

**VYSOKOŠKOLSKÉ UČEBNÉ TEXTY**

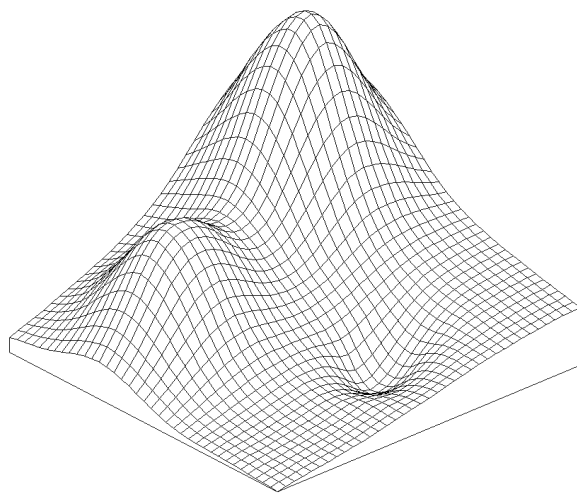
**PREŠOVSKÁ UNIVERZITA**

**Fakulta humanitných a prírodných vied**



**Jaroslav HOFIERKA**

**GEOGRAFICKÉ INFORMAČNÉ SYSTÉMY  
A DIAĽKOVÝ PRIESKUM ZEME**



**Prešov 2003**

Autor:           Mgr. Jaroslav Hofierka, PhD.

Recenzovali:

Doc. Ing. Ján Tuček, CSc., Lesnícka fakulta Technickej univerzity vo Zvolene

Doc. RNDr. Dagmar Kusendová, CSc., Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského  
v Bratislave

Za odbornú a jazykovú stránku tohto vysokoškolského učebného textu zodpovedá autor.

Schválil dekan Fakulty humanitných a prírodných vied Prešovskej univerzity v Prešove dňa  
19.8.2003 pod č. j. 85/2003/VVUČ ako učebný text pre študentov Fakulty humanitných  
a prírodných vied Prešovskej univerzity v Prešove.

---

© Mgr. Jaroslav Hofierka, PhD., 2003

**ISBN 80 – 8068 – 219 - 4**

## OBSAH

1.	Čo je GIS .....	6
2.	Priestorová reprezentácia krajiny .....	12
3.	Súradnicové systémy a mapové projekcie v GIS-e .....	19
4.	Zber a príprava GIS údajov .....	24
5.	Priestorové databázy .....	32
6.	Transformácie GIS údajov a priestorové analýzy .....	37
7.	Digitálne modely reliéfu a morfometrická analýza .....	44
8.	Digitálne spracovanie satelitných a leteckých snímok .....	58
9.	Vizualizácia a kartografická prezentácia .....	70
10.	Integrované využitie GIS-u v praxi .....	78
11.	Záver .....	91
12.	Prílohy .....	93
13.	Zoznam použitej literatúry .....	108
14.	Slovník použitých termínov a skratiek .....	111

V rozvoji modernej spoločnosti zohráva kľúčovú úlohu využitie informačných technológií. Rozsah a efektívnosť ich využitia poukazuje na jej vyspelosť a ekonomickú úroveň. Najvyspelejšie krajiny sveta dosiahli svoju ekonomickú úroveň aj vďaka investíciám do tejto oblasti. Informačné technológie umožňujú totiž výrazne zvyšovať produktivitu a kvalitu práce. Investícia do informačných technológií je však len prvý krok k úspechu. Tieto prostriedky musia byť v rukách vzdelaných a schopných ľudí, ktorí dokážu využiť ich potenciál a ponúkané možnosti. Práve v tejto oblasti sú aj na Slovensku stále značné rezervy. Úlohou každej školy je pripraviť študenta na uplatnenie v praxi. Platí to aj pre oblasť využívania prostriedkov informačných technológií. Súčasťou oblasti informačných technológií sú aj geografické informačné systémy (GIS). Ich účelom je práca s geografickou (t.j. polohovo určenou, priestorovou) informáciou.

Človek si často ani neuvedomuje, koľko informácií, s ktorými sa každodenne stretáva, má 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. Preto význam a využitie geoinformačných technológií v našom hospodárstve stále narastá. Absolventi vysokých škôl so znalosťami v tejto oblasti získavajú vďaka tomu „body“ na trhu práce u nás a aj v zahraničí. Nachádzajú uplatnenie najmä vo verejnej správe, ochrane životného prostredia, priemysle a službách.

Geoinformatika a diaľkový prieskum Zeme sú súčasťou výukového programu viacerých študijných odborov na Fakulte humanitných a prírodných vied Prešovskej univerzity v Prešove. Problematika je vyučovaná buď ako samostatný predmet alebo ako súčasť predmetu spolu s kartografiou a kvantitatívnymi metódami. Cieľom týchto vysokoškolských učebných textov je obsiahnuť práve tú časť spomenutej výuky, ktorá sa zaoberá geografickými informačnými systémami a diaľkovým prieskumom Zeme. Nadväzujú na učebné texty od B. Nižňanského „Základy geoinformatiky“, ktoré sú venované predovšetkým kvantitatívnym metódam a základom kartografie. Nedostupnosť vhodnej študijnej literatúry ako aj rapídny vývoj v tejto oblasti si vyžiadali prípravu týchto učebných textov. Ich obsah

odráža nielen rozsah u nás prednášaných tém, ale prináša aj rad zaujímavých informácií a odkazov na zdroje na internete alebo v cudzojazyčnej literatúre. Rozsah poznatkov uvedených v učebných textoch zodpovedá maximálnemu rozsahu problematiky prednášanej na Fakulte humanitných a prírodných vied Prešovskej univerzity v Prešove. Obsahujú aj ukážky aplikácií zrealizovaných autorom, alebo organizáciami na Slovensku, čo umožňuje čitateľovi lepšie pochopiť praktickú použiteľnosť technológií v našich podmienkach.

Učebné texty sú rozdelené do 11 nosných kapitol doplnených prílohami so zoznamom doporučenej literatúry (knižnej a časopisej), pravidelných medzinárodných podujatí, zaujímavých internetových adries vrátane webových stránok najvýznamnejších organizácií využívajúcich GIS. Umožňujú záujemcom o hlbšie preniknutie do problematiky nájsť potrebné informačné zdroje priamo na internete. Tieto prehľady určite nie sú úplné a preto je potrebné počítať s tým, že v priebehu času dochádza k zmenám platnosti adries a obsahu stránok.

Tieto učebné texty vychádzajú v dvoch formách: v tlačenej a elektronickej forme na médiu CD ROM. V elektronickej podobe textov je väčšina obrázkov farebná a obsahuje množstvo aktívnych odkazov na webové stránky. Tie umožňujú kliknutím vyvolať príslušné stránky na internete. Kde to bolo vhodné, je webová adresa aj vypísaná, aby ju bolo možné odpísať z tlačenej podoby do prehliadača webových stránok. V prípade elektronickej podoby môžu študenti očakávať viacero revízných vydaní, ktoré budú reagovať na prudký vývoj v tejto oblasti.

Pri príprave učebných textov 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 som chcel všetkým mojím spolupracovníkom poďakovať za ich príspevok k vytvoreniu tohto diela. V tejto súvislosti by som chcel osobitne poďakovať Mgr. Tomášovi Cebecauerovi, PhD. a RNDr. Marcelovi Šúrimu, CSc. za cenné pripomienky k rukopisu diela. Moja vďaka patrí aj recenzentom učebných textov, Doc. Ing. Jánovi Tučekovi, CSc. a Doc. RNDr. Dagmare Kusendovej, CSc., ktorí svojimi recenziami pomohli zvýšiť kvalitu diela.

august 2003

Autor

## 1. Čo je GIS

**Geoinformatika** (angl. Geographic Information Science) je vedecká disciplína, ktorá sa venuje teoretickým a metodickým aspektom spracovania geografických informácií pomocou **geografického informačného systému (GIS)**. Z tejto definície vyplýva, že predmetom geoinformatiky sú **geografické informácie** a nástrojom a zároveň produktom jej výskumu je geografický informačný systém. Geografické informácie sú priestorové informácie o geografickej sfére (krajine). Ich najdôležitejšou vlastnosťou je **polohový aspekt**. Ďalšími vlastnosťami sú **časová premenlivosť** platnosti informácie a **kvalitatívny alebo kvantitatívny atribút**, charakteristika opisujúca daný geografický objekt alebo jav. Atribútom môže byť číslo, textový reťazec (napríklad názov) alebo logická hodnota (pravda-nepravda).

Pri odbornom používaní pojmu informácia je potrebné vedieť o rozdieloch vo význame pojmov údaj, informácia a znalosti. V hovorovej reči sa pojmy údaj a informácia často zamieňajú. Údaje predstavujú symboly - napr. čísla, text, znaky, ktoré môžeme zaznamenávať aj bez toho, aby sme chápali ich význam. Informácie sú výsledkom úspešnej analýzy a interpretácie údajov. Znalosti sú tie informácie, ktoré sú využiteľné pre ďalšiu inteligentnú činnosť a to na základe poznania cieľa, kontextu a skúseností. Znalosti nám umožňujú z údajov vytvárať informácie.

### *História GIS-u*

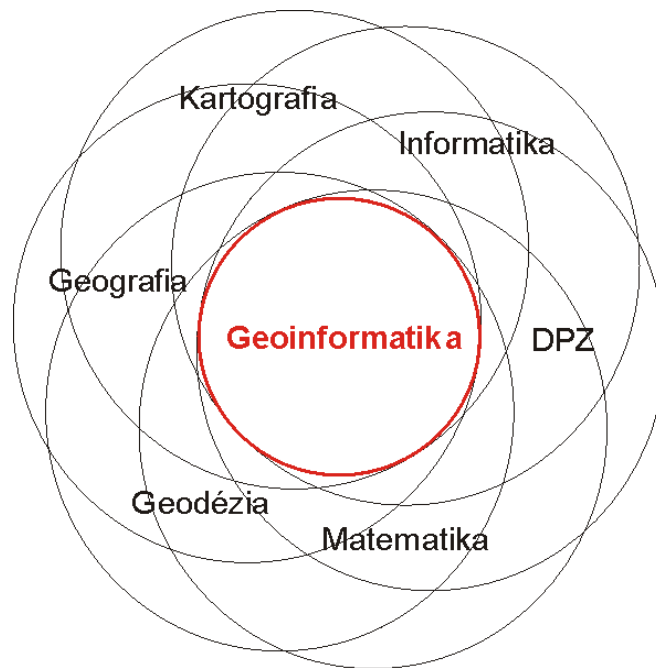
Geoinformatika je mladá vedná disciplína, ktorá vznikla na rozhraní záujmov viacerých vedných disciplín, predovšetkým však geografie, kartografie, informatiky a diaľkového prieskumu Zeme (DPZ). Vznik GIS-u a počiatky geoinformatiky siahajú do obdobia tzv. kvantitatívnej revolúcie v geografii v 60-tych rokoch 20. storočia a úzko súvisia s nástupom a širším využitím informačných technológií. Cieľom týchto prvotných systémov bolo najmä uchovávanie štatistických a kartografických údajov v pamäti počítača tak, aby bolo možné rýchlo získať sumárne tabuľkové informácie a vykonávať merania. Kartografi videli veľké možnosti pri tvorbe a aktualizácii obsahu máp.

Pri vzniku tejto technológie zohrávali veľkú úlohu predovšetkým americké univerzity a vládne inštitúcie (napr. US Bureau of the Census a US Geological Survey). Prvým GIS-om využívaným v praxi sa stal Canada Geographic Information System uprostred 60-tych rokov,

ktorý slúžil predovšetkým na uchovávanie údajov a meranie obsahu digitálnych máp o prírodných zdrojoch Kanady. Neskôr vznikali aj ďalšie systémy a to predovšetkým na amerických univerzitách. 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 údajov o povrchu Zeme. Financovala aj vývoj GIS-u, akým je napríklad aj [GRASS GIS](#).

Počiatky vzniku komerčných GIS-ov siahajú do konca 60-tych rokov 20. storočia, keď vznikli viaceré firmy produkujúce GIS softvér (napr. aj Intergraph a ESRI). Mnohé z nich pri tom čerpali z výsledkov výskumu realizovaných na univerzitách. Takáto spolupráca sa v rôznych formách prejavuje aj v súčasnosti a jednou z jej výhod je aj rýchly transfer poznatkov z akademickej sféry do praxe.

Geoinformatika sa spočiatku vyvíjala v rámci iných vedeckých disciplín, predovšetkým geografie. Chápala sa výlučne ako technológia využívaná pre potreby materských vied a praxe. Až začiatkom v 90-tych rokov došlo k vymedzeniu geoinformatiky ako samostatnej vednej disciplíny a to zavedením pojmu geographic information science Michaelom Goodchildom z University of California v Santa Barbare, USA. Geoinformatika sa vo svete označuje nielen pojmom geographic information science, ale aj GIScience, geomatika, priestorová informatika, geoinformačné inžinierstvo. Zvyčajne označujú to isté, niekedy však z rôznych uhlov pohľadu. Geoinformatika sa stále prudko vyvíja, čo je vidieť nielen na meniacej sa terminológii, ale aj rozširovaní výuky geoinformatiky na univerzitách, zvyšujúcom sa počte odborných časopisov a používateľov GIS-ov. Najbližšími vednými disciplínami geoinformatiky sú diaľkový prieskum Zeme, kartografia, geografia, informatika, geodézia a matematika (**Obr. 1.1**). O geoinformatike môžeme hovoriť ako o interdisciplinárnej vede, ktorej rozvoj je podmienený výsledkami rôznych vedných disciplín a na druhej strane geoinformatika svojím rozvojom stimuluje ich vlastný rozvoj.



*Obr. 1.1 Geoinformatika a príbuzné vedné disciplíny*

Z uvedených disciplín má diaľkový prieskum Zeme ku geoinformatike najbližšie, v mnohých oblastiach sa významne prelínajú. DPZ má však užšie vymedzený predmet a metódy štúdia povrchu Zeme. DPZ je veda a technológia venovaná získavaniu informácií o objektoch krajiny pomocou spracovania obrazových záznamov z nekontaktných snímacích zariadení (napríklad z družicových systémov). DPZ sa stáva pre geoinformatiku významným zdrojom údajov o Zemi, pričom táto oblasť zahŕňa aj metódy na ich spracovanie a analýzy. Naopak DPZ výrazne profituje z prepojenia na údaje a metódy geoinformatiky.

Geografický informačný systém bol od počiatkov najviditeľnejším výstupom geoinformatiky. V určitom období sa pojem geografický informačný systém často považoval za synonymum geoinformatiky (v angličtine majú totiž aj rovnakú skratku „GIS“ - geographic information system a geographic information science). Z veľkej časti aj preto, že úlohou bolo predovšetkým implementovať metódy z iných vied do GIS-u a pochybovalo sa o existencii vlastného metodického aparátu geoinformatiky. Geoinformatika si však vytvára svoj vlastný metodický aparát a pozíciu v systéme vedeckých disciplín. Zároveň však bude vždy vysoko interdisciplinárnou vedou, čo vyplýva z predmetu a nástrojov jej výskumu.

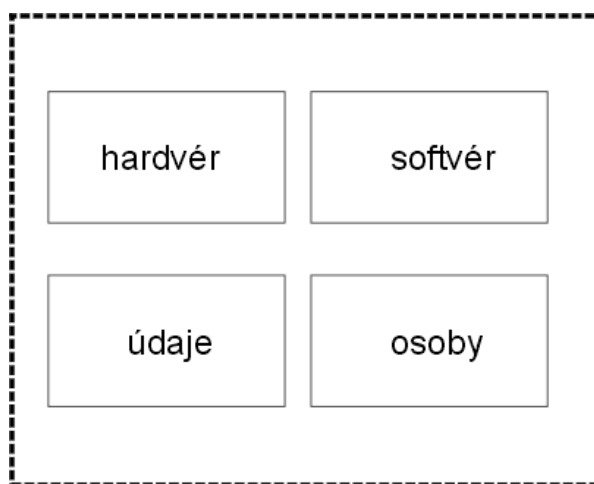
Určitá nejednotnosť existovala a existuje aj v chápaní geografického informačného systému. V užšom ponímaní sa jedná o softvér, v širšom ponímaní do tohto systému patria aj hardvér, údaje a osoby tvoriace personálne zabezpečenie (Obr. 1.2). Kvalifikovaný personál je



kľúčový z hľadiska efektivity využitia ostatných komponentov GIS-u a návratnosti investícií do tejto technológie.

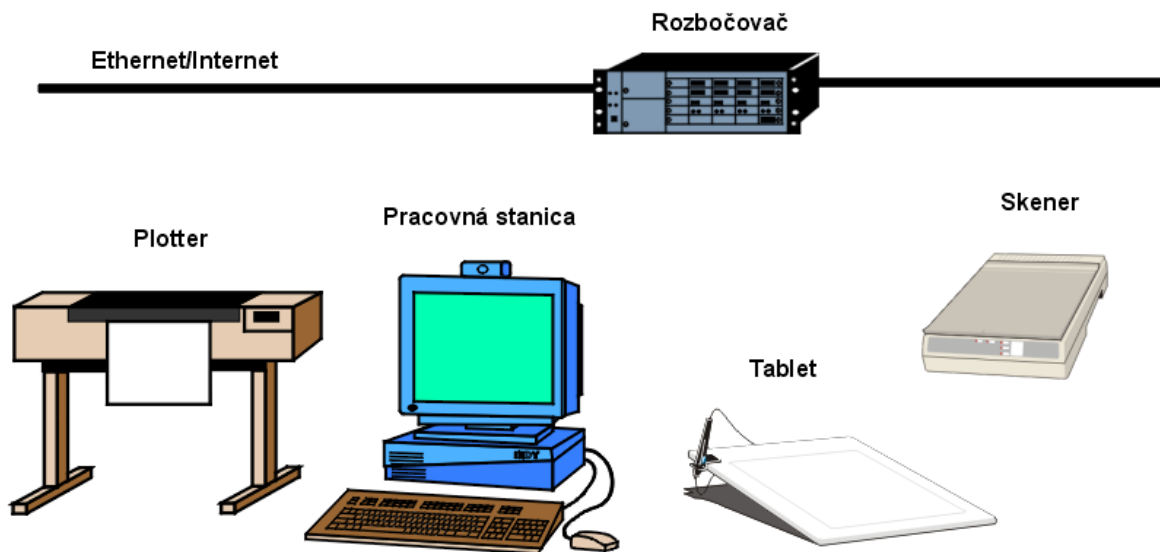
### *Obsah a využitie GIS-u*

Sú možné rôzne architektúry GIS-u. Príklad možného hardvérového riešenia je uvedený na **Obr. 1.3**. 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 údajmi (napr. o území Slovenskej republiky).



*Obr. 1.2 Súčasti geografického informačného systému*

V hardvérovej oblasti sa koncom 90-tych rokov 20.storočia výraznejšie presadilo hardvérové riešenie na báze osobných počítačov a operačných systémov Microsoft Windows a Linux, ale používajú sa aj pracovné stanice na báze operačného systému UNIX (napr. od firiem Sun Microsystems, IBM, Hewlett-Packard, SGI a podobne). V súčasnosti sa začínajú výraznejšie využívať prenosné počítače, najmä vreckové počítače (PDA, handhelds), ktoré našli svoje uplatnenie najmä pri mapovaní v teréne a v spojení s technológiou GPS.



Obr. 1.3 Príklad hardvérovej konfigurácie GIS-u

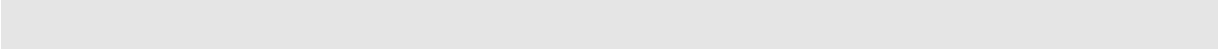
Pri nasadení GIS-u zohráva dôležitú úlohu nielen lokálna počítačová sieť, ale aj internet a to predovšetkým z hľadiska distribúcie softvéru, údajov a všeobecnej komunikácie. Lokálna počítačová sieť zohráva významnú úlohu najmä ak s GIS-om súčasne pracuje viacero pracovníkov organizácie. V takom prípade je bežná architektúra klient-server, kde softvér a údaje sú uložené na serveri a klienti (počítače v sieti s klientskym aplikačným softvérom) pomocou siete prístupujú k softvéru a údajom na serveri.

GIS-y sú využívané rôznymi skupinami používateľov a na rôzne účely. Z toho vyplývajú rôzne pohľady na ich funkčné využitie. Dôvody využívania GIS-u pracovníkom mestského úradu sú určite iné ako vedca-ekológa. Spôsoby vnímania GIS-u a jeho využitia môžeme rozdeliť do týchto skupín, v ktorých sa GIS chápe nasledovne:

- súbor digitálnych máp alebo tematických vrstiev zameraných na určité objekty,
- počítačový nástroj na riešenie geografických problémov,
- systém na podporu priestorového rozhodovania,
- nástroj výskumu a modelovania.

Výrobcovia softvéru reagujú na tieto potreby a svojim zákazníkom ponúkajú rôzne riešenia od jednoduchého softvéru na prácu s digitálnymi mapami až po sofistikované nástroje

umožňujúce modelovanie priestorových procesov. Pomerne častá je aj modularita softvéru, ktorá umožňuje k základnej zostave softvéru prikúpiť moduly zamerané na určité operácie podľa potrieb používateľa (napr. Network Analyst pre [ArcView GIS](#) od firmy [ESRI](#)).



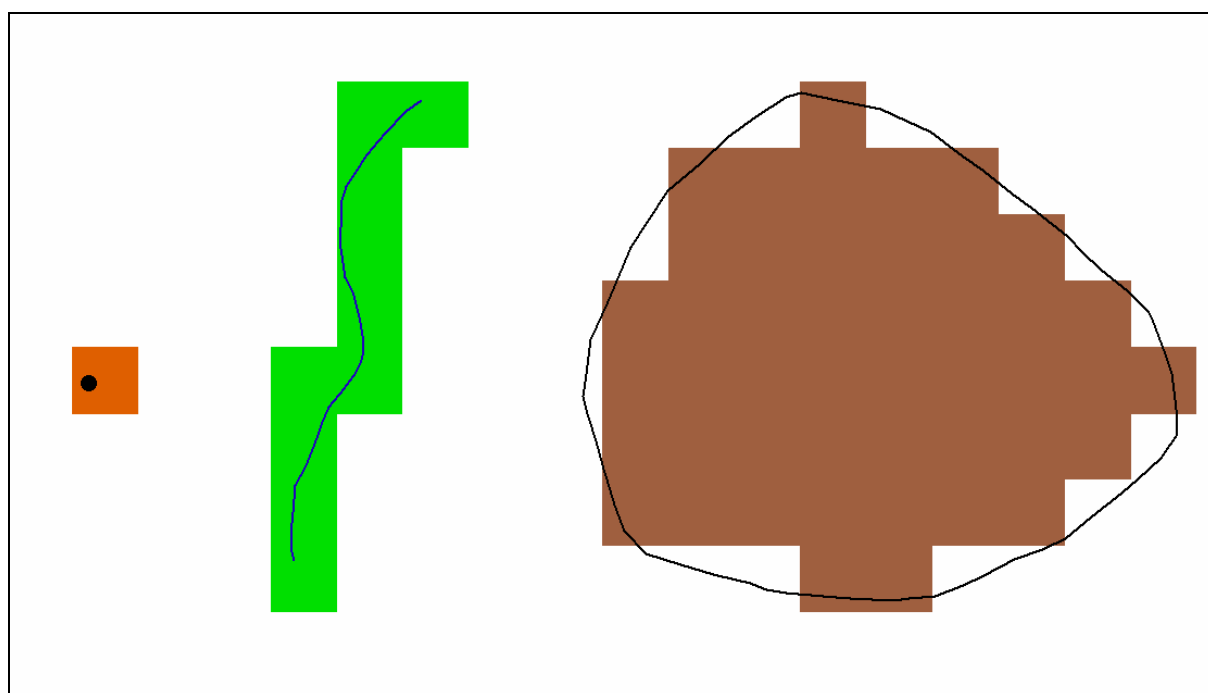
## 2. Priestorová reprezentácia krajiny

Ako sme už uviedli, predmetom výskumu geoinformatiky sú geografické informácie, t.j. priestorové informácie o krajine. Krajinu tvoria rôzne objekty a javy. V geografii sa vytvorili dva základné konceptuálne modely, reprezentácie týchto objektov a javov – **diskrétné objekty** a **spojité polia**. Diskrétné objekty majú presne definované hranice a sú spočítateľné. Medzi takéto objekty patria dopravné komunikácie, hranice pozemkov, administratívne jednotky, sídla. Spojité, fyzikálne polia predstavujú priestor, v ktorom sa spojite menia hodnoty určitých fyzikálnych veličín. V rámci fyzikálnych polí 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 dvomi 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).

Tieto konceptuálne modely reality však nie je možné rovnakým spôsobom vyjadriť v pamäti počítača. Počítač pracuje s digitálnymi a diskretnými údajmi. Z tohto dôvodu je potrebné využiť také modely digitálnej reprezentácie krajiny, ktoré umožnia nielen jej verné vizuálne vyjadrenie, ale aj matematické operácie a modelovanie. V súčasnosti sa presadili dva základné údajové modely - **rastrový** a **vektorový údajový model**. Vo väčšine prípadov sa jedná o dvojrozmernú (2D) reprezentáciu, podobne ako je papierová mapa dvojrozmerným obrazom - modelom krajiny. Krajina je však trojrozmerný (3D) a dynamický objekt, takže by sme mohli hovoriť aj o 4D reprezentácii, v ktorej štvrtý rozmer predstavuje čas (Hofierka, 1993, 1997). Z historických dôvodov a taktiež z hľadiska zjednodušenia sa stále používajú najmä dvojrozmerné údajové modely. Troj- a štvorrozmerné údajové 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 údajovým modelom (napr. aj ArcView GIS, MGE Voxel Analyst), ale len niektoré z nich majú aj dostatok nástrojov na ich spracovanie (napr. GRASS GIS).

