

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava

STUDIJNÍ TEXT

Geoinformační technologie pro ochranu životního prostředí

RNDr. Jan Bitta

Ostrava, červen-září 2008

1. ÚVOD	3
2. OBECNÝ ÚVOD	4
2.1. HISTORIE POČÍTAČŮ	4
2.2. STRUKTURA POČÍTAČŮ	11
2.3. DATA, INFORMACE	13
2.4. ANALOGOVÁ A DIGITÁLNÍ DATA	14
3. PROSTOROVÁ DATA	17
3.1. REPREZENTACE PROSTOROVÝCH DAT	17
3.2. VLASTNOSTI PROSTOROVÝCH DAT	21
3.3. SOUŘADNÉ SYSTÉMY	23
4. POŘIZOVÁNÍ PROSTOROVÝCH DAT	27
4.1. DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ	28
4.2. GLOBÁLNÍ DRUŽICOVÉ POLOHOVACÍ SYSTÉMY	34
5. GEOGRAFICKÉ INFORMAČNÍ SYSTÉMY	43
5.1. PRAKTICKÉ APLIKACE GEOGRAFICKÝCH INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ	43
5.2. HISTORIE GEOGRAFICKÝCH INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ	45
5.3. STRUKTURA GEOGRAFICKÉHO INFORMAČNÍHO SYSTÉMU	45
5.4. SOFTWARE PRO GIS	48
5.5. ANALYTICKÉ NÁSTROJE GIS	49
6. MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ PROSTOROVÝCH JEVŮ	58
6.1. MATEMATICKÉ MODEL Y PRO OCHRANU ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ	59
6.2. PROPOJENÍ MATEMATICKÝCH MODELŮ A GIS	60
6.3. CHYBY MATEMATICKÝCH MODELŮ	61
7. ZÁSADY VYTVÁŘENÍ TEMATICKÝCH MAP	63
7.1. ZÁKLADNÍ PRVKY MAPY	64
7.2. NEJČASTĚJŠÍ CHYBY V MAPÁCH	66

1. Úvod

Rozvoj lidské společnosti v posledních několika stoletích je podmíněn snahou o popsání přírodních procesů a jejich využití v nových postupech a technologiích. Tento prudký technologický rozvoj s sebou ovšem přinesl i významné ovlivnění životního prostředí. Interakce mezi lidskou činností a životním prostředím jsou nejen masivní, ale i značně složité a obtížně popsatelné. Pro svou důležitost jsou dlouhodobě zkoumány a vyhodnocovány.

Vědy zkoumající vztahy mezi živými organismy a prostředím a hledající prostředky k minimalizaci negativních vlivů lidmi provozovaných technologií na životní prostředí jsou závislé na dostatečném přísunu dat a informací o zkoumaných jevech. Z velké části se navíc jedná o specifická data, která jsou prostorově určena – prostorová data. Nutnost práce s těmito daty vedla k převzetí metod prostředků nakládání a analýzy velkých objemů dat z vědních a technických oborů, kde již byly podobné problémy řešeny.

Významný vliv na způsoby nakládání s daty měl především obrovský rozvoj počítačů, jako nástrojů pro nakládání s daty, a na ně navázaných informačních technologií. Specifickou skupinou informačních technologií jsou technologie používané pro získávání, uchovávání, analýzu a prezentaci prostorových dat. Pro tyto technologie, široce využívané v mnoha oborech lidské činnosti, se vžil název geoinformační technologie. O geoinformačních technologiích, převážně ve vztahu k ochraně životního prostředí, bude pojednávat tento studijní text.

Obsah studijního textu vychází z textů Jančík P.: Nové informační technologie pro kontrolu a ochranu životního prostředí – geografické informační systémy, Rapant P.: Úvod do geografických informačních systémů a Rapant P.: Geoinformační technologie. Významným zdrojem informací byly texty obsažené v otevřené encyklopedii – Wikipedii. Struktura a náplň textu samotného jsou založeny na zkušenostech autora s výukou zabývající se geoinformačními technologiemi stejně jako s jejich praktickým používáním.

2. Obecný úvod

2.1. Historie počítačů

Historie různých automatů neboli strojů automaticky provádějících určité operace je velice dlouhá a začíná již ve starověku. Znamé jsou například automaty pocházející z antiky, které věrně znázorňují pohyb nebeských těles. Tyto přístroje ovšem nikdy nepřekročily hranici technických kuriozit předváděných pro ohromení a pobavení hostů majitelů těchto přístrojů.

Předchůdci počítačů

Prvními skutečnými předchůdci počítačů tak, jak je známe dnes, byly už na přelomu 18. a 19. století Jacquardovy (v počeštěné formě „žakárové“) automatické tkalcovské stroje umožňující nastavení vzoru sprádané látky pomocí vloženého děrného štítku. První automaty provádějící matematické operace jsou ještě starší. První mechanické automaty provádějící jednoduché matematické operace – sčítání a odčítání zkonstruoval již v 17. století geniální francouzský filosof a matematik Blaise Pascal. Oba tyto mechanické automaty byly dále rozvíjeny a zdokonalovány a jejich principy byly aplikovány v nové oblasti.

Důležitým mezníkem, nutným pro pozdější vývoj počítačů, bylo v polovině 19. století dílo matematika a konstruktéra Charlese Babbage. Babbage značně předběhl svou dobu návrhem prvního skutečného počítačem (v originálu Analytical Engine). Tento přístroj ovšem nebylo ve své době možné zkonstruovat. Byl ovšem schopen konstruovat některé jeho velmi zjednodušené modifikace. Babbageovou spolupracovnicí byla dcera slavného básníka lorda Byrona Ada lady Lovelace, která je považována za historicky první programátorku (Kdo byl první programátor není obecně známo, jisté je pouze to, že jej Ada předběhla).

Dalším významným mezníkem předcházející vývoj počítačů byla činnost Hermana Holleritha. Hollerith přišel jako první s myšlenkou kódovat údaje všeho druhu do číselného tvaru a tyto číselné hodnoty zapisovat na děrných štítcích. Jeho stroje pro pořizování a zpracování děrných štítků se velice osvědčily při sčítání lidu v USA v roce 1890. Tento úspěch umožnil Hollerithovi založit firmu na výrobu děroštitkových strojů a jiné kancelářské techniky, která se od roku 1924 jmenuje IBM.

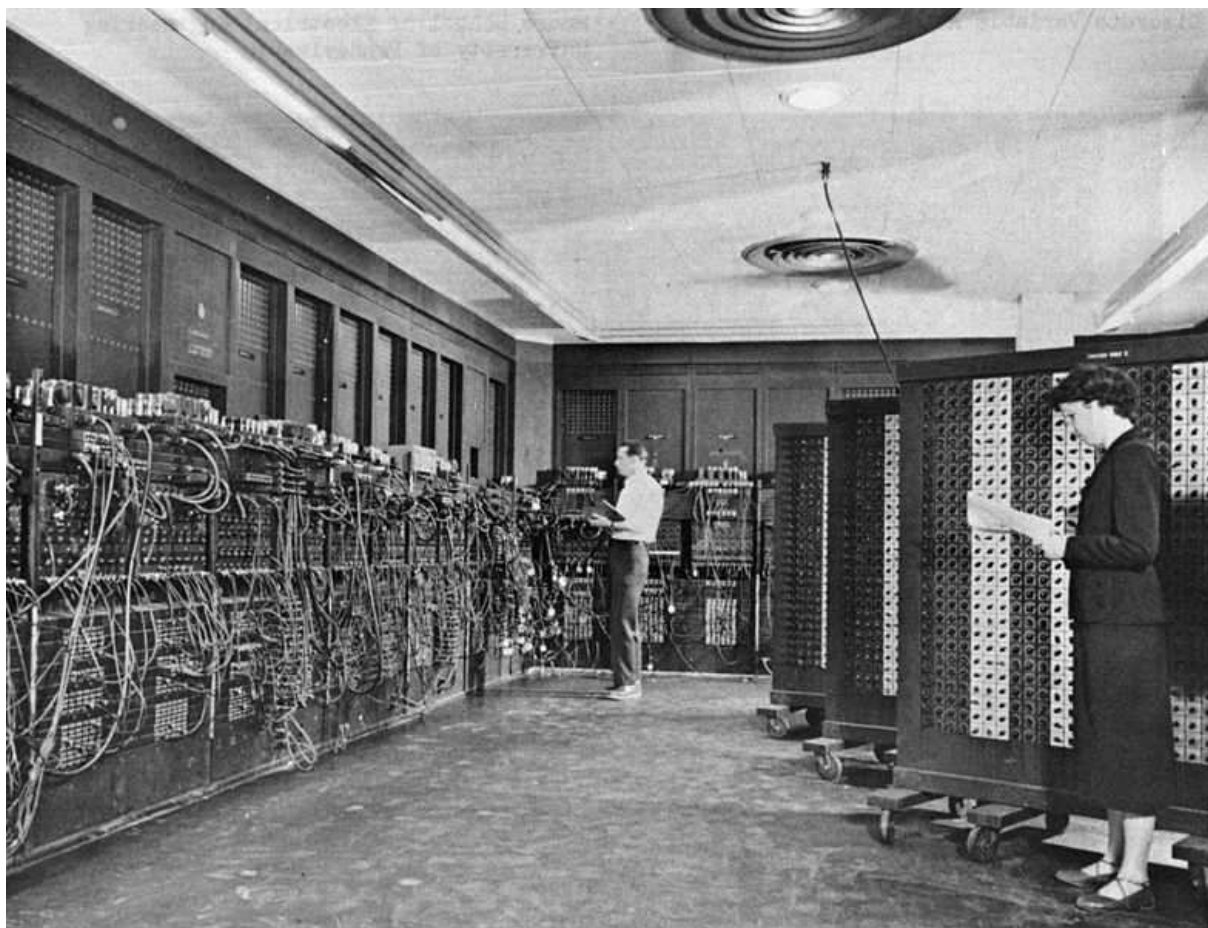
Před druhou světovou válkou již byly běžné i dosti pokročilé automaty. Běžné byly například mechanické pokladny umožňující pomocí sčítání, odčítání, násobení a dělení automaticky počítat cenu nákupu a denní tržbu. Jinou zajímavou skupinou automatů byly mechanické hrací stroje. Počínaje klikou poháněnými flašinety přes důmyslné hrací skříňky na klíček po automatická piana a orchestriony. Tyto hrací automaty byly programovatelné například jednoduchou výměnou válečku s hřeby. Za vrchol tehdejších možností lze považovat automatické telefonní ústředny nebo systémy pro kódování a dekódování depeší. Nejznámější jsou německá Enigma, určená původně pro bezpečnou mezibankovní komunikaci, a systém MAGIC provozovaný rozvědkou armády USA, který byl určen pro dekódování japonských diplomatických depeší.

Koncem třicátých let dvacátého století již rovněž dochází k prvním pokusům nahradit mechanické prvky automatů prvky elektronickými. Do tohoto vývoje významně zasáhla Druhá světová válka, ve které již zásadní roli hrála technická vyspělost soupeřících stran a vědecko-technický vývoj v průběhu války. V souvislosti s tehdejší pokročilým výzkumem se objevila potřeba zpracování velkého množství dat, stejně jako potřeba realizace náročných vědeckých výpočtů. Tato problematika byla na hranicích možností tehdejší techniky, častěji ovšem mimo ně.

Kuriozitou tehdejší doby je způsob realizace složitých výpočtů v rámci vývoje atomové bomby (projekt Manhattan). Pro účely výpočtů byly tehdy nakoupeny stovky mechanických počítacích strojů IBM, u kterých bylo možné realizovat číselný vstup i výstup pomocí děrných štítků. Výpočet probíhal tak, že tyto počítací stroje byly seřazeny za sebou a ke každému byla přiřazena obsluha. Obsluha měla za úkol převzít děrný štítek, provést určenou matematickou operaci a děrný štítek s výsledkem předat dál. Časem dosáhli pracovníci projektu v těchto výpočtech velké zručnosti a byli schopni počítat i několik výpočtů najednou, výpočty byly vzájemně odlišeny barvou děrných štítků. (Blíže informace o těchto výpočtech, stejně jako spoustu jiných veselých příběhů na pomezí vědy a magie je možné si přečíst v knize Feynman R.: To nemyslíte vážně, pane Feynmane!)

Vývoj techniky šel ovšem jiným směrem, už z důvodu finanční náročnosti výše zmíněného postupu, který bylo možné aplikovat pouze ve štědře dotovaném armádním výzkumu. Jiným směrem se odvíjel skutečně perspektivní vývoj založený na průkopnických pracích Howarda Aikena, Alana Turinga nebo Johna von Neumanna. Produktem týmu vedeného Howardem Aikenem v laboratořích IBM byl elektromechanický počítač Mark I. Alan Turing byl jednou z vůdčích osobností týmu vědců, kteří sestavili první elektronkový počítač, který byl používán k luštění kódů Enigmy. Do historie vešel především svou prací na poli teoretické informatiky a teorie konečných automatů neboli Turingových strojů. Třetím a patrně nejslavnějším uvedeným jménem je John von Neumann. Tento geniální fyzik a matematik se v průběhu Druhé světové války i v období po ní následujícím zúčastnil všech tehdejších přelomových výzkumů. Praktické zkušenosti s počítačem Mark I i s elektronkovým počítačem ENIAC (především se jednalo o důkladné znalosti nedostatků těchto strojů) jej vedly k formulování obecné koncepce struktury počítače, která byla tak převratná a geniální, že se prakticky beze změn používá dodnes. Tato koncepce je všeobecně známa jako **von Neumannova koncepce**, která bude rozebrána v kapitole struktura počítačů. John von Neumann je rovněž znám coby zakladatel nového vědního oboru, teorie her.

Počítač ENIAC, sestavený v roce 1945 na půdě fakulty elektrotechniky ve Filadelfii, je považován buď za první skutečný moderní počítač, nebo také za posledního předchůdce počítačů. Každopádně jeho parametry byly ohromující. ENIAC tvořilo 19 000 elektronek, výpočty byly prováděny v desítkové soustavě (na jedno pěticiferné číslo bylo potřeba 150 elektronek), byl chlazen vzduchem, jehož proudění zajišťovaly dva letecké motory a měl ohromující energetické nároky. Pro jeho fungování byla klíčová sešlapaná parta údržbářů, kteří vyměňovali poškozené elektrony. Programování bylo realizováno pomocí přepojování vodičů na propojovací desce. Jeden program se vytvářel pomocí přepojování vodičů klidně i několik týdnů.



