc (izohýps). Vo všeobecnosti izočiare spájajú miesta s rovnakou hodnotou zobrazovaného javu (napr. body s rovnakou nadmorskou výškou, Obr. 9.11). Často sa táto metóda používa aj na vyjadrenie teploty vzduchu, vody, tlaku alebo atmosférických zrážok. Ak sa príslušný spojitý jav zaznamenáva bodovými meraniami, tak sa modeluje pomocou spojitaj, interpolačnej/aproximačnej funkcie dvoch premenných typu $z = f(x, y)$ a izočiare sa vytvárajú aj pomocou tejto funkcie.

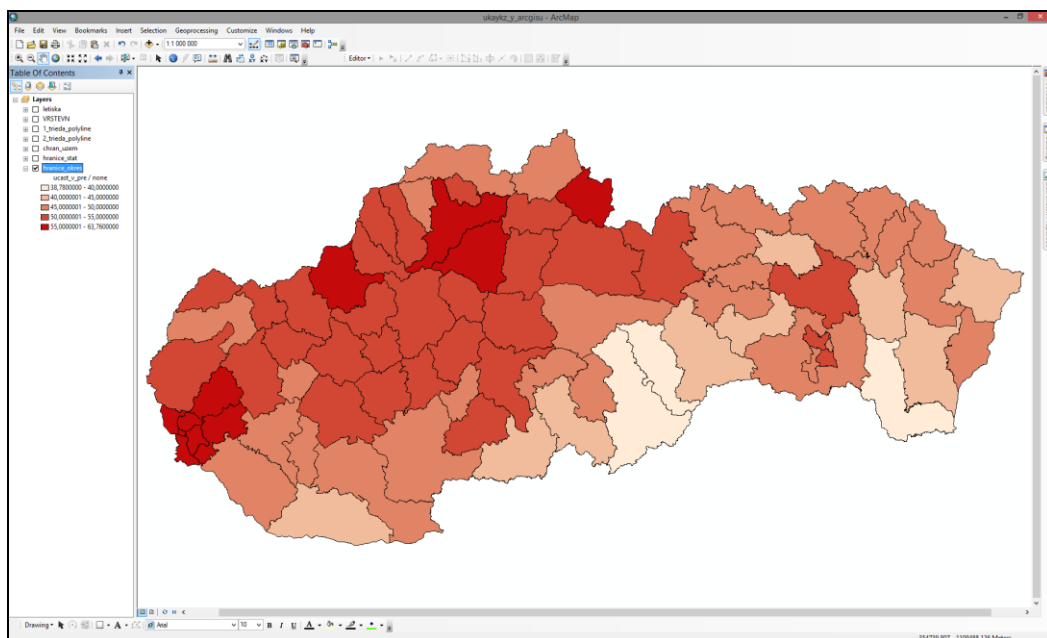


Obr. 9.11: Metóda izočiar (vrstevnice) pri zobrazení georeliéfu. Interval vrstevníc je 100 m. V ľavom hornom rohu je prehľadová mapa s červeným obdĺžnikom, ktorý znázorňuje polohu oblasti detailnejšej vizualizácie.

Metóda izočiar sa zriedkavo využíva aj pri vyjadrení priestorovej diferenciácie socioekonomických javov, ktoré majú síce nespojitý, ale plynulý charakter. V tomto prípade hovoríme o pseudoizochiarach (pseudoizolíniách). Najčastejšie sa používa na vyjadrenie priestorovej diferenciácie hustoty obyvateľstva na určitom území. Pseudoizochiary vznikajú interpoláciou v sekundárnom bodovom poli získanom z kartogramovej osnovy, kde relatívne údaje platné pre každý areál priradíme bodu (tzv. definičnému bodu plochy). Ďalšou aplikáciou metódy izočiar v humánnej geografii sú izochóry (miesta rovnakej časovej dostupnosti z centra a pod.), alebo ekvidištanty (čiary rovnakej odľahlosti od daného bodu, línie a plochy). Tieto metódy sú relatívne ľahko aplikovateľné aj v súčasných GIS-och (napr. operácia tvorby zón).

Kartogramy (metóda kvantitatívnych areálov)

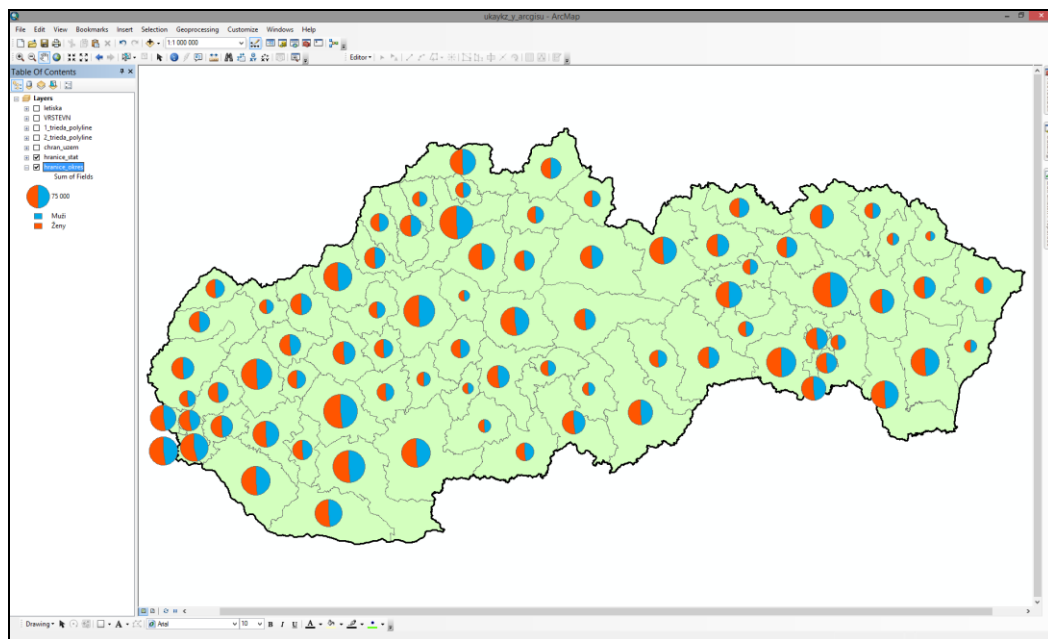
Pomocou kartogramov sa mapovým spôsobom vyjadrujú štatistické dáta, týkajúce sa rôznych geografických javov vzťahujúcich sa k určitým územným celkom a regiónom. Z metodického hľadiska je dôležité, aby sa sledovaný jav viazal na jednotku plochy príslušného areálu. Pomocou tejto metódy sa teda vyjadrujú relatívne hodnoty javu (napr. hustota obyvateľstva na km², hektárové výnosy poľnohospodárskych plodín a pod.) vo vzťahu na jednotku plochy regiónu (Obr. 9.12). Textúrou alebo farbou sa vyjadruje intenzita daného javu. Táto metóda je veľmi často využívaná i keď nie vždy metodicky správne. Často je kombinovaná aj s kartodiagramami, aby bolo možné vyjadriť relatívne a aj absolútne údaje.



Obr. 9.12: Metóda kartogramu na príklade hustoty obyvateľstva.

Kartodiagramy

Kartodiagramy sú diagramy (napríklad koláčové, stĺpcové a pod.), ktoré sú vložené do mapovej kostry (územných celkov). Veľkosť diagramov vyjadruje často absolútnu hodnotu sledovaného javu (Obr. 9.13). Manuálne stanovenie veľkosti diagramov vyžadovalo štatistickú analýzu vstupných dát a navrhnutie vhodného matematického vzťahu pre prepočet dát na veľkosť diagramu. zobrazovaného javuŠtruktúru javu môžeme vyjadriť pomocou štruktúry diagramu (rozdelenie na jednotlivé časti). Táto metóda sa často kombinuje s metódou kartogramu.



Obr. 9.13: Metóda kartodiagramu na príklade podielu mužov (modrá farba) a žien (červená farba) podľa okresov v roku 2013. Veľkosť diagramovej značky vyjadruje celkový počet obyvateľov.

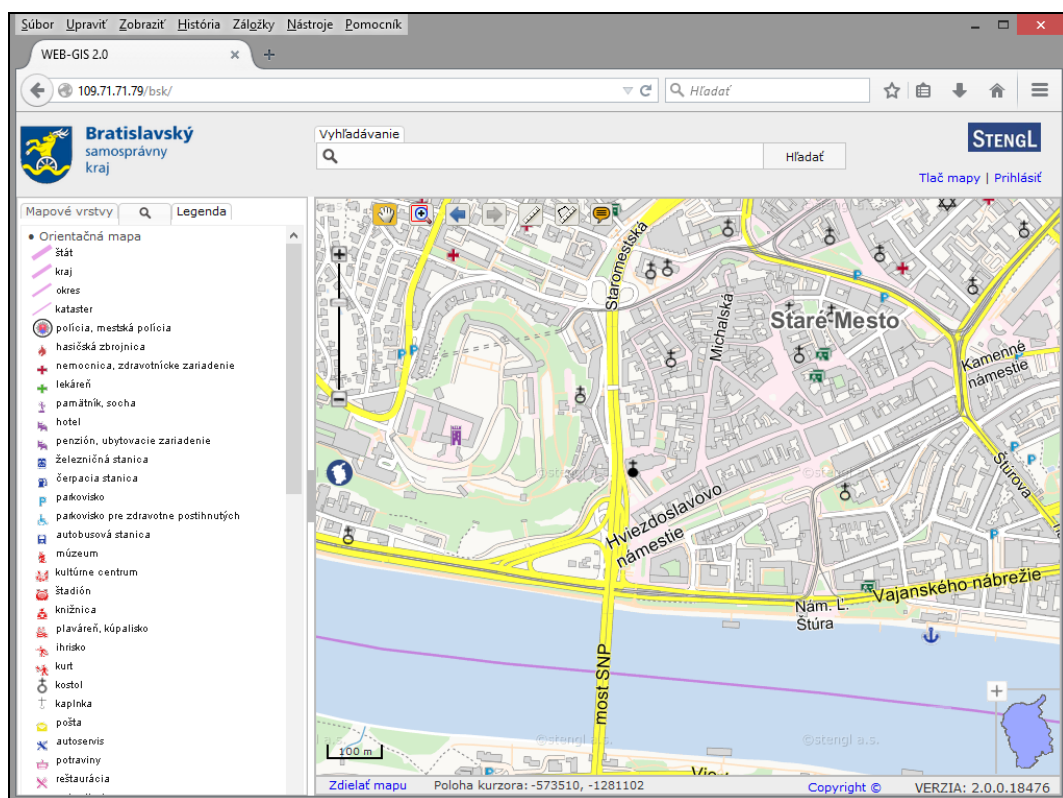
WebGIS a mapové portály

WebGIS, mapové portály, či geoportály sa stávajú čoraz dôležitejšími zdrojmi geografických dát v mapovej podobe. Klasické štátne mapové dielo v papierovej podobe sa už nevydáva, jeho funkciu nahrádza priestorová databáza, napríklad u nás je to ZBGIS. WebGIS predstavuje novú formu komunikačného rozhrania medzi GIS-om a jeho používateľom. Komunikácia prebieha v prostredí internetu, pomocou webového prehliadača (napr. Internet Explorer). Riešenie je založené na architektúre klient-server. Na strane servera (mapového servera) sa nachádza GIS s dátami určenými pre používateľov na webe. Pomocou špecializovaného softvéru (napr. Arc IMS, UNM MapServer, GeoMedia WebMap a pod.) sa tieto dáta poskytnú k prehliadnutiu a interaktívnej komunikácii používateľmi s webovým prehliadačom, ktoré sú zadarmo, voľne k dispozícii. Server poskytuje dáta podľa pokynov používateľa. Na strane používateľa je potrebný len kompatibilný webový prehliadač. Prehliadanie GIS dát sa deje interaktívnym spôsobom, t.j. používateľ má k dispozícii aj niektoré funkcie/operácie GIS-u, ktoré umožňujú aj realizáciu jednoduchých analýz a výber dát podľa legendy. Odlišnosti v softvérovom riešení spočívajú v rozsahu a pomere, v akej sa niektoré operácie vykonávajú na serveri, alebo na strane klientskeho počítača (formou appletov, plug-inov a pod.).

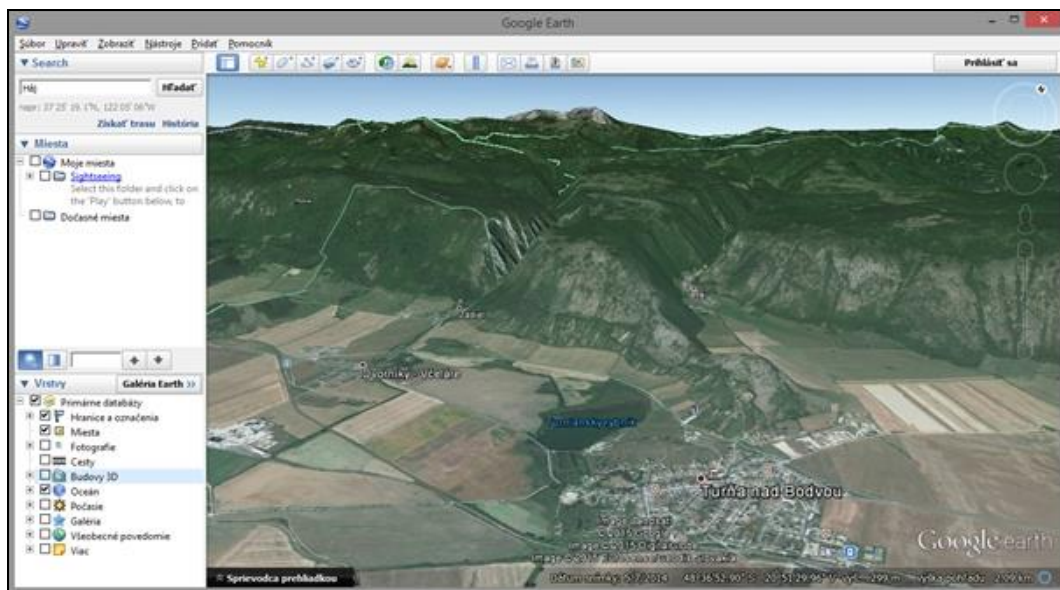
Okrem interaktívnej práce s dátami prostredníctvom grafického rozhrania niektoré servery poskytujú aj špecifické dátové služby, ktoré umožňujú dáta prenášať priamo do GIS softvéru s podporou tejto služby a zobrazovať ich ako samostatnú vrstvu. Medzi tieto služby patria napríklad

WMS, WFS a WCS. Služba WMS umožňuje zdieľanie georeferencovaných rastrových obrazových dát, napríklad vo formáte JPEG, PNG a TIFF. Služba WFS umožňuje zdieľať vektorové dáta kódované v jazyku GML (XML) a služba WCS umožňuje zdieľať dáta vo formáte GeoTIFF, NITF a HDF.

V súčasnosti je jednoznačným trendom poskytovať geografické dáta práve prostredníctvom mapových portálov, či už pomocou grafického rozhrania (mapového klienta), alebo pomocou mapových služieb. Inštitúcie spravujúce verejné dáta o území (napr. katastrálne úrady, samospráva) tak môžu občanom poskytovať geografické informácie priamo cez internet. Na Obr. 9.14 je uvedený príklad GIS-u na internete Bratislavského samosprávneho kraja. Nové možnosti 3D zobrazovania a interakcie používateľa s dátami poskytujú aplikácie Google Maps a Google Earth od spoločnosti Google (<http://maps.google.com/>, <http://earth.google.com/>, Obr. 9.15). Pomocou tzv. aplikačného rozhrania (API) môžu používatelia vytvárať vlastné mapové servery, ktoré obsahujú základné dáta zo serveru Google a zároveň aj vlastné mapy vytvorené v GIS-e.



Obr. 9.14: Prístup ku geografickým dátam o území obcí a regiónov môžu samosprávy poskytovať pomocou WebGIS-u.



Obr. 9.15: 3D vizualizácia a interaktívne ovládanie je súčasťou webovej aplikácie Google Earth.

Okrem rozvoja internetových aplikácií nadobúda na významne aj mobilná komunikácia a rozvoj technológií na báze prenosných zariadení (PDA, mobilné telefóny). Tieto zariadenia sa využívajú najmä na orientáciu v teréne a vyhľadávanie optimálnych ciest, záznam prejdenej trasy, rýchlosti a podobne. Pri tom sa využíva technológia GPS. Pôvodne málo používateľsky prívetivé a zrozumiteľné GPS prijímače sa v súčasnosti menia na zjednodušené GIS-y v prenosných počítačoch do ruky (handhelds) alebo v mobilných telefónoch, takže používateľ môže priamo v teréne skontrolovať priebeh mapovania, prípadne vyhľadať v databáze doplnkové informácie, ktoré potrebuje pri mapovaní.

10. Geopriestorové internetové technológie

Vývoj GIS technológie prešiel podobnými fázami ako aj iné informačné technológie. Od veľkých sálových počítačov, cez osobné počítače až po internet a sieťové technológie. Súčasný rozvoj internetových technológií otvára svet GIS-ov a geografických informácií aj pre používateľov, ktorí nemajú k dispozícii svoj vlastný GIS softvér (Hofierka, 2011, 2012b). Mnohí prevádzkovatelia GIS-ov majú spracované rozsiahle priestorové databázy a internet im umožňuje časť týchto dát prezentovať na internete. Nejde však len o pasívne, statické obrázky a mapy, ale vďaka architektúre klient-server vznikajú interaktívne aplikácie nazývané WebGIS-om alebo mapovým portálom, ktoré umožňujú používateľom pracovať s geografickou informáciou interaktívne (Wilson a Fotheringham, 2008), (Hofierka, 2010), (Mičietová a Petříček, 2012). Používateľ si môže vybrať, aký typ dát bude zobrazovať, môže určiť rozsah územia a mierku, vykonávať jednoduché dopytovanie na dáta alebo priestorové analýzy. Používateľ okrem vlastného webového prehliadača ani nepotrebuje ďalší samostatný aplikačný softvér.