**Rastrový údajový model** (rastrová reprezentácia konceptuálnych modelov reality, raster) predstavuje pravidelnú mozaiku, mriežku hodnôt, atribútov priestoru krajiny. Často sa

používa pri modelovaní prvkov krajiny vyjadrených pomocou fyzikálnych polí a spojitých matematických funkcií. Časté je aj použitie v digitálnych obrazoch, alebo pri reprezentácii geometrických prvkov krajiny (body, línie, plochy). Najčastejšie používaným rastrom (mriežkou) je štvorcový alebo obdĺžnikový raster, ale existuje aj hexagonálna a pravidelná trojuholníková mriežka. Elementárnym prvkom rastra je **bunka**, v prípade digitálnych obrazov sa označuje aj 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). Znázornenie bodu, línie a plochy v rastrovom údajovom modeli je na **Obr 2.1**. Štvorcový 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 (napríklad v metroch), ktorá by modelovaný jav dobre reprezentovala. Veľkosť bunky definuje **rozlíšenie** rastra. Pri geografických štúdiách v rozsahu územia Slovenska sa rozlíšenie rastrových údajov o krajine zvyčajne pohybuje v rozmedzí od 1 m do 500 m.

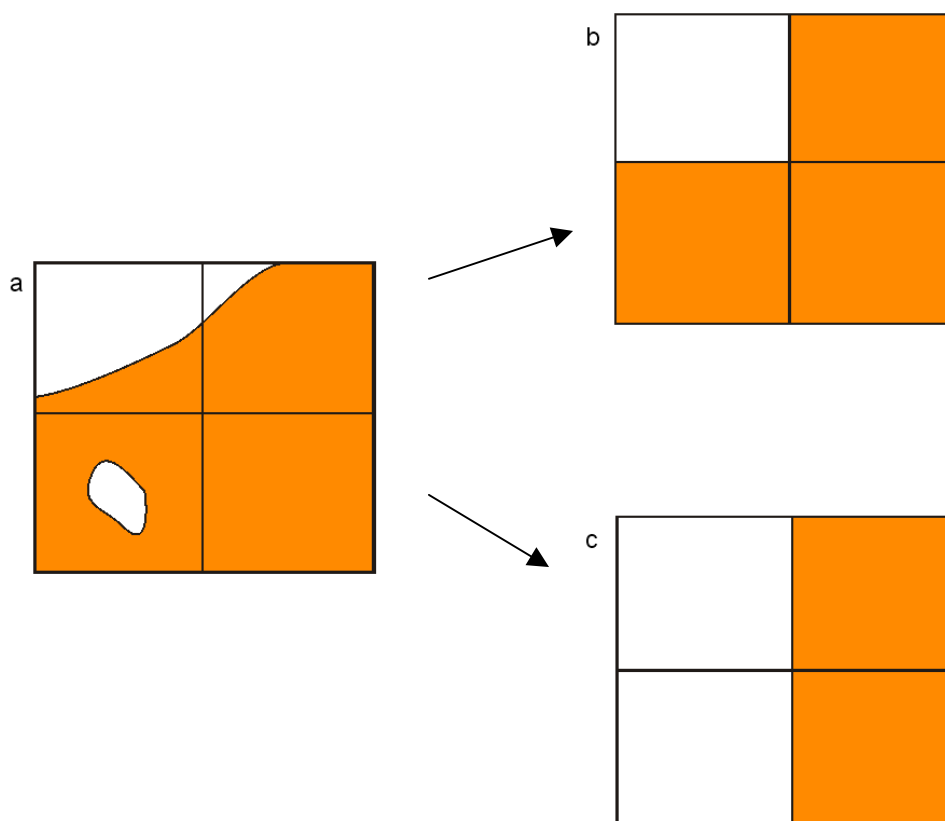


*Obr. 2.1 Znázornenie bodu, línie a plochy v rastrovom údajovom modeli*

Matica hodnôt rastra, tvorená riadkami a stĺpcami, je opísaná hlavičkou obsahujúcou informácie o jeho súradnicovom priradení, rozlíšení a podobne. Hodnoty rastra môžu byť celé

čísla (údajový typ integer), alebo reálne čísla (float, double). Výber údajového modelu je potrebné definovať s ohľadom na reprezentovaný jav a plánované GIS operácie.

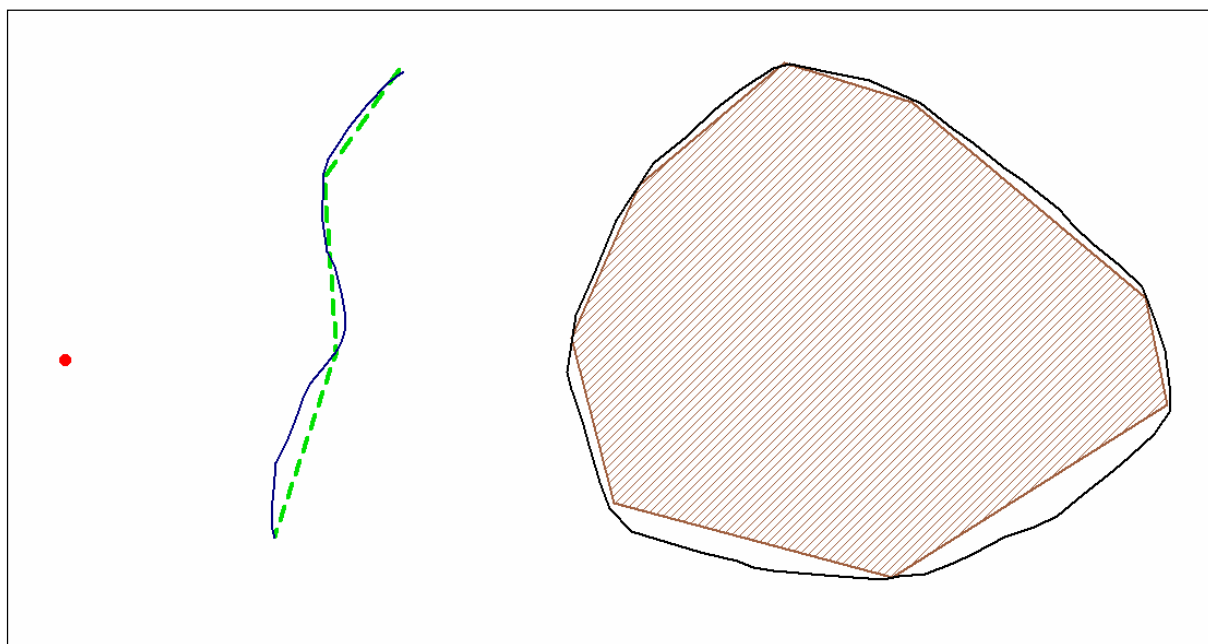
Rozlíšenie rastra je vhodné vybrať tak, aby daný jav bol dobre reprezentovaný. To znamená, že rozlíšenie rastra musí dobre vystihnúť jav aj v miestach s jeho prudkými zmenami. Určitou nevýhodou je redundancia (nadbytočnosť) údajov s malými zmenami javu. V situáciách, keď daný jav len čiastočne zasahuje do bunky rastra, je dôležitý výber kritéria, či daný jav má alebo nemá byť reprezentovaný príslušnou hodnotou bunky v rastri. Napríklad často sa používa pravidlo väčšinového podielu a pravidlo centrálného bodu (Obr. 2.2). Tieto pravidlá sa používajú aj pri konverzii údajových modelov (pozri kapitolu 6. „Transformácie GIS údajov a priestorové analýzy“).



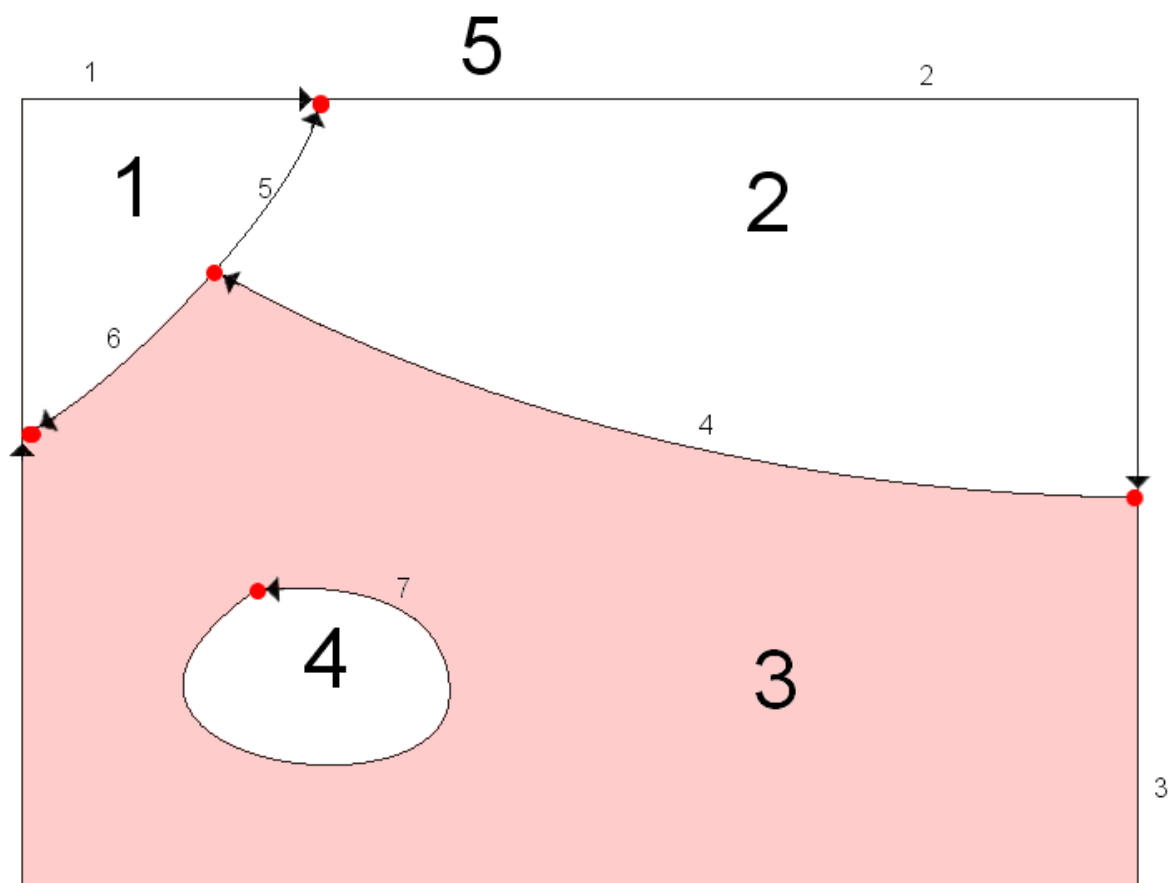
Obr. 2.2 Použitie pravidla b) väčšinového podielu a c) centrálného bodu

**Vektorový údajový model** (vektorová reprezentácia konceptuálnych modelov reality) vychádza z objektového, polohovo explicitného modelovania priestoru. 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. Plochy sa tiež nazývajú **polygónmi**. Vektorové údaje 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. 2.3**. Kvantitatívne alebo kvalitatívne vlastnosti objektov sú vyjadrené atribútmi, t.j. číselnými hodnotami alebo textom. Pri vektorovom údajovom modeli je vyjadrenie priestorového rozlíšenia zložitejšie, pretože sa zvyčajne mení od miesta k miestu. Napríklad v urbánnych oblastiach variabilita skúmaného javu často vyžaduje menšie priestorové jednotky. V prípade vektorového údajového modelu nie je potrebná redundancia údajov a z tohto hľadiska sa jedná o úsporný spôsob reprezentácie krajiny.



*Obr. 2.3 Znáznornenie bodu, línie a plochy vo vektorovom údajovom modeli*



Zoznam polygónov a línií    Zoznam súradníc bodov línií    Zoznam príslušných polygónov

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

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

Číslo línie	Polygón vľavo	Polygón vpravo
1	5	1
2	5	2
3	5	3
4	3	2
5	1	2
6	3	1
7	3	4

Obr. 2.4 Topologické väzby pri vektorovom údajovom modeli



Existujú 3 základné vektorové údajové modely: špagetový, topologický a hierarchický (Tuček, 1998). Špagetový je najjednoduchší, jedná sa o jednoduché uloženie priestorovej informácie o každom objekte samostatne. Pri topologickom a hierarchickom modeli sa analyzujú väzby, vzťahy medzi objektami a táto topologická informácia je uložená aj v databáze (Obr.2.4). 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 údajový model s topologickými väzbami je všeobecne náročnejší na prípravu a spracovanie údajov. Príkladom využitia topologickej informácie je sieťová analýza – napr. pri analýze 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 možné optimalizovať trasu doručovania zásielok, čo výrazne znižuje čas doručenie a náklady.

V digitálnych modeloch reliéfu sa občas využíva špeciálny vektorový údajový model v tvare nepravidelnej trojuholníkovej siete (angl. Triangulated Irregular Network – TIN). Nepravidelná trojuholníková sieť je topologická štruktúra, ktorá obsahuje informácie o jednotlivých trojuholníkoch a ich susedoch. Bližšie sa týmto údajovým modelom zaoberáme v kapitole 7. „Digitálne modely reliéfu a morfometrická analýza“.

Väčšina súčasných GIS-ov umožňuje pracovať s obomi údajovými modelmi a vykonávať medzi nimi konverzie. Rastrový údajový model je vhodnejší pre modelovanie spojitých prírodných javov (napr. reliéf, atmosférické javy), kdežto vektorový údajový model je výhodný najmä pre diskrétny javy časté v humánnej geografii (napr. vyjadrenie plôch, hraníc, dopravných komunikácií). Rastrový údajový model je v počítačovom prostredí jednoduchší na spracovanie a mnoho zariadení pre zber a výstup údajov používa rastre (skenery, tlačiarne). Vektorový údajový 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 údajových modelov sú uvedené v Tab. 2.1. Konverzia z vektorového údajového modelu do rastrového je z hľadiska polohovej presnosti zvyčajne menej problematická ako naopak.

kritérium	raster	vektor
objem údajov	závisí od rozlíšenia	závisí od hustoty bodov
zdroj údajov	DPZ, skenery	humánnogeografické a environmentálne údaje
aplikácie	prevažne environmentálne	spoločenské, ekonomické, technické
rozlíšenie	pevné	premenlivé

*Tab. 2.1 Porovnanie rastrového a vektorového údajového modelu*

V posledných rokoch sa v súvislosti s priestorovou reprezentáciou krajiny venuje zvýšená pozornosť problematike nepresnosti a neurčitosti geografických údajov. **Nepresnosť** údajov vyplýva z našej obmedzenej schopnosti presne odmerať polohu a vlastnosti priestorových objektov a je charakterizovaná chybou údajov. **Neurčitosť** údajov je spôsobená charakterom priestorového javu, spôsobom jeho reprezentácie, chybami v meraniach a metódach analýzy údajov. Neurčitosť údajov 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 údajov zaťažených nepresnosťou a neurčitosťou 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 údajov (napr. logických operáciach). Medzi najčastejšie aplikačné oblasti využitia týchto prístupov patria určovanie vhodnosti územia pre ľudské aktivity a spracovanie pôdných údajov.

### 3. Súradnicové systémy a mapové projekcie v GIS-e

Všetky geografické informácie uložené v GIS-e sú polohovo lokalizované, georeferencované. To znamená, že každý prvok má určenú svoju polohu na Zemi pomocou zvoleného súradnicového systému. Keďže Zem má približne guľovitý tvar, tak zobrazenie zakriveného povrchu Zeme a objekty v jeho blízkosti prostredníctvom rovinného súradnicového systému je v GIS-e pomerne náročná úloha. Skutočný tvar Zeme sa nahradzuje tzv. referenčnými plochami (najčastejšie guľou alebo elipsoidom), ktoré sú popísané matematickými funkciami. Body na týchto plochách sa dajú premietnuť na rozvinuteľné plochy, kde je možné definovať kartézsky súradnicový systém  $(x, y, z)$ . Matematické rovnice, ktoré popisujú transformáciu bodov zo zakriveného povrchu Zeme do roviny, sa nazývajú zobrazovacími rovnicami. Existuje množstvo kartografických zobrazení, ktoré majú rôzne vlastnosti. Odvodzovaním rôznych kartografických zobrazení sa zaoberá matematická kartografia. Táto problematika je podrobnejšie rozobraná v učebných textoch [Nižňanský \(2000\)](#) a preto si na tomto mieste všimneme najmä aspekty využitia v GIS-e. V tejto súvislosti poznamenávame, že pri definícii súradnicového systému je potrebné, okrem samotného zobrazenia, definovať aj vlastnosti súradnicového systému (počiatočné body, orientáciu súradnicových osí, výškový systém a podobne). Zvyčajne každý štát má aspoň jeden geodetický súradnicový systém, pričom sa v priebehu času môže zmeniť. V každom štáte sa vyberá také kartografické zobrazenie a súradnicový systém, ktoré najlepšie vyhovuje jeho praktickým podmienkam a potrebám. Na Slovensku sú nimi súradnicové systémy **S-JTSK** s Křovákovým konformným kužeľovým zobrazením vo všeobecnej polohe a **S-42** s Gauss-Krügerovým konformným valcovým zobrazením v priečnej polohe. Väčšina našich mapových diel je práve v týchto súradnicových systémoch a zobrazeniach, takže je potrebné s nimi pracovať aj v GIS-e. Okrem toho, najmä v súvislosti s nástupom metód diaľkového prieskumu Zeme, sa používatelia GIS-u u nás stretávajú aj s inými súradnicovými systémami (napr. zemepisný súradnicový systém na elipsoide WGS84). Z toho dôvodu je potrebná transformácia údajov medzi rôznymi súradnicovými systémami.

Pre globálne údaje pokrývajúce celú Zem sa pomerne často používa **zemepisný súradnicový systém** (zemepisná šírka  $\varphi$  a zemepisná dĺžka  $\lambda$ ), 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°) alebo v šesťdesiatkovej sústave (napr. 19 °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.

Základom nášho súradnicového systému S-42 je Gauss-Krügerovo zobrazenie na Krasovského elipsoide a s referenčným bodom v Pulkove, ktoré územie rozdeľuje na poludníkové pásy. Každý pás sa samostatne konformne zobrazuje na valec, ktorý sa dotýka elipsoidu pozdĺž stredného, základného poludníka. Pri šesťstupňovom delení pásov vzniká 60 pásov, pričom územie Slovenska sa dotýkajú pásy so základným poludníkom 15° a 21°. Z praktických dôvodov (aby všetky súradnice boli kladné) sa počiatok pravouhlého súradnicového systému v každom páse posúva o 500 km na západ. S-42 sa používa najmä vo vojenských mapách, ale objavujú sa aj civilné aplikácie. Určitou nevýhodou je, že územie Slovenska sa nachádza v 2 poludníkových pásoch (33. a 34.), takže v prípade GIS-u je vhodnejšie celé územie Slovenska situovať len v jednom páse, čo však zvyšuje skreslenie v okrajových častiach územia, ktoré patria do susedného pásu.

Väčšina našich civilných mapových diel bola vyhotovených v súradnicovom systéme S-JTSK. Základom tohto súradnicového systému je Křovákovo kuželové zobrazenie na Besselovom elipsoide. 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 súradnicami x a y.

Pri práci s geografickými údajmi s rôznych zdrojov sa používateľ GIS-u často stretáva s problémom, že údaje sú dostupné v rôznych súradnicových systémoch. V prípade, že tieto údaje sa majú navzájom kombinovať, porovnávať, používať v ďalších analýzach, tak je potrebné ich lokalizovať v jednom súradnicovom systéme. Je nevyhnutné stanoviť jednotný súradnicový systém a **transformáciu** časti údajov do zvoleného súradnicového systému. Táto operácia sa dá vykonať dvomi 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  $\varphi, \lambda$  na príslušnom elipsoide do cieľového súradnicového systému so súradnicami  $x_2, y_2$  (Neteler a Mitasova, 2002):

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

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

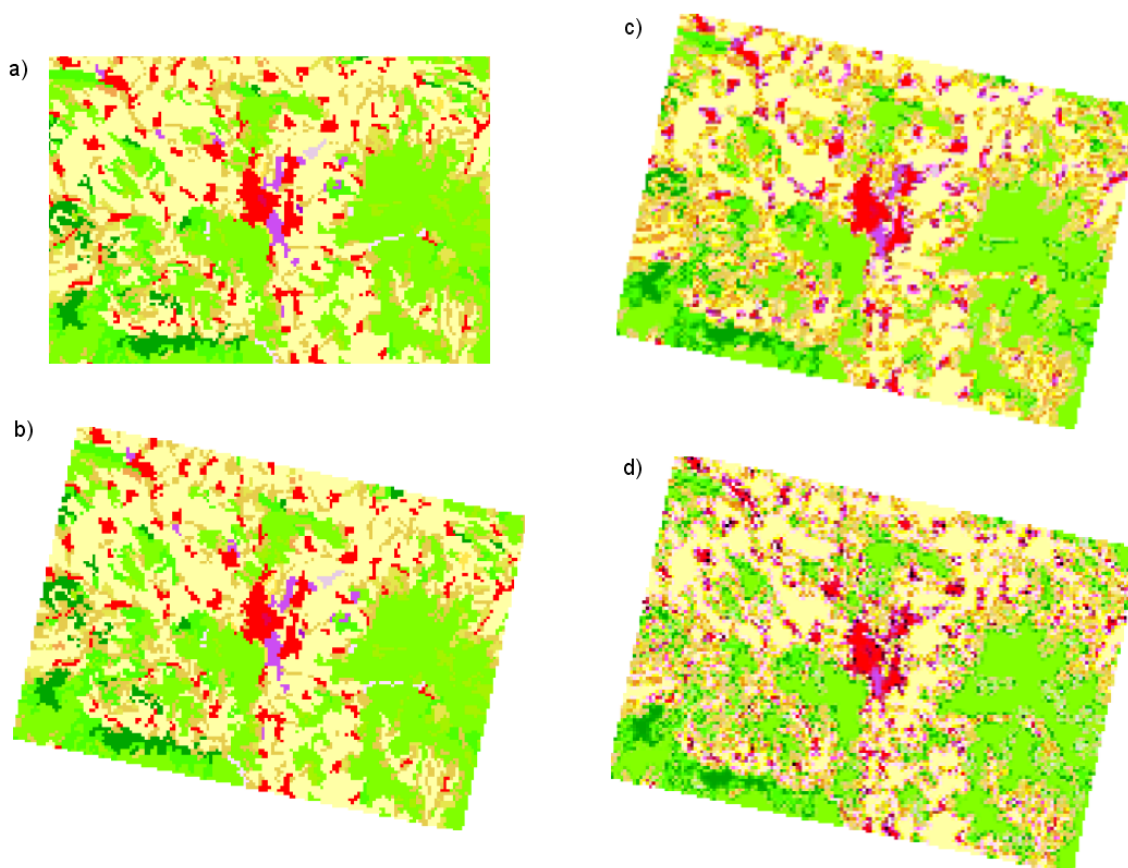
$$x_1, y_1 \rightarrow \varphi_1, \lambda_1 \rightarrow \varphi_2, \lambda_2 \rightarrow x_2, y_2$$

V prostredí GIS-u sa analytická transformácia niekedy označuje aj ako „projekcia“, t.j. zmena medzi mapovými projekciami.

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 polynomicke transformácia. **Lineárna transformácia** (nazýva sa 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. **Polynomicke 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 údajov spôsobené transformáciou majú komplikovanejší charakter. V prípade afinnej transformácie je minimálny počet dvojíc referenčných bodov 3, ale doporučuje sa použiť vyšší počet bodov, ktoré zmenšia polohovú chybu transformácie. Pri výbere bodov je potrebné vyberať objekty dobre identifikovateľné na oboch mapách, resp. údajových zdrojoch tak, aby optimálne pokryli celé územie. Pri polynomicke 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 okrem geometrického aspektu transformácie polohy bunky pristupuje aj problém stanovenia hodnoty, atribútu v bunke. Tento problém sa objavuje aj pri zmene rozlíšenia rastra. Existuje viacero metód výpočtu hodnoty v transformovanej bunke. Najčastejšie sa používa **metóda najbližšieho suseda**, **bilineárna interpolácia** a **kubická konvolúcia** (Tuček, 1998). Na Obr. 3.1 je uvedený príklad transformácie rastra

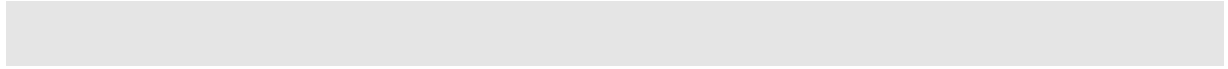
s kvalitatívnymi údajmi (kategóriami) z Lambertovho azimutálneho ekvivalentného zobrazenia do Křovákovho zobrazenia.



*Obr. 3.1 Porovnanie transformácie pôvodného rastru a) pomocou b) metódy najbližšieho suseda, c) bilineárnou interpoláciou a d) kubickou konvolúciou*

Výber vhodnej metódy závisí najmä od povahy a účelu spracovávaných údajov. Metóda najbližšieho suseda sa používa najmä pre kvalitatívne údaje (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 atribútová 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. 3.1c a 3.1d je vidieť, že metódy bilineárnej interpolácie a kubickej konvolúcie nie sú vhodné pre transformáciu

kvalitatívnych údajov. Opačná situácia by nastala pri použití spojitých údajov, alebo satelitných údajov. Pri výbere metódy treba preto zvážiť charakter transformovaných údajov, prípadne vzájomne porovnať výsledky.





## 4. Zber a príprava GIS údajov

GIS zvyčajne obsahuje množstvo geografických údajov z rôznych zdrojov. V tejto súvislosti môžeme hovoriť o primárnych GIS údajoch, ktoré boli získané priamo v teréne pre použitie v GIS-e, a o sekundárnych GIS údajoch, ktoré boli odvodené z existujúcich podkladov (napr. z existujúcich máp). Geografické údaje existujú buď v analógovej alebo digitálnej podobe. Pokiaľ sú údaje v digitálnej podobe, zvyčajne je potrebné zabezpečiť konverziu údajového modelu a transformáciu súradnicového systému. Pri analógových (papierových) údajoch je proces oveľa zložitejší, pretože najprv sa musí vykonať **digitalizácia**, t.j. konverzia z analógovej do digitálnej formy. Zber a príprava údajov je zvyčajne časovo a finančne najnáročnejšou časťou GIS projektu (15-50% nákladov, ale môže to byť až 85%).