Část počítače ENIAC

Počítačové generace

Historický vývoj počítačů je obvykle rozdělován do počítačových generací, které od sebe odděluje nějaká významná kvalitativní změna. Vývoj ovšem neprobíhal ve skocích, ale spíše jako postupný proces. Přesto tyto pomyslné generace zachycují významné skoky v principech fungování a výpočetním výkonu počítačů. Časovost jednotlivých období odpovídá vývoji v počítačově nejvyspělejších zemích té doby, tj. převážně USA, Japonska a Západní Evropy. Země komunistického bloku měly ve vývoji počítačů značné zpoždění a počítače se do nich mohly dovážet ve značně omezené míře z důvodu jejich možného vojenského využití.

Generace již zmíněných počítačů Mark I a ENIAC je označována jako nultá generace počítačů. Počítače nulté generace jsou charakteristické svou unikátností, každý z nich existoval vesměs v jediném exempláři a od ostatních počítačů se lišil svou koncepcí, architekturou i použitými součástkami. Nultá generace odpovídá období hledání vhodné koncepce fungování počítače a vhodných konstrukčních prvků (elektromechanické, reléové, elektronkové, aj.). Nultá generace byla završena v roce 1949 definicí von Neumannovy koncepce fungování počítače a vítězstvím elektronek jako nejvhodnějšího dostupného konstrukčního prvku.

V letech 1949 – 1956 jsou vyvíjeny počítače první generace. Tyto počítače jsou již prakticky všechny elektronkové a postaveny podle von Neumannova schématu. V této době se objevují první sériově vyráběné počítače, první aplikace počítačů v průmyslové a obchodní sféře. Zároveň vznikají první programovací jazyky

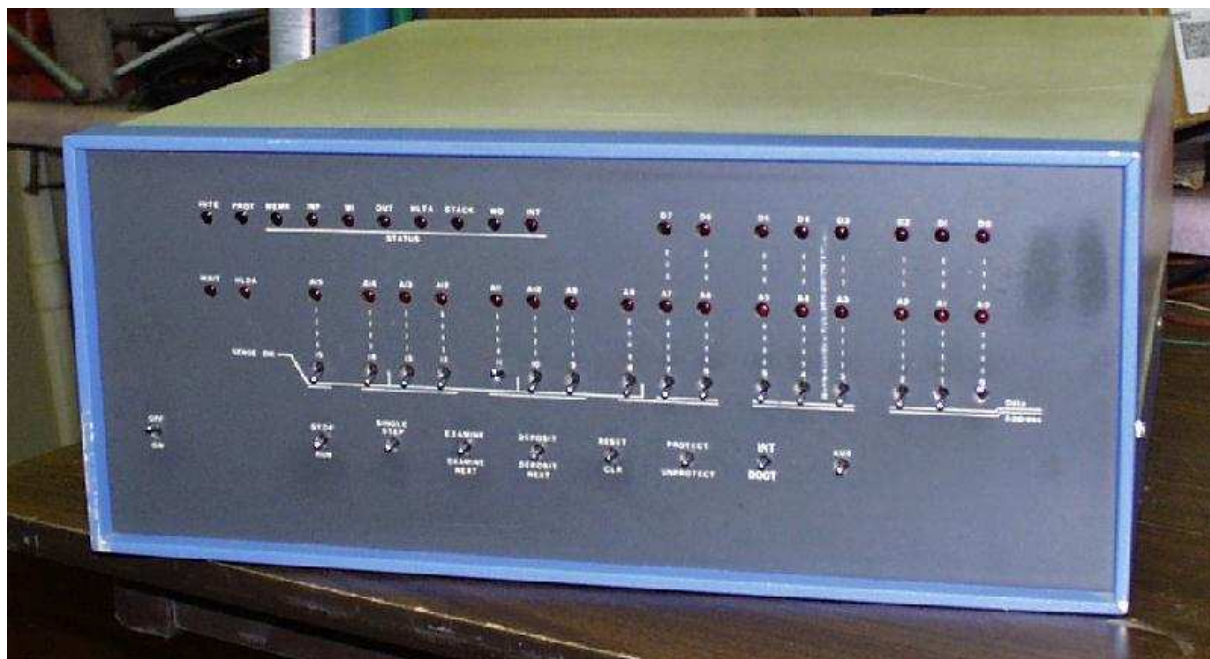
pro snadnější přípravu výpočetních úloh. V roce 1953 vzniká dodnes hojně používaný programovací jazyk FORTRAN a další jej brzy následují.

Velkým problémem počítačů první generace vysoká poruchovost způsobovaná krátkou životností elektronek. Byla tudíž hledána možnost jejich nahrazení jiným spolehlivějším elektronickým prvkem. Náhrada za elektronky spatřila světlo světa v roce 1948, kdy byl v Bellových laboratořích vyvinut první polovodičový tranzistor. Původní (a dodnes používaný) účel využití tranzistoru bylo zesilování elektronického signálu. Později se ukázalo, že možností jeho využití jsou podstatně rozsáhlejší a jednou z možných dalších aplikací tranzistoru bylo jeho využití jako spínacího prvku u počítačů. Tranzistory mají oproti elektrónkám celou řadu výhod – jsou levné, běžným provozem se prakticky neopotřebovávají, mají nízkou spotřebu energie a je možné je miniaturizovat. Pro všechny tyto výhody byly elektronky u počítačů nahrazeny tranzistorovými obvody, čímž vznikly počítače druhé generace.

Po roce 1964 už proces miniaturizace tranzistorů dospěl do takové úrovně, že jich bylo možné sestavit větší množství na malé křemíkové destičce. Pro tuto destičku se vžilo označení chip (česky kousek, úlomek) a spojením tranzistorů na jednom čipu dalo vzniknout pojmu integrovaný obvodů. Použití integrovaných obvodů místo jednotlivých tranzistorů dalo vzniknout třetí počítačové generaci. Od tohoto data probíhá neustálý proces zvyšování počtu tranzistorů v integrovaném obvodu a zároveň jejich další miniaturizace.

Počátkem 70. let již integrované obvody obsahovaly tisíce tranzistorů. V této době se již počítače postupně dostávají mimo specializovaná pracoviště a začínají být častěji využívány jinými pracovníky než pouze programátory. Pro zjednodušení práce proto vznikají první počítačové operační systémy. Kromě velkých sálových počítačů vznikají nové kategorie počítačů, které jsou sice méně výpočetně výkonnější, ale jsou levnější a dostupnější. Postupně se ustálily tři základní kategorie počítačů:

- velké sálové počítače,
- pracovní stanice a servery,
- mikropočítače.



Mikropočítač Altair 8800

Čtvrtá generace počítačů se objevuje v roce 1974 s uvedením mikropočítače Altair s procesorem Intel na americký trh. Jeho revolučnost spočívala v tom, že nebyl určen pro profesionální využití v laboratořích a výpočetních centrech. Altair byl počítač, který si každý zájemce mohl sestavit a provozovat u sebe doma. Obrovský a překvapivý úspěch Altairu vedl k prudkému rozvoji tohoto segmentu trhu. Postupně se objevují další domácí počítače a počítačové firmy – Apple, Commodore, Atari, Amiga, ZX Spektrum a další. Od roku 1975 vychází první specializovaný časopis o domácích počítačích a záhy se objevují první jejich aplikace, první počítačové hry a první počítačové viry.

V roce 1981 přichází na trh domácí počítač firmy IBM pod obchodní značkou PC – personal computer (osobní počítač). Tento výrobek stanovil prakticky dodnes platný standard fungování domácích mikropočítačů a dal jim i nový název. PC od IBM již obsahovalo operační systém od malé, ale ambiciózní softwarové firmy – MS DOS od Microsoftu. Od roku 1985 již bylo možné k MS DOSu dokoupit grafickou nástavbu, software nesl název Windows. Osobní počítače se postupně staly běžnou pracovní pomůckou a zdrojem zábavy. Dnes již prakticky neexistuje obor lidské činnosti nevyužívající počítače.



Počítač IBM PC 5150, rok výroby 1981

V současnosti narazil vývoj nových a rychlejších počítačů na fyzikální mez miniaturizace tranzistorů. Zatím je tento problém obcházen vícejádrovými procesory, které umí provádět více výpočtů najednou, a hledá se nový technologický postup, který by umožnil vznik nové generace počítačů.

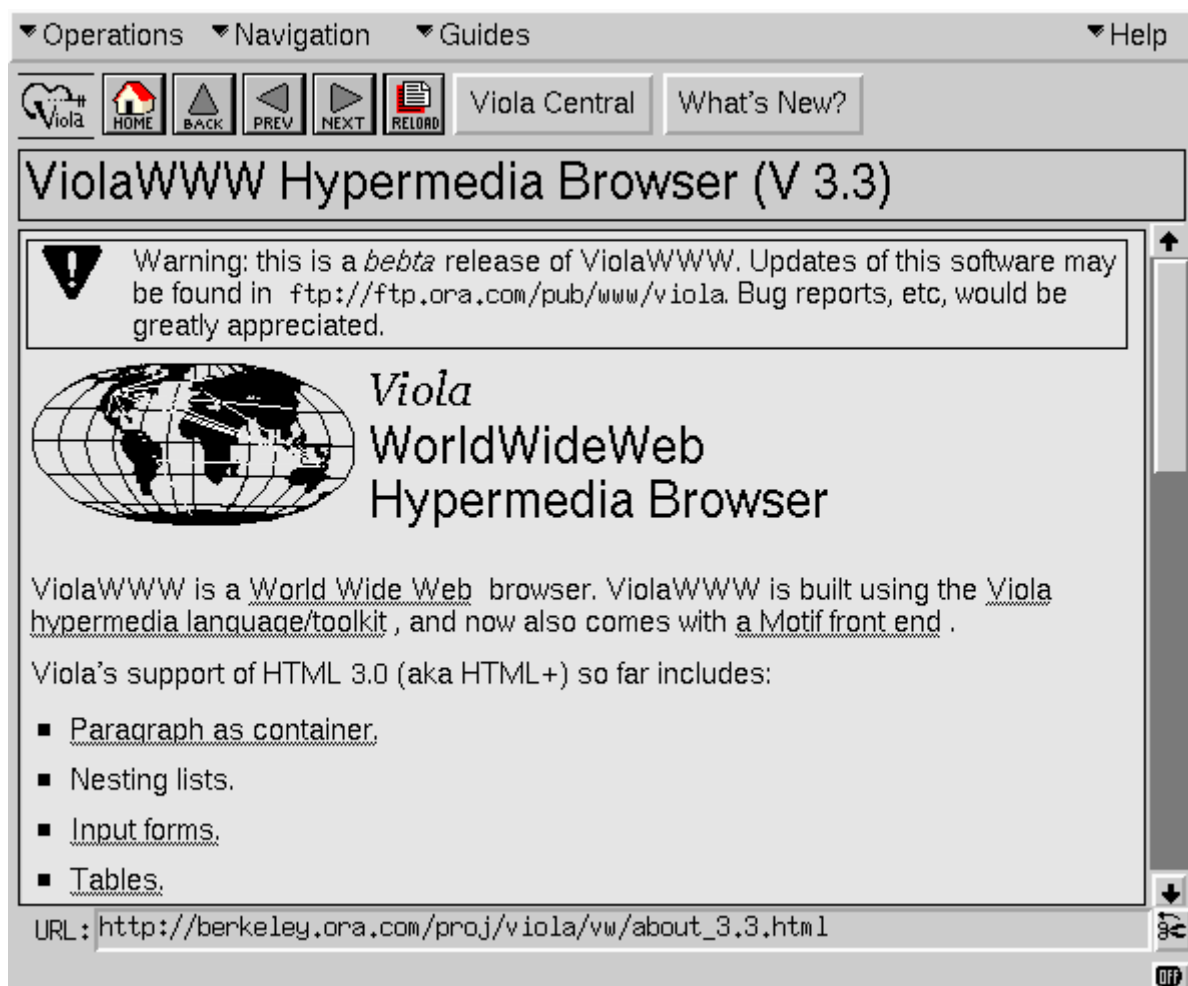
Historie počítačových sítí a internetu.

Již v polovině 60. let byly prováděny pokusy s komunikací s počítačem na dálku a mezi počítači vzájemně. Pro dálkovou komunikaci byly využívány tehdejší komunikační linky, především telefonní a dálnopisové spojení. Výsledkem těchto experimentů byly první počítačové sítě. Tyto počítačové sítě byly postaveny na tzv. hvězdicovité struktuře, existoval jeden centrální řídicí počítač (mainframe) a všechny ostatní počítače v síti byly připojeny jen k němu. Mainframe zde fungoval podobně jako telefonní ústředna, pouze přijímal data a odesílal je dále adresátovi.

Jedním z prvních významných uživatelů počítačových sítí byla armáda. Pro vojenské využití není hvězdicovitá struktura počítačové sítě vhodná. Prosté zničení nebo poškození mainframu zničí celou síť. Pro byl od roku 1969 vyvíjen v projektech ARPANET (armáda USA) a X.25 (telekomunikační společnosti v západní Evropě) nový způsob vzájemné komunikace mezi počítači a odolnější struktury. Výzkum se soustředil především na hledání vhodného způsobu odstranění mainframu ze struktury počítačové sítě. Bez mainframu v síti ovšem nastává problém, jakým způsobem zajistit, aby zasláné informace našly v síti svého adresáta a aby byla síť optimálně využita. Řešením těchto problémů se ukázalo být

zasílání dat pomocí paketů. Všechna data jsou při odesílání rozdělena na malé balíčky (pakety) s přidělenou „adresou“. Tyto pakety potom dále putují po síti k adresátovi. Pro zasílání dat na internetu je v současnosti standardem protokol TCP/IP vytvořený již v roce 1974. Síť fungující s protokolem TCP/IP jsou velice odolné, ani nepřátelský útok, který by zničil množství počítačů v síti, síť nezničí, pouze ji může zpomalit. Pro tuto novou generaci počítačových sítí se později vžil pojem internet.

V polovině 70.let již začíná postupný rozvoj internetu, především díky vysokým školám a vědecko-výzkumným zařízením. Jeho další šíření bylo především limitováno nízkými přenosovými rychlostmi dat a uživatelskou náročností. Problém uživatelské náročnosti byl překonán koncem 80. let, kdy byl Timem Berners-Leem implementován pro prostředí počítačových sítí koncept hypertextových aplikací (standard HTTP). Záhy vznikly první grafické prohlížeče, umožňující uživatelsky příjemné a jednoduché využití síťových aplikací (tzv. WWW). Od počátku 90. let lze sledovat explozivní nárůst počtu uživatelů internetu, počtu internetových stránek a aplikací, který pokračuje prakticky dodnes.