Mnoho organizácií si už v súčasnosti uvedomuje význam geografickej informácie pre ich podnikanie alebo pre služby, ktoré poskytujú svojim zákazníkom. Vďaka prudkému rozvoju hardvéru, najmä zvyšovaniu jeho výkonu a tiež rýchlemu poklesu jednotkových nákladov na obstaranie hardvéru potrebného na prevádzku GIS softvéru a jeho lepšej dostupnosti sa postupne GIS-y dostávali z výskumných laboratórií a akademického prostredia do praktického života a aplikácií vo verejnom a aj podnikateľskom sektore. Práve súčasný rozvoj geopriestorových internetových technológií prináša nové možnosti vo formách poskytovania týchto dát a polohovo lokalizovaných služieb.

10.1 Technológia mapových serverov

Vznik mapových serverov umožňujúcich interaktívnu komunikáciu geografických informácií súvisí s technologickým rozvojom internetu, predovšetkým world wide web-u (WWW). Pomerne rýchlo po vzniku webu začiatkom deväťdesiatych rokov 20. storočia sa objavili prvé aplikácie, ktoré umožňovali tvorbu webových máp (napr. MapQuest). Komerční výrobcovia GIS softvéru vytvorili špeciálne softvérové aplikácie pre tento segment, napríklad GeoMedia WebMap alebo ArcIMS server. Pre svoju dostupnosť a otvorené riešenie si značnú popularitu získal open-source produkt UMN MapServer. Architektúra tejto technológie je založená na modeli klient-server.

Serverovú časť tvorí webový server s aplikačným serverom, mapový server a databázový server. Úlohou serverovej časti je pripraviť a odoslať dáta podľa pokynov klienta. Webový server prijíma požiadavky klienta (webového prehliadača) a generuje webové stránky. Dynamické funkcie webového servera môžu rozšíriť špeciálne aplikácie, napr. CGI alebo naprogramované moduly v niektorom zo skriptovacích jazykoch (Python, PHP a iné).

Webový aplikačný server prepája rôzne softvérové komponenty s webovým serverom (napr. zabezpečuje komunikáciu medzi aplikačným programovateľným rozhraním GIS-u a webovým serverom, priestorovou databázou a podobne. Mapový server spracováva požiadavky klienta a generuje výsledky. Databázový server je potrebný pri zobrazovaní veľkého množstva dynamicky sa meniacich dát. Poskytuje prístup k priestorovým a nepriestorovým dátam prostredníctvom jazyka SQL (Pavličko, 2007).

Klient dáta zvyčajne zobrazuje prostredníctvom svojho webového prehľadávača. V prípade klienta hovoríme občas o tenkom a hrubom klientovi, podľa stupňa zapojenia klientskeho softvéru do zobrazenia dát zo servera. Ak sa časť úloh vykonáva na strane klienta, napríklad pomocou malých programov, tzv. apletov, hovoríme o hrubom klientovi. Hrubý klient odľahčuje server a znižuje nároky na neustály prenos dát medzi serverom a klientom, čo môže napomôcť v zrýchlení zobrazovania. Pri tenkom klientovi je vykonávanie operácií sústredené na strane servera a klient len zobrazuje poskytnuté dáta. Prenos dát medzi serverom a klientom prebieha prostredníctvom internetových protokolov a špecifických jazykov (napr. HTML, DHTML, XML, GML).

Na zabezpečenie interoperability medzi dátami v rôznych formátoch a zvýšenie štandardizácie riešení v komunikácii geografických dát schválilo Open Geospatial Consortium (OGC) štandardy protokolov WMS, WFS, WCS, WPS a iné. Tie definujú štandardizované komunikačné a procesné mechanizmy medzi serverom a klientom bez ohľadu na konkrétne softvérové produkty. To zvyšuje interoperabilitu softvéru dodržiavajúceho tieto štandardy s iným softvérom (Mičietová a Petříček, 2012). Napríklad UMN MapServer s implementovanými štandardami WMS a WFS môže slúžiť aj ako dátový server pre rôzne typy klientskych softvérov alebo si môže vymieňať dáta s inými servermi. Táto interoperabilita je kľúčová aj pri rozvoji národnej infraštruktúry pre využívanie geografických informácií v zmysle európskej smernice INSPIRE o infraštruktúre pre priestorové informácie v Európskom spoločenstve č. 2007/2/EC a zákona NR SR č. 3/2010 Z.z. o národnej infraštruktúre pre priestorové informácie. Pre mnohé verejné inštitúcie stalo povinnosťou poskytovať základné informácie o geografických dátach, ktoré vytvárajú alebo spravujú. Predpokladá sa, že prostredie webu bude základným infraštruktúrnym prostredím pre poskytovanie tohto typu dát. To svedčí o tom, že záujem o tento typ riešení bude stúpať a poskytovanie geografických informácií prostredníctvom webu sa stane štandardom pre rôzne organizácie (Hofierka, 2011, 2012b).

Technológia mapových serverov poskytuje veľmi široké možnosti využitia. Organizácie poskytujúce geografické informácie môžu jednoducho a efektívne komunikovať so svojimi zákazníkmi, resp. klientmi. Medzi významných používateľov technológie mapových serverov môžeme zaradiť verejné inštitúcie, ako sú orgány štátnej správy a samosprávy (ministerstvá, obce a pod.), ale tiež rôzne špecializované organizácie čiastočne alebo úplne financované štátom (napr. poverené tvorbou štátneho mapového diela, ochranou prírody a krajiny a podobne). Medzi určité obmedzenia tejto technológie patrí relatívna pomalosť pri prenášaní množstva dát a nevyhnutnosť tvorby kompletnejšej priestorovej databázy pre prevádzkovateľov mapového serveru. Pri prezentácii jednej dátovej vrstvy prevádzkovateľ nutne potrebuje aj ďalšie vrstvy slúžiace aspoň na základnú orientáciu v priestore, aj keď nie je ich vlastníkom, resp. autorom (Hofierka, 2011, 2012b). Nutnosť

zakúpenia licencie na topografické dáta alebo ortofotomapy následne limituje komplexnejšie využitie technológie mapových serverov.

Na tieto obmedzenia reagovala v roku 2005 spoločnosť Google, Inc. svojimi technológiami Google Maps a Google Earth, ktoré priniesli nové možnosti v komunikácii geografických informácií v prostredí internetu. Súčasne s vývojom technológií Google Maps a Google Earth alebo dokonca aj skôr (napr. MapQuest) vznikli analogické aplikácie s podobným technologickým riešením a obsahom, napr. aplikácie Bing Maps a TerraServer od spoločnosti Microsoft alebo WorldWind od NASA. Pomerne veľkú popularitu získala open-source aplikácia OpenStreetMap. V súčasnosti sú snáď najrozšírenejšie Google Maps a Google Earth, aj vďaka nestále rozširujúcemu sa informačnému obsahu týchto aplikácií pokrývajúcich takmer celý svet (Čerba, 2009).

10.2 Aplikčné možnosti technológie Google Maps a Google Earth

Začiatkom 21. storočia sa v oblasti internetových technológií začína výrazne presadzovať spoločnosť Google, Inc.. Spočiatku to je najmä webová vyhľadávacia služba, neskôr prichádzajú ďalšie internetové služby. V roku 2005 spoločnosť uviedla službu Google Maps, ktorá priniesla cestovné mapy a satelitné snímky a možnosť vyhľadávania lokalít, pričom postupne sa rozširuje pokrytie a presnosť poskytovaných dát. V tom istom roku uviedla aj službu Google Earth, ktorej cieľom je poskytovanie 3D informácie o zemskom povrchu. Kým Google Maps poskytuje geografické informácie v 2D podobe, Google Earth umožňuje 3D vizualizáciu zemského povrchu a vybraných prvkov krajiny. Z technologického hľadiska je služba Google Maps založená na technológii AJAX (Asynchronous JavaScript and XML), ktorá slúži na vývoj moderných interaktívnych webových aplikácií, ktoré menia obsah stránky bez toho, aby ju bolo potrebné znovu načítať. Technológiu AJAX tvorí sada technologických prvkov, napr. jazyky HTML, XHTML, skriptovací jazyk JavaScript, kaskádové štýly CSS a formát XML na výmenu dát medzi serverom a klientom (Lacko, 2008). Okrem internetového prehliadača (napr. Internet Explorer, Firefox, Google Chrome a pod.) sa nevyžaduje inštalácia ďalšieho aplikačného softvéru. Používanie služby Google Earth vyžaduje inštaláciu špeciálnej softvérovej aplikácie, prípadne pri používaní v rámci webového prehliadača sa vyžaduje inštalácia špeciálneho softvérového doplnku, tzv. pluginu. Obidve aplikácie sú k dispozícii aj pre používateľov mobilných technológií. Napríklad aplikácia Google Maps for Mobile umožňuje určovať polohu používateľa mobilného telefónu so zabudovaným GPS prijímačom alebo na základe triangulácie a sily signálu z najbližších vysielačov mobilnej telefonickej siete alebo WiFi sietí. Určovanie polohy mobilného zariadenia prináša rad nových možností v ponuke polohovo lokalizovaných služieb (Hofierka, 2011, 2012b).

Oproti klasickej technológii mapových serverov je technológia Google Maps a Google Earth rýchlejšia a flexibilnejšia vo viacerých smeroch. Na zobrazovanie dát využíva dlaždicové ukladanie a zobrazovanie dát (tiling) a rýchlu vyrovnávaciu pamäť (caching). Pri tejto technológii sa obrázky zo serverov načítavajú cez segmenty (dlaždice) s fixnou veľkosťou.

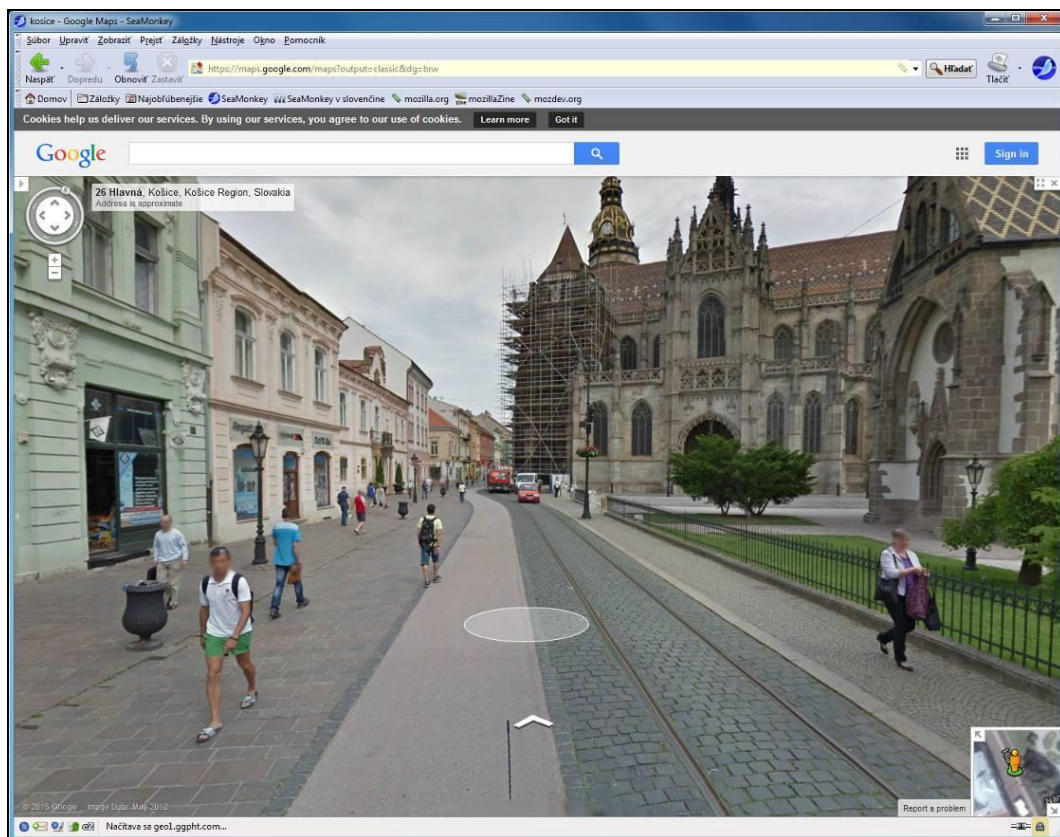
Hlavným cieľom služby Google Maps je poskytovať zadarmo mapovú službu online. Základnými, resp. pôvodne použitými mapami boli cestná mapa s možnosťami vyhľadávania podľa

adries a satelitná mapa, obsahujúca satelitné ortofotosnímky, vo väčšom rozlíšení doplnené satelitnými alebo leteckými ortofotosnímkami so submetrovým rozlíšením. Územie Slovenskej republiky je v súčasnosti pokryté leteckými a satelitnými ortofotosnímkami z pomerne širokého obdobia rokov 2003-2011. Letecké ortofotosnímky boli zabezpečené spoločnosťami Eurosense Slovakia a Geodis Slovakia a v súčasnosti sú prevažne z obdobia rokov 2005-2006, satelitné snímky sú z rôznych zdrojov, napr. z družice GeoEye, QuickBird alebo Spot. Maximálne rozlíšenie ortofotosnímkov je približne 50 cm. V aplikácii Google Earth je pri zobrazení snímky k dispozícii informácia, z ktorého obdobia je daná snímka a zároveň aj funkcia, ktorá umožňuje prepínať medzi snímkami z rôzneho obdobia.

Zaujímavé svetové lokality (najmä mestá) obsahujú vo väčšom detaile aj fotografické snímky s uhlom snímania 45 stupňov, čo umožňuje lepšiu orientáciu a lepšie vnímanie priestoru najmä v zastavaných územiach. V roku 2007 bola aplikácia rozšírená aj o mapu georeliéfu v podobe tieňovaného georeliéfu doplneného vo vyššom rozlíšení o vybrané vrstevnice s označením nadmorskej výšky.

Okrem týchto troch nosných typov máp aplikácia Google Maps obsahuje ďalšie informačné zdroje, najmä multimediálneho charakteru: priestorovo lokalizované fotografie, videá, webové kamery, odkazy na popis danej lokality na internetovej encyklopédii Wikipédia, informácie o stave dopravy, možnostiach verejnej dopravy, cyklistických trás a informácie o aktuálnom dianí v danej lokalite. Pokrytie týmito funkciami však nie je rovnaké, v zastavaných územiach a v hospodársky vyspelejších regiónoch je zvyčajne k dispozícii viac funkcií.

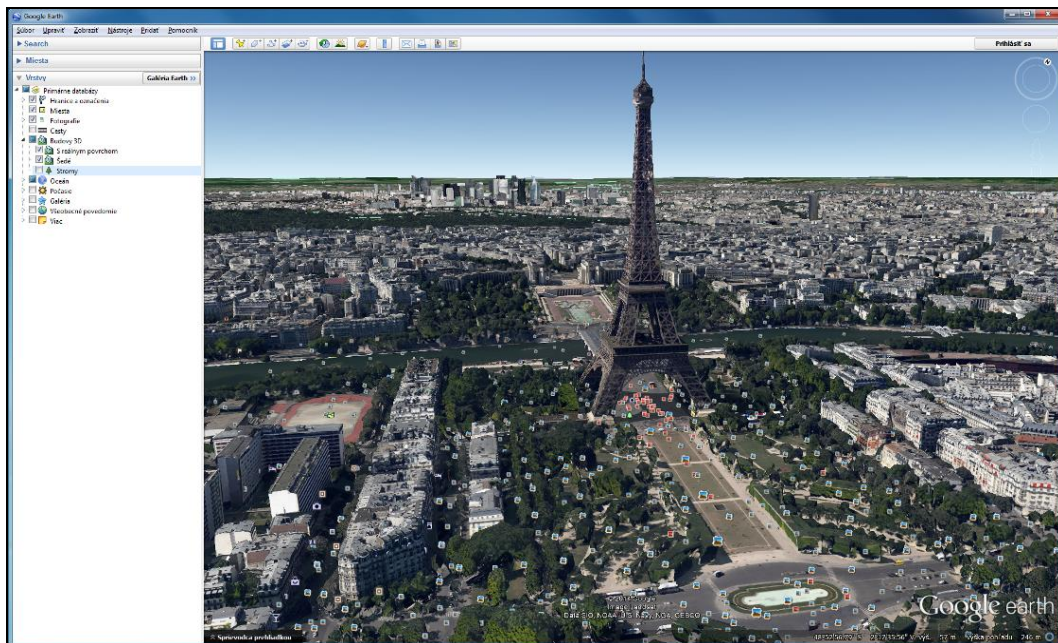
Pre návštevníkov miest je osobitne zaujímavá funkcia StreetView (Obr. 10.1), ktorá ponúka 360° panoramatický pohľad na ulicu z pozície chodca. Túto funkciu je možné využiť na prípravu turistických trás a prehliadok zaujímavých lokalít mesta. V súčasnosti je k dispozícii najmä pre väčšie svetové mestá a niektoré významné turistické lokality. V roku 2010 prebehlo snímkovanie aj 9 väčších slovenských miest (Bratislavy, Košíc, Prešova, Žiliny, Banskej Bystrice, Trnavy, Trenčína, Popradu a Prievidze).



Obr. 10.1: Funkcia StreetView aplikácie Google Maps umožňuje panoramatický pohľad na okolie danej lokality.

Aplikácia Google Earth je oproti aplikácii Google Maps viac orientovaná na dynamickú 3D vizualizáciu. Využíva síce rovnaké satelitné mapy ako Google Maps, avšak poskytuje bohatší informačný obsah a lepšie možnosti interaktívnej komunikácie geografickej informácie (Obr. 10.2). Primárna databáza aplikácie Google Earth obsahuje okrem základných topografických informácií podobných ako v aplikácii Google Maps aj 3D modely budov a stromov, najmä vo väčších mestách. V niektorých lokalitách toto 3D zobrazenie budov predstavuje skutočný, reálny 3D model mesta s vysokou úrovňou geometrického detailu (Hofierka a Kaňuk, 2010). Pre niektoré budovy boli spracované aj textúry povrchov.