### *Primárne údaje*

Zdrojom primárnych GIS údajov sú priame merania objektov. Vektorové údaje vznikajú najmä geodetickým meraním v teréne, fotogrametricky a meraním pomocou systému GPS (Global Positioning System). **Geodetické merania** sú založené na princípe, že 3D poloha každého bodu môže byť určená pomocou merania uhlov a vzdialeností z bodov so známou polohou. 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. Meranie vykonávajú zvyčajne 2 ľudia, jeden obsluhuje merací prístroj a druhý sa pohybuje s odrazným terčom, ktorý sa umiestňuje na merané miesto alebo objekt. Geodetické merania sú pomalé a drahé, ale umožňujú získať veľmi presné údaje. Z hľadiska zberu údajov pre GIS sa geodetické merania využívajú najmä na domeranie, resp. na získavanie údajov v oblastiach neprístupných pre GPS a leteckú fotogrametriu (napr. v zákrytoch vegetáciou alebo v zastavaných oblastiach).

**Globálny polohový systém** (GPS) je v súčasnosti významným zdrojom geografických údajov. Jeho využitie ďaleko presahuje sféru GIS a zasahuje napr. aj do turistiky a motorizmu. GPS tvorí sieť 27 satelitov NAVSTAR, 5 monitorovacích staníc a individuálnych prijímačov. GPS pôvodne vznikol pre potreby armády USA a veľa rokov mala prístup k presným údajom 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., 2001). GPS sa využíva najmä na



získanie polohy referenčných bodov a lokalizáciu bodových a plošných objektov. Hlavnou nevýhodou je, že prijímač musí mať nezakrytý výhľad na minimálne 3 satelity a v prípade určovania výšky 4 satelity. To býva občas problémom v zónach vysokej stromovej vegetácie a v zastavaných územiach s vysokými budovami. Na otvorených priestranstvách býva zvyčajne k dispozícii 5-7 satelitov.

Princípom fungovania GPS je meranie času, ktorý je potrebný na prenos signálu od satelitu k prijímaču na Zemi. GPS satelity pravidelne vysielajú signály s informáciami o ich presnej polohe a čase. Prijímač zaznamenáva čas, za ktorý prejde signál svoju dráhu od satelitu k prijímaču. Po zhromaždení signálov z troch alebo aj viac satelitov je možné presne určiť polohu prijímača pomocou triangulácie. Štvrtý satelit je nevyhnutný na určenie výšky prijímača. Chyby v určení polohy (5-10 m) sú spôsobené najmä atmosférickými vplyvmi, odrazmi signálu, drobnými výkyvmi polohy satelitov a drobnými nepresnosťami v prijímačoch a v meraní času (Tab. 4.1). Presnosť GPS meraní je možné výrazne zvýšiť Diferenciálnym GPS (D-GPS). Pri tomto spôsobe merania sa používajú dva prijímače. Jeden je pevne umiestnený a druhý sa používa na zber údajov. Ak je poloha fixného prijímača známa s veľkou presnosťou, tak je možné jeho polohu a merania použiť na korekciu chýb. Merania v takom prípade obsahujú chyby menšie ako 1 m. Pri statických meraniach je možné dosiahnuť až milimetrové presnosti v meraní polohy. Pomocou špeciálneho softvéru sa po skončení meraní spracujú údaje z oboch prijímačov a odstránia sa chyby. V mnohých krajinách sa údaje potrebné na korekciu chýb šíria rozhlasovými vysielacími, čo umožňuje okamžite, t.j. už počas meraní, výrazne spresniť merania.

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
Odras signálu	0,6	0,6

Tab.4.1 Zdroje chýb v GPS meraniach (Zdroj: <http://www.trimble.com/>)



*Obr. 4.1 GPS prijímače firiem Trimble a CMT*

V rastrovom údajovom modeli vznikajú najmä údaje získané metódami DPZ (o spracovaní takýchto údajov je viac v kapitole 8. „Digitálne spracovanie satelitných a leteckých snímok“). Jedná sa najmä o satelitné údaje, letecké snímky a o technológiu RADAR/LIDAR. Satelitné údaje sú vhodné najmä pre veľké územia a pre územia ťažko dostupné. Výhodou je aj periodicita záznamov z daného územia, čo umožňuje mapovanie a analýzy zmien sledovaného javu.

Pomocou **fotogrametrického spracovania** meračských leteckých snímok je možné získať nielen 2D, ale aj 3D vektorové údaje. Podmienkou sú stereopáry fotografií s dostatočným vzájomným prekrytom (cca 60% medzi snímkami a 30% medzi letovými dráhami). Rozsah prekrytu definuje územie, z ktorého sa dajú získať 3D údaje. Merania sa robia pomocou špeciálnych zariadení (stereoplottrov). Existujú analógové (optické), analytické (kombinované) a digitálne zariadenia. Vektorové objekty sa extrahujú z 3D modelu vytvoreného stereoplottromi pomocou procesu, ktorý je analógickou vektorizáciou, avšak s tým rozdielom, že sa získava aj výšková súradnica z, ktorá vyžaduje 3D kurzor (ukazovátka).

Fotogrametrické metódy sú najvhodnejšie pre mapovanie objektov (budov) a tiež reliéfu. Významným produktom fotogrametrie je **ortofotomapa**, ktorá vzniká korekciami originálnych, nespracovaných snímkov pomocou digitálneho modelu reliéfu. Využitie ortofotomáp je všestranné a v mnohých prípadoch nahrádzajú aj klasické mapy, ktorých obsah veľmi rýchlo zastaráva. Na **Obr. 4.2** je uvedená ukážka časti ortofotomapy (ortofotosnímky).



*Obr 4.2 Ukážka ortofotomapy*

**LIDAR** je skratka pre anglický názov Light Detection And Ranging (detekcia svetla a vzdialenosti). Princípy LIDAR-u sú analogické s RADAR-om. Jedná sa o emitovanie lúčov elektromagnetického žiarenia, ktoré sa odrážajú od objektov a toto odrazené žiarenie sa zaznamenáva. Zatiaľ čo RADAR využíva mikrovlnné žiarenie, LIDAR viditeľné alebo blízke infračervené žiarenie. Zmeny vo vlastnostiach žiarenia indikujú vlastnosti objektov od ktorého sa žiarenie odrazilo. Čas, za ktorý svetelný lúč prejde dráhu k objektu sa používa na určenie vzdialenosti medzi zariadením a snímaným objektom. Na stanovenie presnej polohy objektu je potrebné poznať veľmi presne polohu zariadenia (napr. na palube lietadla). Tá sa

meria pomocou diferenciálneho GPS. Lúč sa emituje s vysokou rýchlosťou (až 30 tis. bodov za sekundu) a presnosť meraní dosahuje až 15 cm.

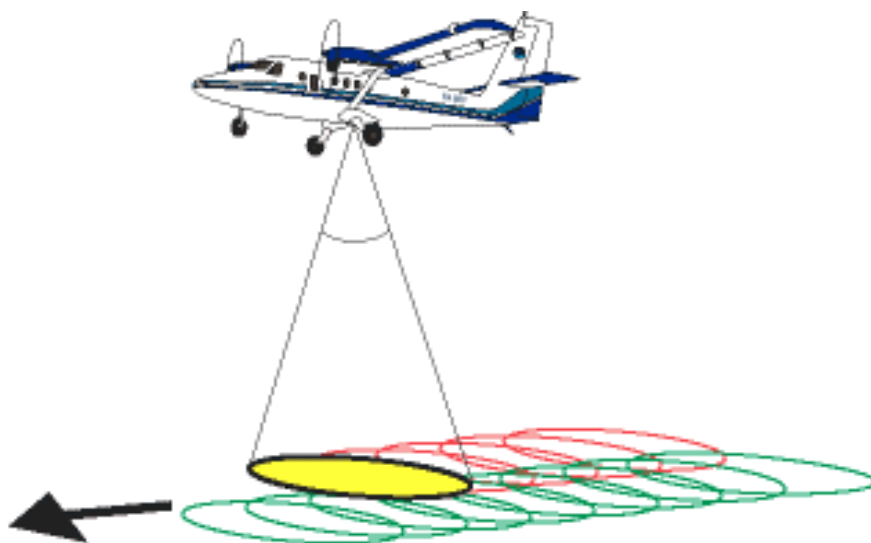
LIDAR sa používa na meranie:

- vzdialenosti,
- rýchlosti,
- rotácie,
- chemického zloženia a koncentrácie (napr. ozónu, vlhkosti, polutantov).

Merané objekty môžu byť pevné alebo difúzne (napr. oblaky, dym a podobne). Najčastejšie sa LIDAR využíva na meranie nadmorskej výšky zemského povrchu (terénu) a mapovanie zastavaných území. Oproti fotogrametrickému meraniu má LIDAR rad výhod najmä pri mapovaní povrchu s vegetáciou.

Existujú 3 základné typy LIDAR-ov:

- LIDAR na meranie vzdialenosti,
- LIDAR na meranie diferenciálnej absorpcie (meranie chemickej koncentrácie pomocou 2 vlnových dĺžok, z ktorých jedna je pohlcovaná skúmanou látkou),
- Dopplerov LIDAR (meranie rýchlosti na základe merania zmeny vlnovej dĺžky odrazeného svetla).



*Obr. 4.3 Meranie nadmorskej výšky pomocou LIDAR-u*

### ***Sekundárne údaje***

Vznikajú digitalizáciou z máp a iných tlačených materiálov. Rastrové údaje sa získavajú pomocou skenovania, vektorové údaje 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 čiernobiely (1 bit na pixel), alebo v stupňoch šedej (8, 16, ... bitov). Farebné skenery zaznamenávajú 3 farebné pásma (zložky) – červené, zelené a modré, každé napr. v 8 bitovom rozsahu. Priestorové rozlíšenie skenerov sa určuje v jednotkách dpi (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 údajov býva skenovaná v rozsahu 400-1000 dpi. Skenovanie tlačených dokumentov má rôzne dôvody. Pomerne často sa skenované materiály ďalej spracúvajú, napr. sa vektorizujú, alebo tvoria rastrový podklad, na ktorý sa „nakladajú“ ďalšie GIS údaje, najmä vektorové. Môžu tvoriť aj fotodokumentáciu k iným údajom (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. Pri farebné letecké snímky je vhodné rozlíšenie až 1000 dpi (Longley et al., 2001).

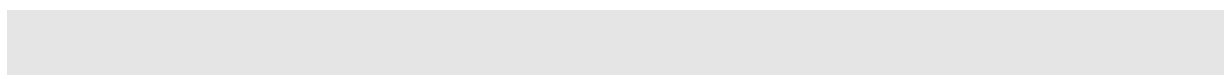
### *Vektorizácia*

**Ručná vektorizácia** je stále veľmi používaná. Ide buď o vektorizáciu obsahu tlačенých máp pomocou digitalizačného zariadenia (digitalizačný stôl alebo tablet, ukazovátka a počítač) alebo o vektorizáciu na obrazovke počítača na skenovanom podklade pomocu myši. Druhý spôsob je pohodlnejší, jednoduchší a presnejší. Navyše 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](#).

**Kvalita údajov** je významný faktor pri práci s GIS-om. Kvalitu údajov je možné vyjadriť piatimi zložkami: polohovou presnosťou, atribútovou správnosťou, logickou správnosťou, kompletnosťou a odvoditeľnosťou (Longley et al., 2001). Kvalita údajov dosiahnutá pri ich zbere a príprave ovplyvňuje aj ďalšie fázy ich spracovania prostredníctvom **prenosu chýb** (angl. error propagation). Niektoré chyby v údajoch 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 údajov je možné určiť vplyv chýb vstupných údajov na celkovú chybu a tým aj spoľahlivosť výsledku. V prípade spracovania údajov zaťažených nepresnosťou je možné informáciu o chybe zahrnúť priamo do procesu analýz a modelovania. Spracovanie takýchto údajov využíva vyjadrenie chýb ako pravdepodobnostných charakteristík popisujúcich údaje.

Informácie o kvalite pripravovaných údajov sa uchovávajú pomocou metaúdajov. **Metaúdaje** obsahujú formálny popis údajov (t.j. sú to údaje o údajoch) – napr. čo dané údaje znázorňujú, kedy, kým, akou metódou a na základe akých podkladov boli údaje pripravené, aké je ich rozlíšenie (v prípade rastra), typy objektov a ich atribúty (v prípade vektorov) súradnicový

system a presnosť údajov (polohová, výšková, atribútová). Metaúdaje sú veľmi dôležité pri použití údajov rôznymi používateľmi, alebo aj pri ich neskoršom používaní a kombinácii s inými údajmi. Príklad prehľadných informácií o dostupných GIS údajoch pre konkrétne územie vrátane metaúdajov ku každej tematickej vrstve je na webovej adrese: <http://www.cgia.state.nc.us/cgdb/datalist.html>.



## 5. Priestorové databázy

V dnešnom informačnom veku je často potrebné spoľahlivo spracovávať a poskytovať používateľom presne vymedzený prístup k veľkému množstvu údajov. Každá organizácia alebo aj štát si musí budovať spoľahlivý informačný systém, ktorého súčasťou je aj databáza a softvér, ktorý s databázou pracuje. Preto súčasné informačné systémy sú úzko spojené s databázami a databázovými systémami. **Databázu** (nazývanú tiež bázou dát) teda chápeme ako integrovanú množinu účelovo zhromaždených údajov.

Hoci prvotné informačné systémy používali individuálne súbory na ukladanie údajov, moderné informačné systémy sú založené na databázových systémoch. Databázové systémy sú viac ako len databáza. Obsahujú tiež **systém riadenia databázy** (angl. database management system, skratka DBMS). Systém riadenia databázy je viacúčelový softvér nad databázou, ktorý umožňuje ľahkú tvorbu, štruktúrovanie, údržbu a výber údajov. Špeciálny aplikačný softvér (ako je napríklad GIS) má prístup k údajom v databáze zabezpečený práve cez DBMS.

**Geografická (priestorová) databáza** je databáza obsahujúca geografické údaje z daného územia a pre určitý účel. Geografická databáza je zvyčajne najkritickejšou časťou GIS-u. Jednak tu ide o vysoké náklady vynaložené na naplnenie databázy údajmi, ale takisto databáza je základ pre tvorbu analýz, modelovanie a tvorbu výstupov. Organizovaná databáza má značné výhody pri využívaní množstva údajov a to najmä ak má veľa používateľov. Rozsahom údajov malé, jednoduché databázy využívané jedným alebo niekoľkými používateľmi môžu byť tvorené len jednoduchým súborovým systémom, kde GIS údaje (mapy) sú uložené ako súbory v špeciálnom adresári, pričom sú často určitým spôsobom štruktúrované (napr. rastrové, vektorové údaje, metadáta a podobne). Komplikovanejšie databázy s veľkým počtom používateľov vyžadujú systém riadenia databázy (DBMS). DBMS zabezpečuje tieto konkrétne úlohy (Longley et al., 2001):

- poskytuje vhodné údajové modely pre popis objektov uložených v databáze,
- vstup (konverziu) údajov vkladáných do databázy,
- indexáciu položiek (údajovú štruktúru potrebnú na rýchle prehľadávanie),



- poskytuje dopytovací databázový jazyk,
- bezpečnosť (prístupové práva),
- riadenú aktualizáciu údajov,
- zálohovanie a obnovu,
- poskytuje nástroje administrácie databázy,
- poskytuje aplikačné nástroje,
- programovateľné aplikačné rozhranie (API).

V GIS-och sa používajú nasledovné typy databáz: relačná, objektová, objektovo-relačná (Longley et al., 2001).

#### *Relačná databáza*

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

Táto štruktúra uchovávania údajov je dostatočne flexibilná a rozšírená. Približne 95% existujúcich údajov 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.

Attributes of Soilsamp.shp									
Shape	Flagnum	X_coord	Y_coord	Ph	Ec	Organic_m	Soil_k	Soil_p	Fl_biomass
Point	1	498364.844	5076876.000	5.8	0.06	3.52	310	37.9	88.06
Point	2	498420.313	5076878.000	6.0	0.06	2.33	222	27.2	84.82
Point	3	498458.813	5076883.500	5.7	0.05	2.90	268	35.6	139.04
Point	4	498311.250	5076819.500	6.3	0.07	3.14	266	28.7	110.67
Point	5	498365.625	5076820.500	6.2	0.08	3.44	388	44.7	90.65
Point	6	498422.375	5076822.500	6.0	0.05	2.85	238	30.2	95.18
Point	7	498468.469	5076830.000	5.9	0.06	4.00	386	64.8	99.91
Point	8	498319.813	5076764.000	6.1	0.06	3.66	326	51.6	68.98
Point	9	498372.719	5076765.000	5.8	0.06	3.80	324	48.8	89.35
Point	10	498425.406	5076765.000	5.8	0.06	3.47	302	52.2	84.92
Point	11	498479.688	5076771.000	7.1	0.23	2.09	222	24.7	80.29
Point	12	498273.969	5076707.000	6.0	0.05	2.65	274	51.0	79.34
Point	13	498321.844	5076709.000	5.9	0.04	3.21	260	35.9	97.39
Point	14	498375.531	5076709.500	6.1	0.05	3.55	286	37.0	93.79
Point	15	498428.031	5076711.500	6.0	0.05	3.24	294	36.8	120.76
Point	16	498482.094	5076712.500	6.0	0.06	2.31	210	27.0	98.79
Point	17	498277.156	5076650.000	5.9	0.07	3.79	392	62.1	131.15
Point	18	498323.438	5076652.500	5.9	0.06	3.93	352	51.0	102.04
Point	19	498377.688	5076654.000	6.5	0.09	2.77	238	25.4	99.61
Point	20	498429.500	5076655.500	8.2	0.12	1.69	174	23.3	79.47
Point	21	498486.719	5076670.500	6.4	0.09	2.43	302	55.0	109.70
Point	22	498275.281	5076587.000	5.8	0.08	4.84	490	63.8	103.70
Point	23	498325.875	5076592.000	6.5	0.05	2.00	184	27.7	99.01
Point	24	498380.938	5076596.500	5.8	0.06	3.58	392	52.9	124.59
Point	25	498434.344	5076601.000	6.0	0.06	4.32	466	55.2	87.71
Point	26	498488.563	5076606.000	6.0	0.05	3.37	314	27.2	87.95
Point	27	498278.281	5076535.000	5.9	0.04	3.26	278	32.0	88.50
Point	28	498327.813	5076538.000	6.0	0.05	3.21	242	33.8	87.23
Point	29	498382.969	5076541.500	5.9	0.09	4.92	662	71.6	122.25
Point	30	498435.406	5076546.000	6.0	0.07	4.83	564	57.2	175.52

Obr. 5.1 Relačná databázová tabuľka v ArcView GIS

### 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 údajov. 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, algoritmického).

Databáza sa vytvára a manipuluje sa s ňou pomocou databázového jazyka. Na prácu s údajmi v databáze sa používa dopytovací jazyk, ktorý sa používa na výber údajov 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, 2001).

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.

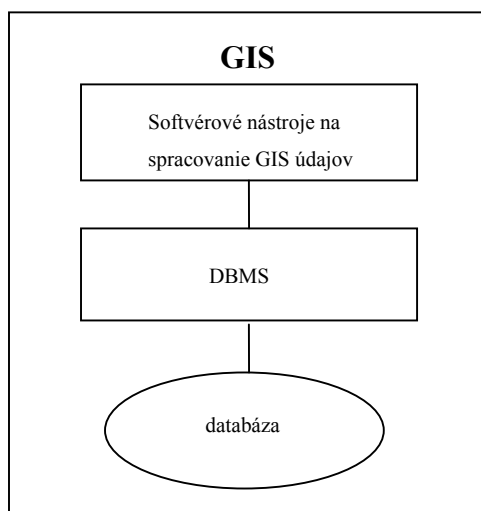
Jednou z hlavných úloh, ktoré musí zabezpečiť systém riadenia bázy dát, je vykonávanie zmien v databáze súčasne viacerými používateľmi. Prístup k databáze musí vylúčiť konflikty a poškodenia databázy v prípade, že viacerí používatelia chcú naraz meniť obsah databázy. Skupina zmien v databáze (napr. pridanie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

Mnoho GIS-ov aj v súčasnosti pracuje s jednoduchým súborovým systémom bez systému riadenia bázy dát (napr. GRASS GIS, ArcView 3.x GIS a iné). Toto riešenie je jednoduché a úsporné, avšak neumožňuje pracovať s údajmi viacerým používateľom naraz najmä pri editácii údajov. 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 údajmi z rôznych databáz.

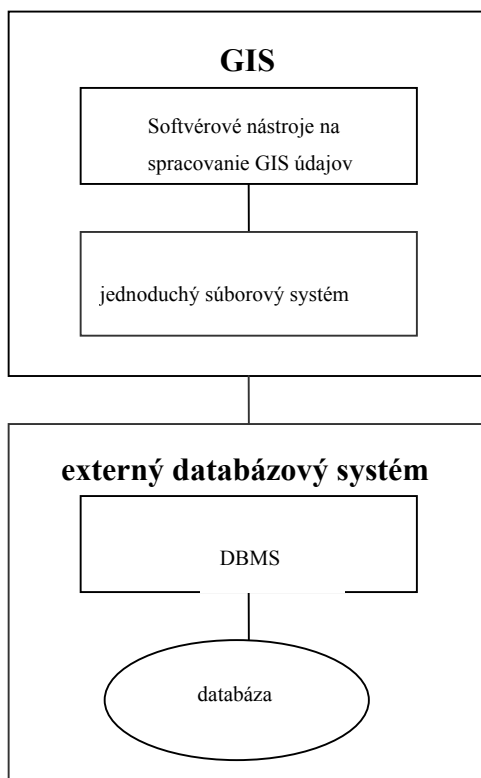
Existujú GIS-y (napr. ArcGIS), ktoré majú svoj vlastný, priamo integrovaný relačný databázový systém. Navyše, mnohé z nich súčasne ponúkajú aj možnosť prepojenia na iné, externé databázy pomocou špeciálnych softvérových modulov. Porovnanie oboch prístupov je

na **Obr. 5.2.** Výber architektúry riešenia závisí od charakteru riešených úloh, počtu používateľov údajov a finančných možností organizácie.

a)



b)



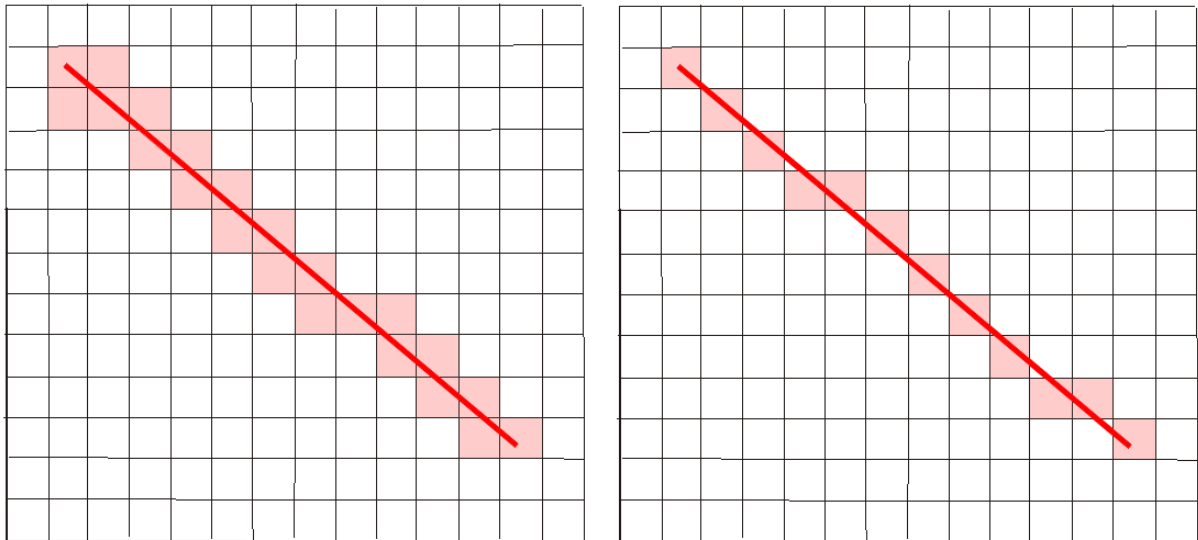
*Obr. 5.2 a) databázový systém ako súčasť GIS-u, b) externé použitie databázového systému*

## 6. Transformácie GIS údajov a priestorové analýzy

Jedným z hlavných rozdielov medzi GIS-om a iným softvérom pracujúcim s geografickými (grafickými) informáciami (napr. CAD, CAM) je v tom, že GIS umožňuje vykonávať rôzne priestorové analýzy a modelovanie. Výber údajového modelu má vplyv na spôsob ďalšieho spracovania údajov. Niektoré analýzy sú analogické pre oba údajové modely (napr. reklasifikácia, analýza susedstva, tvorba zón, atď), iné sú natoľko špecifické, že je potrebné, resp. vhodné využiť konkrétny údajový model (napr. modelovanie prúdenia vody metódou konečných rozdielov, sieťová analýza). V takom prípade je potrebné pred danou priestorovou analýzou vykonať konverziu údajového modelu. Pri praktickom použití GIS-u je bežné, že údaje, ktoré vstupujú do GIS-u sú v rôznych údajových modeloch a formátoch, definované v odlišných súradnicových systémoch a podobne. Pokiaľ používateľ chce s týmito údajmi neskôr pracovať a vykonávať priestorové analýzy, je potrebná transformácia, zjednotenie údajov. Viac informácií o transformáciách súradnicových systémov nájdete v kapitole 3. „Súradnicové systémy a mapové projekcie v GIS-e“. Veľmi častou operáciou je tiež konverzia údajového modelu z vektorového na rastrový alebo opačne, zmena rozlíšenia pri rastrovom údajovom modeli a zmena topologických väzieb pri vektorovom. Osobitná časť operácií je spojená s transformáciami a analýzami atribútov (hodnôt) geografických údajov.

### *Konverzie údajových modelov*

**Konverzia údajových modelov** sa vykonáva vtedy, ak je potrebné zjednotiť spôsob reprezentácie rôznych tematických vrstiev údajov. Napríklad je potrebné vykonať takú analýzu, modelovanie, ktoré vyžaduje konkrétny údajový model. Konverzia z vektoru na raster je relatívne jednoduchá. Je však dôležité zvoliť kritérium pre označenie príslušných buniek rastra (**Obr 6.1**).