Náhled jednoho z prvních hypertextových prohlížečů

2.2. Struktura počítačů

Struktura prakticky všech dnes používaných počítačů vychází z koncepce, kterou v roce 1945 poprvé prezentoval John von Neumann. Tato koncepce v sobě shrnovala zkušenosti počítačových vědců tehdejší doby a geniálním způsobem řešila všechny základní problémy prvních počítačů. Von Neumannova koncepce se dá rozdělit do dvou částí, v první budou prezentovány základní principy, podle kterých počítače fungují, druhou částí bude von Neumannovo základní schéma počítače.

Základní principy fungování počítačů

Základními principy fungování počítačů jsou:

- reprezentace všech dat v dvojkové soustavě,
- přímé adresování – v každém okamžiku je přístupná každá část paměti,
- výpočetní jednotka provádí pouze sčítání (ostatní operace jsou na sčítání převedeny),
- výpočty jsou prováděny sekvenčně za sebou,
- v paměti počítače není rozdíl mezi programem a daty.

Binární reprezentace počítačových dat je dnes již považována za naprostou samozřejmost. U prvních počítačů tomu tak zdaleka nebylo, což způsobovalo nepříjemné konstrukční těžkosti. Binární reprezentace dat má tři podstatné výhody. Je to „přirozený jazyk“ elektronických zařízení, protože odpovídá dvěma jejich základním stavům - zapnuto a vypnuto, proud prochází a proud neprochází. Stejně dobře koresponduje dvojková soustava s matematickou logikou, kde odpovídá dvěma základním pojmům logiky – ano, ne. A navíc je sčítání ve dvojkové soustavě opravdu jednoduchým matematickým problémem.

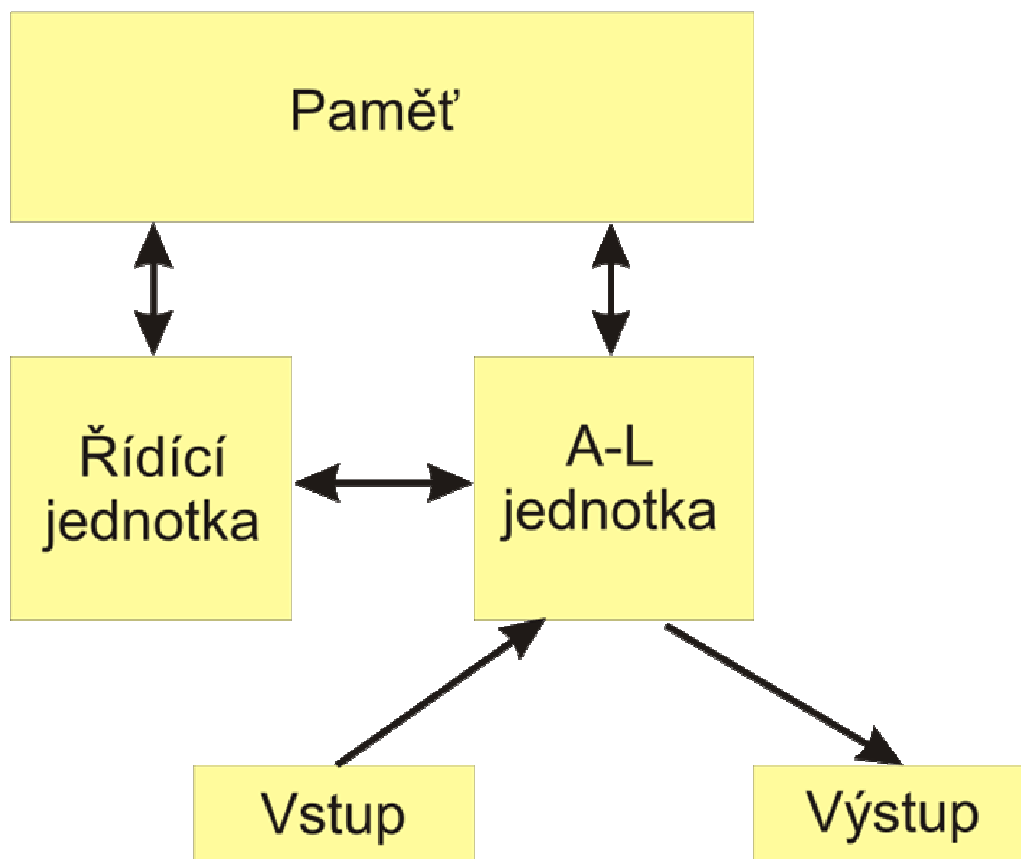
Převedení všech problémů na sčítání binárních hodnot má tu výhodu, že díky ní se nemusí kvůli změně řešeného problému přestavovat struktura počítače (žádné přepojování vodičů). Jedním z důležitých teoretických výsledků matematické informatiky je důkaz tvrzení, že všechny základní počítačové operace lze realizovat pomocí sčítání.

Nejzásadnější ze všech jmenovaných je princip, podle kterého není v paměti počítače činěn žádný rozdíl mezi programy a daty, která část paměti jsou data nebo programy závisí pouze na kontextu. Tato myšlenka je na první pohled zvláštní, není přece větší rozdíl mezi programy a daty, která ty programy zpracovávají (U prvních počítačů byly také realizovány programy na základě jiných principů, případně byly zvlášť vyčleněny paměti pro programy a pro data). Navíc je ta myšlenka na první pohled nebezpečná, i malá chyba v programu by dokázala napáchat velké škody. Tento princip má však obrovské výhody. Předně není třeba mít dvě speciální paměti, stačí jedna. Navíc existují situace, kdy se tato nejednoznačnost data – program hodí, bez ní by nebylo možné používat vyšší programovací jazyky. Jádrem každého programovacího jazyka je překladač (kompilátor), který převede data – zdrojový text programu do dat ve formě strojového kódu, ale tato data jsou už dále používána jako program. Nebezpečí přepsání klíčových oblastí paměti je u moderních počítačů řešeno existencí speciální části paměti bez možnosti zápisu dat (ROM – Read Only Memory).

Von Neumannovo schéma počítače.

Počítač se podle von Neumanna skládá z pěti vzájemně propojených komponent:

- řadič (řídící jednotka),
- aritmeticko-logická jednotka,
- paměť,
- vstupní zařízení,
- výstupní zařízení.



Von Neumannovo schéma počítače

Řídící jednotka zpracovává instrukce a předává je dále aritmeticko-logické jednotce, která tyto instrukce provádí. Obě tyto součásti tvoří dohromady jádro procesoru.

V paměti počítače jsou uchovávána data a programy. Jedná se ovšem o vnitřní paměť počítače, ke kterým má procesor rychlý přístup – vnitřní paměť procesoru, RAM (Random Access Memory), ROM (Read Only Memory). Pevné disky nejsou považovány za vlastní paměť počítače, mají cca 100krát pomalejší přístup než vyjmenované paměti. Pro vyrovnání rozdílů v rychlosti se používá tzv. vyrovnávací (cache) paměť.

Vstupních a výstupních zařízení v současnosti existuje celá řada. Mezi vstupní zařízení patří především klávesnice, myš nebo skener. Typickými výstupními zařízeními jsou monitor, tiskárna nebo plotter. Navíc existují zařízení, která fungují zároveň jako vstupní i výstupní zařízení – dotykové obrazovky, multifunkční zařízení, síťové karty a další.

Von Neumannovo schéma počítače umožnilo úplné oddělení hmotných součástí počítače, které jsou od té doby do značné míry nezávislé na řešených úlohách od programů. V počítačové praxi se pro pevné součásti počítače zažil pojem hardware (v původním významu železářské zboží nebo náradí). Z něj vznikl i zvláštní pojem pro programové vybavení počítačů - software.

2.3. Data, informace

Všechny informační technologie (tj. také geoinformační technologie) jsou založeny na práci s daty a informacemi. Z tohoto důvodu by tyto základní a běžně používané pojmy měly být blíže vysvětleny. V ČSN 36 9001 je uvedeno, že:

„Data jsou obrazem vlastnosti objektu, vhodně formalizovaným pro přenos, interpretaci nebo zpracování prostřednictvím lidí nebo automatů.“

„Informace je význam, který člověk přisuzuje datům.“

V tomto smyslu jsou data vstupními údaji při studiu nějakého jevu nebo objektu. Výsledkem zpracování nebo analýzy dat jsou informace. Co jsou data a co jsou informace, vždy záleží na kontextu řešeného problému. Informace získané zpracováním nebo analýzou dat mohou být vstupními daty jiné úlohy. Nejlépe tuto skutečnost osvětlí následující příklad.

Příklad

Stanice automatizovaného imisního monitoringu zaznamenává v hodinových intervalech hodnoty koncentrací několika znečišťujících látek. Tyto zaznamenané hodnoty jsou data, ze kterých lze například získat informace – v jakém ročním období jsou nejvyšší koncentrace imisí, jaké jsou průměrné koncentrace imisí, apod.

Informace o průměrných ročních koncentracích jsou společně s hodnotami imisních limitů vstupními daty při zjišťování, jestli oblast pokrytá měřicí stanicí patří mezi oblasti se zhoršenou kvalitou ovzduší.

Informace o tom, jestli je dotyčné území oblastí se zhoršenou kvalitou ovzduší, může být vstupním údajem například při vyměřování pojištění obyvatel žijících v tomto území, protože jsou vystaveni vyššímu zdravotnímu riziku.■

Dalším pojmem souvisejícím s daty a informacemi je pojem metadata. Metadata jsou data „o datech“ neboli data popisující obsah, strukturu, vlastnosti, dosažitelnost a další vlastnosti jiných dat. Typickými metadaty jsou odkazy (poloha dat) nebo původní zprávy k datům (informace o struktuře, přesnosti, časovém určení dat, apod.). Základním důvodem existence metadat je předcházení možným budoucím problémům při nakládání s primárními daty, počínaje jejich nalezením, porozuměním jejich struktuře, jejich vhodnému použití a konče umožněním zpětné vazby pro autory dat.

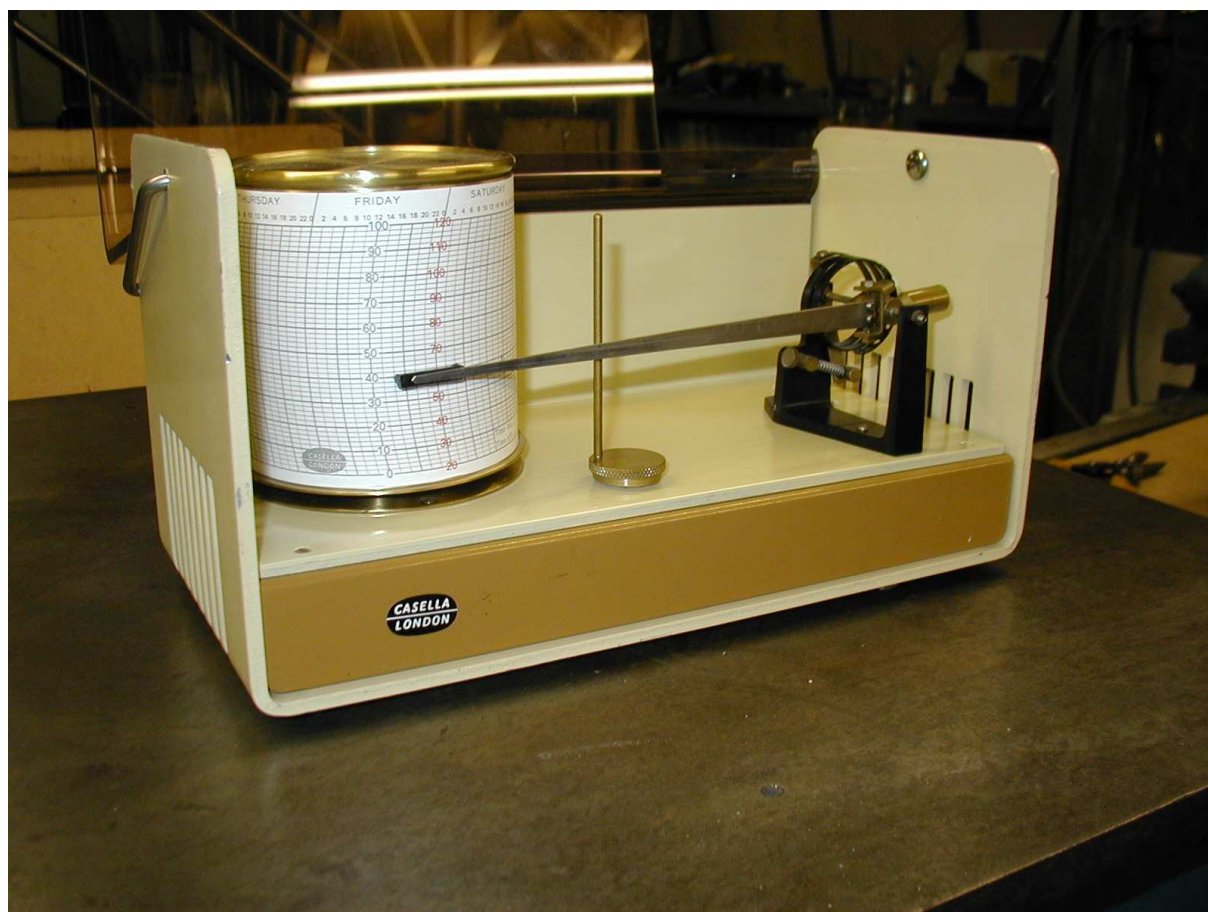
2.4. Analogová a digitální data

Data lze zaznamenávat v principu dvojím způsobem. Jedná se o analogový a digitální záznam dat.

Pojem analogový vychází obecně z přístupu, kdy je zkoumaný jev zaznamenán na záznamové zařízení pomocí vhodného využití fyzikálních nebo chemických jevů a technických prostředků. Nejlépe lze pochopit principy analogového záznamu dat na několika jednoduchých příkladech

Příklad

Termograf je fyzikální a meteorologický přístroj, jenž slouží k měření a zápisu naměřené teploty vzduchu v závislosti na čase. Naměřené teploty vzduchu jsou převáděny na výchylku ručky zapisovacího stroje pomocí bimetalového pásu. Zapisovací stroj termografu je vlastně specializovaný hodinový stroj, jenž přesně pomalu otáčí záznamovým válcem, na kterém je připevněn záznamový papír respektive záznamový pás. Zařízení tak v průběhu času automaticky vykresluje křivku průběhu teplot vzduchu v závislosti na ubíhajícím času, vzniklá křivka záznamu průběhu teploty na čase se nazývá termogram, což je analogový záznam změny teploty vzduchu v závislosti na čase.



Termograf

Příklad

Zvuk byl donedávna zaznamenáván pomocí převodu chvění vzduchu, vnímaném jako zvuk, na chvění ocelové jehly rotující válec nebo kruhovou desku. Výhodou

tohoto přenosu byla možnost obrácení celého mechanismu, kde šlo zpětně převést záznam přes jehlu zpět do formy zvuku. Zařízení pro přehrávání takového záznamu zvuku se podle typu záznamového média nazývají fonograf (válec) nebo gramofon (deska).