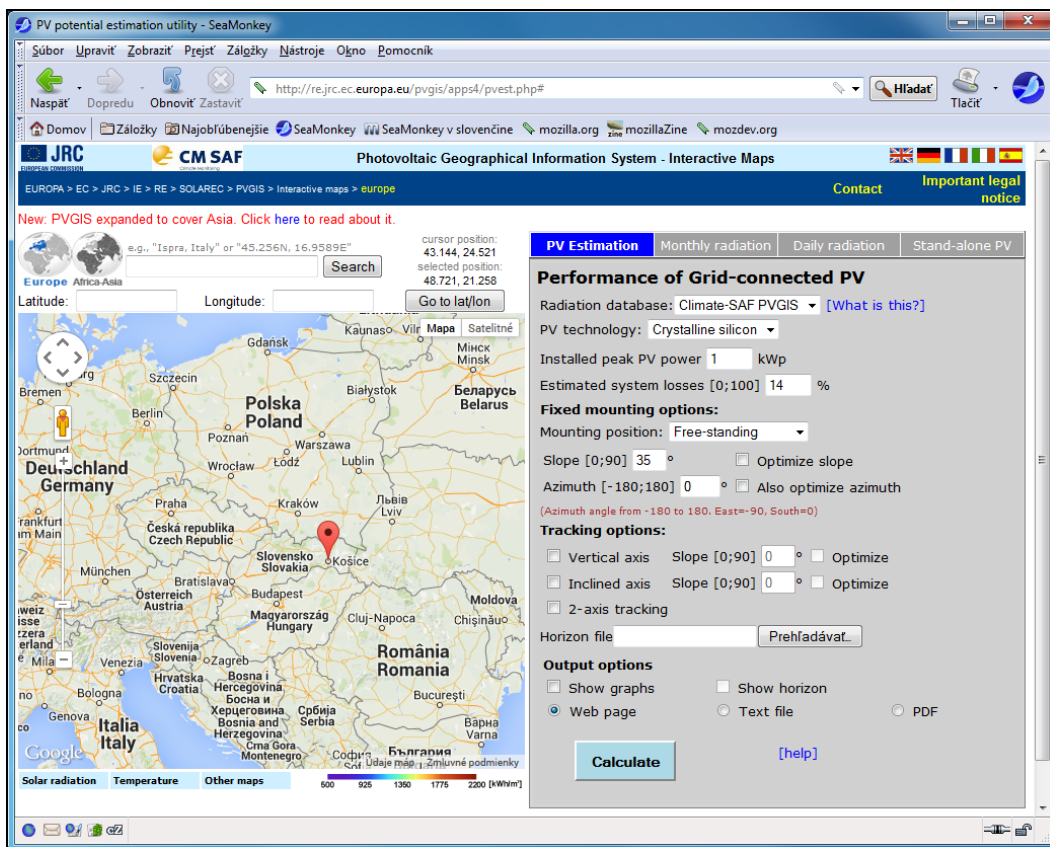
Pomerne široký informačný obsah majú aj ďalšie položky primárnej priestorovej databázy: Oceán, Galéria s polohovo lokalizovaným multimediálnym obsahom, Všeobecné povedomie s informáciami o chránených územiach a projektoch ochrany prírody, Počasie a položka Viac, ktorá poskytuje veľmi veľa praktických informácií o doprave a poskytovaných službách v danej lokalite (napr. ubytovanie, reštaurácie, lekárne, bankomaty a pod.).



Obr. 10.2: Aplikácia Google Earth s 3D vizualizáciou s multimediálnym obsahom (znázornená je časť Paríža v okolí Eiffelovej veže).

Integrácia Google Maps do vlastných aplikácií

Jednou z veľkých výhod technológie Google Maps a Google Earth a aj iných mapových severov je aplikačné programovacie rozhranie (API). Umožňuje integrovať službu Google Maps do vlastnej mapovej aplikácie na svojej webovej lokalite. To znamená, že prevádzkovateľ svojej mapovej aplikácie môže využívať všetky ovládacie prvky a mapové dáta služby Google Maps a zároveň do tejto aplikácie môže dopĺňať aj svoje vlastné dáta a služby, pričom rozmanitosť ovládacích prvkov a funkcií Google Maps API je oveľa širšia ako v štandardnej podobe aplikácie Google Maps. Výrazne sa tým zjednodušuje a zrýchľuje tvorba vlastných mapových aplikácií na webe. Koncový používateľ ovláda aplikáciu rovnakým spôsobom ako Google Maps alebo Google Earth, zároveň však má v ponuke aj ďalšie dáta ponúkané prevádzkovateľom aplikácie. Príkladom takejto aplikácie pre Google Maps je mapová aplikácia PVGIS (Obr. 10.3). Toto aplikačné programovacie rozhranie slúži aj na veľmi jednoduchú integráciu aplikácie Google Maps na vlastnú webovú stránku, ktorá napríklad pomocou ikoniek zobrazuje polohu firemných pobočiek na určitom území alebo polohu firemných partnerov. Veľká popularita Google Maps API pri integrácii geografickej informácie na vlastných webových stránkach podnietila aj iných prevádzkovateľov podobných mapových služieb pre poskytnutie vlastných aplikačných programovacích rozhraní (napr. OpenLayers, Bing Maps Platform a iné).



Obr. 10.3: Použitie aplikačného programovacieho rozhrania Google Maps pre online nástroja PVGIS na odhad fotovoltického potenciálu vybranej lokality.

10.3 Otvorené riešenia mapových serverov

Jedným z významných fenoménov posledných 20 rokov v oblasti informačných technológií je koncept slobodného softvéru (anglicky: free, open-source software). Na tomto koncepte vznikol operačný systém Linux a takisto na ňom fungujú viaceré GIS softvéry, vrátane GIS-ov GRASS, SAGA a Quantum GIS (Neteler a Mitasova, 2004). Tento koncept sa objavil nielen v oblasti softvéru, ale aj pri tvorbe informačných databáz. Ich hlavným predstaviteľom je Wikipédia (www.wikipedia.org). Technológia Google Maps a Google Earth síce nie je slobodným softvérom, avšak veľká časť informačného obsahu ich priestorových databáz funguje na podobnom princípe (napr. Panoramio, YouTube). Projekt Wikimapia (www.wikimapia.org) priamo prepája technológiu Google Maps s konceptom Wiki a umožňuje používateľov aktívne vytvárať informačný obsah máp na webe pre rôzne kategórie objektov v krajiny (napr. obchody, školy, parky, zaujímavé lokality a iné). Používatelia aktívne spolupracujú a prispievajú k informačnému obsahu mapy na internete, môžeme teda hovoriť o kolaboratívnom mapovaní, resp. tvorbe online máp. Používatelia týchto internetových máp teda nemusia len pasívne využívať tieto mapy, ale môžu aj aktívne prispieť

k zlepšeniu a aktualizácii ich obsahu, najmä menej známych regiónoch. Využitie potenciálu používateľov a prispievateľov tak výrazným spôsobom dynamizuje tvorbu informačného obsahu máp. Základným problémom, ktorý však ostáva je organizačné zabezpečenie a systém kontroly kvality pridávaného obsahu. Tento aktívny prístup k tvorbe online máp sa tiež nazýva kolaboratívne mapovanie a prináša nové možnosti v prezentácii regiónov a konkrétnych lokalít. Široké využívanie prijímačov GPS (aj v mobilných telefónoch) a záujem prezentovať konkrétne lokality a regióny na celosvetovom médiu umožňuje efektívnejšie vytvárať obsah máp na internete. Doterajšia dobrovoľnícka práca prevažne dobrovoľníkov a nadšencov by mala byť doplnená aj premyslenou aktivitou verejnej správy, aby jednotlivé regióny, obce a mestá boli na vysokej technickej a obsahovej úrovni prezentované aj na tomto médiu. Na podobnom kolaboratívnom koncepte je založený aj projekt OpenStreetMap (www.openstreetmap.org), ktorý je aj technologicky postavený prevažne na open-source koncepte (OpenLayers).

Neustále zvyšujúce sa množstvo geografických dát prirodzeným spôsobom vytvára potrebu tieto dáta komunikovať cez geopriestorové internetové technológie. Neplatí to len pre globálne projekty spomenuté vyššie, ale aj pre jednotlivé zložky územnej verejnej správy alebo podnikateľské subjekty. Schválením Smernice INSPIRE sa vytvorili aj legislatívne predpoklady pre ďalší rozvoj tejto časti geopriestorových technológií. Je evidentný posun od úzko špecializovaných pracovísk geodetov, architektov či GIS špecialistov k celopodnikovým GIS systémom, ktorý využívajú desiatky aktívnych používateľov podľa aktuálnych potrieb. Celkovo možno konštatovať, že webové GIS systémy sa v posledných rokoch zaradili medzi žiadané a využívané informačné systémy, čo v konečnom dôsledku otvorilo aj nové možnosti aplikácie open-source riešení. Celosvetový trend nástupu webových GIS technológií je tiež v značnej miere vyvolaný existenciou vyzretých open-source technológií ako je PostGIS, UMN MapServer, GeoServer či OpenLayers a moderných serverových technológií Cloud Computingu, ktoré umožňujú pokročilé implementácie mapových služieb vo veľkom rozsahu za cenovo veľmi priaznivých podmienok. Webové GIS systémy tak postupne nahrádzajú klasické desktopové softvérové riešenia a systémy a prispievajú tak k rapídному nárastu používateľov GIS aj medzi bežnou verejnosťou, bez nutnosti veľkých odborných znalostí z oblasti GIS-ov a geopriestorových technológií všeobecne (Hofierka, 2012b).

Webový systém Gisplan

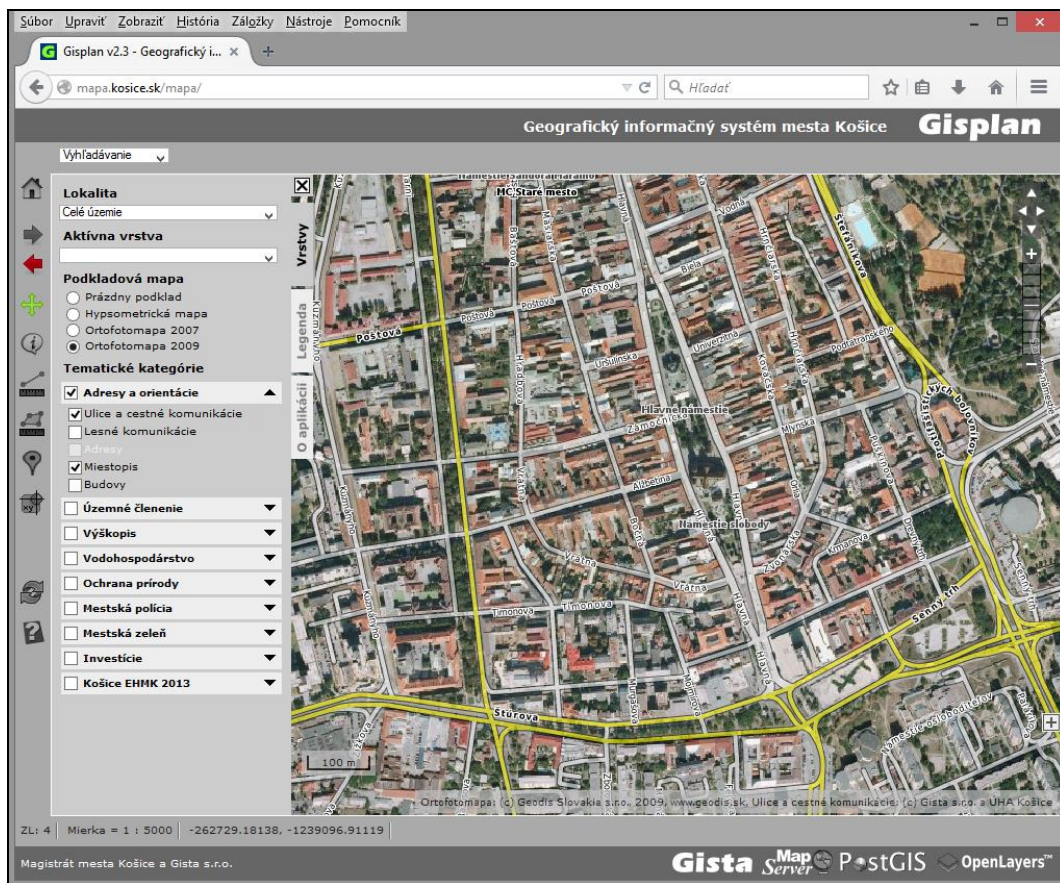
Jedným z úspešných príkladov komerčnej aplikácie open-source technológie mapových serverov je webový systém Gisplan (www.gisplan.sk). Tento produkt je po systémovej stránke tvorený operačným systémom Debian Linux, databázovým serverom PostGIS, mapovým serverom UMN Mapserver a webovým serverom Apache. Webové rozhranie aplikácie je postavené na technológii OpenLayers (Hofierka a Mičaník, 2011).

Databázovým riešením systému Gisplan je open-source objektovo-relačný databázový systém PostgreSQL (www.postgresql.org) a jeho open-source nadstavba PostGIS (www.postgis.org). Aplikácia PostGIS slúži na zabezpečenie podpory pre špecifické geografické dáta v databáze PostgreSQL. Rozširuje teda možnosti PostgreSQL serveru tak, aby ho bolo možné využívať ako priestorovú databázu pre GIS a pridáva množstvo pokročilých funkcií pre analýzu priestorových

objektov. Geografické dáta uložené v systéme PostGIS je možné jednoducho editovať, ukladať alebo exportovať do viacerých formátov. Môžu byť využívané množstvom desktopových komerčných i open-source GIS systémov a tiež mapovými webaplikáciami prostredníctvom UMN Mapservera alebo GeoServera (Neteler a Mitasova, 2004).

O samotné publikovanie geografických dát na internete sa stará ďalšia open-source aplikácia, mapový server UMN MapServer (www.mapserver.org). Prostredníctvom webového servera prijíma požiadavku používateľa a vytvára výstup v podobe obrázku pre samotný obsah mapy, legendy, mierku a podobne. Samotný mapový server je vo svojom základe programom CGI, no môže byť rozšírený aj o aplikáciu MapScript, ktorá umožňuje programovať aplikačné programové rozhranie MapServeru v rôznych skriptovacích jazykoch (napr. Python, PP, Perl a iných), čo rozširuje možnosti dynamických výstupov mapového servera.

Vizualizačnú zložku systému Gisplan má na starosti webová aplikácia. Jej základom je technológia OpenLayers (www.openlayers.org), čo je vlastne JavaScriptová knižnica, ktorá zabezpečuje zobrazenie mapových dát vo väčšine súčasných webových prehliadačov (napr. Internet Explorer, Mozilla Firefox, Google Chrome a iné). Podobne ako v Google Maps, aj OpenLayers poskytuje aplikačné programové rozhranie (API), ktoré umožňuje integrovať ovládacie prvky a funkcie OpenLayers do vlastnej webovej aplikácie.



Obr. 10.4: Základné používateľské rozhranie systému Gisplan (<http://mapa.kosice.sk/mapa/>).

Webová aplikácia systému Gisplan môže byť pre používateľov prístupná vo neverejnom aj verejnom rozhraní. Jej výhodou je ľahké a intuitívne ovládanie, nevyžadujú sa takmer žiadne odborné znalosti a nemá ani špeciálne nároky na výkon počítača na strane klienta. Používatelia na prístup k aplikácii a dátam potrebujú len internet a bežný webový prehliadač.

Zaujímavým aspektom prevádzkovania systému Gisplan je, že je poskytovaný ako komplexná softvérová služba na báze GIS hostingu a cloud computingu, čo znamená, že vlastník dát nezabezpečuje fyzicky u seba prevádzku celého systému, ale táto je z hardvérovej a softvérovej stránky zabezpečovaná ako komplexná služba. Z hľadiska prevádzkovania systému v sieťovom prostredí je to veľmi ekonomické a efektívne riešenie. Svojím otvoreným a flexibilným riešením odstraňuje bariéry využívania GIS technológií plynúcich z používateľskej náročnosti mnohých desktopových GIS-ov, umožňuje zobrazovanie rastrových a aj vektorových dát, poskytuje štandardné funkcie a nástroje pre ich využívanie (napr. výber vrstiev, zmeny mierky zobrazenia, vyhľadávanie, identifikácia a zobrazenie atribútových dát, meranie vzdialeností a plôch, vkladanie bodov, tvorba tlačových výstupov). Na strane správcu poskytuje jednoduché a prehľadné webové

správcovské rozhranie. Celkové riešenie je preto veľmi flexibilné, škálovateľné pre rôzne typy a množstvo dát.

Z obsahového hľadiska Gisplan nie je špecificky limitovaný, ale vzhľadom na doterajšiu orientáciu najmä na obecné samosprávy poskytuje najmä základné údaje o území v podobe ortofotomáp z rôznych časových období, čo umožňuje lepšie sledovať dynamiku zmien v zastavanom území. Jeho dôležitou súčasťou sú tiež katastrálne mapy a ich výstupy (napr. parcely vo vlastníctve mesta), adresy, budovy, uličné systémy, územné členenia ako aj špecializované mapové podklady napr. pre potreby mestskej polície, správy mestskej zelene, komunikácií a podobne.



Obr.10.5: Gisplan do vrecka umožňuje využívať mobilné GIS technológie priamo na displeji mobilného telefónu vybaveného prijímačom GPS.