*Obr. 6.1 Možnosti označenia rastrových buniek pri konverzii vektorovej línie do rastru*

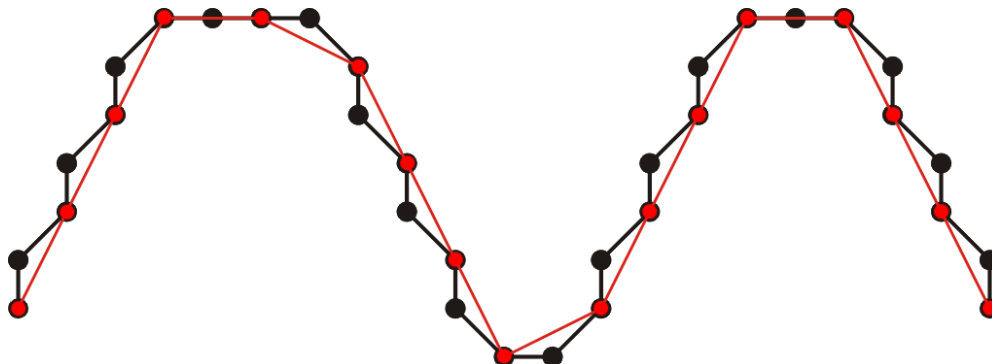
Pri konverzii polygónov sa jedná o problém príslušnosti buniek rastra. Existujú 4 základné metódy (Tuček, 1998):

- 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. Ukážka prvých dvoch metód je uvedená na Obr. 2.2.

Pri konverzii z rastrovej do vektorovej reprezentácie sa bodom vektorového objektu stáva stred bunky pri líniách alebo hrana bunky pri polygónoch. To spôsobuje neprirodzený, 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 rastru s nižším rozlíšením, alebo ak priebeh línie je komplikovaný s veľkým zakrivením, tak metóda vynechávania bodov môže (najmä pri väčšom kroku vynechávania bodov) spôsobovať problémy so zachovaním tvaru. Modifikáciou tohto postupu je vynechanie len tých bodov, ktoré sú blízko pri sebe (pod určitú hraničnú vzdialenosť) alebo je veľmi malý rozdiel v uhloch vektorov úsekov línie.



Obr. 6.2 Vyhladzovanie priebehu línie po konverzii z rastra

Iným spôsobom je výpočet hodnôt súradníc polohy bodu pomocou kľavých aritmetických priemerov. Výsledkom je neredukovaný počet bodov línie s hladším priebehom. Ďalšími veľmi známymi technikami sú Douglas-Peuckerova metóda založená na testovaní hodnoty kolmej vzdialenosti medzi bodmi pôvodnej línie a úsekmi generalizovanej línie (Longley et al., 2001) alebo vyhladzovanie pomocou splajnových metód.

#### *Zmena rozlíšenia rastrového údajového modelu*

Pri práci s rastrovými údajmi je niekedy potrebné zmeniť rozlíšenie rastra, t.j. veľkosť bunky. **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 priemer, metóda najbližšieho suseda, bilineárna interpolácia a kubická konvolúcia). Príklady takýchto transformácií sú uvedené v kapitole 3. „Súradnicové systémy a mapové projekcie v GIS-e“.

### *Priestorové analýzy geografických údajov*

Tieto operácie sú kľúčové, pretože tvoria jednu z ťažiskových súčastí GIS-u. Priestorová analýza umožňuje odhaliť väzby, súvislosti, procesy, ktoré sú ukryté v analyzovaných údajoch. Práve vďaka nej sa z údajov stávajú informácie. Existuje celá paleta operácií s geografickými údajmi. K údajom sa pristupuje cez polohu, atribút, alebo ich kombináciu. Existuje 6 základných skupín GIS operácií (Longley at al., 2001):

- **dopyty** – zamerané sú na lokalizáciu objektov a javov na základe určitých kritérií,
- **merania** – určenie dĺžok, plochy, obvodu, tvaru, vzdialenosti a podobne,
- **transformácie** – kombinácie a porovnávanie údajových vrstiev na základe geometrických, aritmetických a logických pravidiel, konverzie údajových modelov, interpolácia,
- **popisná sumarizácia** – štatistický popis údajov pomocou číselných charakteristík,
- **optimalizácia** – stanovenie optimálnych trás, optimalizovaná lokalizácia objektov a podobne,
- **testovanie hypotéz** – na základe štatistických výberov sa testujú hypotézy o základnom súbore.

### *Dopyty a popisná sumarizácia*

Najjednoduchšou operáciou je **prehľadávanie**, resp. vyhľadávanie, výbery údajov na základe polohy alebo hodnoty atribútu. V prvom prípade sa definuje oblasť, ktorá nás zaujíma (napr. pomocou myši alebo hodnoty vzdialenosti od určitého prvku). V druhom prípade definujeme hodnotu atribútov, ktoré chceme vyhľadať. 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).

### *Transformácie údajov*

Veľmi často vykonávanou operáciou v GIS-e je **reklasifikácia**, pomocou ktorej vytvárame údajovú vrstvu s novými hodnotami atribútov definovaných na základe reklasifikačného kritéria (predpisu) a pôvodných údajov. Reklasifikácia slúži často na zjednodušenie obsahu



údajovej vrstvy, redukuje nerelevantné detaily v analýze. Ak napríklad pracujeme na rozvojovom pláne regiónu, môžeme potlačiť rozdiely medzi lesnými stanovišťami a reklasifikovať všetky zalesnené oblasti do jedného lesa odlišného od poľnohospodárskej plochy a obývaných oblastí.

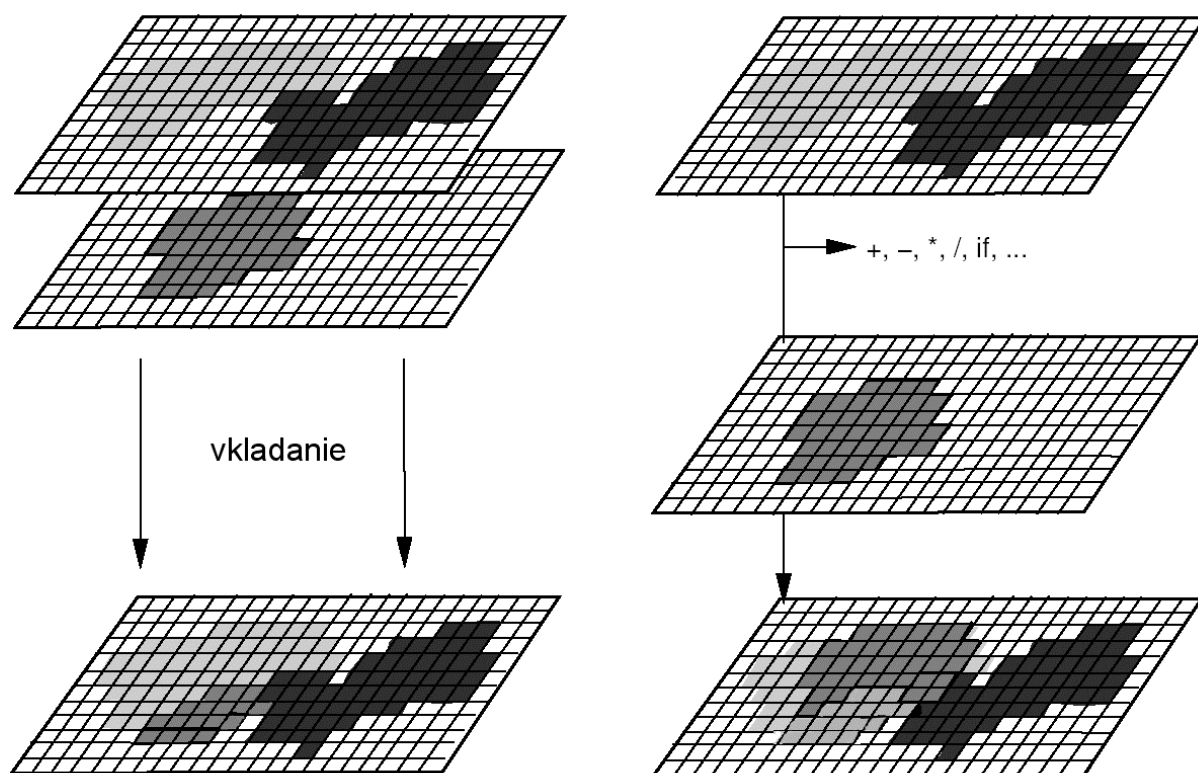
Inokedy nejde o zjednodušenie obsahu, ale o definovanie úplne novej vrstvy údajov. Napríklad na základe kategórií krajinného krytu môžeme reklasifikáciou definovať pre každú kategóriu hodnoty ochranného vegetačného faktora C pre model vodnej erózie pôdy USLE (Šúri et al., 2002).

**Tvorba zón** je operácia, pri ktorej sa na základe vopred definovanej vzdialenosti vytvára zóna okolo daného objektu. 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 rastrovými a aj vektorovými údajmi. Tvorba zón patrí do skupiny vzdialenostných analýz.

**Nakladanie (prekrývanie) vrstiev** má svoj pôvod v tradičnej technike nakladania máp na seba. Dá sa vykonať rôznym spôsobom – napr. jednoduchým presekávaním hraníc alebo dopĺňaním obsahu jednej vrstvy následnými vrstvami v poradí.

Nakladanie polygónov na seba pri vektorovom údajovom modeli je pomerne komplexný problém, pretože je nutné rozhodovať o počte a tvare nových polygónov. Úloha má rozdielny charakter pre diskrétné objekty a pre polia. Úloha sa stáva náročnou najmä pre údajové vrstvy s veľkým počtom objektov. Pri rastrovom modeli ide o jednoduchú operáciu, ktorá však v porovnaní s vektorovým poskytuje odlišné výstupy (Obr. 6.3).

Medzi transformácie GIS údajov patrí aj **priestorová interpolácia**. Jej cieľom je stanoviť hodnotu skúmaného javu v priestore, kde nie sú merania alebo vstupné údaje. Viac k metódam interpolácie je uvedené v kapitole 7. „Digitálne modely reliéfu a morfometrická analýza“.



Obr. 6.3 Nakladanie rastrových vrstiev (spracované podľa práce Neteler a Mitasova, 2002)

### Operácie s rastrovými údajmi

Existuje celý rad veľmi zaujímavých a užitočných analytických operácií s rastrovými údajmi. Okrem najčastejšie používaných ako sú štatistické analýzy, reklasifikácie, tvorba zón tu patria analýzy susedstva, mapová algebra, analýzy nákladov, operácie s rastrovým digitálnym modelom reliéfu (napr. vyplňanie depresí, konštrukcia spádnic a morfometrických parametrov). Náročnejšie aplikácie obsahujú prvky modelovania (napr. slnečného žiarenia, povrchového tečenia vody a sedimentov, alebo aj iných krajinnoeekologických procesov).

**Mapová algebra** je veľmi silný nástroj pre prácu s rastrami. 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).

**Susedské analýzy** 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 tieto operácie: priemer, medián, modus, minimum, maximum, smerodajná odchýlka, diverzita (počet odlišných hodnôt buniek v okolí) a podobne.

### *Operácie s vektorovými údajmi*

Medzi najzaujímavejšie operácie s vektorovými údajmi 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 potrubiach, plynu a elektriny v rozvodných sieťach, pohybu dopravných prostriedkov po dopravných komunikáciách. Najčastejšie sa modeluje zaťaženie siete, prípadne sa hľadá optimálna trasa.

## 7. Digitálne modely reliéfu a morfometrická analýza

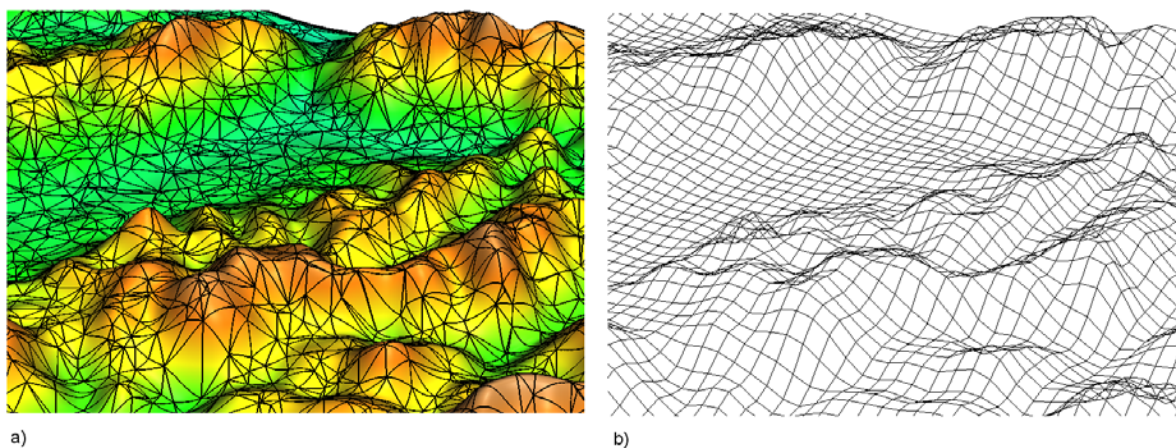
Reliéf Zeme je kontaktná plocha medzi atmosférou, resp. hydrosférou a pedosférou, litosférou. Je výslednicou pôsobenia endogénnych a exogénnych síl. V krajinnej sfére má významné postavenie, pretože na jednej strane reliéf vznikol ako výsledok pôsobenia fyzikálnych síl a procesov, a na strane druhej tieto procesy aj ovplyvňuje. Z toho dôvodu je potrebné reliéf v prostredí GIS-u čo najpresnejšie modelovať a poznať jeho geometrické vlastnosti. Teoretické základy modelovania reliéfu pomocou komplexného modelu reliéfu na Slovensku rozpracoval **Krcho (1990)**. Reliéf 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 krajinnej sféry. Nemusi sa pritom jednať len o dvojrozmernú reprezentáciu javu ako to je v prípade reliéfu, ale môže ísť aj o 3D alebo 4D modelovanie. V 2D prípade sa hovorí o modelovaní povrchov a v 3D prípade objemov.

**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 diskrétnu reprezentáciu reliéfu, kde každé číslo v súbore reprezentuje určitú plochu.

Podľa toho, či priestorové rozmiestnenie čísel 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. Schematické znázornenie 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 údajového modelu, pravidelná priestorová štruktúra údajov 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.

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 údolníc, chrbátic a podobne. Na Obr. 7.1a je na povrchu reliéfu znázornená trojuholníková sieť vzniknutá Delaunayovou trianguláciou a Obr. 7.1b znázorňuje to isté územie vo forme „drôtenej“ štvorcovej siete reprezentujúcej rastrový DMR.



*Obr. 7.1 Reprezentácia DMR: a) nepravidelná trojuholníková sieť a b) raster*

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

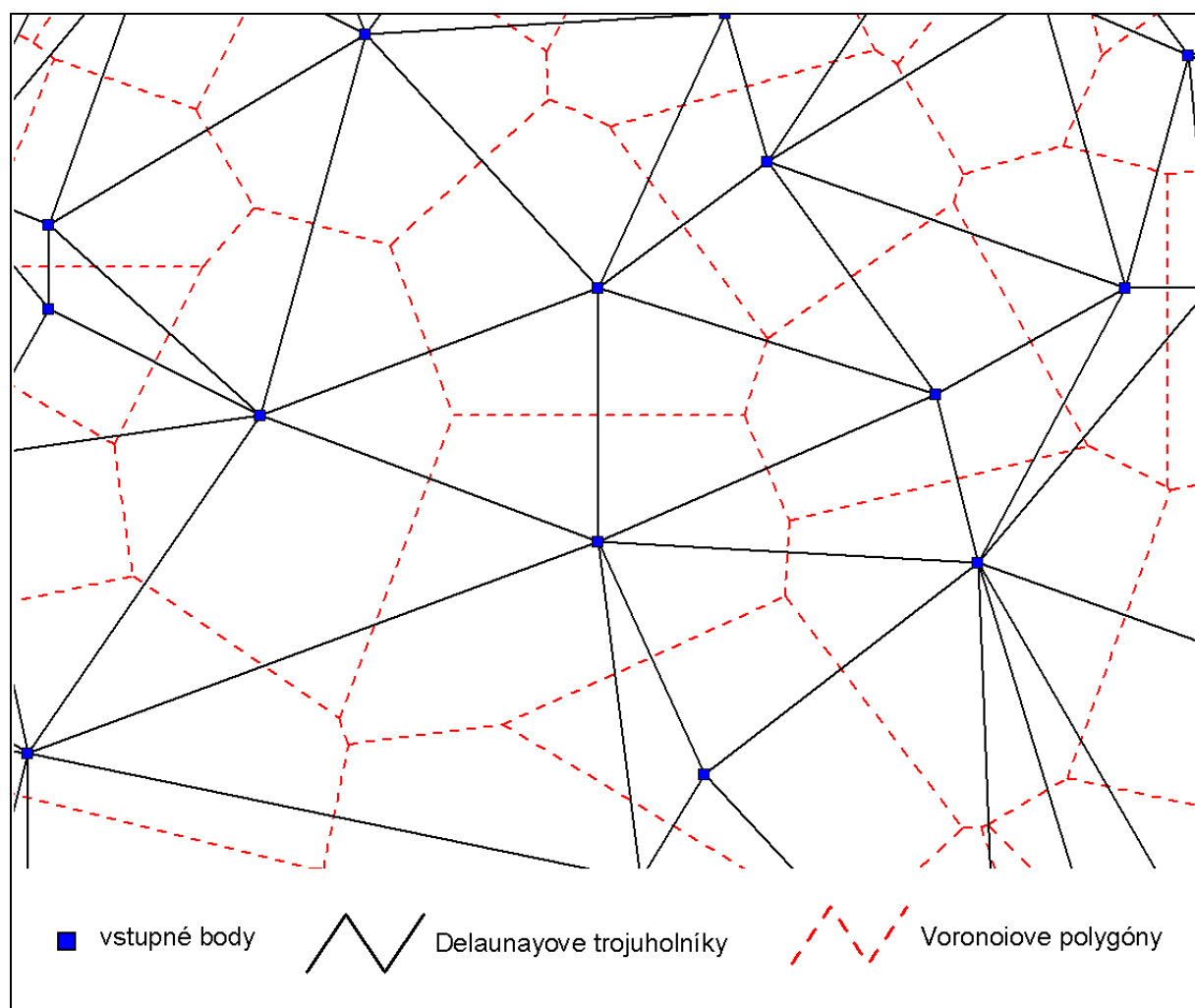
Všetky uvedené typy údajov majú svoje charakteristické vlastnosti, výhody a nevýhody a zároveň ovplyvňujú aj výsledky modelovania (interpolácie). Napríklad merania pomocou GPS majú zvyčajne charakter nepravidelných línií, prípadne osamelých, nepravidelných bodov, kdežto LIDAR údaje majú veľmi husté,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

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 zadáných údajov (napr. často sa jedná o extrapoláciu časového radu hodnôt do budúcnosti).

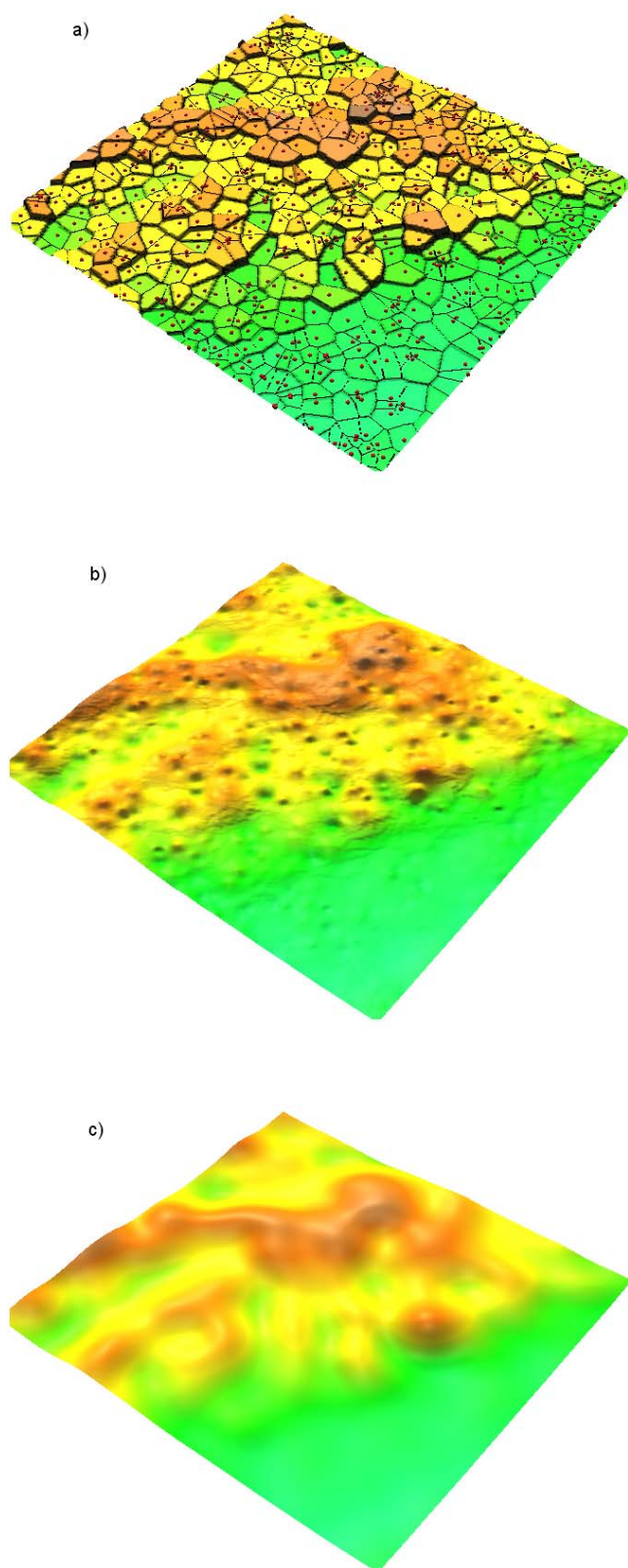
Existuje nekonečné množstvo interpolačných funkcií, ktoré prechádzajú zadanými bodmi a preto sa definujú ďalšie podmienky na základe ktorých vznikli rôzne interpolačné metódy. Takýmito podmienkami sú napríklad lokálnosť funkcie alebo jej hladkosť (Mitas a Mitasova, 1999). Najčastejšie používanou metódou 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 zadáných 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 údajových súborov s nižším rozlíšením tak, aby hustota bodov bola vyššia ako hustota buniek v rastru (Neteler a Mitasova, 2002).

V praxi sa používa aj metóda nazývaná **Voronoiove polygóny (diagramy)**. Metóda je vhodná na transformáciu kvalitatívnych bodových údajov, pri ktorých nie je potrebné uvažovať o spojitosti údajov. 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.



*Obr. 7.2 Delaunayova triangulácia a Voronioive polygóny*





*Obr 7.3 Porovnanie výsledku rôznych interpolačných metód: a) Voronoiove polygóny, b) inverzne vážená vzdialenosť c) regularizovaný splajn s tenziou*

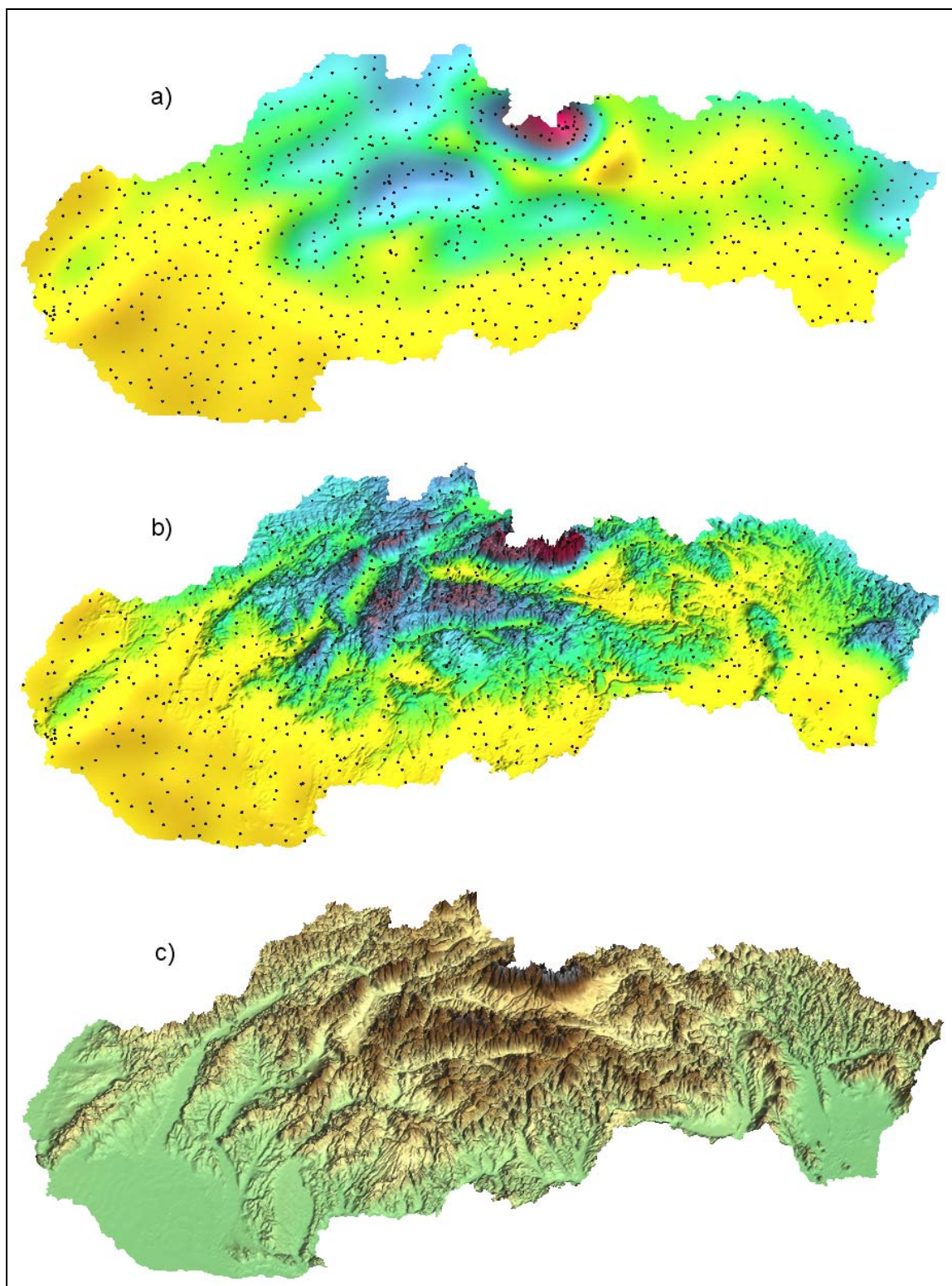


**Kriging** je súčasťou geoštatistických metód. Tieto metódy sa používajú na popis a hodnotenie prírodných javov opísaných premennými hodnotami v priestore. Metóda dostala názov krigeage (kriging) na počesť D. G. Krigeho. Táto metóda môže byť použitá pri modelovaní javov, pri ktorých sa predpokladá spojitý priebeh hodnôt alebo aspoň určitý vzťah medzi hodnotami javu lokalizovaného v priestore. Čiže kriging predpokladá určitý stupeň autokorelácie údajov. Základnou myšlienkou metódy je nájsť závislosť, ktorá charakterizuje vlastnosti javu, ako to vyplýva z meraných údajov, a tieto odhalené vlastnosti použiť aj na zvyšný priestor. Interpolácia v geoštatistike je teda založená na dvoch krokoch: štruktúrálnej analýze a krigingu. Štruktúrálna analýza opisuje charakter distribúcie hodnôt v priestore pomocou špeciálnych grafov vyjadrujúcich priestorové závislosti vo vstupných údajoch (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 anizotrópne. Môže ísť o geometrickú alebo zonálnu anizotropiu.