Edisonův fonograf

Digitální data jsou data zakódována na záznamovém médiu pomocí sekvencí dvou možných stavů, obvykle označovaných čísly 1 a 0. Pomocí tohoto jednoduchého principu lze zakódovat nejen čísla, ale rovněž alfanumerické znaky (kódování ASCII, Unicode), zvuk (MP3), obrazový záznam (JPG, BMP, PNG, atd.), filmy (AVI, MPG, atd.) nebo téměř cokoli jiného.

Oba typy záznamu mají své výhody i nevýhody. Výhodou analogového záznamu dat je především ta skutečnost, že při záznamu nedochází k téměř žádné ztrátě informace. Žádný analogový záznam není ovšem úplně dokonalý a s každou kopií se kvalita analogového záznamu dat dále snižuje. Proto je nutné vyrábět kopie filmů nebo gramofonových desek z primární matrice, na které byly původní jevy zachyceny.

Při digitální reprezentaci reálných jevů musí být zaznamenávaný jev rozdělen do konečného množství částí (úseků, pixelů, apod.), každá z těchto částí je poté

reprezentována jednou konečnou sadou hodnot. Každý digitální záznam dat je tedy kompromisem mezi malým počtem zaznamenaných hodnot, kdy je jev zaznamenán zkresleně, a velmi přesným záznamem jevu, který má za následek velký objem dat.

Velikou výhodou digitálních dat je ta skutečnost, že při kopírování dat nedochází k žádné ztrátě kvality dat. Digitální data jsou rovněž vhodnější pro přenos dat na dálku, protože nejsou znehodnocována drobnými šumy (to je jeden z důvodů přechodu na digitální televizní vysílání).

3. Prostorová data

Tato kapitola se bude zabývat nejvýznamnější složkou GIS a tou jsou prostorová data. Blíže zde budou rozebrány struktura a vlastnosti prostorových dat.

Prostorová data jsou zvláštní kategorií dat. Oproti obecným datům obsahují navíc prostorovou referenci (informaci). Tato prostorová reference může být realizována přímo hodnotami souřadnic ve zvoleném souřadném systému nebo nepřímo pomocí určení příslušnosti k nějakému objektu nebo oblasti, adresy, relativní polohy vůči referenčnímu místu, apod. Jestli jsou data prostorová nebo nejsou, je často záležitost kontextu jejich použití.

Příklad

Nechť jsou k dispozici data narození všech obyvatel Ostravy. Tato data jsou prostorová, pokud jsou například používána pro přípravu tematické mapy znázorňující procento dětí mladších než 15 let v městech ČR. Jejich prostorová reference je dána příslušností k území – Ostravě. Ta stejná data ovšem nebudou prostorová, pokud by bylo účelem tematické mapy znázornění procenta dětí mladších 15 let v městských částech Ostravy, potom už předchozí prostorová reference neplatí (je málo detailní).■

3.1. Reprezentace prostorových dat

Prostorová data jsou v praxi reprezentována dvěma základními způsoby, které se od sebe zásadně liší. Jedná se o:

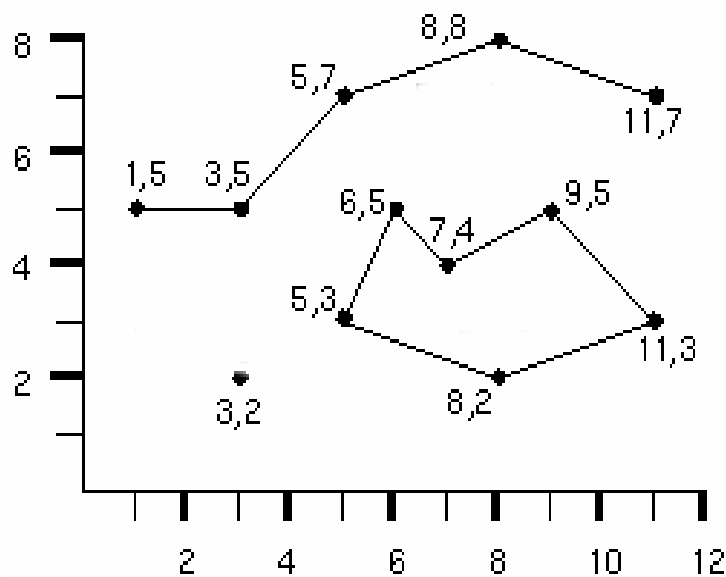
- vektorová data,
- rastrová data.

Vektorová data

Pojem vektorová data vycházejí svými principy z výsledků analytické geometrie. Tato matematická disciplína se zabývá reprezentací geometrických objektů a jejich využitím pro následné analýzy. Jedním ze základních výsledků analytické geometrie je skutečnost, že každý bod v prostoru lze ve zvoleném souřadném systému reprezentovat n -ticí hodnot – vektorem. Jednoduchým způsobem lze rovněž popsat velké množství geometrických tvarů. Z toho vychází reprezentace objektů ve formě vektorových dat – objekty jsou jednoznačně popsány konečnou sekvencí číselných hodnot ve zvoleném souřadném systému.

Software pro GIS vznikly historicky (mimo jiné) jako nástroje pro pořizování podkladových dat pro mapy a pro tvorbu mapových děl. To je důvod, proč naprostá většina těchto programů pracuje pouze s dvourozměrnými daty. Zobrazovací prostor těchto dat je rovina (obrazovka počítače, papír). Proto je možné vektorové objekty rozdělit do tří kategorií:

- bezrozměrné (0D) objekty – body,
- jednorozměrné (1D) objekty – linie,
- dvourozměrné (2D) objekty – plochy.



Vektorová prostorová data

Při práci v třírozměrném prostoru by se navíc objevovaly třírozměrné (3D) objekty – objemy.

Matematických popisů geometrických objektů je celá řada a liší se od objektu k objektu. Pro vektorový popis dat se všeobecně používá metoda, která je, na úkor úplné přesnosti, použitelná pro popis libovolných konečných geometrických tvarů. Liniové objekty jsou zde reprezentovány po částech lineární křivkou. Tato křivka může být snadno popsána sekvencí souřadnic:

linie A – A, $x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n$,

A je identifikátor objektu, (x_1, y_1) až (x_n, y_n) jsou souřadnice počátku, bodů zlomu a konce linie. Mezi určenými body má linie tvar úsečky.

Plošné objekty jsou definovány uzavřenou linií (liniemi) své (po částech lineární) hranice, proto se pro plošná vektorová data vžil pojem polygony.

Tímto způsobem je možné pomocí sekvence znaků a čísel reprezentovat libovolný z vyjmenovaných objektů. Daní za tuto univerzálnost je ta skutečnost, že každá reprezentace reálných objektů je určitým zjednodušením (generalizací) skutečnosti.

Pro vektorová data neexistuje jednotný standard jejich ukládání v počítači. Jednotliví výrobci softwaru pro GIS používají vlastní datové formáty. Pro výměnu dat jsou pak používány některé dlouhodobě používané datové formáty, jejichž kódování je navíc zveřejněno. Za všeobecný standard se dnes považuje především formát ESRI shapefile.

Výhody vektorových dat:

- logická struktura,
- malý objem dat,
- možnost určování topologických vztahů,
- velké množství analytických metod,
- snadné pořizování dat z terénních měření.

Vektorová data mají jednoduchou logickou strukturu (viz výše), která je dostatečně obecná, aby pomocí ní bylo možné popsat reálné objekty s požadovanou přesností. Oproti dále popisovaným rastrovým datům zabírají vektorová data řádově méně paměti počítače. Topologické vztahy budou rozebrány v kapitole popisující vlastnosti prostorových dat, stejně jako metody analýzy dat budou detailně popsány v kapitole popisující analytické nástroje GIS. Snadnost vkládání dat z terénních měření je dána samotným principem těchto měření, jejichž principem je zaměřování (určování souřadnic) míst (bodů) v terénu. Data tohoto tvaru lze snadno převést do požadovaného tvaru vektorových dat. Navíc existují měřicí aparatury automaticky zaznamenávající zaměřovaná místa ve formátu vektorových dat (tzv. mobilní GIS).

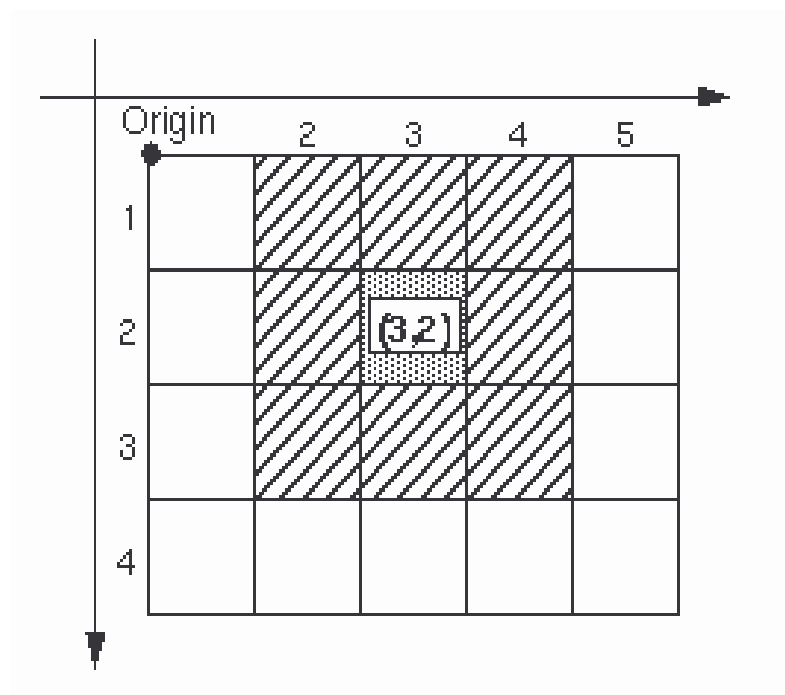
Nevýhody vektorových dat:

- obtížné získávání z analogových podkladů,
- vysoká cena.

Vstup vektorových dat do GIS z analogových podkladů (např. mapové podklady, letecké snímky) je možný prakticky pouze ručním vkládáním jednotlivých bodů a linií ruční vektorizací na vhodném zařízení. Ruční vektorizace i pořizování dat v terénu vyžadují vysoký podíl, často vysoce kvalifikované, lidské práce. To je příčinou vysoké ceny vektorových dat. Dalším důsledkem náročnosti na lidskou práci je rovněž časová náročnost pořizování vektorových dat.

Rastrová data

Druhou možnou formou zápisu umístění a tvaru prostorových objektů v číselné podobě je rastrový formát prostorových dat. Princip rastrových datových formátů je jednoduchý. Celá oblast zájmu je rozdělena na pravidelné jednoduché geometrické útvary (buňky rastru). Nejčastěji jsou to čtverce nebo obdélníky. Každá buňka rastru má přiřazenu konkrétní hodnotu.



Rastrová prostorová data

Rastrová prostorová data je tedy možné reprezentovat polohou konkrétního místa v popsané oblasti (zvolený roh, střed, apod.), velikostí buňky a maticí hodnot v buňkách. Někdy se také uvádí úhel pootočení rastru. V následujícím příkladu je pro ilustraci uveden obrázek znázorňujícím obsah souboru obsahujícím data v rastrovém formátu ASCII Grid:

```
ncols      10
nrows      8
xllcorner  -445566
yllcorner  -1223300
cellsize    100
NODATA_value -9999
-9999 231 229 227 226 224 223 221 219 218
232 231 230 228 226 225 223 222 220 219
232 231 230 228 227 225 224 222 221 219
232 231 230 229 227 226 224 222 221 219
232 231 229 228 227 225 224 222 220 219
232 230 229 228 226 224 223 222 220 219
231 230 229 227 226 224 223 221 220 219
231 230 229 228 226 225 223 222 220 219
```

Data ve formátu ASCII Grid

Formáty rastrových dat nejsou obvykle vázány na SW pro GIS. Je to dáno tím, že jsou obrázky ve formě rastru běžně používanou součástí počítačové grafiky, proto také existuje několik standardních formátů pro práci s rastrovými daty. Používané grafické formáty (TIFF, JPG, BMP, apod.) obvykle obsahují pouze matici hodnot

rastru. Ostatní prostorové informace bývají přiloženy v doplňujícím textovém souboru lišícím se pouze příponou (např. k souborům ve formátu JPG lze přiložit prostorovou referenci v souboru s příponou jgw)

Výhody rastrových dat:

- snadné vytváření,
- lze jimi popsat spojitě jevy.

Rastrová data lze velice pomocí moderní techniky snadno vytvářet plně automaticky. Metody dálkového průzkumu Země (letecké, družicové snímky) produkují již z principu svého fungování prostorově lokalizovaná rastrová data. Snadná je rovněž digitalizace analogových podkladů pomocí skenerů. Pomocí rastrů je možné rovněž snadno popsat spojitě se měnící jevy (výška terénu, koncentrace škodlivin, tlak vzduchu, apod.).

Nevýhody rastrových dat:

- velký objem dat,
- nelze určovat topologické vztahy.

Významným nedostatkem rastrových dat je jejich vysoká náročnost na paměť počítače daná nutností zaznamenat obrovské množství hodnot v buňkách rastru. Paměťovou náročnost rastrů je možné snížit pomocí kompresních algoritmů. I malá úspora paměti je zde ovšem vykoupena výrazným zpomalením následných operací s rastry. Naopak existují algoritmy výrazně urychlující vykreslování rastrů, ale za cenu dalších nároků na paměť počítače. U rastrových dat nejsou navíc jednoznačně určeny hranice objektů, proto není možné určovat ani topologické vztahy.

3.2. Vlastnosti prostorových dat

Prostorová data jsou nejdůležitější součástí (nebo produktem) všech geoinformačních technologií. Vědní obor zabývající se prostorovými daty (také geodaty) se nazývá geoinformatika. Pohlíží-li se na prostorová data z pohledu GIS, pak jsou za prostorová data považována data popisující:

- tvar a polohu objektů (geometrické vlastnosti),
- vzájemné polohové vztahy objektů (topologické vztahy),
- charakteristiky a vlastnosti objektů (atributy),
- popisná část (metadata),
- eventuálně časové změny (dynamiku).

Geometrické vlastnosti zachycují především tvar a polohu prvků prostorových dat. U vektorových dat je základní geometrickou vlastností typ jejich prvků (bodové, liniové, plošné nebo jejich kombinace).