Mimoriadny technologický rozvoj v poslednom období priniesol obrovské možnosti aj pre aplikáciu geopriestorových technológií na internete. Mapové servery ako Google Maps a Google Earth sa v posledných rokoch stali lídrami vo webových mapových službách. Predstavujú ďalší stupeň v prirodzenom vývoji geopriestorových technológií a spôsobe komunikácie geografickej informácie. Základnou zmenou oproti minulosti je, že geografická informácia sa neposkytuje v papierovej, statickej, často už aj časovo zastaranej podobe, ale je k dispozícii vďaka internetu a sieťovej infraštruktúre kdekoľvek a na rôznych platformách. Nie sú to len klasické osobné počítače, ale aj mobilné technológie.

Významnou zmenou v spôsobe tvorby online máp je aj interaktivita komunikácie, používateľ môže aktívne upravovať rozsah a spôsob prezentovanej geografickej informácie a dokonca aj dopĺňať vlastné dáta. Rozvoj kolaboratívneho mapovania a konceptu Wiki pri tvorbe online máp ovplyvní rozvoj nových mapovacích techník, tvorbu a využitie dynamických a interaktívnych máp v budúcnosti. Nahradí klasickú podobu statických, papierových kartografických diel ako sme ich

poznali doteraz a v spojení s technológiou GPS prinesie geografické informácie v digitálnej, multimediálnej podobe pre širokú verejnosť ako bežnú súčasť života.

Dôležité miesto vo vývoji nových technologických a obsahových riešení zaujíma koncept slobodného (open-source) softvéru a informácií. Na príklade webového systému Gisplan sme ukázali, že aj open-source technológie nie sú určené len pre verejný sektor, ale môžu byť aj komerčne zaujímavé. Jednou z oblastí neseného informačného obsahu aplikácií mapových serverov, ako sú Google Maps/Google Earth, Wikimapia a iných, je možnosť vyhľadávania firiem, zariadení podľa adresy. Mnohé firmy ponúkajú svoje produkty a služby na internete, avšak v informačnom zahltení celosvetovej siete vplyv týchto informácií sa stráca. Využitie technológie mapových serverov prináša možnosť tvorby polohovo orientovanej ponuky firiem. V určitých lokalitách a regiónoch môže byť potreba a záujem trhu odlišný ako v iných regiónoch. Nemenej významným faktorom je dostupnosť technológie nielen na desktop platforme, ale najmä na mobilnej platforme (PDA, smartfóny a pod.), čo umožňuje pružne reagovať na aktuálnu polohu zákazníka.

Prienik týchto technológií do bežného spotrebiteľského segmentu, integrácia webových mapových služieb s technológiou mobilných telefónov vybavených prijímačom signálu GPS vytvára nové možnosti pre rozvoj lokalizačných služieb, spôsobu prezentácie obcí, regiónov alebo ponuky služieb a tovarov firmami. Tento technologický vývoj zároveň vytvára dobré podmienky pre ďalší rozvoj geopriestorových technológií a ich aplikácií.

11. Aplikovaná geoinformatika

Správna aplikácia GIS-u v praxi je jednou z najdôležitejších úloh geoinformatiky. GIS je chápaný ako nástroj na riešenie geopriestorových problémov a stáva sa štandardnou súčasťou nástrojovej a technologickej výbavy väčšiny vedných disciplín. Úlohou geoinformatika je svojou dokonalou znalosťou GIS-u, implementovaných metód, problémov neurčitosti a kvality dát nielen správne použiť nástroje GIS-u, ale výsledky aj správne interpretovať. Týmto otázkami správnej aplikácie geoinformatických nástrojov v praxi by sa zaoberá aplikovaná geoinformatika (Hofierka, 2012).

Veľký význam a množstvo geografických dát prináša ich veľmi rôznorodé využitie. Odborníci odhadli, že až 80% ľudských rozhodnutí je ovplyvnených priestorom alebo priestorovou situáciou (Frank et al., 2000). V súčasnej dobe sa mobilita ľudí a množstvo informácií, ktoré musia denne spracovať ešte zvýšilo. Za posledných 30 rokov došlo k markantnému zvýšeniu použitia geopriestorových technológií pri spracovaní geografických informácií. Tradičné papierové mapy sa čoraz viac vytvárajú pomocou informačných technológií, databázy sa používajú na zhromažďovanie geografických dát a geografické informačné systémy umožňujú náročné analýzy v minulosti len veľmi ťažko realizovateľné. Práve obrovské množstvo geografických informácií a potreba ich prehľadného uchovávanía, spracovania a prezentácie (komunikácie) dali podnet k rozvoju využívania GIS-ov.

11.1 Aplikácie GIS-u v praxi

V súčasnosti môžeme vyčleniť 5 základných spôsobov využívania GIS-u v praxi (Longley et al., 2011):

- mapovanie,
- meranie,
- monitoring,
- modelovanie,
- riadenie.

Zároveň môžeme vymedziť 4 základné aplikačné oblasti (sektory), kde sa GIS používa v praxi:

- verejná správa - správa územia, majetku a infraštruktúry,
- plánovanie obchodných aktivít/poskytovania služieb na určitom území (geomarketing),
- logistika a plánovanie dopravy,
- environmentálne aplikácie.

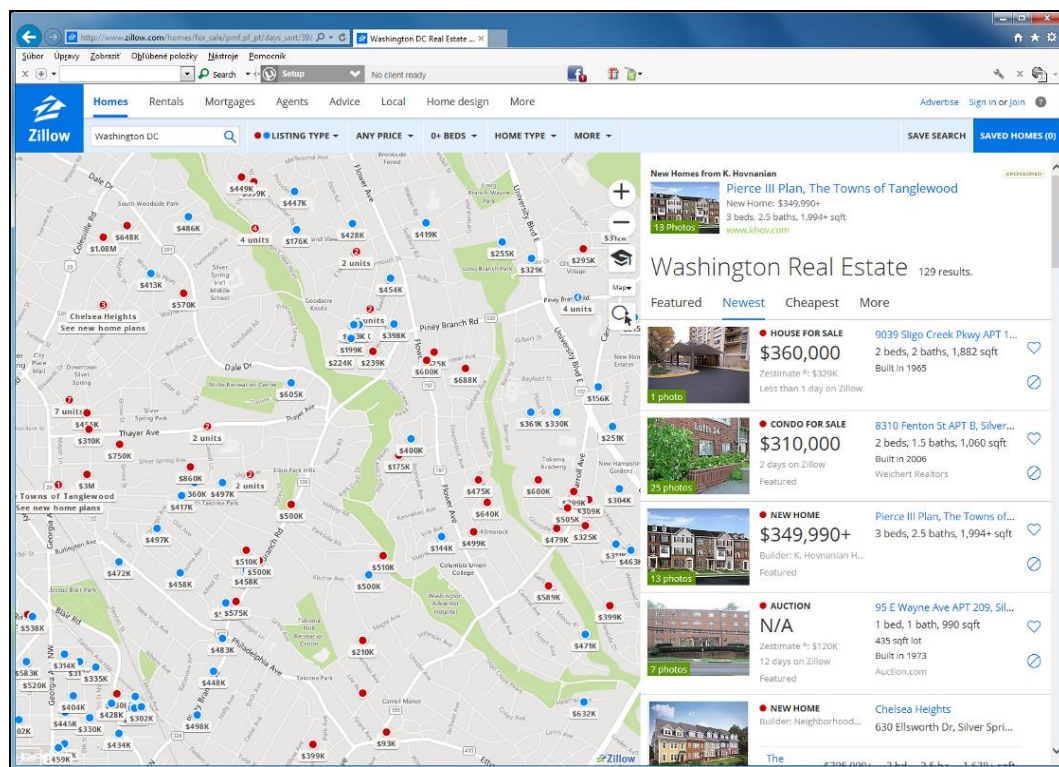
Verejná správa bola jedným z prvých používateľov GIS-u, pretože štátna správa a aj samospráva automaticky pracuje s územím a teda aj s geografickými informáciami. Bol ním aj úplne prvý GIS, Canadian GIS, ktorý sa využíval na evidenciu a manažment prírodných zdrojov

kanadskou vládou. V súčasnosti takmer každý orgán verejnej správy, ktorý spravuje nejaké územie v zmysle svojich kompetencií daných zákonom, používa nejakú formu GIS-u na evidenciu územia, ktoré spravuje. Rozsah a spôsoby využívania GIS-ov vo verejnej správe sú rozsiahle, stručný prehľad najčastejších aplikácií a súvisiach GIS operácií je uvedený v Tab. 11.1.

Oblasť vo verejnej správe	Aplikácia	Najčastejšie GIS operácie
Územný plán	príslušnosť pozemkov do jednotlivých zón, plánovanie výstavby priemyselných parkov, obytných zón a infraštruktúry	priestorové SQL analýzy, vzdialenosťné analýzy, prekrývanie rôznych tematických vrstiev
Evidencia a správa nehnuteľností	kontrola s vektorovou katastrálnou mapou, evidencia obecného nehnuteľného majetku, identifikácia vlastníctva, oceňovanie majetku	SQL analýzy, prekrývanie rôznych tematických vrstiev, tvorba mapových a tabuľkových zostáv
Evidencia a správa infraštruktúry	dokumentácia a správa inžinierskych sietí, stav cestných komunikácií, parkovísk	priestorové SQL analýzy, kombinácia rôznych tematických vrstiev, tvorba mapových zostáv
Daňová a cenová mapa	oceňovanie nehnuteľného majetku obce, cena za predaj a prenájom, výpočet a kontrola daňových povinností, plánovanie daní	prekrývanie rôznych tematických vrstiev, tvorba mapových a tabuľkových zostáv
Evidencia parkov a zelených plôch	výpočet nákladov na údržbu, kontrola vlastníctva a zodpovednosti za údržbu	analýza susedstva, modelovanie populačného rastu a budúcich potrieb rekreácie zón oddychu, tvorba mapových a tabuľkových zostáv
Monitoring životného prostredia	analýza environmentálnych rizík	analýza šírenia znečistenia, tvorba ochranných zón
Riadenie havarijných situácií	lokalizácia ciest úniku, ohrozených objektov, kapacita prepravných ciest	sieťová analýza
Občianske informácie	volebné obvody, príslušnosť k strediskám komunálnych služieb	prekrývanie rôznych tematických vrstiev, tvorba mapových a tabuľkových zostáv
Evidencia kriminality	evidencia policajných staníc, kriminálnych činov, kontrolných trás	počet policajtov na intenzitu kriminálnej činnosti, pokrytie územia policajnou ochranou, analýza vzťahov medzi kriminalitou a sociálnoekonomickými ukazovateľmi
Sociálne služby	analýza pokrytia územia sociálnymi službami	sieťová analýza, analýza susedstva, prekrývanie rôznych tematických vrstiev

Tab. 11.1: Aplikácie GIS-u vo verejnej správe.

V súčasnosti čoraz viac obchodných spoločností operujúcich na určitom území používa GIS na plánovanie svojich aktivít. Významná oblasť využitia GIS-u je realitný trh. Výber vhodnej nehnuteľnosti a lokality na kúpu alebo prenájom nehnuteľností môže GIS výrazne uľahčiť. Určenie cenovej úrovne môže vychádzať z cenových máp, ktoré si mnohé realitné kancelárie vytvárajú. Cenové mapy obsahujú ceny nehnuteľností, za ktoré sa nehnuteľnosti predávali, ako aj ďalšie informácie o nehnuteľnosti, a teda vytvárajú určitú cenovú úroveň, podľa ktorej sa dohaduje cena ďalšej nehnuteľnosti v danej lokalite. Predpokladá sa, že v budúcnosti budú tieto cenové mapy slúžiť aj na určenie dane z nehnuteľnosti podobne, ako to je napríklad v USA, kde sa daň z nehnuteľnosti platí podľa jej odhadnutej trhovej ceny.



Obr. 11.1: Webová aplikácia na báze služby Bing poskytujúca informácie o ponuke nehnuteľností vo Washingtone.

Významná oblasť aplikácií sa týka demografickej situácie na určitom území. Napríklad veková a príjmová štruktúra obyvateľstva významne ovplyvňuje nákupné správanie sa obyvateľstva, dopyt po určitom tovare alebo službách. Rozmiestnenie predajní, bankomatov, či zariadení poskytujúcich určité služby (napr. školy, zdravotné strediská) je možné pomocou GIS-u dobre plánovať. Osobitne výhodné môže byť použitie GIS-u pre obchodnú firmu, ktorá chce preniknúť na miestny trh a potrebuje mať presné informácie o jeho potenciáli a miere saturácie konkurentmi. Táto analýza trhu na teritoriálnom princípe sa nazýva geomarketing. Geomarketing využíva geografické informácie na

obchodné účely, predovšetkým na prieskum trhu, plánovanie služieb. Práve demografické dáta zohrávajú veľkú úlohu v marketingovej analýze územia. Pri týchto analýzach často postačuje aj relatívne jednoduchý GIS softvér napríklad na prezentáciu bydliska zákazníkov veľkých obchodných domov, spôsobov ich dopravy, ich príjmovej štruktúry a podobne. Zhodnotenie geomarketingovej informácie má nepochybný veľký význam na plánovanie tržieb, reklamných kampaní a plánovaných investícií.

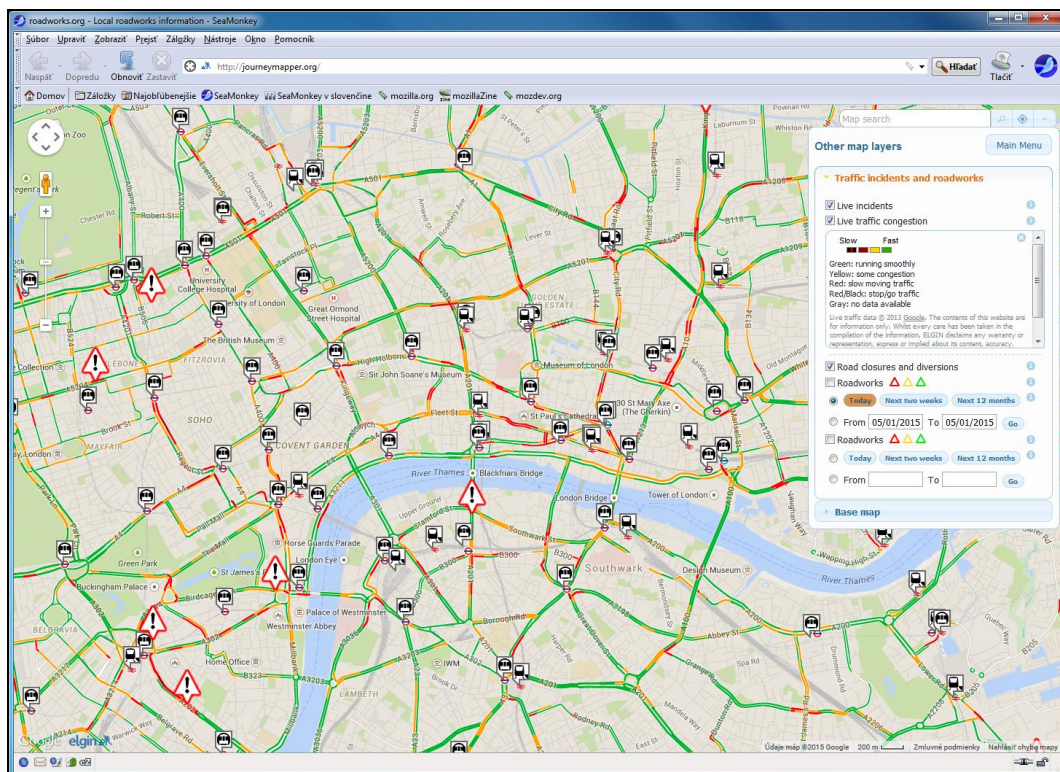
Nástroje GIS-u sa môžu využiť na analýzu a plánovanie operačných, taktických a strategických funkcií organizácie. Operačné funkcie sú tie úlohy, ktoré sa týkajú dennodenného spracovania rutinných transakcií a analýzy zásob. Monitoruje sa pohyb vozidiel a plánuje sa rozvrh v rámci jedného dňa. Taktické funkcie sú zamerané na krátkodobé ciele. Napríklad sa plánuje cesta a čas doručovania poštových zásielok, zber odpadu a podobne. Strategické funkcie sú obsiahnuté v dlhodobých cieľoch a plánoch organizácie. Príkladom strategických rozhodnutí je počet a rozmiestnenie pobočiek bánk na danom operačnom území. V súvislosti s takýmto využívaním GIS-u pri riadení organizácie je dôležité aj prepojenie na ďalšiu softvérovú infraštruktúru organizácie (napr. na softvér na riadenie firemných procesov od firmy SAP).

V súvislosti s rozvojom mobilnej komunikácie na báze technológie GSM dochádza k rozvoju k tzv. lokalizačných služieb, kde významnú úlohu zohráva GIS. Princípom týchto služieb je, že pomocou siete vysielateľov je možné lokalizovať mobilný telefón s určitou polohovou presnosťou (cca 0,5 km) a pri vytvorení priestorovej databázy vybraných objektov je možné používateľovi telefónu poskytnúť informácie o polohe požadovaných objektov v jeho blízkom okolí.

Logistika sa venuje presne definovanému transportu ľudí a tovaru. Príkladom sú expresné zásielkové služby, zvoz odpadu, rozvoz tovaru. Nájdenie optimálnej trasy, ako aj samotný presun tovaru od vyskladnenia až po konečnú dodávku musí byť veľmi dobre zorganizovaný a naplánovaný. Práve v tejto fáze je významná pomoc GIS-u, ktorý môže významným spôsobom znížiť náklady a dobu dodávky.

Jednou z významných aplikácií geopriestorových technológií je verejná doprava. Už v súčasnosti si cestujúci môžu overovať polohu a prípadné meškanie prostriedkov verejnej dopravy (vlak, autobus, električka, lietadlo). Vytvárajú sa nové on-line mobilné služby, ktoré cestujúcemu poskytnú lepšie informácie, ako sa vyhnúť dopravným zápcham.