**Cokriging** 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 údajoch. Pri cokrigingu 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 údajov 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 údajov 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 údajov 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 reliéfu. Reliéf je vo forme DMR s rozlíšením 500 m (c).*

## *Morfometrická analýza reliéfu*

Reliéf 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 reliéfu prebieha na základe poznania geometrických vlastností reliéfu. Pri tejto analýze má kľúčové postavenie koncepcia fyzikálneho poľa a diferenciálna geometria. Ak sa reliéf 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 reliéfe. Výsledkom morfometrickej (geometrickej) analýzy reliéfu sú morfometrické parametre popisujúce geometrické vlastnosti reliéfu. Medzi najčastejšie používané patria predovšetkým sklon, orientácia voči svetovým stranám a normálové krivosti.

Označme parciálne derivácie (interpolačnej) funkcie popisujúcej priebeh reliéfu vo všeobecnom tvare  $z = f(x, y)$  nasledovným spôsobom:

$$f_x = \frac{\partial f}{\partial x}, f_y = \frac{\partial f}{\partial y}, f_{xx} = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}, f_{xy} = \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}, f_{yy} = \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (1)$$

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

### **uhol sklonu reliéfu v smere spádovej krivky**

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

### **orientácia reliéfu voči svetovým stranám**

$$\alpha = \arctan\left(\frac{f_y}{f_x}\right) \quad (3)$$

### **normálová krivosť v smere spádovej krivky**

$$\kappa_s = \frac{f_{xx}f_x^2 + 2f_{xy}f_xf_y + f_{yy}f_y^2}{(f_x^2 + f_y^2)\sqrt{(f_x^2 + f_y^2 + 1)^3}} \quad (4)$$

### normálová krivosť v smere dotýčnice k vrstevnici

$$\kappa_t = \frac{f_{xx}f_y^2 - 2f_{xy}f_xf_y + f_{yy}f_x^2}{(f_x^2 + f_y^2)\sqrt{f_x^2 + f_y^2 + 1}} \quad (5)$$

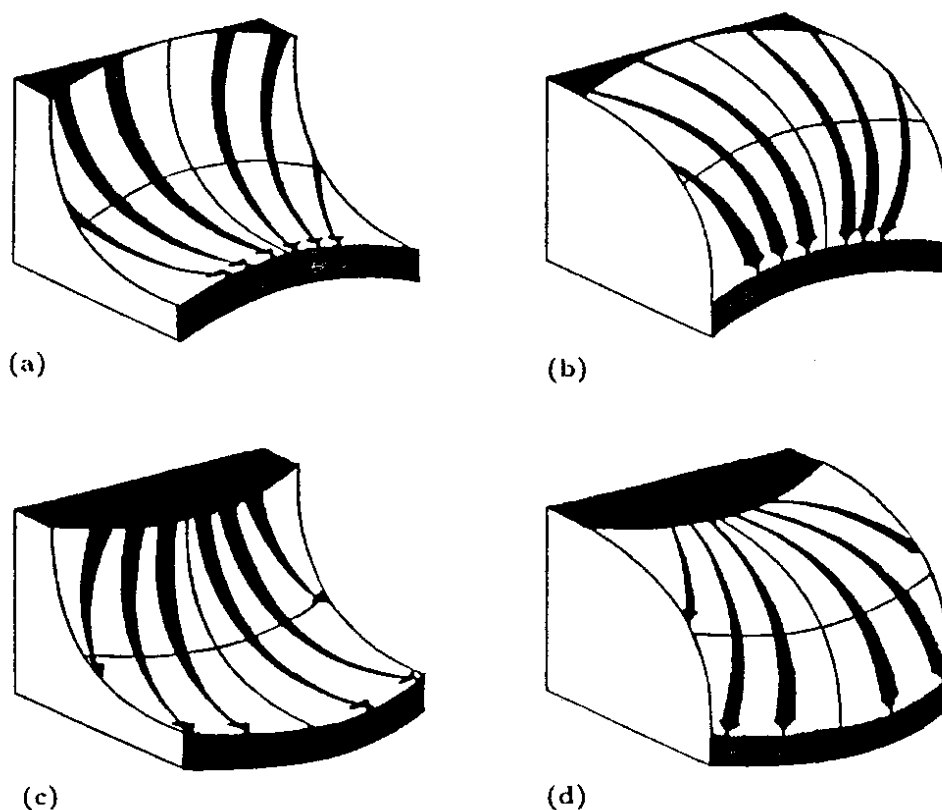
Sklon a orientácia reliéfu je definovaná gradientom skalárneho poľa nadmorských výšok. Uhol sklonu reliéfu sa vyjadruje v stupňoch v intervale  $0^\circ - 90^\circ$ . Orientácia voči svetovým stranám sa vyjadruje tiež v stupňoch, avšak v intervale  $0^\circ - 360^\circ$ , pričom je dôležité stanovenie základného, nultého smeru a smer prírastku uhlu. Územie s nulovým sklonom nemá definovanú orientáciu voči svetovým stranám. Normálové krivosti vyjadrujú tvar reliéfu v reze, ktorý vzniká ako priesečník reliéfu a normálovej (kolmej) roviny. V rôznych smeroch však reliéf má rôznu krivosť. Z hľadiska fyzikálnych procesov, ktoré prebiehajú na reliéfe sú dôležité 2 smery: smer spádovej krivky (gradientu) a smer dotýčnice 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 reliéfu v definovaných smeroch. Kombinácia tvarov reliéfu v oboch smeroch vytvára geometrické formy reliéfu (Krcho, 1990). Ohraničené sú nulovými izočiarami normálovej krivosti v smere spádovej krivky a normálovej krivosti v smere dotýčnice 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 (rovnice 2-5) 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 dotýčnice k vrstevnici ovplyvňuje zbiehavosť a rozbiehavosť toku látok.

Každá z geometrických foriem reliéfu vyčlenená na základe krivostí (rovnice 4-5) špecificky ovplyvňuje toky látok na reliéfe (Krcho, 1990). Konkávna forma v smere spádovej krivky

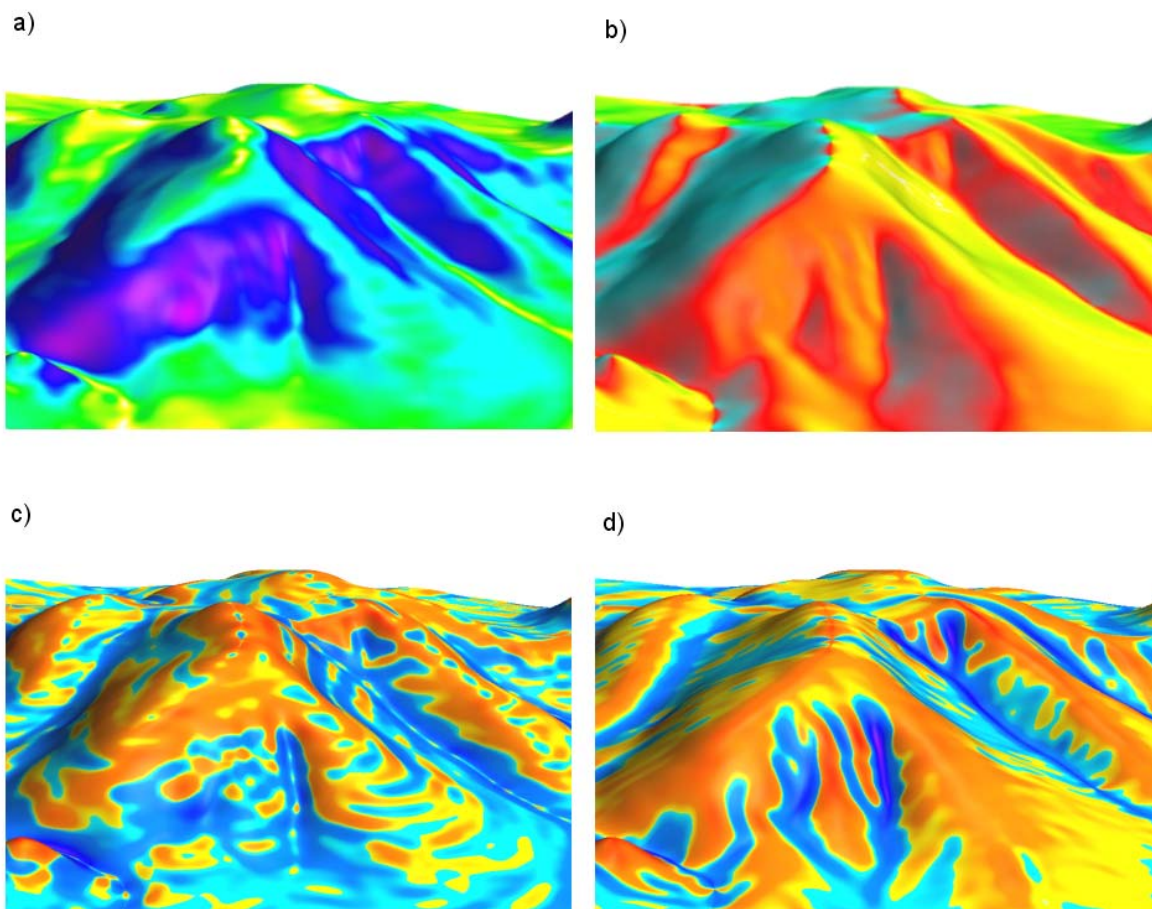
a zároveň konkávna v smere dotýčnice k vrstevnici (konkáv-konkávna forma) spomaľuje a zbíha tok látok, konvex-konkávna forma zrýchľuje a zbíha tok látok, konkáv-konvexná forma spomaľuje a rozbieha tok látok a konvex-konvexná forma zrýchľuje a rozbieha tok látok. Schematicky je vplyv jednotlivých foriem reliéfu znázornený na Obr. 7.5.



*Obr. 7.5 Vplyv geometrických foriem reliéfu 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 reliéfe sú topografické predpoklady pre čistý odnos alebo akumuláciu materiálu (Mitas a Mitasová, 1998). Trojrozmerná vizualizácia vyššie uvedených morfometrických parametrov formou farebného povrchu reliéfu je na Obr. 7.6.





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

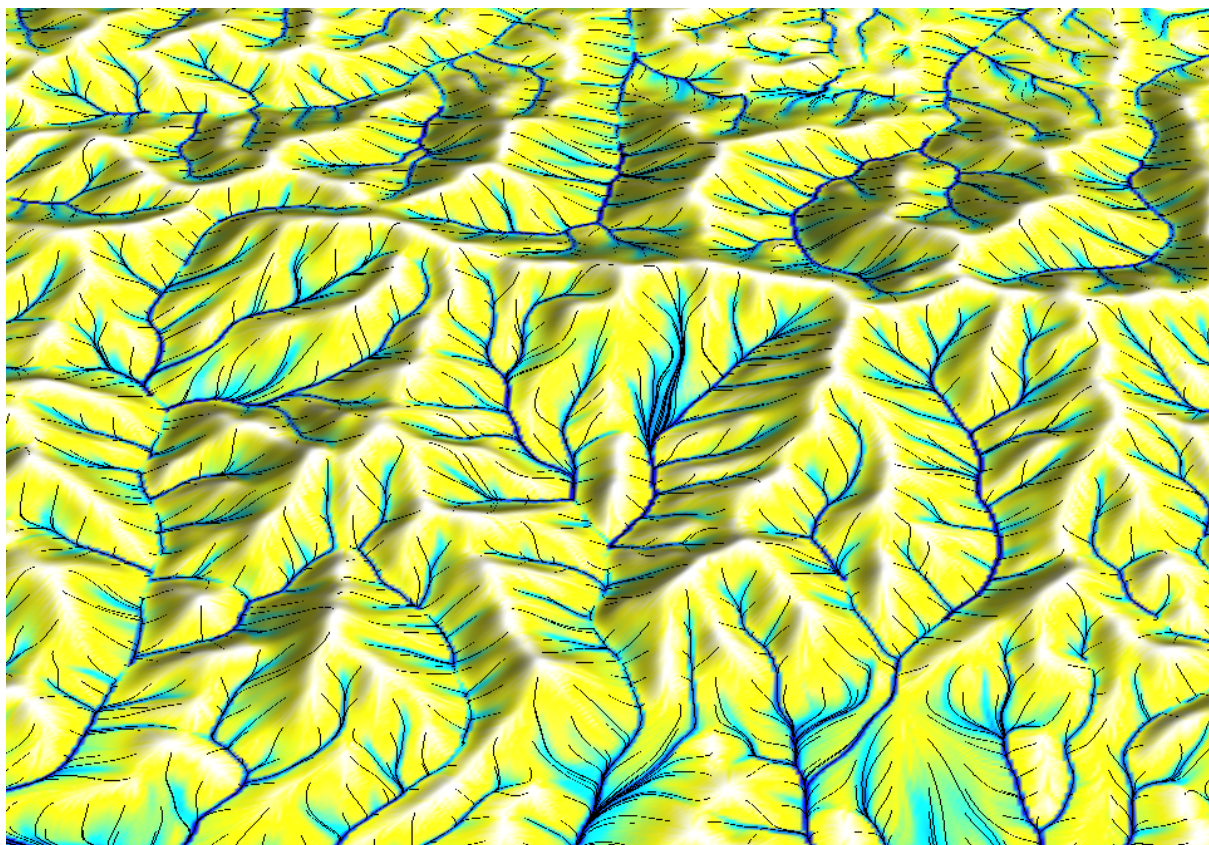
Okrem topických morfolometrických parametrov vyjadrujúcich vlastnosti reliéfu v diferenciálne malom okolí daného bodu (rovnice 2-5) existujú aj parametre charakterizujúce širšie geometrické vlastnosti reliéfu. Medzi takéto parametre patria napr. vertikálna a horizontálna členitosť reliéfu, dĺžky spádových kriviek, prispievajúca plocha. **Prispievajúca plocha** vyjadruje plochu reliéfu, z ktorého voda steká do daného bodu (Obr. 7.7). 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).

#### *Využitie v praxi*

Digitálne modely reliéfu 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 reliéfu a viaceré prírodovedné aplikácie zamerané najmä na geomorfologické procesy (napr. erózia pôdy, zosuny), modelovanie distribúcie slnečného žiarenia dopadajúceho na reliéf 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. Reliéf prostredníctvom svojich geometrických vlastností vyjadrených morfometrickými parametrami teda ovplyvňuje celý rad krajinnoeekologických procesov, ktoré prebiehajú na zemskom povrchu. V technickej oblasti je takisto veľmi veľa zaujímavých aplikácií. Šírenie signálu mobilných operátorov je významne ovplyvnené členitosťou reliéfu, 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 reliéf jednu z najvýznamnejších prekážok. Analýza viditeľnosti je dôležitá z urbanistického, ale aj turistického hľadiska. Vojenská sféra venuje digitálnym modelom reliéfu veľkú pozornosť, pretože reliéf 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](#)).

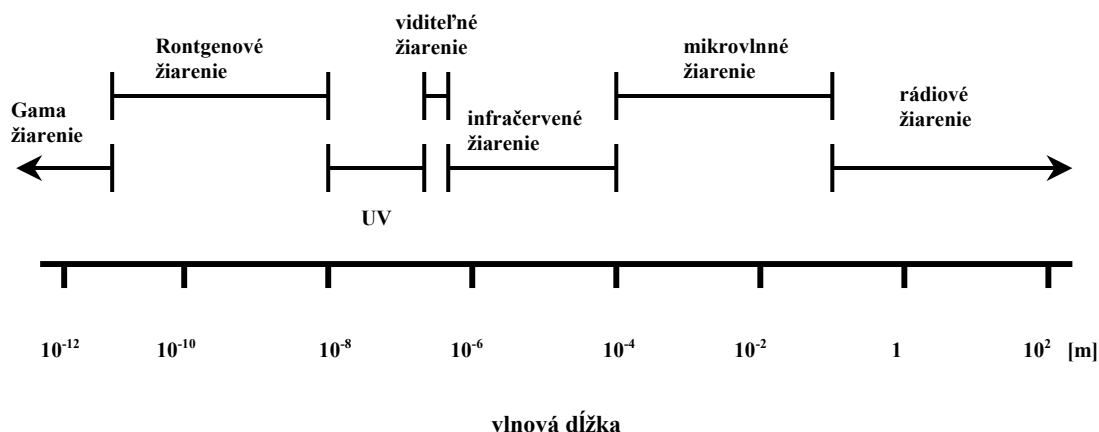




*Obr. 7.7 Spádové krivky a prispievajúce plochy na rastrovom DMR (spracované príkazom `r.flowmd` v GIS-e GRASS)*

## 8. Digitálne spracovanie satelitných a leteckých snímok

**Diaľkový prieskum Zeme (DPZ)** zohráva kľúčovú úlohu v zbere údajov o povrchu Zeme. Hlavnou výhodou technológií DPZ je, že umožňujú zber veľkého množstva údajov platných pre daný časový moment, prípadne v pravidelne opakujúcich sa časových periódach (najmä satelitné systémy). Princípom metód DPZ je záznam údajov o objektoch krajiny sféry bez priameho kontaktu s nimi. Kľúčovú úlohu tu zohráva **elektromagnetické žiarenie**, ktoré je po odraze od skúmaného objektu modifikované. To umožňuje skúmať jeho vlastnosti prostredníctvom záznamu a analýzy odrazeného žiarenia. Na základe toho môžeme identifikovať 2 základné prístupy skúmania krajiny sféry: pomocou pasívnych (optických) systémov a aktívnych systémov (RADAR, LIDAR). Pasívne systémy zaznamenávajú slnečné žiarenie odrazené od objektov vo viditeľnej a infračervenej časti spektra. Rozloženie jednotlivých častí spektra elektromagnetického (EMG) žiarenia je na **Obr. 8.1**.

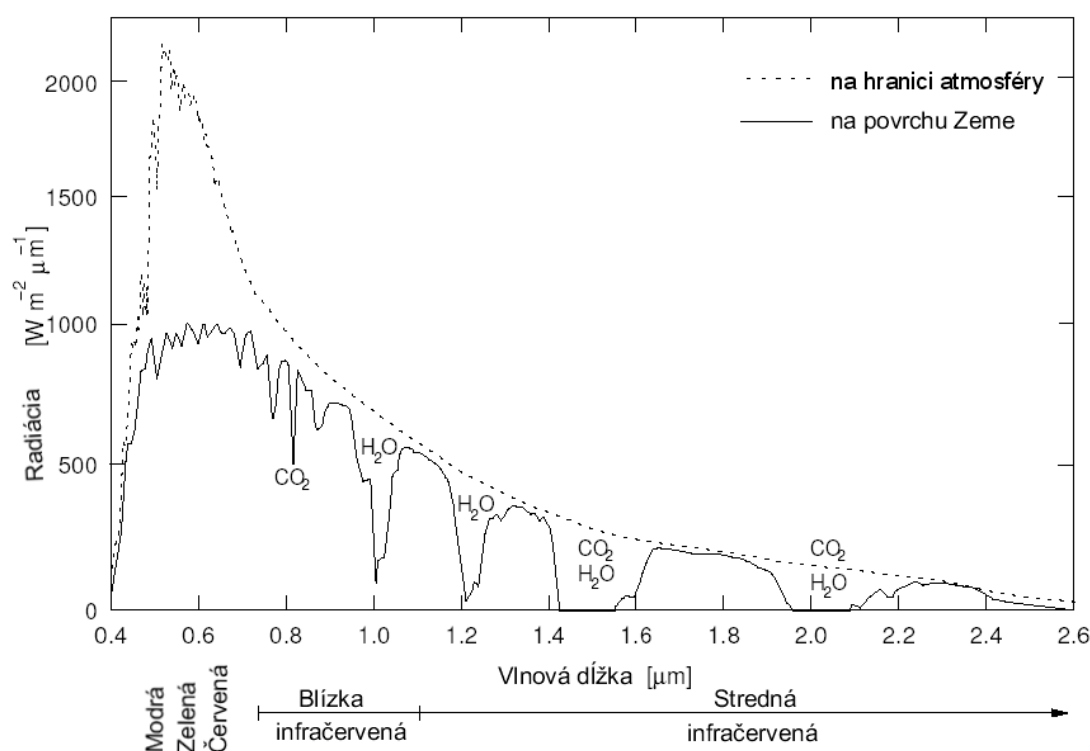


Obr. 8.1 Spektrum elektromagnetického žiarenia (UV=ultrafialové žiarenie)

**Aktívne systémy**, emitujú vlastné mikrovlnné žiarenie a zaznamenávajú jeho odraz. Výhodou týchto systémov je, že nie sú závislé od slnečného žiarenia a oblačnosti. Pri pasívnych satelitných systémoch je oblačnosť častou prekážkou snímania povrchu Zeme. Mikrovlnné žiarenie však prechádza aj oblakmi a umožňuje snímať povrch Zeme v akomkoľvek časovom momente.

**Pasívne systémy** zaznamenávajú odrazené slnečné žiarenie. Slnko emituje plné spektrum EMG žiarenia, avšak na povrch Zeme dopadá len časť tohto spektra. Časť tohto žiarenia je

rozptýlená, pohltaná a odrazená atmosférou Zeme. Po dopade na zemský povrch je časť žiarenia pohltaná povrchom a časť odrazená späť do atmosféry, kde opäť podlieha týmto procesom. Len tá časť EMG žiarenia, ktorá bola odrazená a prenikla naspäť do atmosféry, prípadne až mimo nej je zaznamenávaná pasívnymi systémami. Z toho vyplýva, že pomocou týchto systémov určitá časť spektra EMG žiarenia nemôže byť snímaná. 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. Odraz žiarenia od vegetácie závisí najmä od obsahu chlorofylu. Napríklad zmeny v zdravotnom stave vegetácie sú osobitne viditeľné v blízkej infračervenej oblasti spektra. Niektoré satelity snímajú aj dlhovlnné infračervené (tepelné) vyžarovanie povrchu Zeme (napr. Landsat, NOAA).



Obr. 8.2 Pohlcovanie slnečného žiarenia zemskou atmosférou (Zdroj: Neteler a Mitasova, 2002)

Satelitné snímače sú zvyčajne multispektrálne systémy. To znamená, že snímajú naraz viaceré časti spektra (spektrálne kanály), avšak s pomerne úzkym spektrálnym rozsahom. Niektoré systémy obsahujú aj tzv. panchromatický kanál, ktorý pokrýva veľký rozsah vlnovej dĺžky

(viditeľnú a blízku infračervenú časť spektra), zvyčajne s vyšším priestorovým rozlíšením. Ako satelit prechádza nad zemským povrchom, sníma odrazené žiarenie riadkovými snímačmi (skenermi) v jednotlivých spektrálnych pásmach súčasne. Takto vytvorené digitálne údaje sa ukladajú v rastrovom údajovom modeli na záznamové médium, alebo sa priamo prenášajú na prijímaciu stanicu na Zemi. Po ich predspracovaní sa distribuujú ako tzv. scény, čo sú štandardizované údajové súbory pokrývajúce určitý rozsah územia. Satelity majú tiež rôzne orbity (dráhy). Existujú polárne a geostacionárne satelity. Geostacionárne satelity sú značne vzdialené od zemského povrchu (zvyčajne 36 000 km), čo im umožňuje udržiavať relatívne „statickú“ polohu nad určitou časťou zemského povrchu. Polárna orbitálna dráha umožňuje postupnými obletmi Zeme vo forme pásov pokryť celý zemský povrch a zároveň v pravidelných časových periódach prechádzať a snímať rovnaké územie. Prehľad v súčasnosti dostupných satelitných nosičov je možné získať napr. na webovej stránke firmy [GISAT Praha](#).

Údaje získané satelitnými systémami sú zaznamenávané v rastrovom údajovom modeli, pričom každému pixelu môžeme priradiť 4 parametre: priestor, vlnovú dĺžku, čas a intenzitu EMG žiarenia.

**Rozlíšenie** je kľúčový pojem pre satelitné údaje. Existuje priestorové, spektrálne, rádiometrické a časové rozlíšenie.

*Priestorové rozlíšenie* je veľkosť pixela (obrazového elementu). V environmentálnych aplikáciách sa využívajú priestorové rozlíšenia 1-30 m. Toto rozlíšenie určuje aj využiteľnosť údajov pre určité mapové mierky. Satelitné snímky často nie sú polohovo lokalizované v konkrétnom súradnicovom systéme (georeferencované).