Topologie je matematická disciplína zabývající se vzájemnými vztahy mezi množinami. Vhodným způsobem zobecňuje a dále pracuje s pojmy „sousedí s“ a „je součástí“. Zkoumání topologických vlastností prvků prostorových dat tedy vychází především z určování, které prvky s kterými sousedí. Samotný tvar objektů

není z tohoto úhlu pohledu vůbec důležitý. V sadě prostorových dat mající vybudovanou topologickou strukturu je možné snadno určovat, které prvky spolu vzájemně souvisí. V celé řadě prostorových analýz není geometrická složka prostorových dat vůbec podstatná, například síťové analýzy používají geometrickou složku dat pouze při případném znázorňování výsledku.

V práci s prostorovými daty se často používá několik základních topologických struktur, především bodově-liniová a liniově-polygonová. Bodově-liniová topologie se skládá z (uzlových) bodů a z linií, které tyto body vzájemně spojují. Každá linie začíná a končí v některém z bodů. Linie se vzájemně stýkají pouze v uzlových bodech, tj. v místě svého počátku nebo konce. Liniově-polygonová topologie je tvořena plochami polygonů a liniemi jejich hranic. Tato struktura umožňuje především určování polygonů se společnou hranicí a jiné podobné operace.

Z hlediska topologie není mezi oběma popsanými strukturami žádný rozdíl. Každou liniově-polygonovou strukturu lze jednoduše převést na ekvivalentní strukturu bodově-liniovou. Stačí plochy polygonů nahradit body umístěnými v jejich geometrickém středu a každou společnou hranici dvou polygonů nahradit lomenou čarou spojující středy příslušných polygonů a procházející středem jejich hranice.

Zatím se mluvilo pouze o topologiích vektorových dat. U rastrových dat neexistují jednoznačně určené hranice zachycených objektů. To je důvod proč není možné u rastrových dat vybudovat topologii.

Atributy (česky vlastnosti) jsou neprostorovou složkou prostorových dat. Jsou zde zaznamenány údaje o jednotlivých znázorněných objektech. Jsou většinou zaznamenány v (atributové) tabulce. Každý řádek tabulky tvoří záznam údajů vztahující se k jednomu prostorovému prvku dat, ke kterému je přiřazen pomocí jednoznačného identifikátoru (každý grafický prvek má například přiřazenu číselnou hodnotu). Jednotlivé sloupce tabulky odpovídají zaznamenávaným položkám dat.

Popisnou část prostorových dat tvoří doplňující informace o datech samotných. Jedná se především o informace – co data popisují, v jakém datovém formátu jsou uchovávána, z jakých podkladových dat a kým byla vytvořena, jaká je přesnost (nebo detailnost) dat, údaje o autorských právech k datům, apod. Tato složka prostorových dat bývá často zanedbávána, což může následně způsobovat samotnému autorovi i uživatelům dat značné problémy.

Dynamika jevů se může u prostorových dat projevovat dvojím způsobem. V závislosti na čase se mohou měnit pouze atributy nebo také i grafické složky prostorových dat (geometrie, topologie). Příkladem prvního způsobu dynamicky prostorových dat mohou být koncentrace imisí naměřené stanicemi automatického imisního monitoringu. Hodnoty jsou zaznamenávány stále na stejném místě, v závislosti na čase se mění pouze hodnoty koncentrací. To lze snadno zachytit položkami atributové tabulky, kde ke každému času měření bude příslušný jeden sloupec (položka) tabulky. Příkladem druhé možnosti jsou údaje o průmyslových zdrojích znečišťování ovzduší. Zde se v závislosti na čase mohou měnit nejen hodnoty emisí, ale také počet zdrojů, mohou se objevovat zdroje nové, ale také zastavovat zdroje staré. To lze v současnosti řešit pouze vytvořením vzájemně oddělených sad prostorových dat, kde se každá sada vztahuje ke konkrétnímu

časovému období. Je patrné, že při zahrnutí časových změn do prostorových dat významně vzroste důležitost metadat.

3.3. Souřadné systémy

Nutnou podmínkou pro vyjádření prostorových dat v digitální podobě je určení souřadného systému, ve kterých budou tato data zachycena. Obvyklým cílem zpracování prostorových dat je jejich zobrazení na monitoru počítače, ve formě mapy nebo plánu. Z matematického pohledu jde tedy o převod souřadnic ze zakřiveného zemského povrchu do roviny.

Tvar zemského povrchu na úrovni (střední klidové) hladiny moře je označován pojmem **geoid**. Geoid je geometricky velmi složitý útvar, je ale svým tvarem blízký povrchu rotačního elipsoidu (Země je v oblasti pólů mírně zploštělá), méně přesně rovněž kulové ploše. Geoid je tedy v různých souřadných systémech reprezentován různými **referenčními plochami**, obvykle povrchem rotačního elipsoidu nebo kulovou plochou, které se k němu přimykají. Ani povrch rotačního elipsoidu, ani kulová plocha ovšem nejsou tzv. přímkové plochy, neboli neexistuje způsob, jakým by bylo možné rozvinout tyto plochy do roviny. Proto je nutné zvolit vhodný matematický postup, kterým se dotyčná plocha převede do roviny (matematicky **projekce**, jinak také **kartografické zobrazení**). Každá projekce je provázena zkracováním geometrických prvků obrazu – úhlu, délky, plochy. Existují speciální projekce, které zachovávají některé geometrické prvky. Například Mercatorova projekce zachovává úhly, proto se používá při tvorbě námořních navigačních map. Obvyklým postupem při vytváření projekce je zobrazení referenční plochy na **plochu zobrazovací**, kterou je možné už do roviny rozvinout. Buď je to samotná rovina nebo také válec či kužel.

Kartografických projekcí existuje celá řada. Na území ČR jsou závazně určeny (geodetické) souřadné systémy, včetně jejich parametrů, Nařízením Vlády ČR č.116/1995 Sb., kterými jsou:

- světový geodetický referenční systém 1984 (WGS 84),
- evropský terestrický referenční systém 1989 (ETRS89),
- souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK),
- souřadnicový systém 1942 (S-42).

V praxi jsou nejčastěji používány systémy WGS 84 a S-JTSK. Souřadný systém S-42 je v Nařízení vlády uveden převážně z historických důvodů. V českých zemích byl zaveden jako standard vojsk Varšavské smlouvy. Od jeho používání se již postupně upouští.

Světový geodetický systém 1984 (WGS 84)

Tento souřadný systém je v současnosti světovým standardem pro výměnu dat a je používán například globálním polohovacím systémem (viz. kapitola o GPS). Systém WGS 84 je polární souřadnicový systém. To znamená, že místa na zemském povrchu jsou určena pomocí dvojice úhlů – **zeměpisné šířky** (latitude) a **zeměpisné délky** (longitude). Zeměpisná šířka se pohybuje v rozmezí hodnot -90° na jižním pólu a $+90^\circ$ na pólu severním (v geografii je spíše zvykem uvádět místo znaménka před

číslicí pojmy severní nebo jižní šířka). Hodnota 0° odpovídá rovníku. Zeměpisná délka se pohybuje v intervalu od -180° (180° západní délky) do $+180^\circ$ (180° východní délky). Linie spojující místa se stejnou zeměpisnou šířkou se nazývají **rovnoběžky**, Linie spojující místa se stejnou zeměpisnou délkou se nazývají **poledníky**.



Zeměpisné délky a šířky

Se zeměpisnou délkou se pojí několik problémů. Asi nejzávažnějším je určení polohy počátku (0°). V systému WGS 84 odpovídá nultý poledník původně britskému standardu, nultý poledník prochází astronomickou observatoří v Greenwichi na předměstí Londýna. Druhým problémem spojeným se zeměpisnou délkou je nespojitost hodnot, kdy dochází v místě styku obou okrajů intervalu hodnot zeměpisné délky (-180° a 180°) ke skoku. To má za následek například tu skutečnost, že na různých stranách této nespojitosti je různé datum, proto se tato pomyslná čára také nazývá **datová hranice**. Výhodou výše zmíněného určení nultého poledníku je to, že datová hranice prochází neobydlenými oblastmi Tichého oceánu a Beringovou úžinou mezi Asií a Amerikou.

Systémem WGS 84 lze popsat všechna místa zemského povrchu. Mírný problém je zde pouze s jednoznačností určení souřadnic. První nejednoznačnost se týká datové hranice, která má zeměpisnou délku zároveň -180° a $+180^\circ$. Druhá nejednoznačnost se týká obou pólů, které mohou mít zeměpisnou délku libovolnou. Geometricky lze tento fakt přiblížit tím, že na pólech se stýkají všechny poledníky.

Někdy je dvojice souřadnic zeměpisné šířky a délky ještě doplněna výškou udávanou v metrech. Tato hodnota odpovídá vzdálenosti od povrchu referenčního rotačního elipsoidu systému WGS 84, proto se také nazývá **výška nad elipsoidem**. Tato hodnota se ovšem liší od nadmořské výšky a je ji nutno přepočítávat. Tento rozdíl se v ČR pohybuje přibližně mezi 40 – 50 metry.

Hlavní nevýhodou WGS 84 je ta skutečnost, že nijak neřeší problematiku výstupu a zobrazování dat v rovině. Pro ně je nutné převést data do jiného souřadného systému. Jiným řešením tohoto problému je přímé zobrazování dat na „virtuálním glóbu“. Takto prostorová data zobrazují např. software ArcGlobe nebo webové aplikace Google Maps a World Wind.

Evropský terestrický referenční systém 1989 (ETRS89)

ETRS89 je souřadný systém, který je standardním souřadným systémem pro výměnu prostorových dat pro země EU. Je konstruován stejně jako WGS84 a v roce 1989, kdy byl zaveden, byly oba tyto souřadné systémy shodné. ETRS89 je na rozdíl od WGS 84 vázána na pohyb eurasijské zemské desky, který činí přibližně 2,5 cm ročně. Z tohoto důvodu narostl rozdíl mezi WGS 84 a ETRS89 již na zhruba 0,5 metru.

Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK)

Vzhledem k historickému vývoji a tradicím využívají různé státy světa své vlastní souřadné systémy. Obvykle se využívají takové souřadné systémy, které na území daného státu co nejméně deformují geometrické prvky. Už krátce po vzniku samostatného Československa se prosadil Souřadnicový systém Jednotné sítě katastrální (S-JTSK), který je dnes nejpoužívanějším ze závazných souřadnicových systémů v ČR. Projekce zemského povrchu do souřadnic S-JTSK je relativně komplikovaná a bude zde vysvětlena pouze v hrubých rysech.

Referenční plochou je zde povrch Besselova elipsoidu, ten je zobrazen na kouli, která je na rovinu převedena vhodně zvolenou kuželovou projekcí. Veškeré transformace a projekce jsou voleny tak, aby zkreslení délek na původním území Československa (včetně Podkarpatské Rusi) bylo minimální a celé toto území leželo v prvním kvadrantu. Výhodou je rovněž ta skutečnost, že jednotkou souřadnic S-JTSK je metr.

Systém S-JTSK má několik specifických vlastností, které je třeba brát v potaz. Sever v S-JTSK neodpovídá severu geografickému. Pootočení os systému S-JTSK jsou 4°. Osa x směřuje k jihu a osa y k západu. Při standardní orientaci světových stran na mapě (sever nahoře) se mění hodnoty souřadnic nezvyklým způsobem (x roste ve směru dolů, z roste ve směru doleva). Z tohoto důvodu se v současnosti v praxi používá modifikace S-JTSK, ve které se území ČR nachází ve třetím kvadrantu, zde se hodnoty souřadnic mění obvyklým způsobem. Daní za tuto změnu jsou záporné souřadnice na celém území ČR. Posledním specifikem S-JTSK jsou vysoké hodnoty souřadnic. Souřadnice hlavního vstupu do porubského areálu VŠB-TUO jsou například -479 099 a -1 101 019. U některých převážně starších programů mohou být tyto hodnoty příliš vysoké, aby s nimi mohly pracovat. Potom je nutné vhodné posunutí souřadnic, tak aby v zájmové oblasti vycházely nižší absolutní hodnoty souřadnic.

Transformace souřadnic

Častým problémem při práci s prostorovými daty je převod prostorové informace z jednoho souřadného systému do jiného. Nejčastějším důvodem transformace souřadnic je potřeba kombinace dat v různých souřadných systémech. Pro transformaci souřadnic mezi běžně užívanými souřadnými systémy existují převodní funkce, které jsou standardní součástí software pro GIS (ArcGIS, Grass, apod.). Existují dva principiálně odlišné postupy pro transformaci souřadnic:

- analytické transformace,
- numerické transformace.

Analytické transformace vycházejí z matematicky přesně odvozených rovnic popisujících vztah mezi geografickým souřadným systémem na zemském glóbu a souřadným systémem prostorových dat. Souřadnice prostorových dat jsou zpětně převedeny na geografický souřadný systém a následně jsou z tohoto souřadného systému převedena do cílového. Problém tohoto postupu spočívá v nutnosti znalosti inverzních vztahů k výše zmíněným. Jeho nalezení je často nemožné nebo alespoň velice obtížné.

Numerické transformace nevyžadují žádné znalosti zobrazovacích rovnic do obou souřadnicových systémů. Místo toho vycházejí ze znalosti přesné polohy **vlícovacích bodů** (tics) v obou souřadných systémech. Znalost těchto bodů umožňuje provést transformaci přímo pomocí vhodného numerického postupu. V praxi se používají:

- lineární konformní transformace (alespoň 2 vlícovací body),
- lineární afinní transformace (alespoň 3 vlícovací body),
- polynomické transformace (více vlícovacích bodů).

Lineární konformní a lineární afinní transformace v sobě zahrnují tři základní operace – posunutí počátku, pootočení souřadných os a změnu měřítka. Rozdíl mezi oběma transformacemi spočívá v přístupu ke změně měřítka. Lineární konformní transformace předpokládá změnu měřítka stejnou v obou směrech, lineární afinní transformace umožňuje v každém směru jinou změnu měřítka. Polynomické transformace používají pro transformace polynomické funkce vyšších řádů (kvadratické, kubické nebo vyšší) a počet vlícovacích bodů je určen stupněm polynomu. Pro kvadratickou transformaci je potřeba šesti vlícovacích bodů, pro kubickou deseti.

4. Pořizování prostorových dat

V praxi se pro pořizování prostorových dat používají dva anglické pojmy, jedná se o *data capturing* a *data acquisition*. První pojem se vztahuje k fázi pořizování dat přímo z reálného světa, českým ekvivalentem tohoto pojmu je *sběr dat*. Pojem *data acquisition* se vztahuje k následné fázi přípravy prostorových dat, kdy jsou sebraná data zpracovávána do formy vhodné pro následné použití. Českým ekvivalentem tohoto pojmu je *zpracování dat*. Ke zpracování dat se vztahuje několik pojmů popisujících používané postupy a techniky, jsou to:

- Digitalizace – převod všech podkladů (mapy, fotografie, schémata, tabulky, grafy apod.) do digitální podoby
- Georeferencování – přiřazení údajů o poloze. V ideálním případě jde o určení souřadnic. Může jít také o nepřímé přiřazení údajů o poloze formou adresy, číslem parcely, názvem obce.