Významnou oblasťou efektívneho nasadenia GIS-u je aj civilná ochrana a plánovanie evakuácie obyvateľstva z rôznych dôvodov ohrozenia. Bezproblémová evakuácia vyžaduje rýchly a bezpečný transport ľudí mimo ohrozené územie a preto sa analyzujú počty obyvateľov a priepustnosť (kapacita) dopravných ciest. Identifikujú sa kritické miesta, modelujú sa rôzne scenáre. Coraz väčší význam naberá hodnotenie rôznych environmentálnych rizík, napr. hodnotenie povodňového rizika, kde práve GIS poskytuje viacero nástrojov (Vojtek a Boltižiar, 2011).



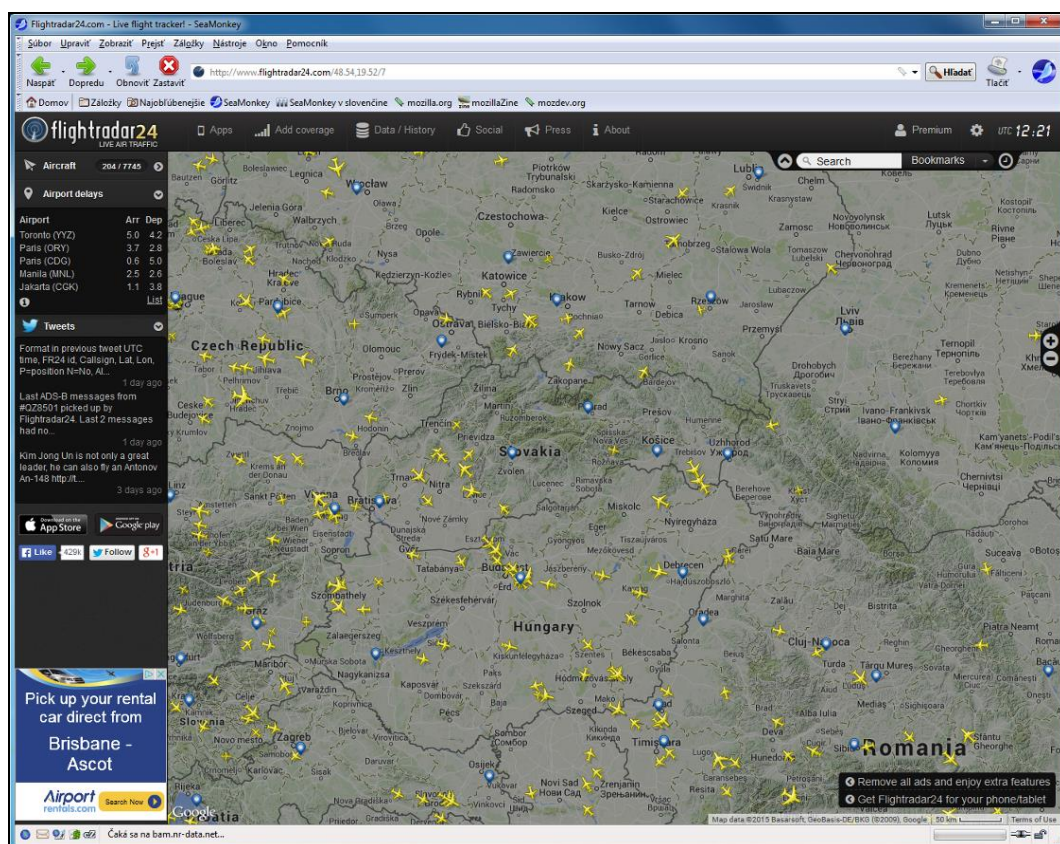
Obr. 11.2: Webová aplikácia na báze Google Maps poskytujúca aktuálne informácie dopravnej situácii v Londýne.

Environmentálne aplikácie sú oblasťou, kde sa GIS používal od počiatkov a aj v súčasnosti nachádza veľmi rozsiahle uplatnenie. Vyplýva to z ich väzby na územie a častou komplexnosťou environmentálnych problémov, kde práve GIS vie ponúknuť vhodné nástroje. Možnosti siahajú od jednoduchej evidencie (napr. nelegálne skládky) až po sofistikované modelovanie environmentálnych procesov v priestore a v čase.

GIS-y môžu prispieť k zlepšeniu výsledkov činnosti človeka aj v ďalších oblastiach:

- v poľnohospodárstve a lesnom hospodárstve je možné ďalej zvýšiť efektívnosť produkcie a vyváženým hospodárením dosiahnuť plánované ciele produkcie s minimálnym použitím zdrojov a minimalizáciou znečistenia prostredia z nadmerného hnojenia. Pomocou GIS-u a technológie GNSS je možné veľmi presne plánovať činnosti, dávky osív, hnojív alebo ochranných prostriedkov. Tzv. presné hospodárenie (angl. Precision Farming) dostáva poľnohospodárstvo a lesného hospodárstvo na technologicky vyššiu úroveň.,
- v energetike, pri monitorovaní a plánovaní energie vyrobenej z obnoviteľných zdrojov energie (OZE), ktoré významným spôsobom závisia od prírodných podmienok prostredia. Množstvo faktorov, ktoré vplyvajú na potenciál OZE, ako aj nutnosť monitoringu a predikcie výroby

energie na zabezpečenie stabilných dodávok energií spotrebiteľom kladú vysoké nároky na modelovanie faktorov, ktoré vstupujú do tohto hodnotenia.



Obr. 11.3: Webová aplikácia na báze Google Maps poskytujúca informácie o polohe dopravných lietadiel v reálnom čase.

11.2 Nasadenie GIS-u v praxi

Z vyššie uvedených aplikácií GIS-u je zjavné, že GIS je v mnohých organizáciách jedným z kľúčových nástrojov riadenia a zdrojom cenných informácií vplyvajúcich na činnosť organizácie. Pokiaľ ešte v danej organizácii nie je nejaký GIS a je potrebné ho nasadiť, je vhodné si položiť otázku, na aké účely bude používaný. Môžeme povedať, že existujú 4 základné dôvody, pre ktoré je vhodné nasadenie GIS-u:

- redukcia nákladov (zvýšenie efektívnosti práce, lepšie plánovanie a podobne),
- zvýšenie výnosov (expanzia na nové trhy, detailnejšie marketingové analýzy a podobne),
- znižovanie rizika (napr. pri hodnotení environmentálnych rizík),
- zvýšenie kvality podkladov pre rozhodovanie.

Projekt nasadenia GIS-u je v princípe totožný s akýmkoľvek projektom nasadenia informačných technológií. Môžeme ho rozdeliť do 3 fáz: výber systému, implementácia, prevádzka a údržba.

Výber systému

Pri výbere GIS-u analyzujeme potreby organizácie z hľadiska aktuálnych a budúcich činností. Tieto informácie sa získavajú na základe vypracovaných dokumentov, analýz a pracovných stretnutí zodpovedných osôb. Na základe toho dochádza k definícii parametrov a úloh, ktoré má systém plniť. Vylučovacou metódou je možné určiť tie systémy, ktoré vyhovujú požiadavkám. V zúženom výbere aplikujeme analýzu nákladov a prínosov. Náklady tvoria cena hardvéru, softvéru, dát a obslužného personálu, nákladov na údržbu a podobne, prínosy predstavujú znížené náklady, zvýšené výnosy, atď. (t.j. miera naplnenia očakávaní a dôvodov zavedenia GIS-u). Táto časť analýz je najťažšia, pretože vyžaduje komplexné hodnotenie a odhad prínosov. Ak je to možné, odporúča sa realizovať tzv. pilotnú štúdiu, v ktorej sa použije dočasne softvér z užšieho výberu, alebo jemu podobný a v redukovanej podobe sa testuje prevádzka systému. Na základe nej sa spresňujú požiadavky na systém, vytvára sa definitívna podoba systému, ktorý organizácia potrebuje. Táto analýza potrieb vyúsťuje do vyhlásenia súťaže alebo oslovenia uchádzačov o dodávku systému. V prípade takýchto komplexných systémov je vhodné organizovať otvorené stretnutia s možnými dodávateľmi, aby sa mohli prediskutovať technické a ekonomické detaily tak, aby potenciálni dodávatelia mohli predložiť svoje ponuky čo najpresnejšie. Po obdržaní ponúk sa ponuky vyhodnocujú pomocou bodového systému. V prípade potreby sa s najlepšimi dvomi až štyrmi potenciálnymi dodávateľmi urobí stretnutie, kde sa detailne prechádza ich ponuka vrátane schopností dodávateľa splniť ponuku. Vyhodnotenie ponúk je niekedy ťažká úloha, lebo ponuky nie sú vždy úplne porovnateľné (napr. je odlišný spôsob kalkulácie udržiavacích poplatkov, nákupnej ceny softvéru, školení a podobne). Po výbere dodávateľa a systému sa uzavrie kúpna zmluva (prípadne aj ďalšie, napríklad servisná zmluva), po ktorej nastupuje fáza implementácie.

Implementácia

Pri implementácii systému je potrebné mať vypracovaný plán implementácie obsahujúci termíny a stanovenie prorít. Od samotného začiatku implementácie je potrebná úzka súčinnosť s budúcimi používateľmi. Dajú sa tak rýchlo odstrániť prípadné nedostatky a zároveň dosiahnuť akceptáciu nového systému.

Prevádzka a údržba

Náklady sa zavedenie a prevádzku GIS-u sa dajú rozdeliť do 4 skupín: hardvér a softvér, služby, dáta a personálne náklady. Z krátkodobého hľadiska je najvyššou položkou softvér a hardvér, po niekoľkých rokoch sa výrazne zvyšujú personálne náklady. Vo fáze využívania sú významnou položkou náklady na obstaranie dát.

I keď GIS technológia je potenciálne veľmi prospešná, v praxi sa môžeme stretnúť aj s neúspešnými projektami nasadenia GIS-u. Najčastejšie dôvody zlyhania nasadenia GIS-u sú: zlé plánovanie, slabá podpora riadiacimi zložkami organizácie, nedostatok finančných zdrojov, neschopnosť prezentovať prínosy nasadenia a dosiahnuté výsledky.

V prevádzke GIS-u je najdôležitejšia podpora používateľov pri riešení problémov. Systémový administrátor zabezpečuje kompletnú správu systému. Pri veľkých systémoch je možná aj presná del'ba práce medzi viacerých správcov, ktorí tvoria tzv. GIS tím (napr. údržba databázy, vývoj aplikácií, vedúci projektov a podobne). Je bežné, že v prevádzke sa využívajú aj služby externých konzultantov (riešenie technických problémov alebo pri riešení konkrétnych projektov).

GIS a manažment

Efektívne nasadenie GIS-u v organizácii vyžaduje správne pochopenie a realizáciu procesov riadenia. GIS má pre riadenie 2 hlavné významy: pomáha svojimi možnosťami riadiť a realizovať projekty tak, aby boli efektívnejšie a s jasnými výsledkami a na druhej strane každý GIS projekt (úloha) musí byť riadený (od definovania potrieb až po realizáciu výsledkov). Na dosiahnutie úspechu nestačia len vedecké poznatky a technológia, ďalšou významnou podmienkou je personálne zabezpečenie vo forme správneho riadenia organizácie a pracovných tímov manažmentom a schopní pracovníci. GIS predstavuje nástroj, ktorý prináša ovocie len v správnych rukách.

Dostupnosť geografických dát a limity nasadenia GIS-ov v praxi

Situácia s dostupnosťou geografických dát je iná v Európe a iná v USA. V USA sú štátne organizácie United States Geological Survey (USGS) a Bureau of Census (štatistický úrad) zodpovedné za zhromažďovanie a aj bezplatnú distribúciu základných geografických dát. V Európe, výškopisné a demografické dáta sa tiež zhromažďujú národnými agentúrami, ktoré však pracujú na základe iných zákonov a majú iné poslanie. Rozvoj technológie GIS-u bol v USA v počiatkoch živený aj tým, že obidve uvedené organizácie skonvertovali svoje dáta do elektronickej podoby a poskytli ich verejnosti. Výškopis, uličná sieť a demografia sú integrované do databáz, ktoré pokrývajú celý štát od malej po strednú mierku a sú voľne dostupné cez internet len za cenu reprodukcie. To umožňuje experimentovanie a vývoj aplikácií. V Európe podobný vývoj nenastal z viacerých príčin, pričom tri z nich najdôležitejšie sú (Frank et al., 2000):

Nedostatok povedomia

Geografické informácie sa často nepoužívajú, pretože potenciálni používatelia nie sú si vedomí toho, že robia priestorové rozhodnutia, ktoré je možné zlepšiť získaním ďalších informácií. Nie je jasné, aké dáta sú k dispozícii. Napríklad len málo firiem používa široko dostupné priestorovo-demografické dáta zhromaždené národnými štatistickými úradmi (pozri GISMO, GeoMarketing Internet Service pre malé a stredné firmy pomocou OpenGIS, <http://www.gismo.nl/>), kde sú k dispozícii tieto dáta ako aj informácie ako môžu byť použité.

Nedostupnosť

Hlavnou príčinou nedostupnosti dát nie je to, že geografické dáta nie sú pripravované a zhromažďované, ale to, že dáta nie sú priamo k dispozícii. Dôvodom je, že mnohé dáta nie sú dostupné v elektronickej podobe, ich formát nezodpovedá formátu používateľa (nedostatočná štandardizácia), prekážkou je existencia rôznych byrokratických prekážok a cenová politika, ktorá je založená na nákladoch a nie na úžitku, ktoré používateľ môže získať z dát. Ako reakcia na množstvo bariér v používaní geopriestorových dát vznikla na celoeurópskej úrovni iniciatíva INSPIRE, ktorej cieľom bolo podporiť rozvoj infraštruktúry pre šírenie geopriestorových dát najmä prostredníctvom internetu. V roku 2007 Európsky parlament schválil Smernicu č. 2007/2/EC o zriadení infraštruktúry pre priestorové informácie v Európskom spoločenstve (INSPIRE), ktorá sa následným legislatívnym procesom na úrovni členských štátov EÚ dostáva do národnej legislatívy. Okrem legislatívnej podpory sa postupne zvyšuje dostupnosť geopriestorových dát aj rozvojom technologickej infraštruktúry v podobe mapových portálov (geoportálov) a špecifických on-line mapových služieb. Časť dát preto postupne získava lepšiu dostupnosť, nie všetky dáta vytvorené z verejných zdrojov sú však dostupné zadarmo.

Rozdrobenie trhov

Každá krajina má svoje špecifické problémy v rozvoji trhu s technológiou GIS-u. Európa pociťuje aj problém rozdrobenia do malých trhov. Existuje len málo dostupných európskych dátových súborov; postupy, politiky a predpisy pre použitie geografických informácií sú v každej krajine iné a nie je možné vyvinúť riešenia, ktoré by fungovali na väčšom európskom trhu a v analogickom ekonomickom rozmere.

Na Slovensku je situácia podobná ako v Európe, pričom je k dispozícii menej dát v digitálnej forme. Niektoré štátne inštitúcie (napr. Geodetický a kartografický ústav v Bratislave) začali s digitalizáciou existujúcich mapových diel. Dáta sa poskytujú bezplatne len pre študijné účely (t.j. školy, výskumné organizácie a podobne). Okrem toho mnoho iných organizácií začalo s vlastnou tvorbou databázy geografických dát a účelových máp. Na úrovni verejnej správy sa to týka predovšetkým miest. Mnohé sa pustili do tvorby digitálnych technicko-hospodárskych máp, vektorovej katastrálnej mapy, cenovej mapy a podobne. Veľké firmy ako sú elektrorozvodné podniky, Slovenský plynárenský priemysel, a.s., vodárenské spoločnosti a mnohé ďalšie, si vytvárajú vlastné mapové podklady pre prácu s geografickými dátami avšak ich dostupnosť pre verejnosť je nízka. Z toho dôvodu je nevyhnutné zintenzívniť prácu na tvorbe databázy GIS dát na celoštátnej úrovni tak, aby geografické dáta v digitálnej forme boli k dispozícii a viacnásobne využiteľné rôznymi používateľmi. V poskytovaní informácií o dostupnosti dát a aj pri samotnej distribúcii dát má dôležité postavenie internet. Príkladom môže byť poskytovanie dát (napr. o krajínnej pokrývke) prostredníctvom internetu Európskou environmentálnou agentúrou.

11.3 Realizácia GIS projektu

GIS projekt môžeme chápať ako komplexnú geografickú úlohu, ktorú máme vyriešiť s pomocou GIS-u. GIS projekt má zvyčajne 5 fáz:

- definícia cieľov projektu,
- stanovenie potrebných dát, softvéru, hardvéru a realizátorov projektu,
- vytvorenie GIS databázy,
- realizácia analýz, modelovania a iných špecifických GIS operácií,
- vizualizácia a kartografická prezentácia výsledkov.

Definícia cieľov projektu

Definícia cieľov projektu určuje rozsah prác a zdrojov, ktoré je potrebné nasadiť do riešenia projektu. Pri GIS projektoch je často možné rozoznať 2 čiastkové ciele: vytvorenie primárnej databázy (dátových vrstiev) a realizáciu analýz a modelovania, ktorých výstupom je sekundárna databáza. Záleží od cieľov širšie definovaného projektu, ktorého súčasťou je aj GIS projekt, či a v akom rozsahu sa realizuje aj sekundárna časť.