*Spektrálne rozlíšenie* sa týka spektrálnej citlivosti každého kanála. Ide o spektrálny rozsah EMG žiarenia, ktoré príslušný kanál zaznamenáva. Dôležitý je nielen počet kanálov, ale aj spektrálny rozsah každého z nich. Napríklad vlastnosti vegetácie sa dajú dobre pozorovať v úzkom pásme medzi červenou a blízkou infračervenou časťou spektra.

*Rádiometrické rozlíšenie* popisuje dynamiku signálu charakterizovanú počtom úrovní, stupňov EMG žiarenia, ktoré je snímač schopný registrovať. Napríklad údaje z kanálov LANDSAT-TM5 sú efektívne zaznamenávané v 7 bitoch (127 stupňov), iné satelity majú rádiometrické rozlíšenie až 12 bitov (4096 stupňov).

*Časové rozlíšenie* je určené časovou frekvenciou *snímania* daného územia konkrétnym nosičom (satelitom). Rádovo sa pohybuje od desiatok minút v prípade meteorologických družíc po niekoľko desiatok dní.

Snímač-scéna	Rozmer scény [km]	Rozlíšenie pixela [m]	Počet a druh
RESURS-01			
plná scéna	600 x 600	160	3 V, 1 BIČ
LANDSAT 5			
MSS	180 x 170	80	3 V, 1 BIČ
TM - plná scéna	180 x 170	30	3 V
		30	2 BIČ
		30	1 SIČ
		120	1 TIČ
LANDSAT 7			
ETM - plná scéna	185 x 185	15	1 PAN
		30	3 V
		30	2 BIČ
		30	1 SIČ
		60	1 TIČ
JERS			
JERS-SAR	75 x 75	18	1 MW
JERS-OPS	75 x 75	18	3 V, 1 BIČ
ERS			
ERS-1, 2	100 x 100	25	1 MW
IRS			
PAN - plná scéna	70 x 70	5,8	1 PAN
LISS-III - plná scéna	141 x 141	23,5	2 V, 1 BIČ
IKONOS			
PAN	min 11 x 11	1	1 PAN
Multispectral	min 11 x 11	4	3 V, 1 BIČ
PAN-Sharpened	min 11 x 11	1	1 PAN farebný
RADARSAT			
fine	50 x 50	10	1 MW
standard	100 x 100	30	1 MW

wide	150 x 150	30	1 MW
<b>SPOT 5</b>			
XS	60 x 60	20	2 V, 1 BIČ
XI	60 x 60	20	2 V, 1 BIČ, 1 SIČ
P	60 x 60	10	1 PAN
<b>RESURS F-2</b>			
MK-4: plná scéna	150 x 150	16	2 V, 1 BIČ
MK-4 (mono)	150 x 150	16.VIII	1 pásmo voliteľné
<b>KOSMOS/SPIN-2</b>			
KVR-1000: plná scéna	40 x 40	2	1 PAN
TK-350	200 x 300	10	1 PAN
<b>RESURS F-1</b>			
KFA1000: plná scéna	80 x 80	5	1 PAN
KATE-200 (mono)	225 x 225	20	1 pásmo
KATE-200	225 x 225	40	2 V, 1 BIČ
<b>RESURS F-3</b>			
KFA-3000: plná scéna	21 x 21	2	1 PAN

*Vysvetlivky skratiek: V- viditeľné pásmo, BIČ- blízke infračervené pásmo, SIČ - stredné infračervené pásmo, TIČ - tepelné infračervené pásmo, PAN - panchromatické pásmo, MW - mikrovlnné pásmo.*

*Tab. 8.1 Prehľad parametrov scén vybraných nosičov satelitných údajov (Zdroj: [GISAT Praha, 2003](#))*

Satelitné údaje sa poskytujú v rôznych údajových formátoch. Najbežnejšími formátmi sú CEOS, BIL, BSQ, GeoTIFF, ERDAS/LAN, NCSA/HDF alebo HDF-EOS. Údaje môžu byť už georeferencované, alebo je potrebné ich georeferencovať najmä s ohľadom na ostatné GIS údaje, aby bolo možné robiť ďalšie analýzy.

**Georeferencovanie** (rektifikácia) sa robí 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 využitie údajov z GPS meraní, máp a polohovo lokalizovaných údajov z DPZ. V prípade polynomickej transformácie (lineárnej, afinnej alebo kubickej) je potrebný vyšší počet bodov. Polynomicke transformácie 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 je totožné transformácii súradnicových systémov. Viac informácií o polynomičných transformáciách nájdete v kapitole 3. „Súradnicové systémy a mapové projekcie v GIS-e“.

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. Pri veľkom vertikálnom prevýšení tak dochádza k polohovým nepresnostiam a deformáciám plôch (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 **rádiometrického predspracovania** (korekcií) skreslení vyplývajúcich z pôsobenia rôznych faktorov. Ide najmä o charakteristiky snímacieho systému (v prípade kvantitatívneho porovnávania údajov 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 multitemporálnej analýzu (t.j. analýzu údajov 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. Štatisticky sa atmosférické vplyvy zisťujú na základe známych tmavých objektov (napr. voda alebo ihličnaté lesy), ktoré vplyvom atmosféry nie sú tmavé. Od hodnôt radiácie 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 vznikať aj tieň (Obr. 8.3). Existuje viacero metód na



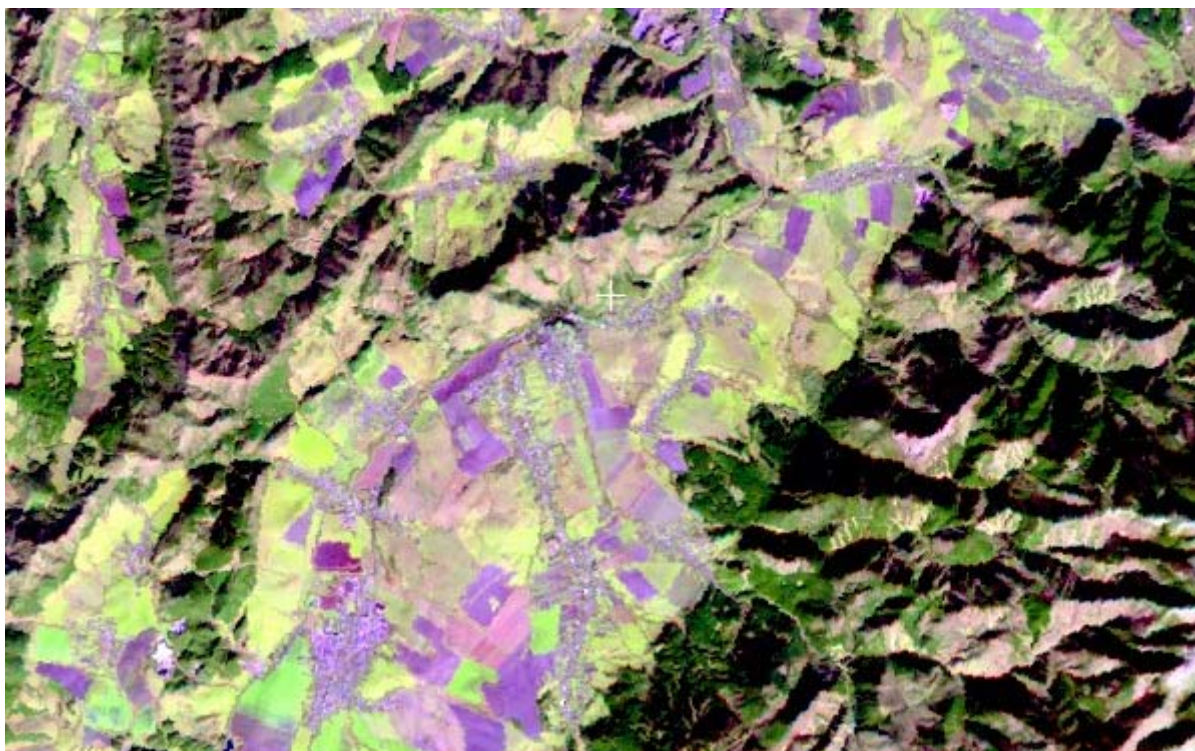
elimináciu vplyvu reliéfu a v princípe ide o korekciu hodnôt radiácie v závislosti od uhla dopadu slnečných lúčov na zemský povrch.

Ďalším metodickým krokom v etape predspracovania je často aplikácia **spektrálnych transformácií**. Tie zahŕňajú celé spektrum algoritmov zvyrazňujúcich v údajoch tie vlastnosti objektov krajiny, ktoré signifikantne ovplyvňujú ich spektrálne charakteristiky. Použitie spektrálnych transformácií zlepšuje interpretovateľnosť údajov pri výraznom zmenšení ich množstva. Medzi najpoužívanejšie patrí metóda hlavných komponentov 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. Index NDVI kombinuje kanály 3 a 4 z Landsatu TM tak, že zvyrazňuje informáciu o vegetačnom kryte.

V náročnejších analýzach ide napríklad o odstránenie korelácií medzi rôznymi kanálmi alebo o odstránenie šumu a periodických pásov na obrazových záznamoch. 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. 8.3 Vplyv reliéfu na satelitný záznam. Čierne plochy sú tieň v členitom reliéfe. (Zdroj: [GeoModel, s.r.o.](#))*

Jedným z cieľov použitia satelitných údajov je tvorba alebo aktualizácia tematickej mapy o krajinnej pokrývke, vybraných vlastnostiach rôznych objektov v krajine (obsah vody v pôde, objem biomasy, minerálne zloženie hornín). Nevyhnutnou je fáza transformácie údajov DPZ na informácie prostredníctvom **interpretácie**. 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, zvýraznenie 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 nezvládnuteľné, avšak na druhej strane sú zaťažené vyšším stupňom subjektivity a unikátnosti.

Skupinu metód **digitálnej interpretácie** údajov 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) údajov, 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 údajov a potom sú pixely priradené k jednotlivým objektom.

**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 údajoch tzv. trénovacie plochy, na základe ktorých sa pripraví vstupné štatistické hodnoty pre klasifikačnú funkciu. Na základe trénovacích plôch klasifikačná metóda vyklasifikuje na zvyšku údajov 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, 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 trénovacích 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.

#### *Spracovanie leteckých snímok a tvorba ortofotomapy*

**Letecké fotografie** sú významným zdrojom údajov pre veľkomierkové mapovanie. Aj v minulosti sa používali na tvorbu a aktualizáciu máp. Z leteckých snímok je možné získať

informáciu o reliéfe, stave pôdnej a lesnej pokrývky a urbánnych prvkoch. Z hľadiska mapovania a GIS-u sú najdôležitejšie vertikálne snímky, pri ktorých sa povrch Zeme sníma fotografickým prístrojom v kolmici na horizontálnu rovinu.

Letecká fotografia má, na rozdiel od mapy, centrálnu projekciu. Z toho dôvodu objekty na okrajoch fotografie sú skreslené a pri vysokých objektoch (napr. bytovky, stromy) a menšej výške snímania má človek dojem, že tieto objekty „padajú“ (Obr. 8.4). Toto skreslenie sa zvyšuje pri členitom reliéfe a náklone lietadla. Letecké snímky sa preto musia ortorektifikovať. Ortorektifikácia nie je potrebná na rovinatých územiach a v malých mierkach. Variančné rozpätie výšky by nemalo presiahnuť  $1/500$  z mierkového čísla z mierky, v ktorej snímka bola nasnímaná (napr.  $10\,000/500=20$  m). Nalietavanie územia sa zvyčajne robí v smere východ-západ alebo opačne najmä z dôvodu minimalizácie efektov oslnenia. **Ortofotomapa** je teda spracovaná letecká snímka, na ktorej sú odstránené vplyvy náklonov lietadla, smerov jeho pohybu a centrálna projekcia je zmenená na ortogonálnu pričom sú odstránené aj vplyvy reliéfu. Ortofotomapa v tlačenej podobe obsahuje okrem ortofotosnímkaj legendu a mierku.

Pri tvorbe ortofotomapy je nevyhnutný digitálny model reliéfu a referenčné mapy. DMR je potrebný na odstránenie vplyvov reliéfu. Rozlíšenie rastrového DMR by malo byť blízke rozlíšeniu leteckých snímkov. To býva vysoké (aj menej ako 1 m) a preto je vhodné preinterpolovať DMR na potrebné rozlíšenie, aby nedochádzalo k polohovým nepresnostiam (Neteler a Mitasova, 2002). 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. Referenčné (vlícovacie) body pre ortofotmapu sa s vyššou presnosťou dajú namerať najmä s použitím GPS. Na okrajoch snímky sú vyznačené údaje o čase, nadmorskej výške, náklone a ohniskovej vzdialenosti, prípadne aj ďalšie údaje o parametroch fotografického prístroja.

Existujú 2 typy ortofotomáp: „skutočné“ a pseudoortofotomapy. Pri skutočných ortofotomapách sa vykonáva polohová korekcia všetkých vyvýšených objektov (napr. striech domov) tak, že na ich pôvodnom mieste na snímke nie sú žiadne údaje. Pri tomto type ortofotomáp je potrebné mať nielen DMR ale aj výšky všetkých vyvýšených objektov. Digitálny model terénu (DMR vrátane objektov) sa dá odvodiť pomocou stereopárov leteckých snímkov, alebo pomocou laserovej technológie LIDAR. Pri pseudoortofotomapách



sa polohový posun vyvýšených objektov nevykonáva, takže časť stien týchto objektov zostáva viditeľná.



*Obr. 8.4 Nespracovaná letecká snímka s centrálnou projekciou (Zdroj: Mesto Bardejov)*

Po výbere DMR a zadaní interných a externých parametrov fotografického prístroja pri snímkovaní je potrebné identifikovať aj niektoré významné body na leteckej snímke definujúce jej geometrické vlastnosti. Na základe referenčných bodov medzi snímkom 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.



Ortofotomapy sa dajú veľmi dobre použiť nielen namiesto máp, ale aj na klasifikáciu krajinej pokrývky. Oproti satelitným údajom 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, hran). 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. 8.5).



*Obr. 8.5 Pseudoortofotomapa s naloženou vektorovou vrstvou hraníc pozemkov, t.j. katastrálnou mapou (Zdroj: Mesto Bardejov, Eurosense, s.r.o., GKÚ Bratislava)*

## 9. Vizualizácia a kartografická prezentácia

Úlohou vizualizácie údajov v GIS-e je **vizuálna komunikácia** medzi používateľom a GIS-om. Pod komunikáciou rozumieme pochopenie, analyzovanie a vysvetlenie modelovaných geografických objektov a komplexných priestorových vzťahov. Človek väčšinu informácií vníma vizuálne, a to aj napriek tomu, že ľudské zmysly sú nedokonalé. 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 údaje, hľadať priestorové vzťahy a súvislosti. Vizualizácia je teda jedna z kľúčových súčastí GIS-u.

Vizualizácia v GIS-e, okrem vlastných postupov, čerpá najmä z poznatkov kartografie, počítačovej grafiky, spracovávaní obrazov a psychológie vnímania. 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.

GIS 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 údajmi. 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 multimediálnej prezentácie (virtuálna realita, iluminačné materiály a iné).













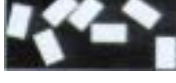


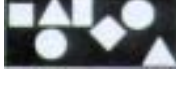


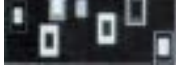





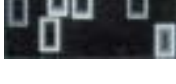


Pri vnímaní vizualizácie GIS údajov je potrebné si uvedomiť, že detailnosť údajov uložených v pamäti počítača nemusí byť totožná s detailnosťou jej vizualizácie. Súvisí to s rozlíšením monitora, alebo iného výstupného zariadenia a tiež s nastavením parametrov konkrétneho vizualizačného nástroja.

Hlavné výhody vizualizácie v GIS-e sú:

- zobrazovanie veľkého množstva údajov určených používateľom naraz,
- možnosť priamej interakcie používateľa s údajmi 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 údajov (2D, 3D, 4D), popisu, rôzne zobrazenie atribútov a podobne.

Úlohou vizualizácie v GIS-e nie je zobrazovať údaje len v mapovej forme, ale aj inými formami (napr. text, grafy, tabuľky a podobne), ktoré dopĺňajú množstvo informácií o skúmanom území. Tieto doplnkové údaje 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 údaje 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**, **lína** a **plocha**. Kombináciou grafických premenných a elementov vzniká vizuálna informácia. Aby bola však dostatočne zrozumiteľná a interpretovateľná, musia existovať ďalšie pravidlá, ktoré určujú ich umiestnenie na mape alebo obrazovke počítača. Viac informácií k tejto problematike čitateľ nájde v učebných textoch (Nižňanský, 2001).

Grafická premenná	Bod	Línia	Plocha
Veľkosť			
Jas			
Farba			
Sýtosť			
Orientácia			
Tvar			
Usporiadanie			
Textúra			
Zameranie			
Poloha			

Tab. 9.1 Základné grafické premenné (grafická premenná Poloha nie je znázornená) Zdroj: Longley et al., 2001

### Farebné modely

**Farba** v ľudskom vizuálnom vnímaní zohráva kľúčovú úlohu. 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

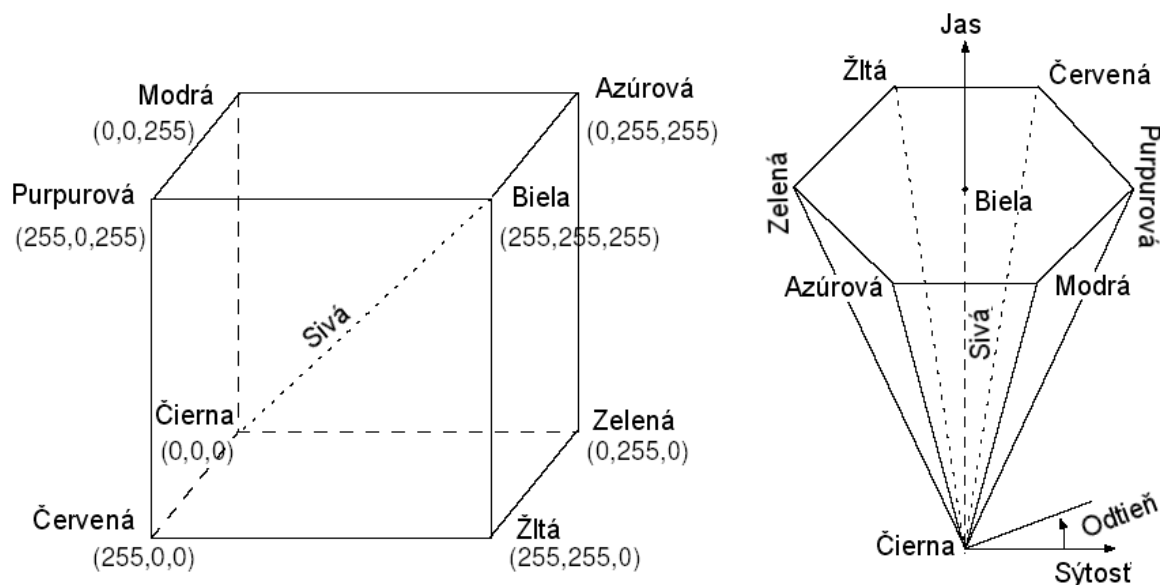


CMYK (tlač na tlačiarni). Špecializované grafické programy umožňujú prechod medzi jednotlivými farebnými modelmi, separáciu jednotlivých zložiek (kanálov), zmenu farebnej hĺbky a podobne. Modely farieb však majú význam nielen z hľadiska vizualizácie, ale aj pri spracovaní a transformácii obrazov v DPZ.

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 je závislý od zariadenia. Každé zariadenie inak zobrazí rovnako definovanú farbu, po nejakom čase dokonca ani ten istý monitor.

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 jasu.



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. Napríklad 1 bitová grafika je 2-farebná (čierna a biela), 8-bitová má 256 farieb, 24-bitová 16,7 mil. farieb (True Color). Teoreticky sa môže pracovať aj s vyšším počtom farieb (bitov), ale štandardné monitory používajú 24 bitovú hĺbku farby.

### Grafické formáty

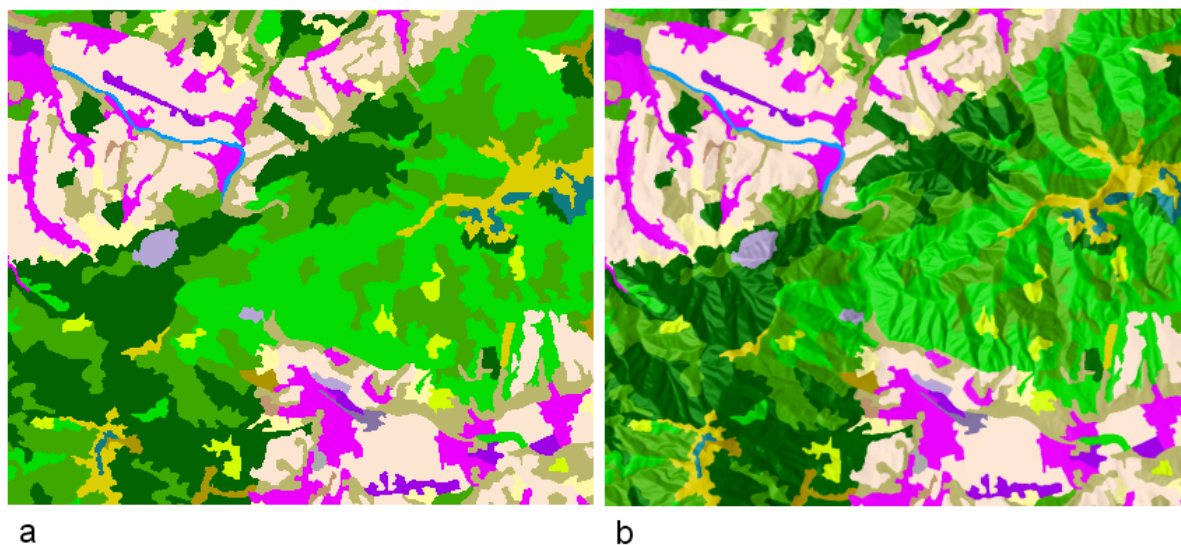
Podľa spôsobu zobrazovania údajov sa rozlišuje vektorová a rastrová grafika. Vektorová grafika využíva ako základné prvky zobrazovania body a línie. Objekty sú matematicky popísané a umožňuje dosiahnuť vyššiu rozlišovaciu schopnosť a presnosť zobrazenia. Príkladom softvéru zameraného na grafické aplikácie 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 použiť 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*

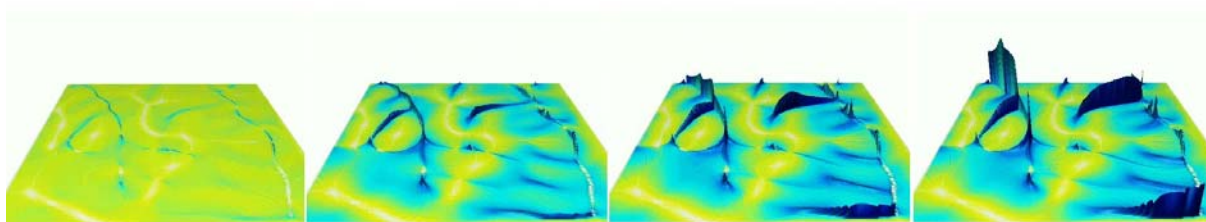
Dvojrozmerná (2D) vizualizácia v GIS-e má veľmi blízko ku klasickým kartografickým výstupom. V GIS-e však používateľ má väčšiu flexibilitu vytváraní výstupov a možnosť interakcie. Obraz má vzhľad podobne ako na klasickej mape. V prípade, že zobrazovaný jav má určitú väzbu aj na reliéf, je vhodné použiť tieňovanie obsahu mapy pomocou reliéfu. Používateľ tak získava pseudopriestorový vnem, ktorý mu pomôže lepšie pochopiť priestorové súvislosti vo väzbe na reliéf (**Obr. 9.2**). Podstatou tvorby tieňovaného reliéfu je simulácia osvetlenia reliéfu Slnkom v určitej pozícii nad obzorom. V závislosti od intenzity osvetlenia sa modifikuje zložka jasu a sýtosti definovaných modelom HSB, čím sa dosiahne pseudopriestorový vnem (**Cebecauer, 2002**).