Příklad

Jednu sadu dat lze georeferencovat různým způsobem. Například digitální fotografii lze georeferencovat souřadnicí místa, kde byla pořízena, souřadnicí vyfotografovaného objektu nebo může být za data na fotografii považovány hodnoty barev v jednotlivých poclech, potom je georeferencování provedeno formou určení velikosti pixelu, směrů os x a y a souřadnic levého dolního pixelu.■

Sběrem dat se zabývá z velké části klasický vědní obor – geodézie. Účelem geodézie je sběr prostorových dat měřením v terénu. Jádrem geodetických měření jsou postupy umožňující určování vzájemné polohy dvou vzájemně viditelných míst zemského povrchu. Sérií takových měření je možné zaznamenat údaje o prostorových jevech.

Z výše zmíněného textu je patrné, že geodetickými měřeními lze získat pouze relativní souřadnice měřených míst. Pro georeferencování je tedy nutná znalost absolutních souřadnic alespoň jednoho zaměřeného místa. Navíc je zde patrné riziko kumulování chyb měření. Z tohoto důvodu je nutná vysoká přesnost měřících aparatur a rovněž pečlivost jejich obsluhy, aby kumulované chyby měření nezneškodily výsledky měření.

Výhodou měřických dat je to, že jsou z principu vektorová.

Geodézie je samostatná a poměrně rozsáhlá vědní disciplína a nebude zde dále detailněji rozebírána. Na pomezí této vědy se však vyskytují nové moderní geoinformační technologie zaměřené na získávání prostorových dat, které v současnosti nacházejí stále větší uplatnění. Jedná se o:

- Dálkový průzkum Země (DPZ),
- Globální družicové polohovací systémy (GPS).

4.1. Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země (DPZ) se zabývá získáváním a interpretací informací o objektech, jevech a procesech reálného světa bez přímého kontaktu s nimi. Využívají se při tom zařízení (senzory) snímající elektromagnetické záření z různých částí vlnového spektra. Nosiči těchto zařízení bývají obvykle letadla nebo umělé družice Země. Nejčastěji se pracuje s vlnovými délkami záření, které jsou pouze minimálně pohlcovány zemskou atmosférou (atmosférická okna), jedná se o:

- viditelné (světelné) záření,
- infračervené (tepelné) záření,
- mikrovlnné záření.

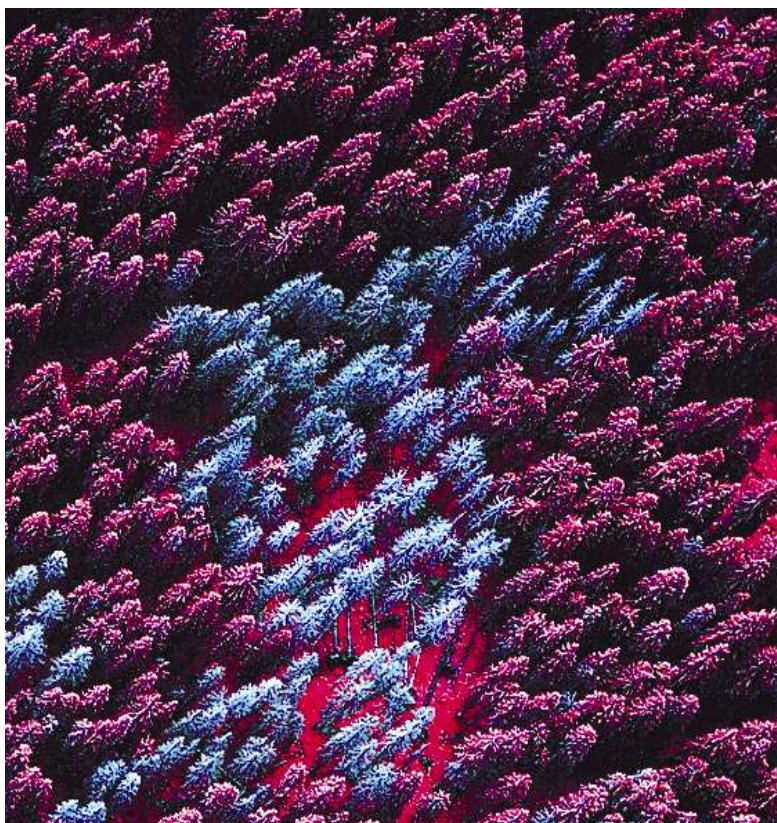
Princip DPZ spočívá ve skutečnosti, že objekty a jevy na Zemi a v atmosféře nějakým způsobem interagují s elektromagnetickým zářením. Toto záření lze zachytit, zaznamenat a dále zpracovat. Získané informace je možné využít v celé řadě aplikací. Počínaje tvorbou a aktualizací map, přes vojenské zpravodajství až po předpovídání počasí. Zdrojem elektromagnetického záření může být Slunce, Země (infračervené záření) nebo jiné objekty a snímací zařízení je pouze snímá, pak se hovoří o pasivním snímáči. Pokud snímací zařízení aktivně vysílá elektromagnetické záření, pak se hovoří o aktivním snímáči.

Typy senzorů pro DPZ

Podle zdroje odraženého elektromagnetického záření a podle interakce se zemským povrchem se současné systémy DPZ dělí na:

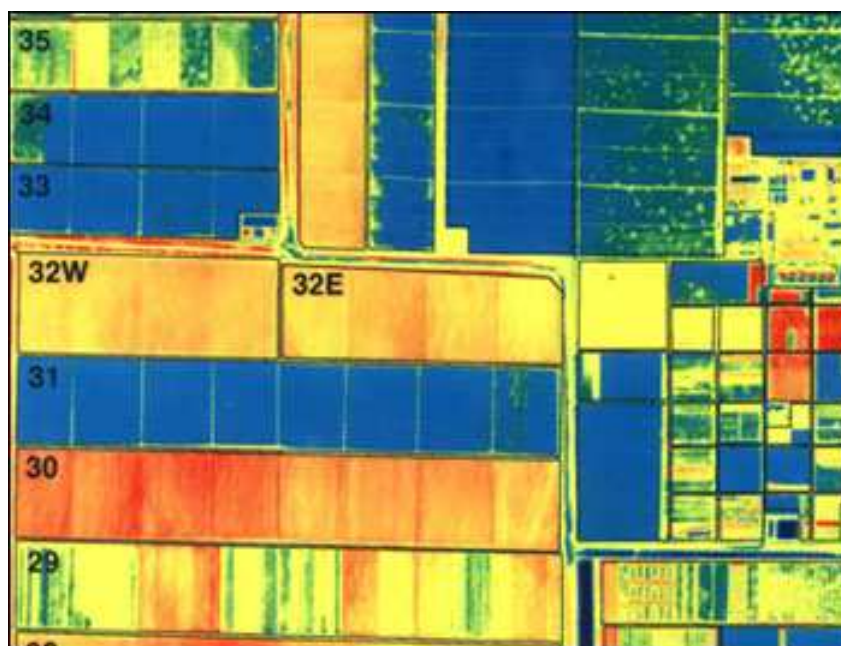
- senzory odraženého slunečního záření,
- senzory tepelného infračerveného záření,
- radarové senzory,
- laserové senzory.

Senzory odraženého slunečního jsou nejčastějšími prostředky DPZ. Zachycují odražené sluneční záření ve vlnových pásmech viditelného světla a sousedních vlnových pásmech (ultrafialové, blízké a střední infračervené). Tyto systémy jsou schopny podle pohlcených resp. odražených vlnových délek záření odlišit různé materiály. Experimenty v této oblasti prokázaly, že například vodní hladinu lze rozeznat podle toho, že plně pohlcuje veškeré infračervené záření. Podle míry zakalení vody lze určovat její hloubku až do cca 50 metrů pomocí odrazů modrozeleného světla. Zelená vegetace se zase projevuje tak, že velice dobře pohlcuje viditelné záření, odráží blízké infračervené záření a opět pohlcuje střední infračervené záření. Zvýšení odrazivosti středního infračerveného záření detekuje, i okem nepozorovatelné, poškození porostu. Obdobně lze sledovat jiné součásti krajiny. Podmínkou je znalost jejich specifického vlivu na detekované záření.



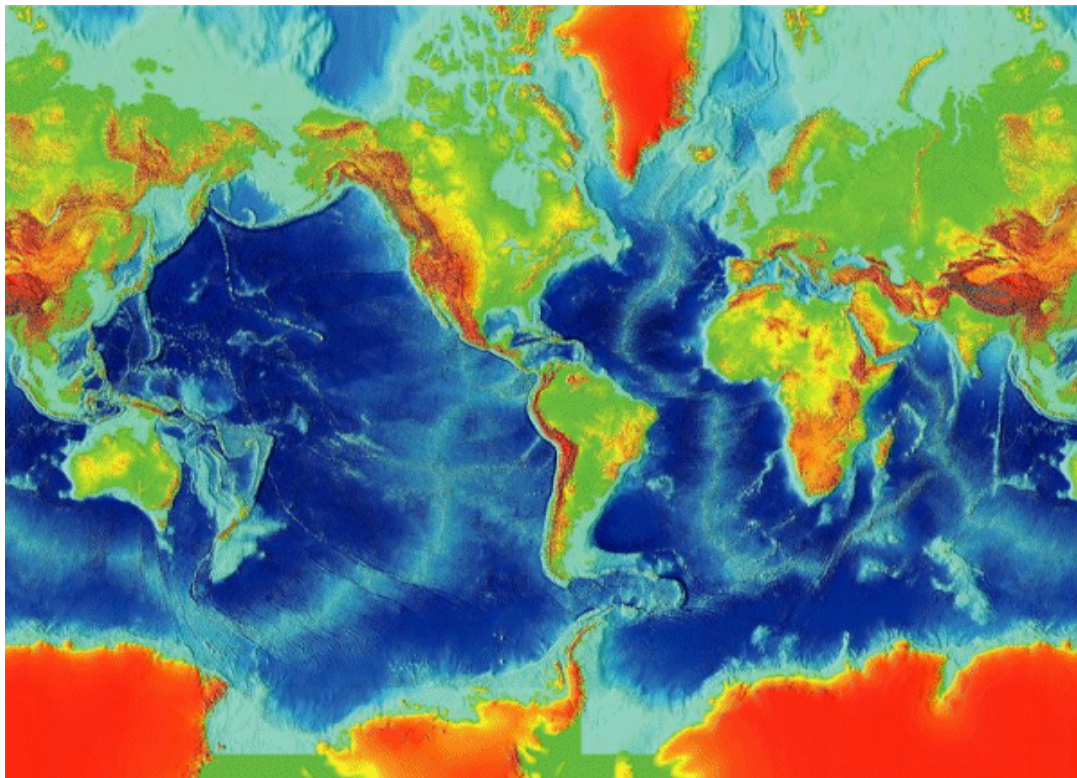
Detekovaný poškozený porost

Senzory tepelného infračerveného záření poskytují informace o tepelných vlastnostech materiálů na zemském povrchu. Zdrojem tepla je zde nejen sluneční záření, ale také geotermální energie nebo teplo jiných objektů. Pomocí tepelného záření lze detekovat tepelné vlastnosti materiálů na zemském povrchu, netěsnosti na podzemním teplovodním potrubí, odhadovat stav zvěře nebo vyhledávat pohřešované osoby.



Infračervený letecký snímek

Radarové senzory patří do skupiny aktivních snímačů DPZ. Odražené záření nese informace o tvaru povrchu, hrubosti povrchu nebo množství vody v povrchové vrstvě. Výhodu radarových senzorů je především prostupnost detekovaného mikrovlnného záření skrz mraky, což umožňuje snímání povrchu i za vysoké oblačnosti.



Reliéf zemského povrchu získaný radarovými měřeními

Laserové snímáče pracují na podobném principu jako snímáče radarové, rozdíl spočívá v použití laserového paprsku místo mikrovlnného záření. Laserové snímáče jsou velice detailní a mohou detekovat například reliéf terénu, včetně objektů na něm a nad ním (budovy, mosty, jednotlivé stromy, dráty elektrického vedení, apod.), výskyt určitých specifických látek na zemském povrchu (v půdách), rychlostní pole atmosféry nebo prostorové rozložení imisí v atmosféře.

Pořizování obrazů

Úroveň elektromagnetického záření zachycená na snímáči je souhrnem vlivu mnoha faktorů, především:

- intenzitou dopadajícího záření,
- odrazivostí objektů,
- vlivem atmosféry,
- geometrickým uspořádáním zdroje záření, zemského povrchu a detektoru.

Výsledkem je zachycený signál, který je velice proměnlivý v prostoru i v čase a je silně závislý na denní i roční době. Záznam může být zaznamenán analogově na speciální fotografický (filmový) materiál nebo digitálně prostřednictvím speciálních

senzorů (CCD čipy). Elektronicky zaznamenaný obraz (nebo naskenovaný analogový záznam) je ve své podstatě dvourozměrný rastr. Každá buňka tohoto rastru uchovává informaci o průměrné intenzitě záření odpovídající části povrchu. U tohoto obrazu je možné určit 4 různé druhy rozlišení:

- prostorové rozlišení,
- spektrální rozlišení,
- radiometrické rozlišení,
- časové rozlišení.

Prostorové rozlišení určuje charakteristický rozměr terénu reprezentovaného jedním pixelem. Prostorové rozlišení se pohybuje v intervalu od tisíců metrů po desítky centimetrů.

Spektrální rozlišení popisuje šířku pásma elektromagnetického záření zachycovaného snímačem. Pásmo elektromagnetického záření může být rozděleno do více intervalů vlnových délek (band) tyto snímače se poté podle počtu pásem nazývají multispektrální nebo hyperspektrální. v opačném případě se jedná o snímač panchromatický, který snímá jediné široké pásmo (např. celé viditelné spektrum).

Radiometrické rozlišení popisuje počet různých možných hodnot pixelu, neboli vyjadřuje počet úrovní intenzity záření, které je schopen snímač rozlišit.

Časové rozlišení vyjadřuje délku časového intervalu, za který je nosič schopen pořídit opakované snímkování stejné oblasti za podobných podmínek. U družic se jedná o rozmezí týdnů až dnů.