GIS projekt môže byť krátkodobý alebo dlhodobý. Pri krátkodobom nasadení GIS-u sa jedná o konkrétny projekt, v ktorom je potrebné vytvoriť GIS dáta a realizovať špeciálne GIS operácie. Príkladom je realizácia miestneho systému územnej stability (MÚSES) katastrálneho územia obce. Investor alebo realizátor takého projektu si môže GIS-ovskú časť MÚSES-u objednať u špecializovanej firmy a výstupy obdrží vo forme papierových výtlačkov máp, správy a digitálnych dát na pamäťovom médiu (napr. CD ROM). Pri dlhodobom nasadení GIS-u zvyčajne ide o technologické vybavenie organizácie, ktorá bude GIS využívať pri svojich každodenných operáciách. GIS slúži jednak ako podporný prostriedok vo forme podkladových dát a jednak umožňuje operatívne realizovať analýzy, ktoré manažment alebo iné oddelenia organizácie potrebujú pre svoju činnosť. Príkladom je napr. informačný systém o území mesta, alebo GIS prevádzkovateľa inžinierskych sietí (plynovody, vodovody a podobne).

Stanovenie potrieb projektu

Na základe definície cieľov projektu je možné podrobnejšie definovať potrebné dáta, softvér, hardvér a osoby, ktoré budú projekt realizovať. V tejto fáze je vhodné vytvoriť plán realizácie projektu. Základnú osnovu tohto dokumentu by mal vypracovať manažér projektu, ktorý bude riadiť tím ľudí pracujúcich na projekte. Nesie zodpovednosť za výsledok projektu a zároveň kontroluje jednotlivé čiastkové úlohy a fázy projektu, zvoláva pracovné stretnutia, kontrolné dni a podobne.

Vytvorenie GIS databázy

Vytvorenie GIS databázy zahŕňa vytvorenie primárnej databázy obsahujúcej jednotlivé vrstvy dát. Pri vytváraní databázy je potrebné definovať základné charakteristiky ako je napr. súradnicový

system, rozlíšenie, označenie atribútov. Táto časť projektu obsahuje činnosti súvisiace so zberom a prípravou dát (digitalizácia, georeferencovanie a podobne). Príkladom primárnych dát je napr. vektorizovaná dátá vrstva pôdnych druhov, satelitné dáta, ortofotomapa, vektorizované vrstevnice. Treba zdôrazniť, že primárne dáta nie sú tematicky vyhraničené. Dôležitý je aspekt prvotnosti dát, t.j. že sa jedná o dáta, ktoré boli vložené do databázy GIS-u ako prvé a na ich základe sa odvádzajú iné vrstvy dát. Pomocou primárnej vrstvy dát a GIS operácií realizovaných v ďalších fázach projektu (napr. reklasifikáciou) sa vytvárajú ďalšie, odvodené vrstvy dát. V prípade databázovo orientovaných GIS-ov, kde hlavným cieľom je uchovávanie geografických dát, je analytická zložka menej podstatná.

GIS databáza sa zvyčajne nevytvára len na časovo ohraničené obdobie, ale predpokladá sa dlhodobé využívanie dát. Opakované využívanie dát totiž zhodnocuje vynaložené prostriedky na ich prvotnú prípravu. Vo fáze dlhodobého využívania je potrebné venovať pozornosť priebežnej aktualizácii databázy. Menia sa existujúce položky, pridávajú nové, alebo staré zanikajú. Hodnota informačného systému závisí od kvality informácií, ktoré ľuďom poskytuje. Udržiavanie aktuálnosti databázy vyžaduje priebežné investície do jej obsahu a správnu organizáciu práce.

Realizácia analýz, modelovania a iných špecifických GIS operácií

Pomocou GIS operácií sa vytvárajú ďalšie dátové vrstvy, ktoré slúžia pre iné analýzy, alebo pre definitívne výstupy. Napríklad na základe satelitných dát, ortofotomapy a GIS operácií (klasifikáciou) sa vytvára vrstva krajinej pokrývky. Pomocou vrstevníc sa vytvára digitálny model reliéfu zemského povrchu. Ten často slúži na ďalšie analýzy – napríklad ako jeden zo vstupných faktorov pre model vodnej erózie pôdy.

Vizualizácia a kartografická prezentácia výsledkov

Výstupnou fázou projektu je vypracovanie a odovzdanie výstupov (tlačené mapy, dáta, správa). Predstavuje výber podstatných skutočností, ktoré sú výsledkom projektu a zároveň sú dôležité pre prijímateľa výsledkov.

Prepojenie GIS-u na iné informačné technológie

GIS je súčasťou informačných technológií. Je preto prirodzené, že dochádza k interakcii s inými informačnými technológiami. Medzi najdôležitejšie patria internet, mobilné mapovanie a prepojenie na iný softvér.

Internet v počiatkoch GIS-u ovplyvňoval jeho vývoj najmä ako médium na distribúciu softvéru (v prípade voľne šíriteľného softvéru) a komunikáciu medzi používateľmi (diskusné skupiny používateľov GIS-u a webové stránky projektov). So zvyšujúcou sa priepustnosťou internetu sa však zvyšuje aj prezentácia a distribúcia dát pomocou špecifického GIS softvéru určeného pre servery na internete. Príkladom je softvér ArcIMS od firmy ESRI, ktorý umožňuje aj jednoduché GIS analýzy (výber dát, zmena mierky, meranie vzdialeností a podobne). Podobné možnosti

pracovať s GIS dátami priamo cez internet bez toho, aby používatelia museli mať nainštalovaný drahý špecializovaný poskytuje voľne šíriteľný softvér MapServer. Používateľ potrebuje len prístup na internet a prehliadač webových stránok (napríklad Internet Explorer). Inštitúcie spravujúce verejné dáta o území (napr. katastrálne úrady, samospráva) tak môžu občanom poskytovať geografické informácie priamo cez internet.

V prípade mobilného mapovania ide o rozvoj technológie zberu dát pomocou metód a nástrojov GPS. Pôvodne málo používateľsky prívetivé a zrozumiteľné GPS prijímače sa menia na zjednodušené GIS-y v prenosných počítačoch do ruky (tablety, handhelds), takže používateľ môže priamo v teréne skontrolovať priebeh mapovania, prípadne vyhľadať v databáze doplnkové informácie, ktoré potrebuje pri mapovaní.

Ako už bolo spomenuli vyššie, GIS zvyčajne plní jednu z úloh v rámci organizácie alebo konkrétneho projektu. Pri riešení všeobecných úloh sa preto využíva aj iný softvér – napríklad ekonomický alebo štatistický. V takom prípade je potrebné prepojenie GIS-u s iným softvérom. Miera prepojenia môže byť rozličná a v značnej miere závisí od softvérového riešenia aplikácií. Zvyčajne sa vyžaduje možnosť výmeny dát formou exportu a importu dát s rôznymi databázami, CAD softvérom, vizualizačným a štatistickým softvérom. Miera otvorenosti softvéru je významným ukazovateľom flexibility a použiteľnosti GIS-u pri riešení rozmanitých úloh. Proprietárne systémy sú zvyčajne menej otvorené, kdežto voľne šíriteľný GIS softvér sprístupňuje používateľovi svoj zdrojový kód a umožňuje ho meniť podľa jeho potrieb (príkladom je GRASS GIS).

12. Záver

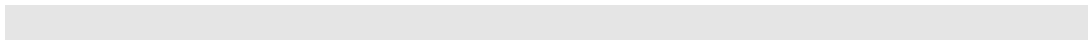
Geopriestorové technológie sa stali neoddeliteľnou súčasťou bežného života spoločnosti. Často aj bez toho, aby sme si to uvedomili, používame technológie ako GPS, laserové skenery, či digitálne mapy na internete. Úlohou geoinformatikov a geografov je ešte viac priblížiť tieto technológie a geografické poznatky potrebám praxe.

Geoinformatika neustále zažíva prudký vývoj, ktorý je ovplyvňovaný najmä pokrokom v oblasti hardvéru, softvéru, technológie zberu dát a jej príbuzných odborov. Najvýznamnejšie zmeny v poslednom desaťročí boli sústredené do niekoľkých kľúčových oblastí (zber dát, použitie sieťových a mobilných technológií). Predpokladáme, že v najbližšom období dôjde k ich ďalšiemu rozvoju. Ten bude ďalej ovplyvnený najmä technologickými zmenami a vývojom v príbuzných disciplínach. Tieto aktuálne trendy vo vývoji GIS-ov môžeme zhrnúť do nasledovných okruhov:

- Prehĺbenie významu sieťovej infraštruktúry. Dáta a softvér sa nachádzajú na sieťových uzloch a používateľ ich využíva bez toho, aby na nich explicitne pristupoval. Cloudové riešenia pre GIS umožnia vysokú škálovateľnosť riešení. Dominujú mobilné aplikácie, ktoré sú pre bežného používateľa nosné (mobilné telefóny, tablety a pod.).
- Väčšia dostupnosť geografických dát prostredníctvom sieťovej infraštruktúry. Sieťové služby ako WMS, WCS, WFS sa stanú prirodzenou súčasťou práce s GIS-om. Pomôže tomu aj rozvoj dátových geoportálov.
- Expanzia mobilného zberu dát pomocou mikrokamier a skenerov, pozemných a aj leteckých a prepojenie týchto dát s existujúcimi, voľne dostupnými dátami.
- Špecializácia GIS softvéru a zároveň snaha o väčšiu škálovateľnosť riešení. Vývoj nových technológií mapovania, ktoré vytvárajú veľké množstvo priestorových dát (napr. LiDAR) stimuluje tvorbu osobitých nástrojov na ich spracovanie a metodologické zdokonalenie GIS-ov. V minulosti bol zber dát o krajine veľmi finančne a časovo náročný proces. V súčasnosti nové technológie zberu dát a mapovania poskytujú veľké množstvo dát, často 3-dimenzionálnych, meraných v určitých časových intervaloch a pokrývajúcich s vysokou hustotou skúmané územie. GIS-y, ktoré v súčasnosti používame, nepočítali s takou „záplavou“ dát a preto dôjde k zdokonaleniu existujúcich nástrojov, alebo k vytvoreniu nových, ktoré budú obsahovať metódy spracovania multidimenzionálnych a multitemporálnych geografických dát.
- Flexibilné prepojenie GIS-ov s iným softvérom tak, aby došlo k optimalizácii využitia softvéru pri riešení úloh. Výrobcovia GIS softvéru pochopili, že sa musia snažiť o otvorenosť svojich systémov tak, aby používateľ nebol obmedzovaný v používaní rôzneho softvéru a dát. Na tento účel vznikla aj záujmová organizácia Open GIS Consortium zameraná na štandardizáciu, prepojenie a otvorenosť GIS-ov. Vývoj smeruje k maximálnemu uľahčeniu integrácie GIS-u, alebo jeho komponentov a funkcií do iných systémov.
- Integrácia a spracovanie dát z monitoringu životného prostredia vo väzbe na modelovanie procesov v reálnom čase. V súvislosti s zmenami životného prostredia a dopadov na ľudskú spoločnosť sa zvýši intenzita monitorovania jeho stavu a potreba rýchlej predikcie ďalšieho

vývoja. Dáta snímané v krátkych časových intervaloch budú okamžite spracovávané modelmi v „reálnom“ čase a poskytnú aktuálne predpovede o ďalšom vývoji. To má veľký význam najmä pri systéme včasného varovania a prijatia ochranných opatrení pri mimoriadnych situáciách. Podobné aplikácie je možné očakávať aj v humánno-ekonomickej oblasti (napr. riadenie dopravy).

- Ďalšie zjednodušenie ovládania a komunikácie medzi GIS-om a používateľom tak, aby jeho použitie nebolo obmedzené len na špecializovaných odborníkov. Zároveň dôjde k ďalšiemu stieraniu rozdielov medzi GIS-om, softvérom DPZ a CAD-om.



13. Zoznam použitej literatúry

- Baltsavias, E. P., 1999, Airborne laser scanning: basic relations and formulas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, 199–214.
- Beaulieu, D., 1995, Geomatics in Canada. *Geomatica*, 49, 124–128.
- Bitterer, L., 2005, *Základy fotogrametrie*. Katedra geodézie, Stavebná fakulta, Žilinská univerzita, 3. vydanie. Dostupné na: <http://svf.uniza.sk/kgd/>
- Boltižiar, M., 2007, *Štruktúra vysokohorskej krajiny Tatier - veľkomierkové mapovanie, analýza a hodnotenie zmien aplikáciou údajov diaľkového prieskumu Zeme*. Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre.
- Boltižiar M., Brúna, V., Křováková, K., 2008, Potential of antique maps and aerial photographs for landscape changes assessment - an example of High Tatras. *Ekológia (Bratislava)*, 27, 65–81.
- Campbell, J. B., Wynne, R. H., 2011, *Introduction to Remote Sensing*. The Guilford Press.
- Canadian Centre for Remote Sensing, 2012, *Fundamentals of Remote Sensing*. URL: <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geography-boundary/remote-sensing/fundamentals/1430>.
- Cebecauer, 2001, *Spracovanie areálových dát v prostredí geografického informačného systému*. Dizertačná práca PhD., Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského Bratislava.
- Cebecauer, 2002, Metódy transformácie farieb pri počítačovej tvorbe tieňovaných vizualizácií priestorových dát. *Aktivita v kartografii*. Zborník referátov.
- Čerba, O., 2009, Google Earth a tematické mapy. *Kartografické listy*, 17, 31–40.
- Čerňanský, J., Kožuch, M., Stanková H., 2013, *Základy fotogrametrie*. Univerzita Komenského, Bratislava.
- Demek, J., 1987, *Úvod do štúdia teoretickej geografie*. Slovenské pedagogické nakladateľstvo Bratislava.
- Douglas, D., Peucker, T., 1973, Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. *The Canadian Cartographer*, 10, 112–122.
- Feranec, J., 1999, Je geoinformatika vedecká disciplína? *Geografický časopis*, 51, 289–296.
- Feranec, J., Barka, I., Beták, J., Bucha, T., Cebecauer, T., Igondová, M., Hefty, J., Herda, P., Hlaváč, T., Husárik, M., Janák, J., Kaňák, J., Kudela, K., Mišková, J., Nováček, M., Nováková, M., Sviček, M., Svoreň, J., Šúri, M., Takáč, J., 2013, *Meniace sa Slovensko očami satelitov*. VEDA, Bratislava.
- Feranec, J., O'raheľ, P., Pravda, J., 1996, *Krajinná pokrývka Slovenska. Identifikovaná metódou Corine Land Cover*. Geographia Slovaca, Bratislava.
- Fotheringham, A. S., Wilson, J. P., 2008, *Geographic information science: an introduction*. In Wilson, J. P., Fotheringham, A. S., eds. *The handbook of geographic information science*. Malden-Oxford-Carlton (Blackwell Publishing), 1–8.
- Frank, A.U., Raubal, M., van der Vlugt, M., 2000, *Panel GI kompendium*. Príručka pre geoinformácie a GIS. INCO–COPERNICUS project no. 977136, s. 141. <http://www.gisig.it>
- Gallay, M., 2013, Section 2.1.4: *Direct Acquisition of Data: Airborne laser scanning*. In: Clarke, L.E., Nield, J.M. (Eds.) *Geomorphological Techniques (Online Edition)*. British Society for Geomorphology; London, UK. Dostupné na: http://www.geomorphology.org.uk/onsite_publications
- Gallay, M., Kaňuk, J., Petrvalská, A., Hochmuth, Z., 2013b, Využitie údajov leteckého laserového skenovania vo výskume krasovej krajiny na príklade východnej časti Slovenského krasu. *Slovenský kras : Acta Carsologica Slovaca*, 51, 99–108.

- Gallay, M., Lloyd, C. McKinley, J., Barry, L., 2013a, Assessing modern ground survey methods and airborne laser scanning for digital terrain modelling: A case study from the Lake District, England. *Computers & Geosciences*, 51, 216-227.
- Goodchild, M. F., 1992, Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Systems*, 6, 31-45.
- Goodchild, M. F., 2008, *Geographic information science: the grand challenges*. In: Wilson, J. P., Fotheringham, A. S. (eds). *The handbook of geographic information science*. Malden-Oxford-Carlton (Blackwell), pp. 596-608.
- Goodchild, M. F., 2010, Twenty years of progress: GIScience in 2010. *Journal of Spatial Information Science*, 1, 3-20.
- Hengl, T., 2006, Finding the right pixel size. *Computers and Geosciences*, 32, 1283-1298.
- Hengl, T., Reuter, H.I. (eds), 2008, *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Developments in Soil Science, vol. 33, Elsevier.
- Hlásny, T., 2007, *Geografické informačné systémy - priestorové analýzy*. Zephyros a Národné lesnícke centrum, Zvolen.
- Hofierka, J., 1993, Geometrická analýza povrchov (2D) a objemov (3D) ako nástroj pre skúmanie dynamických javov prírodnej krajiny v rámci 3D geoinformačných systémov. *Kartografické listy*, 1, 107-112.
- Hofierka, J., 1997, *Modelovanie prírodných javov v prostredí geografického informačného systému*. Dizertačná práca PhD., Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského Bratislava.
- Hofierka, J., 2003, *Geografické informačné systémy a diaľkový prieskum Zeme*. Vysokoškolské učebné texty. Fakulta humanitných a prírodných vied Prešovskej univerzity, Prešov.
- Hofierka, J., 2010, Geopriestorové a kartografické technológie v regionálnom rozvoji. In: Michaeli, E., Matlovič, R., Ištók, R. (eds.): *Regionálny rozvoj a regionálne politika pre geografov*. Vysokoškolská učebnica. Prešovská univerzita v Prešove, Prešov, 225-292.
- Hofierka, J., 2011, Nové možnosti komunikácie geografickej informácie pomocou geopriestorovej internetovej technológie Google Maps a Google Earth. *Acta Facultatis Studiorum Humanitatis et Naturae Universitatis Prešovensis. Prírodné vedy, Folia Geographica* 17, 100-108.
- Hofierka, J., 2012a, Geoinformatika ako interdisciplinárna vedná oblasť a jej vzťah ku geografii. *Geografický časopis*, 63, 345-355.
- Hofierka, J., 2012b, Geopriestorové internetové technológie na komunikáciu geografickej informácie. *Kartografické listy*, 20, 18-27.
- Hofierka, J., Kaňuk, J., 2010, Aplikácie 3D modelov miest v geografickom výskume. *Geographia Cassoviensis* IV, 1/2010, 69-72.
- Hofierka, J., Mičaník, R., 2011, Využitie open-source technológií pri vývoji a aplikácii webových GIS riešení na príklade systému Gisplan. *Zborník príspevkov medzinárodnej konferencie OSSConf 2011 - Otvorený softvér vo vzdelávaní, výskume a v IT riešeníach*, 6.7.-9.7.2011, Žilina, 143-150.
- Hofierka J., Parajka J., Mitasova H., Mitas L., 2002, Multivariate Interpolation of Precipitation Using Regularized Spline with Tension. *Transactions in GIS*, 6, 135-150.
- Hofierka, J., Repáň, P., 1997, Informačný systém územia Bardejova. *Slovenský geodet a kartograf*, 2/97, 12-16.
- Hofierka, J., Šúri, M., Cebecauer, T., 1998, Rastrové digitálne modely reliéfu a ich aplikačné možnosti. *Acta Facultatis Studiorum Humanitatis et Naturae Universitatis Prešovensis. Prírodné vedy, Folia Geographica* 2, 208-217.
- Hofierka, J., Zlocha, M., 1993, Application of Surface and Volume Geometry Analysis in Geosciences. *Geologica Carpathica*, 44, 94-94.