*Obr. 9.2 2D vizualizácia obsahu mapy krajinej pokrývky a) bez tieňovania a b) s tieňovaním (Autor: T. Cebecauer, 2002)*

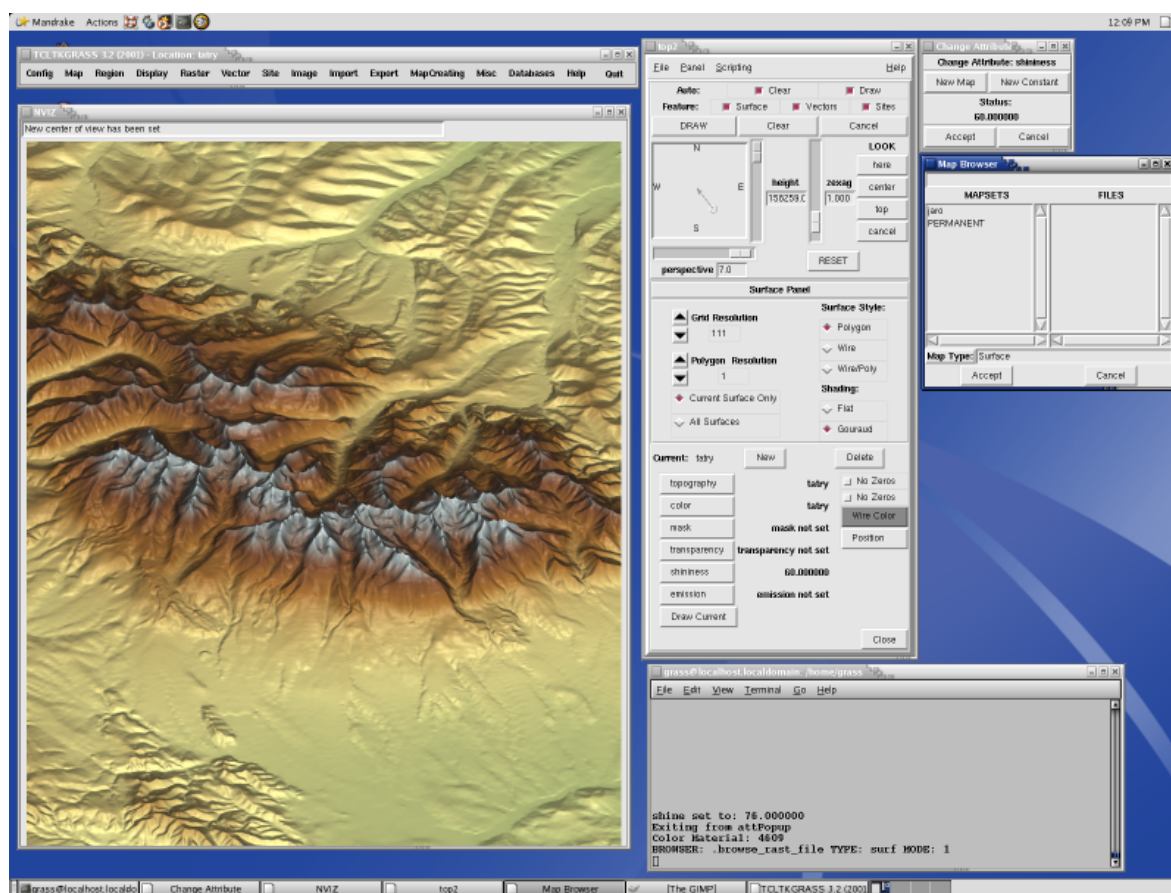
Pri trojrozmernej (3D) vizualizácii ide o zobrazenie územia v 3D priestore (t.j. z vtáčej perspektívy). Používateľ musí nastaviť viac parametrov zobrazenia – najmä výšku a uhol pozície pozorovateľa nad obzorom, polohu centra pohľadu, vzdialenosť od centra pohľadu, prevýšenie terénu. Vyspelejšie vizualizačné 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 údajov, nakladanie viacnásobných povrchov a tiež tvorbu animácií pomocou skriptov. VRML (Virtual Reality Modeling Language) a osobitne [GeoVRML](#) umožňujú vysoký stupeň interakcie s geografickými údajmi priamo na webových stránkach. Používateľ pomocou myši môže ľubovoľne manipulovať s objektom tak, aby získal maximálny vizuálny vnem o vlastnostiach objektu.

**Animácia** je významným nástrojom na skúmanie veľkých a komplexných údajových súborov. Animácia sa používa na vizualizáciu zmien vlastností sledovaného javu (údajov) v čase alebo zmien pozorovacieho miesta (bez zmeny údajov) 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. 9.3). Pri vizualizácii 3D údajov je takisto možné použiť animáciu zmien izoplôch a farieb vyjadrujúcich rôzne hodnoty javu, alebo sériu rezov skúmanou oblasťou.

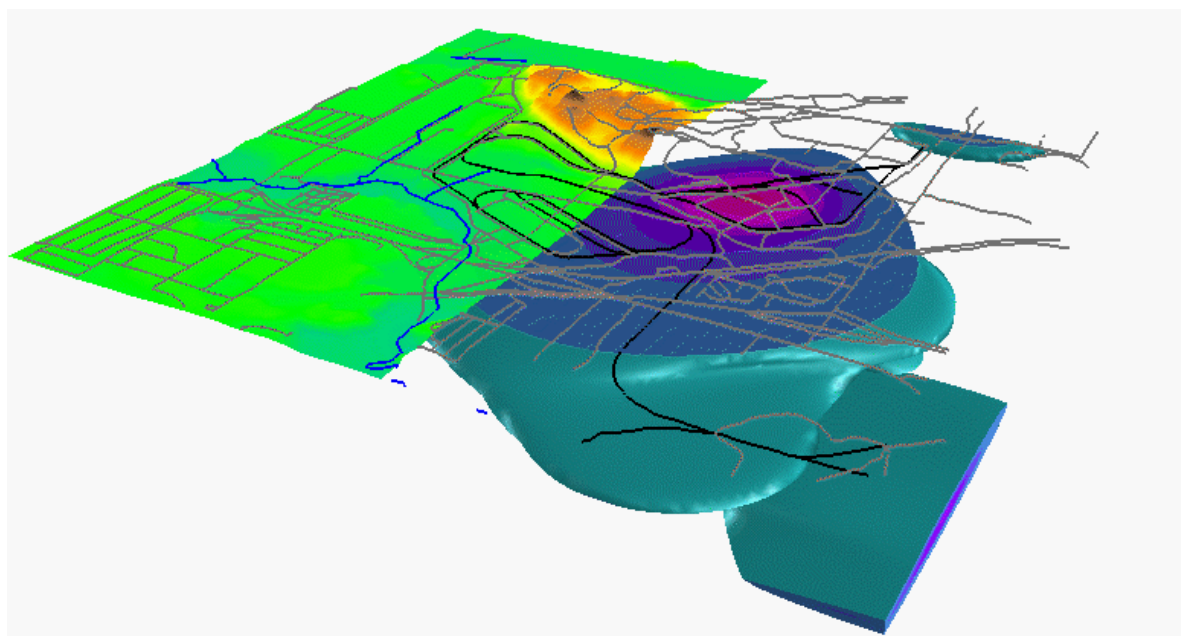


*Obr.9.3 Dynamika zmien povrchového toku vody na reliéfe (prevzaté z práce Mitášová et al., 1994)*

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



Obr 9.4 NVIZ - nástroj na vizualizáciu geografických údajov



Obr. 9.5 Vizualizácia objemov (Zdroj: <http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/viz/vol1.html>)

## 10. Integrované využitie GIS-u v praxi

Ľudia žijú v konkrétnom priestore a interagujú s ním. Preto priestorové (geografické) informácie sú veľmi dôležité pre temer všetky ľudské aktivity a rozhodnutia. Odborníci odhadli, že až 80% ľudských rozhodnutí je ovplyvnených priestorom alebo priestorovou situáciou (Frank et al., 2000). Ľudia tradične získavali priestorové informácie z denného poznania svojho prostredia. Napríklad počas poľovačky v lese poznali oblasť, jej hranice a podobne. V súčasnej dobe sa mobilita ľudí a množstvo informácií, ktoré musia denne spracovať ešte zvýšilo.

Vynájdenie počítača v polovici 20. storočia a informačných technológií (IT) poskytlo nové možnosti na zhromažďovanie, riadenie a prezentáciu informácií. Za posledných 30 rokov došlo k markantnému zvýšeniu použitia IT pri spracovaní geografických informácií. Tradičné papierové mapy sa čoraz viac vytvárajú pomocou IT, databázy sa používajú na zhromažďovanie geografických údajov 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.

### *Aplikácie GIS-u v praxi*

V súčasnosti môžeme vyčleniť 4 základné okruhy využívania GIS technológie (Longley et al., 2001):

- verejná správa, správa majetku a infraštruktúry,
- plánovanie služieb (geomarketing),
- logistika, vojenské aplikácie, civilná ochrana
- životné prostredie.

Verejná správa bola jedným z prvých používateľov GIS-u, pretože štátna správa a aj samospráva automaticky pracuje s územím a teda aj s geografickou informáciou. Rozsah a spôsoby využívania GIS-ov sú rozsiahle, stručný prehľad najčastejších aplikácií je uvedený v Tab. 10.1.



Oblasť použitia vo verejnej správe	Aplikácia	najčastejšie GIS operácie
Územný plán	príslušnosť pozemkov do jednotlivých zón, plánovanie priemyselných parkov, obytných zón	priestorové SQL analýzy, vzdialenostné analýzy, kombinácia rôznych tematických vrstiev, tlač máp
Evidencia a správa nehnuteľností	vektorová katastrálna mapa, evidencia obecného nehnuteľného majetku, identifikácia vlastníctva	SQL analýzy, kombinácia rôznych tematických vrstiev, tlač máp
Evidencia a správa infraštruktúry	dokumentácia a správa inžinierskych sietí, stav cestných komunikácií, parkovísk	priestorové SQL analýzy, kombinácia rôznych tematických vrstiev, tlač máp a správ
Daňová a cenová mapa	oceňovanie nehnuteľného majetku obce, cena za predaj a prenájom, výpočet a kontrola daňových povinností, plánovanie daní	kombinácia rôznych tematických vrstiev, tlač máp a správ
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, tlač máp a správ
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	kombinácia rôznych tematických vrstiev, tlač máp a správ
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, kombinácia rôznych tematických vrstiev

Tab. 10.1. Aplikácie GIS-u vo verejnej správe

Geomarketing využíva geografické informácie na obchodné účely, predovšetkým na prieskum trhu, plánovanie služieb. Geodemografické údaje 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 nepochybne 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 vysielačov 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.

Významnou oblasťou efektívneho nasadenia GIS-u je plánovanie evakuácie obyvateľstva z rôznych dôvodov ohrozenia (civilná obrana). 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.

Životné prostredie je oblasť, kde sa GIS používal od počiatkov a aj v súčasnosti nachádza uplatnenie pri množstve aplikácií. Práve do tejto oblasti sa sústreďuje veľká časť analytických a modelovacích schopností GIS-u. Možnosti siahajú od jednoduchej evidencie až po sofistikované modelovanie 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 znečistením prostredia nitrátmi z nadmerného hnojenia. Presné hospodárenie (angl. Precision Farming) je už viditeľným výsledkom použitia GIS technológie,
- v doprave je možné ešte viac zhodnotiť priestorové informácie a tým zvýšiť využívanie verejnej dopravy na úkor individuálnej dopravy. Zvýšené požiadavky na mobilitu verejnou dopravou v budúcnosti budú zvládnuteľné len ak sa budú používať nové automatizované informačné systémy na plánovanie verejnej dopravy.

Rýchle zmeny v našom stavebnom prostredí, najmä v dopravnej infraštruktúre, znižujú dôležitosť tradičných zdrojov geografickej informácie pre dopravu. Za niekoľko rokov cestovanie autom pri ceste v meste bez navigácie bude skutočnou výzvou. Ak sa zvýši verejná doprava – čo diktujú environmentálne ciele – potom sa informácie budú musieť potenciálnym používateľom poskytovať omnoho lepším spôsobom.

### ***Nasadenie GIS-u v praxi***

Prv než sa v nejakej organizácii nasadí GIS je potrebné si položiť otázku či je GIS potrebný. Môžeme povedať, že existujú 4 základné dôvody pre ktoré je vhodné nasadenie GIS-u:

- redukcia nákladov (zvýšenie efektívnosti tvorby máp, evidencie, a podobne),
- znižovanie rizika (napr. pri hodnotení environmentálnych rizík),
- zvýšenie výnosov (lepšie podklady pre obchodnú činnosť, predaj máp a podobne),

- 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 (softvéru), 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 (schopností) systému. Vylučovacou metódou je možné určiť tie systémy, ktoré vyhovujú požiadavkám. V zúženom výbere aplikujeme analýzu nákladov a prínosov. Náklady tvoria cena hardvéru, softvéru, údajov 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, údaje 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 údajov.

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 správcoch, 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 údajov a limity nasadenia GIS-ov v praxi*

Situácia s dostupnosťou geografických údajov 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 údajov. V Európe, výškopisné a demografické údaje 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 údaje 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 údaje sú k dispozícii (napríklad len málo firiem používa široko dostupné priestorovo-demografické údaje 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 údaje ako aj informácie ako môžu byť použité.

#### Nedostupnosť

Hlavnou príčinou nedostupnosti údajov nie je to, že geografické údaje nie sú pripravované a zhromažďované, ale to, že údaje nie sú priamo k dispozícii. Dôvodom je, že mnohé údaje 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 údajov.

#### 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 údajových 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 údajov v digitálnej forme. Niektoré štátne inštitúcie (napr. [Geodetický a kartografický ústav](#) v Bratislave) začali s digitalizáciou existujúcich mapových diel. Údaje 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 údajov 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 údajmi avšak ich dostupnosť pre verejnosť je nízka. Z toho dôvodu je nevyhnutné zintenzívniť práce na tvorbe databázy GIS údajov na celoštátnej úrovni tak, aby geografické údaje v digitálnej forme boli k dispozícii a viacnásobne využiteľné rôznymi používateľmi. V poskytovaní informácií o dostupnosti údajov a aj pri samotnej distribúcii údajov má dôležité postavenie internet. Príkladom môže byť poskytovanie údajov (napr. o krajinskej pokrývke) prostredníctvom internetu [Európskou environmentálnou agentúrou](#).

### ***Realizácia GIS projektu***

GIS projekt má zvyčajne 5 fáz:

- definícia cieľov projektu,
- stanovenie potrebných údajov, softvéru, hardvéru a realizátorov projektu,
- vytvorenie GIS databázy,
- realizácia analýz, modelovania a iných špecifických operácií,
- vizualizácia 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 (údajových 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 údaje 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 výťahov máp, správy a digitálnych údajov 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 údajov 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 údaje, 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 údajov. Pri vytváraní databázy je potrebné definovať základné charakteristiky ako je napr. súradnicový systém, rozlíšenie, označenie atribútov. Táto časť projektu obsahuje činnosti súvisiace so zberom a prípravou údajov (digitalizácia, georeferencovanie a podobne). Príkladom primárnych údajov je napr. vektorizovaná údajová vrstva pôdných druhov, satelitné údaje, ortofotomapa, vektorizované vrstevnice. Treba zdôrazniť, že primárne údaje nie sú tematicky vyhraničené. Dôležitý je aspekt prvotnosti údajov, t.j. že sa jedná o údaje, ktoré boli vložené do databázy GIS-u ako prvé a na ich základe sa odvodzujú iné vrstvy údajov. Pomocou primárnej vrstvy údajov a GIS operácií realizovaných v ďalších fázach projektu (napr. reklasifikáciou) sa vytvárajú ďalšie, odvodené vrstvy údajov. V prípade

databázovo orientovaných GIS-ov, kde hlavným cieľom je uchovávanie geografických údajov, je analytická zložka menej podstatná.

GIS databáza sa zvyčajne nevytvára len na časovo ohraničené obdobie, ale predpokladá sa dlhodobé využívanie údajov. Opakované využívanie údajov totiž zhodnocuje vynaložené prostriedky na ich prvotnú prípravu. Vo fáze dlhodobého využívania je potrebné venovať pozornosť priebežnej aktualizácii databázy. Menia sa existujúce položky, pribúdajú 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 operácií v GIS-e*

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

#### *Vizualizácia výsledkov*

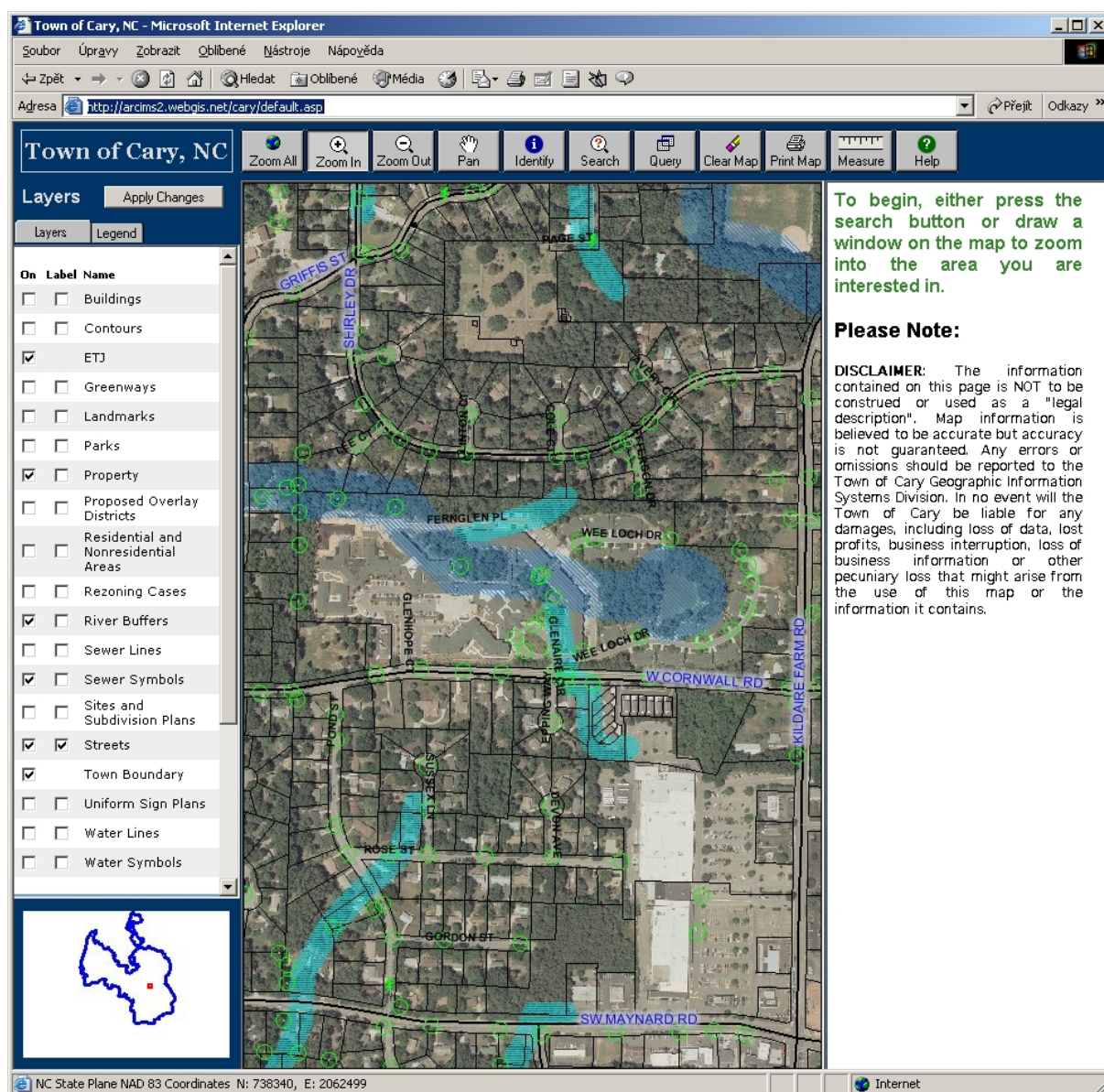
Výstupnou fázou projektu je vypracovanie a odovzdanie výstupov (tlačené mapy, údaje, správa). Predstavuje výber podstatných skutočností, ktoré sú výsledkom projektu a zároveň sú dôležité pre prijímateľa výsledkov.

#### *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 údajov pomocou špecifického GIS softvéru určeného pre servery na internete. Príkladom je softvér ArcIMS od firmy ESRI, ktorý umožňuje aj jednoduché GIS analýzy (výber údajov, zmena mierky, meranie vzdialeností

a podobne). Podobné možnosti pracovať s GIS údajmi 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 údaje o území (napr. katastrálne úrady, samospráva) tak môžu občanom poskytovať geografické informácie priamo cez internet. Na Obr. 10.1 je uvedený príklad GIS-u na internete mesta [Cary](#) v Severnej Karolíne v USA.



Obr. 10.1 GIS na internete



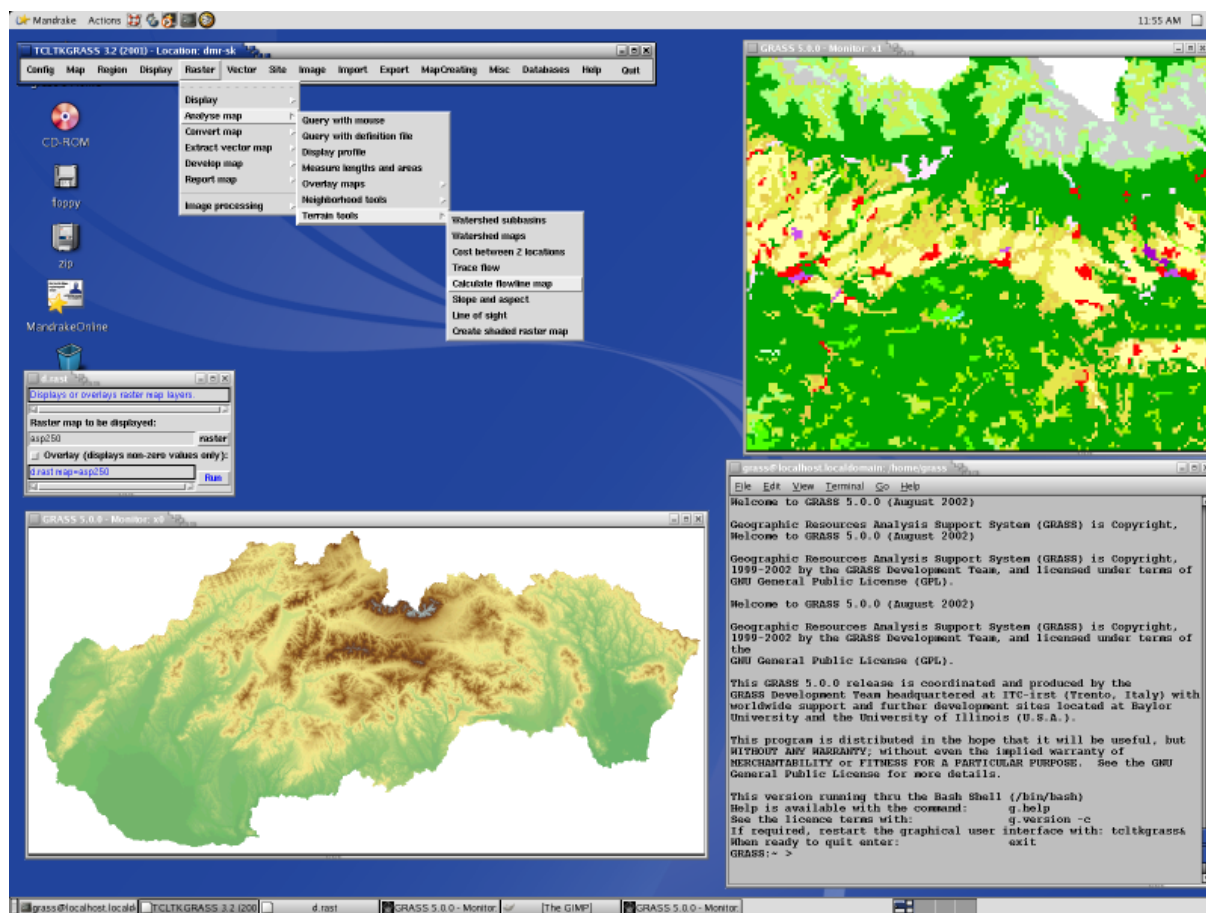
V prípade mobilného mapovania ide o rozvoj technológie zberu údajov pomocou metód a nástrojov GPS. Pôvodne málo používateľsky prívetivé a zrozumiteľné GPS prijímače sa menia na zjednodušené GIS-y v prenosných počítačoch do ruky (handhelds), takže používateľ môže priamo v teréne skontrolovať priebeh mapovania, prípadne vyhľadať v databáze doplnkové informácie, ktoré potrebuje pri mapovaní (Obr. 10.2).



Obr. 10.2 Mobilný GIS (Zdroj: <http://grass.itc.it>)

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 údajov formou exportu a importu údajov 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

širitel'ný GIS softvér sprístupňuje používateľovi svoj zdrojový kód a umožňuje ho meniť podľa jeho potrieb (príkladom je [GRASS GIS](#)).



Obr. 10.3 Voľne širitel'ný GRASS GIS v prostredí operačného systému Linux

## 11. Záver

Oblasť geografických informačných systémov a diaľkového prieskumu Zeme neustále zažíva prudký vývoj, ktorý je ovplyvňovaný najmä pokrokom v oblasti hardvéru, softvéru a ďalších príbuzných odborov. Najvýznamnejšie zmeny v poslednom desaťročí boli sústredené do niekoľkých kľúčových oblastí. Predpokladáme, že v najbližšom období dôjde k ich ďalšiemu rozvoju. Ten bude ďalej ovplyvnený najmä technologickými zmenami a vývojom v príbuzných disciplínach. Tieto trendy vo vývoji GIS-ov môžeme zhrnúť do nasledovných okruhov:

- Dominantné rozšírenie používania GIS-ov na platforme osobných počítačov. Cenová prístupnosť osobných počítačov a ďalších periférnych zariadení umožnilo široké použitie technológie GIS-u pre rôzne typy používateľov a pre rozličné úlohy. Cenová dostupnosť sa vďaka platforme osobných počítačov rozšíla aj na oblasť softvéru, pričom by sa mala ešte viac prehĺbiť aj vďaka GIS-om na báze voľne šíriteľného softvéru.
- Nástup mobilného GIS-u a lokalizačných služieb. Vznik počítačov do ruky (PDA) – tzv. osobných digitálnych asistentov, mobilných telefónov s rozšírenými funkciami umožnil vznik špecializovaných aplikácií a služieb založených na princípoch GIS-u. Využívajú sa jednak širokou verejnosťou (napr. lokalizácia zariadení, služieb a osôb pomocou mobilných telefónov) a jednak aj odborníkmi napr. pri meraní v teréne (využitie spojenia GPS a PDA). Predpokladáme ešte výraznejšiu fúziu technológie GPS a GIS-ov do zariadení určených pre širokú verejnosť.
- Prístup ku GIS údajom a jednoduchým GIS operáciám prostredníctvom Web GIS-u a rozvoj služieb využívajúcich internet a web. Internet významným spôsobom ovplyvnil vývoj GIS-u a to najmä v oblasti sprístupnenia údajov pre verejnosť. Vznikli špecializované aplikácie/moduly, ktoré zabezpečujú rozhranie medzi databázou GIS-u a webom. Pomocou štandardného prehliadača webových stránok si používateľ môže nielen prezrieť pripravené geografické údaje, ale môže vykonať aj niektoré jednoduchšie GIS operácie. So zvyšovaním priepustnosti internetu a zjednodušením ovládania GIS-u dôjde k rozšíreniu tohto spôsobu využívania GIS-u. Bude úzko súvisieť aj s rozvojom využívania lokalizačných služieb.