Analýza a interpretace obrazů

Skutečným smyslem celého DPZ je získávání informací o zemském povrchu a atmosféře. Z tohoto důvodu je velice významná analýza a interpretace obrazu. Jejich podstatou je identifikace a zjišťování vlastností zachycených objektů. Analýzu a interpretaci obrazů je možné provádět vizuálně (z analogového nebo digitálního záznamu) nebo s využitím speciálních programových balíčků. Pro vizuální zpracování lze použít digitální obraz černobílý nebo barevný, vytvořený kombinací až tří spektrálních pásem do jednoho obrazu (každé pásmo je přiřazeno jedné ze základních barev – červené, zelené a modré). Digitální zpracování obrazu je obvykle využíváno pro předzpracování obrazů, zvyšování kvality obrazů a transformaci obrazů. Pouze malou část analýz je možné provádět automaticky. Nejvýhodnější je obvykle vhodná kombinace obou postupů.

Příkladem přípravy obrazu pro následné analýzy může být příprava digitální **ortofotomapy**. Letecké fotografie zemského povrchu nemohou být analyzovány přímo, protože různé části zemského povrchu jsou zachyceny v různém úhlu. To má za následek situaci, že pixely na kraji fotografie zachycují větší oblast než pixely ve středu fotografie. Navíc mohou existovat místa na povrchu, která jsou na fotografii zakryta. Pro letecké snímkování je tedy potřebné nafotografovat jednu oblast z více (alespoň dvou) úhlů. Čas a datum snímkování jsou rovněž důležité. Je vhodné fotografovat v okolo poledne, aby byly co nejkratším stíny. Fotit se musí za bezmračného počasí, nejlépe na podzim nebo v předjaří, kdy na povrchu není

sníh a zároveň listnaté stromy nemají listí a je tedy vidět největší část zemského povrchu. Získané fotografie musejí být transformovány do shodného souřadného systému. To se děje pomocí určování přesně zaměřených **vlíčovacích** bodů na jednotlivých snímcích a je vyrovnána jejich světlost. Fotografie jsou dále proloženy digitálním modelem terénu a je na nich provedena ortogonální transformace, která způsobí, že výsledný obraz bude mít tu vlastnost, že každý bod zemského povrchu bude zobrazen, jakoby se nacházel přímo pod pozorovatelem. Vzniklý snímek se nazývá ortofotomapa. Zajímavou vlastností ortofotomapy je skutečnost, že objekty na zemském povrchu (stavby, stromy, apod.) se „klátí“ na stranu. Tento jev sice neodpovídá skutečnosti, ale lze jej využít pro odhad výšky objektů. Novinkou je na tomto poli tzv. **true** („skutečné“) **ortofoto**. Rozdíl jeho přípravy oproti „obyčejnému“ ortofotu spočívá v doplnění digitálního modelu terénu o objekty nacházející se na zemském povrchu. Ve výsledku se to promítne odstraněním „klátění“ objektů na zemském povrchu.



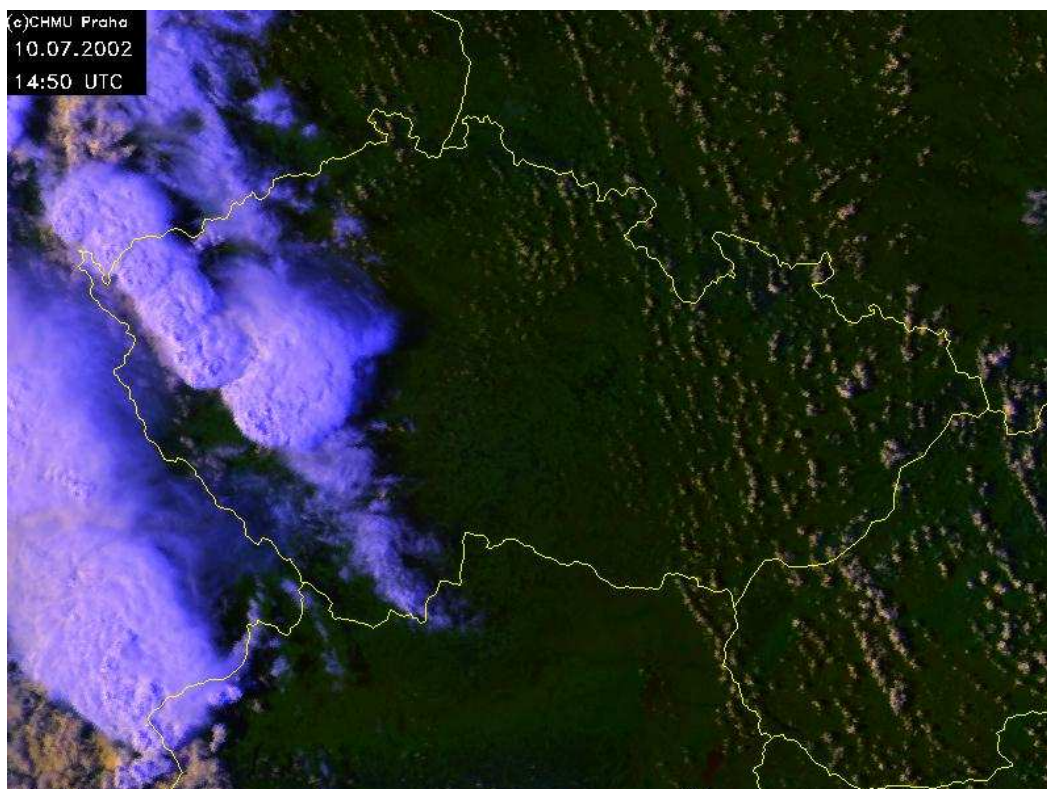
True ortofotomapa

„Obyčejná“ ortofotomapa

Ortofotomapa je vhodným vstupním údajem aktualizaci map velkých měřítek nebo identifikaci objektů, které nejsou na digitálních mapách zachyceny (např. komíny, černé skládky, apod.)

Použití DPZ

Obecně nejznámější oblastí využití DPZ je meteorologie. Družice se zde využívají pro pozorování a dokumentování meteorologických jevů a jako zdroj vstupních dat pro matematické modely předpovědi počasí. Nosiči snímačů DPZ jsou především meteorologické družice vypuštěné řadou zemí (USA, EU, Japonsko, Rusko). Jsou vypuštěny obvykle na geostacionární nebo polární dráhu a vzhledem k tomu, že musí v jednom okamžiku sledovat rozsáhlá území, mají relativně malé prostorové rozlišení. Doplnkovým prostředkem získávání dat jsou zde také pozemní meteorologické radary.



Záznam z meteorologické družice NOAA

Další významnou oblastí využití dat z DPZ je sledování stavu krajiny. Zde lze sledovat vodní režim v krajině, stav a kvalitu porostů, kvalitu půdy, sesuvy půdy, na základě dat z DPZ lze odhadovat výnosy zemědělských plodin, šíření škůdců nebo případné škody napáchané člověkem nebo přírodními procesy. Tato data jsou klíčová pro řadu oborů souvisejících s využíváním a ochranou krajiny jako je zemědělství, lesnictví nebo ochrana životního prostředí.

DPZ lze rovněž využít v souvislosti se studiem geologických jevů pro vyhledávání potenciálních ložisek zdrojů nerostných surovin. Vedle toho se v souvislosti s geologií využívá DPZ pro sledování přírodních hrozeb ohrožujících člověka a jím obývané oblasti. Jsou to například sesuvy půd, sesedání půdy v poddolovaných oblastech, zemětřesení nebo vulkanická činnost.

V souvislosti s hydrologií rovněž existuje celá řada aplikací DPZ. Hydrologické procesy jsou obvykle velmi dynamické, proto je nutná v této oblasti vyšší frekvence snímání dat. DPZ lze využít pro monitorování povodní, množství ledovců, sněhové pokrývky, mokřadů nebo efektivity zavlažovacích systémů.

Obrazy získané pomocí DPZ jsou velice významným prostředkem mapování zemského povrchu, protože jsou zde zachyceny objekty a jevy na zemském povrchu. Na ně lze nahlížet z dvou odlišných úhlů pohledu. Je možné popisovat objekty a jevy z pohledu geometrického. Touto problematikou se zabývá obor zvaný **topografie**. Jinou možností je identifikace jiných než geometrických vlastností objektů na zemském povrchu. Touto problematikou se zabývá **tématická kartografie**. Typickým výstupem tématické kartografie jsou mapy pokryvu území (land cover) a mapy využití území člověkem (land use).

4.2. Globální družicové polohovací systémy

Jedním z nejvýznamnějších problémů spojených s pořizováním prostorových dat je určování aktuální polohy v prostoru. K určování polohy je možné používat různé postupy a systémy. Jedním z neúspěšnějších postupů je určování polohy podle rádiových vln. Systémy založené na tomto principu se začaly používat už na počátku 20. století. Znamé je například použití rádiových vln pro navigaci dálkových bombardérů během 2. světové války nebo navigaci pomocí radiomajáků v letecké dopravě.

Po roce 1960 byly zahájeny experimenty se systémy pro určování polohy pomocí vysílačů signálu umístěných na vesmírných družicích. Oproti pozemním vysílačům měli totiž družice několik výhod. Jedna družice je schopna pokrýt mnohem větší území než pozemní vysílač a navíc je v případě vojenského konfliktu méně zranitelná nepřátelským útokem. Výsledkem úspěšných experimentů v této oblasti bylo v 70. letech rozhodnutí armády USA vybudovat globální družicový polohovací systém. Tento systém měl umožnit určení polohy kdekoli na Zemi, 24 hodin denně, bez ohledu na počasí. Pro tento systém se již vžilo jedno z jeho dvou označení, GPS (Global Positioning System). Občas se lze také setkat s názvem NAVSTAR.

Ačkoli se jedná o systém vojenský, byl postupně zpřístupňován veřejnosti. Nejprve byl pro veřejnost uvolněn kód obsahující uměle vnášenou chybu, čímž byla snižována přesnost určování polohy. Později bylo i toto opatření zrušeno. Počet civilních uživatelů GPS se v současnosti počítá na desítky až stovky miliónů. Příčiny takto mohutného použití GPS jsou:

- Relativně vysoká přesnost GPS (desítky metrů u nejjednodušších zařízení, až milimetry u profesionálních aparatur).
- Určování nadmořské výšky, času a rychlosti, opět z vysokou přesností.
- Signál GPS je k dispozici zdarma, přijímače jsou relativně levné
- Určování polohy probíhá automaticky a je uživatelsky nenáročné.
- Systém pracuje nepřerušeně 24 hodin denně za každého počasí a kdekoli na Zemi.

Určování polohy pomocí signálu GPS má ovšem i své nevýhody. Nevýhody vyplývají ze samotného principu fungování GPS. Měřit polohu není možné v místech, kde jsou stíněny radiové vlny (pod zemským povrchem, uvnitř některých budov, apod.) a navíc je nutná přímá viditelnost na družice. Měření je proto velice problematické například v lese, v úzkých údolích nebo v husté zástavbě. Celý systém GPS je navíc stále pod kontrolou armády USA, která jej může v případě potřeby začít vysílat v neveřejném kódu a tím civilní příjem signálu GPS znemožnit.

Alternativou k systému GPS je původně sovětský, dnes ruský, systém GLONASS (GLObalnyj NAVigačenskyj System Sputnikov), který ovšem není plně dobudován. Plánovanou alternativou k GPS se má stát systém GALILEO budovaný konsorciem států pod vedením EU. Tento systém má již být plně pod civilní kontrolou a má dosahovat vyšší přesnosti než GPS.

Struktura GPS

Systém GPS se skládá ze tří základních součástí:

- kosmická,
- řídicí,
- uživatelská.

Tyto součásti jsou do jisté míry na sobě nezávislé. Spojuje je pouze nutnost znalosti přesného času ve všech jeho součástech.

Kosmická součást

Kosmická součást GPS je tvořena družicemi rozmístěnými na stálých oběžných drahách, vysílajících navigační signály. V základní konstelaci tvořena 24 družicemi na celkem šesti oběžných drahách (4 družice na každé oběžné dráze). Sklon oběžných drah je přibližně 55 stupňů vzhledem k rovníku a doba oběhu družic je přibližně 12 hodin. K dispozici jsou rovněž záložní družice, které umožňují v případě poruchy operativně nahradit porouchanou družici nebo v oblasti zvláštního zájmu „zahustit“ signál GPS. Družice vysílají signál nepřetržitě, jedinou výjimkou jsou krátké přestávky nutné pro údržbu.



Družice GPS

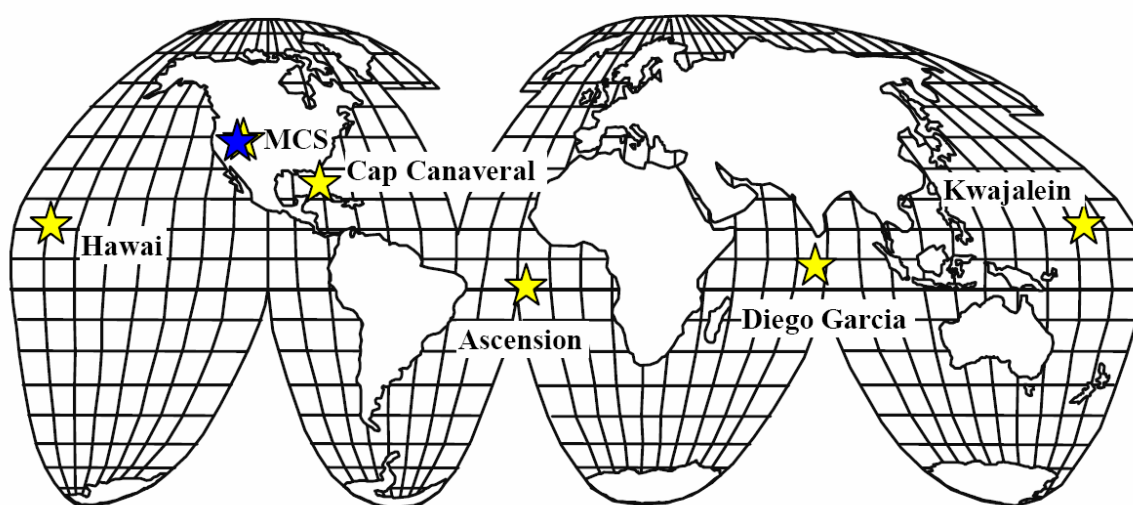
Tato síť družic garantuje na libovolném místě zemského povrchu signál z minimálně 4 družic. Obvyklá je ovšem dosažitelnost více družic teoreticky až 12. Díky sklonu oběžné dráhy je geometrické uspořádání družic GPS nejvhodnější pro oblasti cca od 60 stupně severní šířky do 60 stupně jižní šířky. Oblasti mimo

tento pás jsou rovněž pokryty signálem GPS, ale v průměru je dostupný z menšího počtu družic.