- Jakubík, J., 2006, Využitie kartografických metód pre potreby spracovania koncepcií regionálneho rozvoja. *Geografická revue*, 2, č.2, s. 670-689.
- Jakubík, J., 2008, *Vývoj vojenskej kartografie na území Slovenskej republiky*. Doktorandská dizertačná práca, Prešovská univerzita v Prešove.
- Jensen, J. R., 2007, *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. Prentice Hall.
- Kianička, J., Čapková, I., 2005, *Využitie SAR interferometrie pre vytváranie DEM a detekciu deformácií v Severočeskej hneďouholnej panve*. In Růžička, J. (Ed.) Sborník mezinárodního sympózia GIS Ostrava Interoperabilitou k mobilitě, 23. – 26. januára 2005, VŠB-TU v Ostrave. Dostupné online: http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2005/Sbornik/cz/Referaty/default.htm.
- Kemp, K. K., 2008, *Encyclopedia of geographic information science*. Thousand Oaks (SAGE Publications).
- Krcho, J., 1990, *Morfometrická analýza a digitálne modely georeliéfu*. Bratislava, Veda
- Lacko, L., 2008, *Ajax. Hotová řešení*. Computer Press, a.s., Brno.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipman, J. W., 2008, *Remote Sensing and Image Interpretation*. Wiley & sons.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., Rhind, D. W., 1999, *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*. John Wiley & Sons
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., Rhind, D. W., 2011, *Geographic Information Systems and Science*. John Wiley & Sons.
- Mark, D. M., 2000, Geographic information science: critical issues in an emerging cross-disciplinary research domain. *Journal of the Urban and Regional Information Systems Association*, 12, 45-54.
- Mark, D. M., 2003, *Geographic information science: defining the field*. In: Duckham, M., Goodchild, M. F., Worboys, M., (eds.): Foundations of geographic information science. New York (Taylor and Frances), 3-18.
- Mičian, L., 1995, Problémy metageografie a metakartografie vo svetle východo a stredoeurópskej literatúry. *Geografický časopis*, 47, 63-73.
- Mičian, L., Zatkalík, F., 1986, *Náuka o krajine a starostlivosť o životné prostredie*. Vysokoškolské skriptá. Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského Bratislava.
- Mičietová, E., Petříček, G., 2012, Nástroje na podporu mobilnej interaktívnej geografickej komunikácie. *Geografický časopis*, 64, 237-252.
- Mitas L., Brown W. M., Mitasova H., 1997, Role of dynamic cartography in simulations of landscape processes based on multi-variate fields. *Computers and Geosciences* 23, 437-446.
- Mitas, L., Mitasova, H., 1998, Distributed erosion modeling for effective erosion prevention. *Water Res. Res.*, 34, 505-516.
- Mitas L, H. Mitasova, 1999, *Spatial Interpolation*. In: P.Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, D.W.Rhind (Eds.), *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, Wiley, 481-492.
- Mitas, L., Mitasova, H., 2000, *Unit 130 - Process Modeling and Simulations*. NCGIA Core Curriculum in Geographic Information Science, <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc>
- Mitášová, H., Brown, W., Hofierka, J., 1994, Multidimensional dynamic cartography. *Kartografické listy* 2, 37-50.
- Mitášová, H., Hofierka, J., 1993, Interpolation by Regularized Spline with Tension: II. Application to Terrain Modeling and Surface Geometry Analysis. *Mathematical Geology* 25, 657-671.
- Mitášová, H., Hofierka, J., 2003, Impact of new mapping technologies on the communication of geospatial information. *Kartografické listy* 11, 53-61.

- Mitasova, H., Overton, M., Recalde, J.J., Bernstein, D., Freeman C., 2009, Raster-based analysis of coastal terrain dynamics from multitemporal lidar data. *Journal of Coastal Research*, 25, 507-514.
- Moore I. D., Grayson, R. B., Ladson, A. R., 1991, Digital Terrain Modelling: a Review of Hydrological, Geomorphological and Biological Applications. *Hydrological Processes* 11, 47-54.
- Neteler, M., Mitasova, H., 2004, *Open Source GIS: A GRASS GIS Approach*, Kluwer Academic Publishers, Boston
- Pasák, V., Janeček, M., Šabata, M., 1983, *Ochrana zemědělské půdy před erozí. Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do zemědělské praxe*, 11. Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství Praha.
- Pavličko, P., 2007, *Integrácia, distribuované využitie a vizualizácia geografických informácií v prostredí Internetu*. Doktorandská dizertačná práca. Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, Bratislava.
- Pisca, P., 2005, *Globálne navigačné systémy*. Vysokoškolské skriptá. Stavebná fakulta Žilinskej univerzity, Žilina. Dostupné online: <http://svf.utc.sk/kgd/>
- Pravda, J., Feranec, J., 1998, Geografická kartografia, geoinformatika a diaľkový prieskum Zeme. *Acta Facultatis Humanitas et Nature Universitatis Prešovensis, Folia Geographica*, 2, 171-177.
- Pravda, J., Kusendová, D., 2004, *Počítačová tvorba tematických máp*. Vysokoškolské učebné texty. Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského Bratislava.
- Robinson, A. H. et al., 1995, *Elements of Cartography*. Wiley & sons.
- Shan, J., Toth, C.K., 2009, *Topographic laser ranging and scanning: Principles and processing*. CRC Press.
- Svobodová, K., Hlaváčová, I., Halounová, L., 2013, *Interferometric determination of subsidences in Prague city (preliminary results)*. In Symposium GIS Ostrava 2013: Geoinformatics for City Transformations. 2013.
- Šúri, M., 1998, *Mapovanie a modelovanie vodnej erózie pôdy s využitím dát diaľkového prieskumu Zeme v prostredí geografických informačných systémov*. Kandidátska dizertačná práca, Geografický ústav SAV Bratislava.
- Šúri M., Cebecauer T., Hofierka J., Fulajtár E., 2002, Soil erosion assessment of Slovakia at a regional scale using GIS. *Ekológia (Bratislava)*, 404-422.
- Šúri, M., Hofierka, J., 2004, A New GIS-based Solar Radiation Model and Its Application to Photovoltaic Assessments. *Transactions in GIS*, 8, 175-190.
- Tobler W., 1970, A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 46, 234-240.
- Tuček, J., 1998, *Geografické informační systémy. Principy a praxe*. Computer Press.
- Vajsáblová, M., 2014, *Aspekty tvorby kartografického zobrazenia pre územie Slovenska*. Habilitačná práca. Stavebná fakulta Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.
- Vajsáblová, M., Bacigál, T., Droppová, V., 2013, *Matematická kartografia*. Nakladateľstvo STU Bratislava.
- Vojtek, M., Boltížiar, M., 2011, Manažment povodňových rizík so zreteľom na legislatívny rámec a význam povodňových máp. *Geographia Casoviensis*, 5, 125-128.
- Vojtek, M., Oláhová, J., Boltížiar, M., 2013, *Vertical Accuracy Assessment of Digital Terrain Models Derived from Topographic Maps*. In: Scientia iuvenis: Book of Scientific Papers. Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre. 289-296.
- Vosselman, G., Maas, H.-G., 2010, *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*. Whittles Publishing.
- Voženílek, V., Kaňok, J., 2011, *Metody tematické kartografie vizualizace prostorových jevů*. Univerzita Palackého v Olomouci.

Wilson, J. P., Fotheringham, A. S., 2008, *The Handbook of Geographic Information Science*. Blackwell Publishing.

Wright, D. J., Goodchild, M. F., Proctor, J. D., 1997, Demystifying the persistent ambiguity of GIS as “tool“ versus “science“. *Annals of the Association of American Geographers*, 87, 346-362.

Železný, M., 2012, *Dálkový průzkum Zeme*. Západočeská univerzita v Plzni, Katedra kybernetiky. URL: <http://www.kky.zcu.cz/cs/courses/dpz>.

Žihlavník, Š., Scheer, E., 2001, *Dial'kový prieskum Zeme v lesníctve*. TU Zvolen, VŠ učebnica.

14. Slovník použitých termínov a skratiek

2D/3D/4D	- dvojrozmerný/trojrozmerný/štvorrozmerný
analogový	- spojitý, opak digitálneho
angl.	- výraz v angličtine
API	- angl. application programming interface, rozhranie aplikačných programov
CAD	- angl. computer-aided design, navrhovanie/projektovanie pomocou počítača
CAM	- angl. computer-aided mapping, mapovanie pomocou počítača
CD ROM	- angl. compact disc read-only memory, kompaktný optický dátový nosič, určený len na čítanie dát
databáza	- súbor dát uložených v pamäti počítača (báza dát)
DBMS	- database management system, systém riadenia databázy
D-GPS	- angl. differential GPS, diferenciálny GPS
digitálny	- číslcový, diskretný
DMR	- digitálny model reliéfu
dpi	- angl. dots per inch, počet bodov na palec (2,54 cm)
DPZ	- diaľkový prieskum Zeme
EGNOS	- angl. European Geostationary Navigation Overlay Service, európska sieť geostacionárnych satelitov a služba spresňujúca navigáciu pomocou GNSS
EMG	- elektromagnetické (žiarenie)
ESRI	- Environmental Systems Research Institute Inc.
ETRS89	- angl. European Terrestrial Reference System 1989, karteziánsky súradnicový systém fixovaný na euroázijskú kontinentálnu dosku
EVRS2000	- angl. European Vertical Reference System 2000, spoločný európsky výškový systém definovaný hladinou mora v Amsterdame
Galileo	- Európsky globálny polohový systém
GIS	- geografický informačný systém
GLONASS	- rus. <u>G</u> lobalnaja <u>N</u> avigacionnaja <u>S</u> putnikovaja <u>S</u> istema
GNSS	- globálny navigačný satelitný systém
GPS	- angl. Global Positioning System, globálny polohový systém (družicový navigačný systém)
grafická knižnica	- štandardizovaný program obsahujúci inštrukcie na efektívne spracovanie grafiky
GRASS GIS	- angl. Geographic Analysis Support System GIS, GIS na podporu geografických analýz, slobodný GIS softvér
GSM	- Global System for Mobile Communications
IT	- informačné technológie
LAN	- angl. local area network, lokálna počítačová sieť
LiDAR	- angl. Light Detection and Ranging, aktívna metóda DPZ založená na detekcii objektov a vzdialenosti k nim pomocou laserového svetla
NAVSTAR	- angl. NAVigation System Time and Ranging, pôvodný názov systému GPS

NDVI	- angl. Normalized Difference Vegetation Index, index normalizovaných rozdielov odrazivosti vegetácie v infračervenom a červenom spektrálnom pásme
ODBC	- angl. Open DataBase Connectivity, softvérové rozhranie, ktoré umožňuje GIS-u pracovať s dátami z rôznych databáz
PDA	- angl. personal digital assistant, prenosný počítač do ruky
PVGIS	- Photovoltaic GIS, aplikácia na odhad fotovoltického potenciálu lokality
QGIS	- Quantum GIS, slobodný GIS softvér
RADAR	- angl. RADio Detection and Ranging, detekcia mikrovlnného žiarenia a vzdialenosti
RMSE	- angl. root square mean error, štatistický ukazovateľ strednej chyby merania
RST	- interpolačná metóda regularizovaný splajn s tenziou
RTK	- angl. Real Time Kinematic, metóda určovania polohy pomocou GNSS, pri ktorej sa korekcie polohy vysielajú k pohyblivému prijímaču a jeho poloha sa koriguje v reálnom čase
SAGA	- System for Automated Geoscientific Analyses, slobodný GIS softvér
S-42	- súradnicový systém z roku 1942 použitý vo vojenskom mapovaní územia Slovenska
SIMWE	- SIMulation of Water Erosion, model vodnej erózie pôdy
S-JTSK	- súradnicový systém jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej použitý v civilnom mapovaní územia Slovenska
SKPOS	- Slovenská priestorová observačná služba
SQL	- angl. structured/standard query language, dopytovací databázový jazyk
THM	- technicko-hospodárska mapa
TIN	- angl. triangulated irregular network, nepravidelná trojuholníková sieť
TM	- angl. Transverse Mercator, Mercatorovo zobrazenie v priečnej polohe
USLE	- angl. Universal Soil Loss Equation, model vodnej erózie pôdy
UTM	- angl. Universal Transverse Mercator, Mercatorovo zobrazenie
VKM	- vektorová katastrálna mapa
VRML	- angl. Virtual Reality Modeling Language, počítačový jazyk umožňujúci popis a interaktívne zobrazenie objektov
WGS84	- angl. World Geodetic System of 1984, geodetický systém

Zoznam obrázkov

<i>Obr. 1.1: Základné súčasti geografického informačného systému.</i>	8
<i>Obr. 1.2: Geoinformatika ako interakcia viacerých vedných disciplín.</i>	9
<i>Obr. 1.3: Geoinformatika ako samostatná vedná oblasť.</i>	11
<i>Obr. 1.4: Príklad samostatnej architektúry GIS-u.</i>	17
<i>Obr. 1.5: Používateľské rozhranie slobodného softvéru s otvoreným kódom GRASS GIS.</i>	18
<i>Obr. 2.1: Znáznorenie bodu, línie a plochy v rastrovom dátovom modeli.</i>	21
<i>Obr. 2.2: Použitie pravidla (b) väčšinového podielu a (c) centrálného bodu. (Prezvané z práce Longley et al., 2011)</i>	21
<i>Obr. 2.3: Zápis matice hodnôt rastra zobrazovaného na Obr. 2.1 vo formáte ASCII grid.</i>	22
<i>Obr. 2.4: Znáznorenie bodu, línie a plochy vo vektorovom dátovom modeli.</i>	23
<i>Obr. 2.5: Topologické väzby pri vektorovom dátovom modeli.</i>	24
<i>Obr. 3.1: Schéma priebehu zobrazovania objektov na zemskom povrchu do mapy (na príklade Křovákovho zobrazenia so súradnicovým systémom S-JTSK).</i>	26
<i>Obr. 3.2: Výška geoidu EGM 2008 nad referenčným elipsoidom WGS 84 vyjadrená v metroch (interval izolínií 10 m).</i>	27
<i>Obr. 3.3: Schéma rotačného elipsoidu.</i>	28
<i>Obr. 3.4: Porovnanie transformácie (a) pôvodného rastru pomocou (b) metódy najbližšieho suseda, (c) bilinéárnou interpoláciou a (d) kubickou konvolúciou.</i>	36
<i>Obr. 4.1: Totálna stanica TPS 1200+ od firmy Leica Geosystems.</i>	39
<i>Obr. 4.2: Princíp trilaterácie - na základe známych vzdialeností (R1, R2, R3) k trom bodom (družiciam) je teoreticky možné určiť súradnice neznámeho bodu v 3D priestore.</i>	40
<i>Obr. 4.3: Vplyv priestorového rozmiestnenia GNSS satelitov na zhoršenie presnosti určenia polohy (PDOP) v 2D priestore (v rovine). Pri r satelitov (a) je hodnota PDOP nižšia (presnosť merania je vyššia) ako v prípade (b).</i>	41
<i>Obr. 4.4: Rôzne typy GNSS prijímačov: ručné PDA GIS prijímače od Trimble (a) Juno SB s menej presnou a (b) GeoXT s presnejšou anténou, (c) zostava dvoch presných geodetických GNSS prijímačov TOPCON Hyper II pre diferenciálne určovanie polohy.</i>	43
<i>Obr. 4.5: Rozmiestnenie referenčných staníc SKPOS pre diferenciálne GNSS určovanie polohy. Zdroj: http://www.skpos.gku.sk/</i>	44
<i>Obr. 4.6: Ukážka webového rozhrania EarthExplorer pre výber a sťahovanie dátových produktov DPZ. Portál spravuje geologická služba Spojených štátov (USGS).</i>	46
<i>Obr. 4.7: Dáta DPZ načítané prostredníctvom WMS vrstvy v prostredí GIS-u.</i>	47
<i>Obr. 4.8: Vrstevnicová mapa digitalizovaná skenovaním do rastrového dátového formátu a následne vektorizovaná v podobe línií s atribútmi o nadmorskej výške, z ktorých bol odvodený digitálny model reliéfu.</i>	48
<i>Obr. 4.9: Základná mapa v mierke 1 : 10 000. Zdroj: GKÚ</i>	51
<i>Obr. 4.10: Vojenská topografická mapa v mierke 1 : 25 000. Zdroj: GKÚ</i>	51
<i>Obr. 4.11: Vektorová katastrálna mapa s podkladom v podobe ortofotosnímkov.</i>	52
<i>Obr. 4.12: Digitálna technicko-hospodárska mapa.</i>	53
<i>Obr. 4.13: Spojitá vektorová mapa SVM 50 dostupná cez webové rozhranie.</i>	54