- Nástup nových technológií mapovania, ktoré vytvárajú veľké množstvo priestorových údajov (napr. LIDAR) stimuluje tvorbu osobitých nástrojov na ich spracovanie a metodologické zdokonalenie GIS-ov. V minulosti bol zber údajov o krajine veľmi finančne a časovo náročný proces. V súčasnosti nové technológie zberu údajov a mapovania poskytujú veľké množstvo údajov, často 3-dimenziálnych, meraných v určitých časových intervaloch a pokrývajúcich s vysokou hustotou skúmané územie. GIS-y, ktoré v súčasnosti používame, nepočítali s takou „záplavou“ údajov a preto dôjde k zdokonaleniu existujúcich nástrojov, alebo k vytvoreniu nových, ktoré budú obsahovať metódy spracovania multidimenziálnych a multitemporálnych geografických údajov.
- 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 údajov. 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 údajov 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. Údaje 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.

## 12. Prílohy

### a) užitočné publikácie o GIS-e a DPZ

- Tuček, J., 1998, Geografické informační systémy. Principy a praxe. Computer Press.
- Maguire, Goodchild, Rhind (eds.), 1991, Geographical Information Systems: Principles and Applications, Longman
- Longley, Goodchild, Maguire, Rhind (eds), 1999, Geographical Information Systems: Principles, techniques, management and applications. John Wiley & Sons
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., Rhind, D. W., 2001, Geographic Information Systems and Science. John Wiley & Sons
- Burrough, 1986, Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Oxford University Press
- Estes, Star, 1990, Geographic information systems: an introduction, Prentice Hall
- Samet, 1989, The Design and Analysis of Spatial Data Structures and Applications of Spatial Data Structures: Computer Graphics, Image Processing, and GIS. Addison-Wesley
- Laurini, Thompson, 1991, Fundamentals of Spatial Information Systems, Academic Press
- Goodchild, Gopal, 1990, Accuracy of Spatial Databases, Taylor & Francis
- Battenfield, McMaster, 1991, Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation, Longman
- Mark, Frank, 1991, Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space, Kluwer
- Mounsey, Tomlinson, 1988, Building Databases for Global Science, Taylor & Francis
- Raper, 1989, Three Dimensional Applications in Geographic Information Systems, Taylor and Francis
- Goodchild, Kemp (eds.), 1990, NCGIA Core Curriculum: Introduction- Technical Issues - Application Issues, NCGIA Santa Barbara
- Tomlin, 1990, Geographic Information Systems and Cartographic Modeling, Prentice Hall

- Peuquet, Marble, 1990, Introductory Readings in Geographic Information Systems, Taylor and Francis
- Goepfert, 1991, Raumbezogene Informationssysteme : Grundlagen der integrierten Verarbeitung von Punkt- Vektor- und Rasterdaten, Wichmann, 2nd ed.
- Bill, Fritsch, 1991, Grundlagen der Geo-Informationssysteme, Wichmann
- Bartelme, 1988, GIS Technologie:Geoinformationssysteme, Landinformationssysteme und ihre Grundlagen, Springer-Verlag
- Lillesand, Keifer, 1994, Remote sensing and Image Interpretation, Wiley, NewYork
- Curran P.J.,Principles of Remote Sensing - Longman group, London, 1985
- Drury S.A., 1990, A Guide to Remote Sensing : Interpreting images of the earth, Oxford University Press, NewYork
- Sabins Jr F.F., 1987, Remote Sensing : Principles of Interpretation, Freeman, NewYork
- Avery,T.E, Berlin G.L., Fundamentals of Remote sensing & Air photo interpretation
- Jensen.R., Digital Image Processing- A Remote sensing Perspective, Prentice Hall Publications
- Schowengerdt.R.A., Techniques for Image Processing and classification in Remote sensing, Academic, New York (new edn)
- Richards.J.A., 1986, Remote sensing Digital image analysis : An Introduction, Springer - verlag, New York
- Elachi C., 1987, Space borne Radar remote sensing: Applications and techniques, IEEE press , NewYork
- Ulaby, F.T., R.K.Moore, A.K.Funy Microwave remote sensing Active and Passive, Vol I, II & III, Addison - Wesley

## **b) časopisy o geoinformatike a DPZ**

- [International Journal for Geographical Information Science](#), Pôvodný názov: Int. Journal of Geog. Info. Systems (1987-1996)
- [Transactions in GIS](#)
- [Journal of Geographic Information and Decision Analysis \(JGIDA\)](#) (elektronický časopis)
- [GeoInformatica](#)
- [Computers and Geosciences](#)
- [GeoWorld](#)
- [MapWorld Magazine](#)
- [Annals of the AAG](#)
- [Hydrological Processes](#)
- [Cartographica](#), Pôvodný názov: Cartographica Monographs and The Canadian Cartographer (1965-1979)
- Cartography and Geographic Information Science, Pôvodné názvy: Cartography and Geographic Information Systems (1990-1998); The American Cartographer (1974-1989)
- [Computers, Environment and Urban Systems](#)
- [Geographical Analysis](#)
- [Geographical & Environmental Modelling](#)
- [Journal of Geographical Systems](#)
- [Journal of Spatial Cognition and Computation](#)
- [URISA Journal](#)
- [The Earth Observer](#)
- [Earth Observation Magazine](#)
- [Remote Sensing](#)



- [International Journal of Remote Sensing](#)
- [Remote Sensing Reviews](#)
- [Photogrammetric Engineering & Remote Sensing](#)
- [ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing](#)
- [Remote Sensing of Environment](#)
- [Pattern Recognition Letters](#)
- [GEOinformace](#)
- [GeoSpatial solutions](#) (elektronický časopis)
- [GIS Development](#) (elektronický časopis)
- [geoinfo](#) časopis nadácie GeoFórum v slovenčine (1994-1996)
- [GEOinfo](#) časopis zameraný na GIS a DPZ vydavateľstva Computer Press (1998-2001)

### c) významné svetové konferencie

- The First International Conference on GIScience (2000) a iné <http://www.giscience.org/>
- Symposium on Spatial Data Handling
  - problematika teórie GIS-u, zúčastňujú sa najmä geografi a počítačoví odborníci, recenzované rozšírené abstrakty.
  - 1984 Zurich; 1986 Seattle; 1988 Sydney; 1990 Zurich; August 1992, Charleston, South Carolina; 1994 Edinburgh.
- Symposium on Large Spatial Databases
  - perspektívy informačných technológií, GIS-ov, obrazových databáz; recenzované články.
  - 1989 Santa Barbara; 1991 Zurich; 1993 Singapore; 1995 Maine
  - Zborníky vychádzajú v Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag.
- Autocarto
  - teória a inovatívne aplikácie GIS-u a kartografie; exhibície veľkých firiem.
  - 1989 Autocarto 9, Baltimore; 1991 Autocarto 10, Baltimore; 1993 Autocarto 11, Minnesota.
- GIS/LIS
  - GIS aplikácie a produkty; exhibície veľkých firiem.
- URISA
  - inštitucionálne a organizačné aspekty použitia GIS-u v urbánnom plánovaní.
- Joint European Conference on Geographic Information (JEC-GI), predtým EGIS
  - GIS teória, aplikácie a produkty; exhibície veľkých firiem,
  - 1993 - Janov, 1994 – Paríž, 1995 – Hague, 1996 – Barcelona, 1997 - Viedeň

#### **d) významné slovenské organizácie využívajúce a rozvíjajúce GIS**

SAGI - Slovenská asociácia pre geoinformatiku

<http://www.sagi.sk>

Úrad geodézie, kartografie a katastra SR

<http://www.geodesy.gov.sk/>

Geodetický a kartografický ústav

<http://www.gku.sk/>

Slovenská agentúra životného prostredia

<http://www.sazp.sk>

Geografický ústav SAV

<http://www.geography.sav.sk>

Katedra kartografie, geoinformatiky a DPZ Univerzity Komenského v Bratislave

<http://joe.fns.uniba.sk/init.htm>

Topografický ústav armády SR

<http://topu.army.sk/>

ArcGEO, s.r.o. - predaj GIS softvéru spoločnosti ESRI, špecializované aplikačné riešenia, školenia

<http://www.arcgeo.sk>

GeoModel, s.r.o. - spracovanie GIS projektov, predaj GIS údajov a softvéru

<http://www.geomodel.sk>

Progres CAD Engineering, s.r.o. - geodetické merania a mapovanie, zber a príprava GIS údajov

<http://www.pce.sk>

Esprit, s.r.o. - služby zamerané na ochranu a tvorbu životného prostredia, geologické a kartograf. práce

<http://www.esprit-bs.sk/>

ErasData Pro, s.r.o. - zber GIS údajov, predaj GIS softvéru, projektovanie a implementácia GIS

<http://www.erasdatapro.sk>

AGIS Slovakia, spol. s r.o. - autorizovaný distribútor firmy Trimble na Slovensku v oblasti GPS technológie, transformačný softvér DatTra.

<http://www.netax.sk/~agissk/>

Geotech - predaj turistických a profesionálnych GPS prijímačov

<http://www.geotech-progps.sk>

Gamo, s.r.o. - GIS softvér 2PRO, podnikové geografické informačné systémy

<http://www.gamo.sk/gis>

YMS, a.s. - zber a príprava GIS údajov, projektovanie a implementácia podnikových geografických informačných systémov

<http://www.yms.sk/>

#### **e) GIS softvér**

GRASS GIS (voľne šíriteľný GIS)

<http://grass.itc.it/>

IDRISI - GIS softvér vytvorený neziskovou organizáciou na Clark University, USA. Obsahuje obsiahle možnosti analýz, spracovania obrazov a zobrazovania

<http://www.clarklabs.org/>

ERDAS IMAGINE

<http://gis.leica-geosystems.com/>

GIS softvér firmy ESRI (ArcGIS, ArcView, ArcInfo, ...)

<http://www.esri.com/software/index.html>

MapInfo Professional - desktop GIS softvér firmy Mapinfo

<http://www.mapinfo.com>

GIS softvér firmy Intergraph

<http://www.intergraph.com/>

GIS softvér (TNTmips) firmy Microimages

<http://www.microimages.com/product/tntmips.htm>

CAD/GIS softvér firmy Autodesk

<http://www3.autodesk.com/adsk/>

GIS softvér GE Smallworld Systems

<http://smallworld.co.uk/>

DPZ a GIS softvér firmy PCI

<http://www.pcigeomatics.com/>

CYGWIN

MS Windows aplikácia emulujúca prostredie operačného systému Linux. Umožňuje používať GRASS GIS a iný voľne šíriteľný softvér na báze Linuxu v prostredí MS Windows.

<http://www.redhat.com/software/cygwin/>

Linux

voľne šíriteľný operačný systém Linux. Obsahuje rôzne distribučné verzie (napr. [Red Hat](#), [Mandrake](#), [Slackware](#), [Debian](#), [SuSE](#) a iné).

<http://www.linux.org/>

#### **f) webové lokality zamerané na GIS údaje**

Vyhľadávacia mapová služba (digitálne mapové diela SVM50 a SVM500)

<http://mapa.arcgeo.sk/>

Mapy na internete

[www.mapy.atlas.sk](http://www.mapy.atlas.sk)

Údaje o krajinej pokrývke Zeme vrátane satelitných údajov zdarma (Landsat, AVHRR)

<http://glcfapp.umiacs.umd.edu/index.shtml>

Global Land Information System (GLIS) - regionálne, kontinentálne a globálne údaje o krajinej pokrývke, pôde, reliéfe, údaje DPZ

<http://edc.usgs.gov/webglis>

Katalóg údajov o nadmorskej výške a podmorskej hĺbke, popis softvéru na prezeranie a manipuláciu týchto údajov

<http://www.geo.ed.ac.uk/home/ded.html>

Údaje poskytované European Environment Agency (Corine land cover, biotopy, regionálne údaje,...)

<http://dataservice.eea.eu.int/dataservice/>

National Geospatial Data Clearinghouse (NGDC) – umožňuje nájsť informáciu o údajoch dostupných z USGS (Geologická služba USA)

<http://nsdi.usgs.gov/>

Environmental Protection Agency (EPA, USA)

<http://www.epa.gov/>



Earth Resources Observation Systems (EROS)

<http://edcwww.cr.usgs.gov/eros-home.html>

NASA

<http://www.nasa.gov/>

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) – zamerané na životné prostredie, pobrežné a morské oblasti

<http://www.noaa.gov/>

Mapquest - elektronické mapy z celého sveta

<http://www.mapquest.com/maps/>

Server Microsoftu zameraný na satelitné snímky a ortofotomapy

<http://www.terraser.com/>

**g) webové lokality zamerané na vzdelávanie v oblasti geoinformatiky**

National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) - výskumné konzorcium zamerané na základný výskum a výuku v geoinformatike

<http://www.ncgia.ucsb.edu/>

Princípy geoinformatiky, nová a staršia verzia.

<http://www.ncgia.ucsb.edu/education/curricula/giscc/>

<http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/ncgia/toc.html>

Certifikačný program Pennsylvania State University z geoinformatiky

<http://www.worldcampus.psu.edu/>

Dištančné vzdelávanie z geoinformatiky na Birkbeck Department of Geography

[http://www.bbk.ac.uk/geog/study/msc\\_gisc\\_dl.html](http://www.bbk.ac.uk/geog/study/msc_gisc_dl.html)

Spatial Odyssey – každoročná bibliografia o konferenciách a vydaných publikáciách v oblasti GIS

<http://www.wsgi.ursus.maine.edu/biblio/>

Prehľad webových adries so zameraním na geografiu

<http://www.frw.ruu.nl/nicegeo.html>

Informácie z oblasti kartografie, mapovania a GIS-u

<http://geog.gmu.edu/projects/maps/cartogrefs.html>

The Consortium for International Earth Science Information Network

<http://www.ciesin.org/>

Virtuálna ESRI knižnica

<http://campus.esri.com/campus/home/home.cfm>

Diskusia o geografických informačných systémoch GIS-L

<http://www.geoint.com/gis-l/>

Webová stránka o existujúcom GIS softvéri

[http://newark.cms.udel.edu/~vinton/gis\\_gip/gis\\_gip\\_list.html](http://newark.cms.udel.edu/~vinton/gis_gip/gis_gip_list.html)

#### **h) iné užitočné webové adresy**

Google.com - populárny vyhľadávací server

<http://www.google.com/>

Všeobecné informácie zo sveta geoinformatiky (v češtine)

<http://www.geoinfo.cz/>

Plánovanie dopravných trás v Európe

<http://www.viamichelin.com/>

Open GIS Consortium

<http://www.opengis.org/>

Európska organizácia zastrešujúca národné organizácie zamerané na geografické informácie (geoinformatiku)

<http://www.eurogi.org/>

Domovská stránka časopisu GeoPlace/GEOWorld obsahuje množstvo zaujímavých informácií nielen z oblasti GIS

<http://www.geoplace.com/>

Komerčne orientované webové servery s rôznymi informáciami (zoznamy firiem, pracovných príležitostí, rôzne aktuality z oblasti GIS a príbuzných oblastí)

<http://www.gis.com/>

<http://www01.giscafe.com/>

<http://www.spatialnews.com/>

<http://www.geocomm.com/>

<http://www.gislounge.com>

<http://www.gisportal.com/>

<http://gis.about.com/>

<http://www.spatialnews.com/>

<http://www.directionsmag.com/>

Pracovné príležitosti

<http://www.earthworks-jobs.com/>

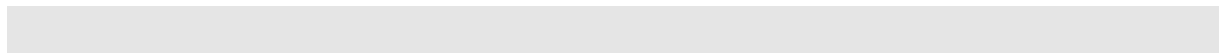
<http://www.gisjobs.com/>

Zber údajov a spracovanie digitálnych modelov reliéfu

<http://www.terrainmap.com/>

Informácie o laserovej technológii LIDAR

<http://www.lidar.com>



### 13. Zoznam použitej literatúry

Burrough, 1986, Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Oxford University Press.

Clarke, K. C., 2000, Getting Started with Geographic Information Systems, 3rd Ed., Prentice-Hall.

Cebecauer, 2001, Spracovanie areálových údajov v prostredí geografického informačného systému. Dizertačná práca PhD., Bratislava, (Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského).

Cebecauer, 2002, Metódy transformácie farieb pri počítačovej tvorbe tieňovaných vizualizácií priestorových dát. Aktivity v kartografii. Zborník referátov.

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>

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, s. 107-112.

Hofierka, J., 1997, Modelovanie prírodných javov v prostredí geografického informačného systému. Dizertačná práca PhD., Bratislava (Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského).

Hofierka J., Parajka J., Mitasova H., Mitas L., 2002, Multivariate Interpolation of Precipitation Using Regularized Spline with Tension. Transactions in GIS 6, s. 135-150.

Hofierka, J., Repán, P., 1997, Informačný systém územia Bardejova. Slovenský geodet a kartograf 2/97, s. 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. Prírodne vedy, Folia Geographica 2, s. 208-217.

Krcho, J., 1990, Morfometrická analýza a digitálne modely georeliéfu. Bratislava, Veda

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., Rhind, D. W., 2001, Geographic Information Systems and Science. John Wiley & Sons.

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, Vol. 23, No. 4, s. 437-446.

Mitas, L., Mitasova, H., 1998, Distributed erosion modeling for effective erosion prevention: Water Res. Res. 34, s. 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, s. 481-492.

Mitášová, H., Brown, W., Hofierka, J., 1994, Multidimensional dynamic cartography. Kartografické listy 2, s. 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, s. 657-671.

Moore. I. D., Grayson, R. B., Ladson, A. R., 1991, Digital Terrain Modelling: a Review of Hydrological, Geomorphological and Biological Applications. Hydrological Processes 11, s. 47-54.

Neteler, M., Mitasova, H., 2002, Open Source GIS: A GRASS GIS Approach, Kluwer Academic Publishers.

Nižňanský, B., 2000, Základy geoinformatiky. Vysokoškolské učebné texty FHaPV Prešovskej univerzity.

Šúri, M., 1998, Mapovanie a modelovanie vodnej erózie pôdy s využitím údajov diaľkového prieskumu Zeme v prostredí geografických informačných systémov. Kandidátska dizertačná práca, Bratislava (Geografický ústav SAV).

Šúri M., Cebecauer T., Hofierka J., Fulajtár E., 2002, Soil erosion assessment of Slovakia at a regional scale using GIS. Ekológia (Bratislava), s. 404-422.



Šúri, M., Hofierka, J., Cebecauer, T., 1996, Digitálne modely reliéfu: využitie v globálnych a lokálnych štúdiách. Geoinfo 2/96, s. 25-27.

Tuček, J., 1998, Geografické informační systémy. Principy a praxe. Computer Press.

Tremboš, P., Hofierka, J., 1995, Niektoré možnosti využitia geografických prístupov v procese tvorby dokumentov Miestnych ÚSES. Zborník referátov z medzinárodnej konferencie „Vybrané problémy súčasnej geografie a príbuzných disciplín“, PRIF UK Bratislava, s. 189-195.

NCGIA Core Curriculum in Geographic Information Science,

<http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc>

## 14. Slovník použitých termínov a skratiek

2D/3D/4D	- dvojrozmerný/trojrozmerný/štvorrozmerný
analógový	- 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 údajový nosič, určený len na čítanie údajov
databáza	- súbor údajov 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
EMG	- elektromagnetické (žiarenie)
ESRI	- Environmental Systems Research Institute Inc.
GIS	- geografický informačný 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
GSM	- Global System for Mobile Communications
IT	- informačné technológie
LAN	- angl. local area network, lokálna počítačová sieť
LIDAR	- angl. Light Detection and Ranging, detekcia svetla a vzdialenosti
NAVSTAR	- angl. NAVigation System Time and Ranging
NDVI	- angl. Normalized Difference Vegetation Index, index normalizovaných rozdielov vegetácie
ODBC	- angl. Open DataBase Connectivity, softvérové rozhranie, ktoré umožňuje GIS-u pracovať s údajmi z rôznych databáz
PDA	- angl. personal digital assistant, prenosný počítač do ruky
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
S-42	- súradnicový systém z roku 1942 použitý vo vojenskom mapovaní územia Slovenska

S-JTSK	- súradnicový systém jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej použitý v civilnom mapovaní územia Slovenska
SQL	- angl. structured/standard query language, dopytovací databázový jazyk
TIN	- angl. triangulated irregular network, nepravidelná trojuholníková sieť
TM	- angl. Transverse Mercator, Mercatorovo zobrazenie v priečnej polohe
UTM	- angl. Universal Transverse Mercator, Mercatorovo zobrazenie
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 Geoinformatika a príbuzné vedné disciplíny</i>	8
<i>Obr. 1.2 Súčasti geografického informačného systému</i>	9
<i>Obr. 1.3 Príklad hardvérovej konfigurácie GIS-u</i>	10
<i>Obr. 2.1 Znázornenie bodu, línie a plochy v rastrovom údajovom modeli</i>	13
<i>Obr. 2.2 Použitie pravidla b) väčšinového podielu a c) centrálneho bodu</i>	14
<i>Obr. 2.3 Znázornenie bodu, línie a plochy vo vektorovom údajovom modeli</i>	15
<i>Obr. 2.4 Topologické väzby pri vektorovom údajovom modeli</i>	16
<i>Obr. 3.1 Porovnanie transformácie pôvodného rastru a) pomocou b) metódy najbližšieho suseda, c) bilineárnou interpoláciou a d) kubickou konvolúciou</i>	22
<i>Obr. 4.1 GPS prijímače firiem Trimble a CMT</i>	26
<i>Obr. 4.2 Ukážka ortofotomapy</i>	27
<i>Obr. 4.3 Meranie nadmorskej výšky pomocou LIDAR-u</i>	29
<i>Obr. 5.1 Relačná databázová tabuľka v ArcView GIS</i>	34
<i>Obr. 5.2 a) databázový systém ako súčasť GIS-u, b) externé použitie databázového systému</i>	36
<i>Obr. 6.1 Možnosti označenia rastrových buniek pri konverzii vektorovej línie do rastru</i>	38
<i>Obr. 6.2 Vyhľadzovanie priebehu línie po konverzii z rastra</i>	39
<i>Obr. 6.3 Nakladanie rastrových vrstiev (spracované podľa práce Neteler a Mitasova, 2002)</i>	42
<i>Obr. 7.1 Reprezentácia DMR: a) nepravidelná trojuholníková sieť a b) raster</i>	45
<i>Obr. 7.2 Delaunayova triangulácia a Voronoiove polygóny</i>	47
<i>Obr. 7.3 Porovnanie výsledku rôznych interpolačných metód: a) Voronoiove polygóny, b) inverzne vážená vzdialenosť c) regularizovaný splajn s tenziou</i>	48
<i>Obr. 7.4 Interpolácia dlhodobého priemeru ročného úhrnu zrážok na území Slovenska pomocou a) 2D RST, b) 3D RST s vplyvom reliéfu. Reliéf je vo forme DMR s rozlíšením 500 m (c)</i>	51
<i>Obr. 7.5 Vplyv geometrických foriem reliéfu 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>	54
<i>Obr. 7.6 Morfometrické parametre reliéfu a) sklon, b) orientácia voči svetovým stranám, c) normálová krivosť v smere spádovej krivky, d) normálová krivosť v smere dotyčnice k vrstevnici</i>	55
<i>Obr. 7.7 Spádové krivky a prispievajúce plochy na rastrovom DMR (spracované príkazom r.flowmd v GIS-e GRASS)</i>	57
<i>Obr. 8.1 Spektrum elektromagnetického žiarenia (UV=ultrafialové žiarenie)</i>	58
<i>Obr. 8.2 Pohlcovanie slnečného žiarenia zemskou atmosférou (Zdroj: Neteler a Mitasova, 2002)</i>	59
<i>Obr. 8.3 Vplyv reliéfu na satelitný záznam. Čierne plochy sú tieňe v členitom reliéfe. (Zdroj: <a href="#">GeoModel, s.r.o.</a>)</i>	65
<i>Obr. 8.4 Nespracovaná letecká snímka s centrálnou projekciou (Zdroj: Mesto Bardejov)</i>	68
<i>Obr. 8.5 Pseudoortofotomapa s naloženou vektorovou vrstvou hraníc pozemkov, t.j. katastrálnou mapou (Zdroj: Mesto Bardejov, Eurosense, s.r.o., GKÚ Bratislava)</i>	69
<i>Obr. 9.1 Farebný model RGB a HSB</i>	74
<i>Obr. 9.2 2D vizualizácia obsahu mapy krajiny pokrývky a) bez tieňovania a b) s tieňovaním (Autor: T. Cebecauer, 2002)</i>	75
<i>Obr.9.3 Dynamika zmien povrchového toku vody na reliéfe (prevzaté z práce Mitášová et al., 1994)</i>	76

<i>Obr. 9.4 NVIZ - nástroj na vizualizáciu geografických údajov.....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 9.5 Vizualizácia objemov (Zdroj: <a href="http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/viz/vol1.html">http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/viz/vol1.html</a>) .....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 10.1 GIS na internete.....</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 10.2 Mobilný GIS (Zdroj: <a href="http://grass.itc.it">http://grass.itc.it</a>) .....</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 10.3 Voľne šíriteľný GRASS GIS v prostredí operačného systému Linux.....</i>	<i>90</i>

## Zoznam tabuliek

Tab. 2.1 Porovnanie rastrového a vektorového údajového modelu .....	18
Tab.4.1 Zdroje chýb v GPS meraniach (Zdroj: <a href="http://www.trimble.com/">http://www.trimble.com/</a> ).....	25
Tab. 8.1 Prehľad parametrov scén vybraných nosičov satelitných údajov (Zdroj: <a href="#">GISAT Praha</a> , 2003).....	62
Tab. 9.1 Základné grafické premenné (grafická premenná Poloha nie je znázornená) Zdroj: Longley et al., 2001 .....	72
Tab. 10.1. Aplikácie GIS-u vo verejnej správe.....	79

## **GEOGRAFICKÉ INFORMAČNÉ SYSTÉMY A DIAĽKOVÝ PRIESKUM ZEME**

vysokoškolský učebný text pre vybrané odbory na FHPV PU

Autor: Mgr. Jaroslav Hofierka, PhD.  
Recenzenti: Doc. Ing. Ján Tuček, CSc.  
Doc. RNDr. Dagmar Kusendová, CSc.  
Korektúra: autor  
Vydala: Prešovská univerzita v Prešove, Fakulta humanitných a prírodných vied  
Náklad: 400 výtlačkov  
Rozsah diela: 116 strán  
AH: 8,26  
Formát: A4  
Vydanie: prvé, 2003  
Sadzba: autor  
Tlač: Grafotlač Prešov

**ISBN 80 – 8068 – 219 - 4**