<i>Obr. 4.14: Geoportál Úradu geodézie, kartografie a katastra SR.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 4.15: Mapový klient ZBGIS.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 4.16: Webové mapy spoločnosti Atlas.sk, a.s.</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 4.17: Ortofotostánka časti Bratislavy (Lafranconi) na mapovom serveri spoločnosti Google.</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 4.18: Webový portál prezentujúci ortofotomozaiku zachytávajúcu súčasný a minulý obraz krajiny Slovenska k roku 1950 na príklade časti Košíc.</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 4.19: Webové mapové služby umožňujú vzdialený prístup ku geopriestorovým databázam. Ukážka načítania Základnej mapy 1:10 000 ako WMS vrstvy geodatabázy ZBGIS v prostredí QGIS.</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 5.1 Relačná databázová tabuľka v ArcGIS-e. Vyselektované sú Košické mestské okresy.</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 5.2: Atribútový výber pomocou SQL príkazu v ArcGIS-e.....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 5.3: (a) databázový systém ako súčasť GIS-u, (b) externé použitie databázového systému.</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 6.1: Možnosti označenia rastrových buniek pri konverzii vektorovej línie do rastra.</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 6.2: Vyhľadovanie priebehu línie po konverzii z rastra.</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 6.3: Základné typy prekryvania vektorových dát.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 6.4: Ukážka lokálnej operácie mapovej algebry pre identifikáciu krajinnej pokrývky na strmých svahoch. Zdroj dát: North Carolina GRASS GIS sample dataset.</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 6.5: Aplikácia fokálnej operácie zhladenia DMR váženým priemerom v pohyblivom okne 3x3 na príklade bunky v 3. riadku zdola a 3. stĺpci zľava.</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 6.6: Operácia vkladania rastrových vrstiev (spracované podľa práce Neteler a Mitasova, 2004).....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 6.7: Množstvo globálneho slnečného žiarenia dopadajúceho na georeliéf Slovenska modelované pomocou modelu r.sun.....</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 6.8: Odhad skutočnej vodnej erózie pôdy na základe modelu USLE (Šuri et al., 2002).</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 6.9: Simulácia vodnej erózie pôdy pomocou modelu SIMWE a) povrchový tok vody, b) intenzita erózo-akumulačných procesov.</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 7.1: Zobrazenie (a) bodového poľa meraní nadmorských výšok reliéfu a z neho odvodené DMR reprezentované formou (b) rastra a (c) nepravidelnej trojuholníkovej siete.....</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 7.2: Delaunayova triangulácia a Voronoiove polygóny.....</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 7.3: Porovnanie výsledku použitia rôznych interpolačných metód pre odvodenie digitálneho modelu reliéfu (a) vstupné bodové pole nadmorských výšok, (b) Voronoiove polygóny, (c) inverzne vážená vzdialenosť, (d) regularizovaný splajn s tenziou.....</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 7.4: Interpolácia dlhodobého priemeru ročného úhrnu zrážok na území Slovenska pomocou (a) 2D RST, (b) 3D RST s vplyvom georeliéfu. Georeliéf je vo forme DMR s rozlíšením 500 m (c).</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 7.5: Vplyv geometrických foriem georeliéfu na tok látok: (a) konkáv-konkávna forma, (b) konvex-konkávna forma, (c) konkáv-konvexná forma, (d)konvex-konvexná forma. (Prevzaté z práce Mitášová a Hofierka, 1993).</i>	<i>94</i>
<i>Obr. 7.6: Morfometrické parametre georeliéfu a) sklon, b) orientácia voči svetovým stranám, c) normálová krivosť v smere spádovej krivky, d) normálová krivosť v smere dotyčnice k vrstevnici... 95</i>	<i>95</i>
<i>Obr. 7.7: Okolie 3x3 pri výpočte parciálnych derivácii na rasti.</i>	<i>96</i>
<i>Obr. 7.8: Spádové krivky a prispievajúce plochy na rastrovom DMR (spracované príkazom r.flow v GIS-e GRASS).</i>	<i>97</i>

<i>Obr. 7.9: Geometrická analýza 3D gridu: a) interpolované hodnoty; b) izopovrch veľkosti gradientu 1,5; c) izopovrch prispievajúceho objemu ($5\text{m}^3/\text{m}^2$).</i>	100
<i>Obr. 8.1: Spektrum elektromagnetického žiarenia.</i>	102
<i>Obr. 8.2: Relatívna spektrálna odrazivosť troch rôznych typov povrchu a spektrálny rozsah pásiem (1-5, 7) multispektrálneho skenera ETM+ na družici Landsat 7.</i>	103
<i>Obr. 8.3: Výrez snímky zaznamenávajúcej odrazivosť v červenej (a) a v infračervenej časti spektra (b) získanej družicou LANDSAT 7 senzorom ETM+ pre oblasť Užhorodu (12 x 12km) na slovensko-ukrajinskom pohraničí dňa 15. mája 2008. Zdroj dát: NASA/USGS.</i>	104
<i>Obr. 8.4: Pohlcovanie slnečného žiarenia zemskou atmosférou vo viditeľnej a infračervenej časti spektra. Zdroj: Neteler a Mitasova (2004).</i>	105
<i>Obr. 8.5: Vizualizácia záznamu v štyroch spektrálnych kanáloch multispektrálneho skenera ETM+ na družici LANDSAT 7 a odvodené RGB farebné syntézy pre oblasť Užhorodu (12 x 12km) na slovensko-ukrajinskom pohraničí dňa 15. mája 2008. Zdroj dát: NASA/USGS.</i>	106
<i>Obr. 8.6: Porovnanie záznamov DPZ v rôznom rozlíšení definovanom pre satelitný a letecký fotogrametrický záznam veľkosťou pixla (a,b) a pre mračno bodov z leteckého laserového skenovania hustotou bodov (c,d). Bodové pole (c, d) je klasifikované na body na teréne (hnedá) a mimo terénu (zelená), každý bod je meraním nadmorskej výšky. Oblasť v okolí vstupu do jaskyne Domica na Slovensku (600 x 600 m) zachytená na jar v roku 2014. Zdroj: Ústav geografie PF UPJŠ v Košiciach</i>	107
<i>Obr. 8.7: Vizualizácia záznamu 224 spektrálnych pásiem (tzv. dátová kocka) získaného leteckým hyperspektrálnym snímačom AVRIS v rozsahu 400 – 2500 nm z výšky 20 km na oblasťou Moffett Field v Kalifornii (8x9 km). Zdroj: NASA.</i>	108
<i>Obr. 8.8: Ukážka zaostrenia satelitnej snímky pomocou počítačovej operácie „pan-sharpening“ pre juhozápadnú časť Košíc s obchodnou zónou (2 x 2 km) zachytenú multispektrálnym skenerom OLI na družici LANDSAT 8 dňa 28. marca 2014. Vysvetlivky sú uvedené v texte. Zdroj dát: NASA/USGS</i>	109
<i>Obr. 8.9: Porovnanie priestorového a spektrálneho rozlíšenia vybraných satelitných systémov DPZ. Upravené podľa Jensen (2007).</i>	110
<i>Obr. 8.10: Porovnanie rôznych úrovní rádiometrického rozlíšenia v odtieňoch šedej pre záznam odrazivosti v panchromatickom pásme (520 - 900 nm) zachytenom pomocou senzora ETM+ na družici LANDSAT 7 s priestorovým rozlíšením 15 m. Oblasť mesta Užhorod (7x12 km) na slovensko-ukrajinskom pohraničí dňa 15. mája 2008. Zdroj dát: NASA/USGS</i>	111
<i>Obr. 8.11: Vzťah medzi priestorovým a časovým rozlíšením vybraných satelitných systémov DPZ v súvislosti s konkrétnymi aplikáciami v praxi. Upravené podľa Jensen (2007).</i>	112
<i>Obr. 8.12: Mozaika prekrývajúcich sa leteckých snímok s poradím vyhotovenia počas letu.</i>	113
<i>Obr. 8.13: Premietanie obrazu a určenie polohy objektov v rámci prekrytu v stereopáre snímok s vysvetlením v texte. Upravené podľa: Lillesand et al. (2008)</i>	114
<i>Obr. 8.14: Letecké nosiče pre fotogrametrický prieskum. (a) Lietadlo Piper s pilotom a (b) diaľkovo ovládateľný bezpilotný systém DJI Phantom 2. Zdroj: (a) Photomap, s.r.o., (b) Ústav geografie PF UPJŠ v Košiciach</i>	115

<i>Obr. 8.15: Zariadenia pre fotogrametrickú analýzu stereosnímkov: (a) stereoploter A8 od výrobcu Wild Heerbrugg, (b) fotogrametrická stanica so softvérom od firmy Racurs. Zdroj: (a) www.blom-uk.co.uk, (b) Ústav geografie PF UPJŠ v Košiciach.</i>	<i>116</i>
<i>Obr. 8.16: Časť sídliska Terasa v Košiciach zachytená na výreze (a) nespracovanej leteckej snímky s centrálnou projekciou, (b) po ortorektifikácii. Zdroj: Photomap, s.r.o.....</i>	<i>117</i>
<i>Obr. 8.17: Porovnanie efektu centrálnej a ortogonálnej projekcie obrazu (premietania).</i>	<i>118</i>
<i>Obr. 8.18: Ukážka nespracovanej leteckej snímky a odvodenej ortofotosnímky pre okolie Levoče s vysvetlením v texte. Zdroj dát: Topografický ústav Banská Bystrica, GKÚ SR</i>	<i>119</i>
<i>Obr. 8.19: Ortofotomapa s naloženou vektorovou vrstvou hraníc pozemkov a číslami parciel, t.j. katastrálnou mapou (Zdroj: Mesto Košice, Photomap, s. r. o., GKÚ Bratislava).....</i>	<i>120</i>
<i>Obr. 8.20: Vizualizácia okamžitej polohy jednej z geostacionárnych družíc systému Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) vo výške 35,790 km (a) a polohy družice Orbview-1 (b) na polárnej orbitálnej dráhe vo výške 733 km. Satelity GOES sú určené pre meteorologický výskum a predpoveď počasia a Orbview-1 zaznamenáva predovšetkým intenzitu bleskov v atmosfére. Zdroj: NASA.....</i>	<i>121</i>
<i>Obr. 8.21: Nežiaduci vplyv atmosférického rozptylu slnečného žiarenia na kvalitu obrazu a jeho korekcia modulom i.landsat.dehaze v GRASS GIS. Oblasť mesta Trento v talianskych Alpách na snímke družice LANDSAT 7 TM, 13. septembra 1999. Zdroj dát: NASA/USGS, Spracoval: Markus Neteler.....</i>	<i>123</i>
<i>Obr. 8.22: Princíp SAR interferometrie je založený na radarovom snímaní územia dvomi anténami s určitým rozstupom. Zdroj: NASA/USGS</i>	<i>127</i>
<i>Obr. 8.23: Porovnanie priestorového rozlíšenia DMR produktov odvodených zo satelitných dát získaných SAR interferometriou. Zdroj: Airbus Defence & Space</i>	<i>128</i>
<i>Obr. 8.24: Princíp leteckého laserového skenovania pomocou lidar.</i>	<i>129</i>
<i>Obr. 8.25: Porovnanie priestorového rozlíšenia a detailnosti meraní nadmorských výšok získaných leteckým laserovým skenovaním a leteckou fotogrametriou pre lesnatú časť Slovenského krasu s vysvetlením v texte. Upravené podľa: Gallay (2013)</i>	<i>130</i>
<i>Obr. 8.26: Bezpilotná helikoptéra Scout BI-100 s integrovaným laserovým skenerom VUX-1 od firmy Riegl. Zdroj: Aeroscout GmbH.....</i>	<i>131</i>
<i>Obr. 8.27: Pozemný laserový skener Riegl VZ-1000 (a), Leica HDS 3000 (b), FARO Focus 3D (c).</i>	<i>132</i>
<i>Obr. 8.28: Mračno bodov získané pozemným laserovým skenovaním v Botanickej záhrade v Belfaste obsahujúce okolo 2 miliónov bodov zafarbených na základe farebnej fotografie. Zdroj: Ústav geografie PF UPJŠ v Košiciach, spracoval: Andrew Bell.....</i>	<i>132</i>
<i>Obr. 8.29: Samsonove stĺpy v jaskyni Domica reprezentované mračnom bodov (a) z pozemného laserového skenovania a (b) na fotografii. Zdroj: Ústav geografie PF UPJŠ v Košiciach</i>	<i>133</i>
<i>Obr. 9.1: Farebný model RGB a HSB.</i>	<i>137</i>
<i>Obr. 9.2: Porovnanie farebnej hĺbky vizualizácie.</i>	<i>138</i>
<i>Obr. 9.3: 2D vizualizácia obsahu mapy krajinnej pokrývky a) bez tieňovania a b) s tieňovaním. ..</i>	<i>140</i>
<i>Obr. 9.4: Časová séria virtuálneho 3-D modelu mesta reprezentujúca sídlisko Sekčov v meste Prešov v rokoch (A) 1960, (B) 1970 (C) 1980 (D) 1990 (E) 2000 a (F) 2010. Zdroj: Kaňuk et al. (2014).141</i>	
<i>Obr 9.5: NVIZ - nástroj na vizualizáciu geografických dát.....</i>	<i>142</i>

<i>Obr. 9.6: Vizualizácia objemov. (Autor: Helena Mitášová)</i>	<i>142</i>
<i>Obr. 9.7: Použitie bodových symbolických značiek v ArcGIS-e</i>	<i>144</i>
<i>Obr. 9.8: Bodová kartografická metóda na vyjadrenie absolútneho počtu jednotiek v regiónoch (okresoch). 1 bod reprezentuje 1000 obyvateľov.....</i>	<i>144</i>
<i>Obr. 9.9: Čiarová kartografická metóda na vyjadrenie cestnej siete (na príklade ciest 1. a 2. triedy).</i>	<i>145</i>
<i>Obr. 9.10: Areálová kartografická metóda pri vyjadrení chránených území.</i>	<i>146</i>
<i>Obr. 9.11: Metóda izočiar (vrstevnice) pri zobrazení georeliéfu. Interval vrstevníc je 100 m. V ľavom hornom rohu je prehľadová mapa s červeným obdĺžnikom, ktorý znázorňuje polohu oblasti detailnejšej vizualizácie.</i>	<i>147</i>
<i>Obr. 9.12: Metóda kartogramu na príklade hustoty obyvateľstva.</i>	<i>148</i>
<i>Obr. 9.13: Metóda kartodiagramu na príklade podielu mužov (modrá farba) a žien (červená farba) podľa okresov v roku 2013. Veľkosť diagramovej značky vyjadruje celkový počet obyvateľov.</i>	<i>149</i>
<i>Obr. 9.14: Prístup ku geografickým dátam o území obcí a regiónov môžu samosprávy poskytovať pomocou WebGIS-u.</i>	<i>150</i>
<i>Obr. 9.15: 3D vizualizácia a interaktívne ovládanie je súčasťou webovej aplikácie Google Earth.</i>	<i>151</i>
<i>Obr. 10.1: Funkcia StreetView aplikácie Google Maps umožňuje panoramatický pohľad na okolie danej lokality.</i>	<i>156</i>
<i>Obr. 10.2: Aplikácia Google Earth s 3D vizualizáciou s multimediálnym obsahom (znázornená je časť Paríža v okolí Eiffelovej veže).....</i>	<i>157</i>
<i>Obr. 10.3: Použitie aplikačného programovacieho rozhrania Google Maps pre online nástroja PVGIS na odhad fotovoltického potenciálu vybranej lokality.</i>	<i>158</i>
<i>Obr. 10.4: Základné používateľské rozhranie systému Gisplan (http://mapa.kosice.sk/mapa/).</i>	<i>161</i>
<i>Obr.10.5: Gisplan do vrecka umožňuje využívať mobilné GIS technológie priamo na displeji mobilného telefónu vybaveného prijímačom GPS.</i>	<i>162</i>
<i>Obr. 11.1: Webová aplikácia na báze služby Bing poskytujúca informácie o ponuke nehnuteľností vo Washingtone.....</i>	<i>166</i>
<i>Obr. 11.2: Webová aplikácia na báze Google Maps poskytujúca aktuálne informácie dopravnej situácii v Londýne.</i>	<i>168</i>
<i>Obr. 11.3: Webová aplikácia na báze Google Maps poskytujúca informácie o polohe dopravných lietadiel v reálnom čase.</i>	<i>169</i>

Zoznam tabuliek

<i>Tab. 2.1: Porovnanie rastrového a vektorového dátového modelu</i>	25
<i>Tab 3.1: Parametre vybraných referenčných elipsoidov</i>	30
<i>Tab. 4.1: Rozdelenie GIS dát podľa spôsobu vzniku</i>	37
<i>Tab. 4.2: Prehľad parametrov existujúcich a budovaných GNSS</i>	42
<i>Tab.4.3: Zdroje chýb v GPS meraniach. Zdroj: http://www.trimble.com/</i>	44
<i>Tab. 9.1: Základné grafické premenné (grafická premenná Poloha nie je znázornená). Zdroj: (Longley et al., 2011)</i>	136
<i>Tab. 11.1: Aplikácie GIS-u vo verejnej správe</i>	165

GEOINFORMATIKA

Vysokoškolská učebnica pre geografické študijné programy

Autori: prof. Mgr. Jaroslav Hofierka, PhD.
RNDr. Ján Kaňuk, PhD.
Mgr. Michal Gallay, PhD.

Vydavateľ: Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach

Odborné poradenstvo: Univerzitná knižnica UPJŠ v Košiciach

<http://www.upjs.sk/pracoviska/univerzitna-kniznica>

Rok vydania: 2014

Náklad: 150 ks

Rozsah strán: 192

Rozsah: 10,41 AH

Vydanie: prvé

Tlač: EQUILIBRIA, s.r.o.

ISBN 978-80-8152-178-2