Nejdůležitější součástí každé družice jsou kromě radiové aparatury a řídicí jednotky velice přesné atomové hodiny měřící čas s přesností na větší než miliontina sekundy. Každá družice má k dispozici sadu tří nebo čtyř atomových hodin.

Řídicí součást

Řídicí součást systému GPS tvoří hlavní řídicí stanice nacházející se v Colorado Springs na letecké základně Schriber. V tomto místě se rovněž nachází jedna z pěti pozemních monitorovacích stanic. Další se nacházejí na základnách armády USA na základnách Hawaii, Ascension, Diego Garcia a Kwajalein.



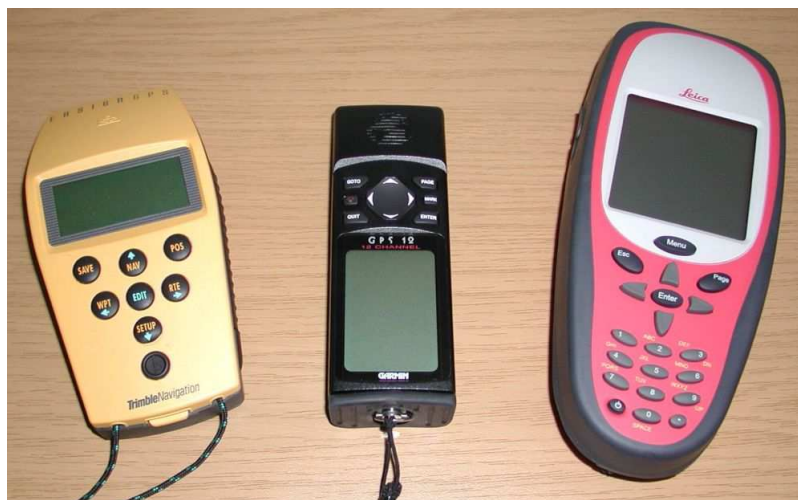
Poloha řídicích a monitorovacích stanic GPS

Pozemní monitorovací stanice umožňují posílat družicím informace o jejich oběžných drahách, synchronizovat čas a rovněž měnit oběžnou dráhu družic. Samotné monitorovací stanice jsou bez vlastní obsluhy a jsou řízeny na dálku z hlavní řídicí stanice v Colorado Springs. Pozemní stanice navíc fungují jako velmi přesné přijímače GPS signálu doplněné o atomové hodiny. Tím jsou schopny určit přesné údaje oběžných drah, tzv. efemeridy, a korekce atomových hodin v družicích. Přesnost určení polohy družic je přibližně 1,5 metru. Použitím časově náročnějších postupů je možné určit polohu družic GPS až s přesností 3 cm.

Vzhledem k tomu, že GPS je klíčovým systémem armády USA, je hlavní řídicí stanice umístěna v přísně chráněném bunkru ve Skalistých horách. I v případě nefunkčnosti pozemního řízení jsou družice GPS schopny fungovat autonomně až 3 měsíce. Dobře chráněné jsou rovněž ostatní pozemní monitorovací stanice nacházející se na velkých vojenských základnách na odlehlých ostrovech. Navíc je monitorovací stanice možné velice rychle rekonstruovat. Každá družice má speciální stínění chránící její elektroniku před elektromagnetickým pulsem. Všechna zmíněná opatření činí z GPS málo zranitelný a robustní systém.

Uživatelská součást

Uživatelská součást systému GPS se skládá z přijímačů signálu GPS, vyhodnocovací nástrojů a algoritmů. Na základě přijatých signálů z alespoň 4 družic je možné vypočítat všechny 4 souřadnice (x,y,z,t). Vyhodnocování souřadnic probíhá automaticky v přijímači a získané informace o poloze v časoprostoru je možné použít v široké škále aplikací.



Přijímače signálu GPS

Určování polohy pomocí GPS

Určování polohy je možné pomocí výpočtu vzdáleností od družic GPS. Za teoretických podmínek, kdy jsou hodiny družic i přijímače dokonale synchronní, neexistují žádné vlivy atmosféry na radiový signál a přijímač měří čas naprosto přesně. Pokud za těchto podmínek vysílá družice informaci o své poloze v určitém čase, lze potom na základě časové difference mezi časem odeslání signálu a časem jeho přijetí spočítat vzdálenost přijímače. Všechna možná místa v určené vzdálenosti od družice tvoří kulovou plochu. Provádí-li se stejné měření s druhou družicí, vznikne další kulová plocha. Průnik těchto ploch tvoří kružnici, na které se nachází přijímač. Třetí současně zaměřená družice vytvoří třetí kulovou plochu a její průnik s výše zmíněnou kružnicí vytvoří dva body. Jeden z těchto bodů se nachází daleko ve vesmíru a může být zanedbán. Zbýlý bod je tedy hledaným místem.

Takto jednoduchá je pouze teorie. V realitě není dodržen ani jeden z předchozích předpokladů, proto je každé určení polohy zatíženo chybou. Neexistence synchronizace mezi (velmi přesným) časem družic GPS a (méně přesným) časem přijímače si vynucuje použití čtvrté družice do výpočtu pro určení časové difference mezi družicemi GPS a přijímačem.

Bez dodatečného zpřesňování je uváděná chyba určení polohy až v řádu desítek metrů. Je navíc zřejmé, že zachycení signálu z více družic má za následek vyšší přesnost určení polohy. Uvedené přesnosti určení polohy odpovídá určení přesného času v řádu desetin mikrosekund. Určování rychlosti pohybu přijímače probíhá na základě sledování Dopplerova jevu. Rychlost pohybu přijímače je tedy úměrná změně frekvence nosné vlny přijímaného signálu.

Signály družic GPS

Signály družic GPS jsou tvořeny kombinací nosné vlny, dálkoměrného kódu a navigační zprávy. Pro vysílání GPS signálu jsou používány dvě nosné vlny označené **L1** (1575,42 Mhz, vlnová délka 19 cm) a **L2** (1227,6 Mhz, vlnová délka 24 cm). Na frekvenci L1 jsou vysílány dva dálkoměrné kódy obsahující identifikaci družice, čas a polohu. Jedná se o méně přesný **C/A** kód a přesný **P** kód. Na frekvenci L2 je vysílán pouze P kód. P kód může být pro vojenské účely zašifrován. Civilní přijímače většinou užívají pro měření polohy C/A kód. Poslední složkou signálu GPS je navigační zpráva obsahující další údaje. Jedná se především o:

- přesné parametry oběžné dráhy družice,
- přibližné parametry oběžných drah všech ostatních družic,
- koeficienty popisující vliv ionosféry na vysílaný signál,
- stav družice, apod.

Metody zpřesňování měření

V celé řadě aplikací je potřeba přesnějšího zaměřování, než jsou deklarované desítky metrů. Proto jsou rozvíjeny metody zpřesňování určení polohy na základě signálu GPS. V principu je možné dosáhnout zpřesnění signálu GPS dvěma způsoby, speciálním zpracováním signálu GPS nebo použitím dodatečného technického vybavení.

Nejjednodušší a nejstarší metodou zpřesňování údajů o poloze je **průměrování**. Princip průměrování spočívá v mnohonásobném (tisíce) opakování měření na jednom místě. Ze všech naměřených výsledků se následně spočte průměrná hodnota. Tímto postupem lze zpřesnit výsledky měření až o jeden řád.



Stanice DGPS na střeše budovy rektorátu VŠB-TU Ostrava

Další metodou zpřesňování údajů o poloze je **Diferenciální GPS** (DGPS). Fungování DGPS je založeno na existenci referenčních stanic. Referenční stanice se nacházejí na přesně zaměřeném místě zemského povrchu a průběžně přijímají signál GPS, u kterého průběžně vyhodnocují rozdíl skutečné polohy s polohou získanou z GPS. Takto jsou získány korekční údaje, které umožňují v okolí stanice zpřesnění signálu GPS. Přesnost korekce se vzdáleností od referenční stanice klesá, jejich platnost se udává do vzdálenosti nejvýše několik desítek kilometrů. V České republice byla v letech 2005-2007 vybudována síť 26 referenčních stanic DGPS (CZEPOS), která je spravována Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním. Tato síť pokrývá téměř celé území státu a je součástí celoevropské sítě EUPOS. V roce 2008 došlo k propojení sítě CZEPOS se systémy DGPS v okolních zemích, čímž byly lépe pokryty příhraniční oblasti.



Síť stanic CZEPOS

Velice zajímavou metodou je zpřesňování polohy pomocí **fázových měření**. Zjednodušeně řečeno, je tato metoda založena na určení celkového počtu period nosné vlny a to včetně určení části poslední nedokončené vlny (fáze vlny). To umožní na základě znalosti vlnové délky (19 nebo 24 cm u GPS) spočítat polohu až s přesností na milimetry.

Využití GPS

Jak již bylo řečeno, systém GPS má v současnosti širokou škálu praktických aplikací a počet uživatelů GPS se počítá na desítky až stovky miliónů. Mezi hlavní oblasti aplikace GPS patří:

- doprava,
- geodézie, mapování,
- krizové řízení,
- rekreace,
- časové služby,
- vědecké aplikace, a mnoho dalších.



GPS navigace

Silniční doprava je pravděpodobně oblastí s největším rozšířením využití služeb GPS. V silniční dopravě je možné se setkat s využitím na různých úrovních složitosti. Nejjednodušší metodou je monitorování pohybu vozidla a záznam jeho polohy na připojené paměťové médium. Po přehrání dat do počítače je možné sledovat ujetou trasu vozidla, jízdní časy, rychlosti, dodržování přestávek a povolené rychlosti nebo automaticky generovat knihu jízd. Vyšší úrovní využití GPS lze dosáhnout propojením přijímače GPS se zařízením pro přenos dat. Takto lze například získat online informace o poloze vozidla na dispečinku. Tato technologie umožňuje operativní řízení vozového parku (fleet management) nebo vyhledávání odcizených vozidel. Ještě vyšší úrovně využití GPS jako součást navigačního zařízení neboli zařízení automaticky plánujícího trasu vozidla a navigujícího řidiče. V současnosti jsou vyvíjeny tzv. Inteligentní dopravní systémy umožňující průběžné sledování vytíženosti silniční sítě a dopravních omezení. Na základě těchto informací by navigační systémy automaticky upravovaly trasu vozidla.

V železniční dopravě jsou systémy GPS používány především pro zpřesňování polohy vlaku. V některých aplikacích je nutnost do 1 m, aby bylo možné rozeznat, na které koleji se vlak pohybuje. Zajímavou aplikací je připojení přijímačů GPS na začátek a na konec vagónu, což umožňuje detekovat rozpojení soupravy.

Lodní doprava používá GPS jako navigační pomůcku. V oblastech podél pobřeží a na řekách je nutné pokrytí sítí stanic DGPS.

V letecké dopravě je použití GPS zatím omezeno na podpůrný prostředek pro navigaci a pro amatérské létání. Většímu použití GPS zatím brání nedostatečná spolehlivost signálu, případně neexistence monitorovacích systémů, které by varovaly piloty v případě porušení integrity signálu GPS. V současnosti jsou rovněž

testovány systémy umožňující automatické přistávání letadel. Pro tuto aplikaci je ovšem nutné určování polohy v reálném čase a s centimetrovou přesností.

Použití GPS v mapování a geodézii se významně promítlo do celého oboru. Použití přijímačů GPS především významně zjednodušuje pořizování měřických dat. Při mapování do měřítka 1:10 000 je postačující měření s přesností kolem 1 m pomocí DGPS. Pro detailnější mapování je už nutné využití fázových měření. Nevýhodou využití GPS je zde nemožnost zaměřování míst v úzkých údolích, v podzemí nebo jiných místech se špatným nebo žádným signálem GPS. Pro mapování v terénu je již běžná kombinace přijímače GPS a přenosného počítače.

V oblasti krizového řízení je využití GPS vhodné například pro sledování aktuální polohy vozidel záchranné služby nebo policie, což umožňuje dispečerovi poslat na místo mimořádné události vůz s nejkratší dobou dojezdu. Další zajímavou aplikací GPS provozuje v současnosti Policie ČR. Všechny hlídky vyjíždějící na místo dopravní nehody jsou vybaveny přijímačem GPS a notebookem. Místo nehody zaměří pomocí GPS, souřadnice se jim poté automaticky přehraje do formuláře o hlášení nehody. Takto jsou pořizována prostorová data, pomocí kterých lze účinně určovat nebezpečná místa na silnicích včetně příčin nehod.

Mezi nejznámější vědecké aplikace používající GPS patří studie pohybu zemské kůry, monitorování pohybu svahů, monitorování deformací velkých konstrukcí, sledování tahu ptáků, apod. Na katedře ochrany životního prostředí v průmyslu bylo určování polohy pomocí GPS využito v několika měřících experimentech (měření hluku, zaměřování zdrojů znečišťování ovzduší nebo letová měření znečištění v ovzduší).

Systém GPS rovněž umožňuje velmi přesné určení času. Toho je využito pro synchronizaci času u fyzikálních pokusů a to i na velké vzdálenosti (tisíce kilometrů), synchronizace základnových stanic mobilních operátorů, energetických soustav, datových spojů, apod.

Snadná cenová dostupnost přijímačů GPS umožnila prudké rozšíření využití GPS i pro sport a rekreaci. V pěší i cyklo turistice usnadňuje GPS orientaci v terénu. Dnes běžně dostupná přesnost 10 m odpovídá na mapě měřítka 1:50 000 vzdálenosti 0,2 mm. Přijímače GPS obvykle obsahují funkci, která ukazuje směr k zadanému cíli cesty a jeho vzdálenost. Výrazně se tak eliminuje bloudění v neznámém terénu. V některých sportech je již běžné využití GPS pro vyhodnocování výsledků závodu (závody paraglidistů, poštovních holubů a jinde). Rozšířenost GPS dala rovněž vzniknout hře jménem geocaching. Principem geocachingu je hledání „pokladu“ na udaných souřadnicích.

5. Geografické informační systémy

Tato kapitola se bude zabývat ústřední a patrně nejdůležitější geoinformační technologií – geografickými informačními systémy (GIS).

V praxi se vyskytuje jistá nejednoznačnost ve významu pojmu GIS. Pojem GIS zde může mít několik významů.

V nejužším smyslu slova lze za GIS považovat programy umožňující vytváření, analyzování a/nebo prezentaci prostorových dat. Toto vnímání pojmu GIS je ovšem příliš úzké, proto se bude pro tyto programy v textu dále používat pojem software pro GIS.

Pojem GIS lze chápat rovněž jako specifické formy informačních systémů, jejichž specifikum spočívá v práci s prostorovými daty. Proto by bylo nejspíše vhodnější používat přesnější pojem prostorový informační systém. Pojem geografický (geo – země, graphé – psát) je dán historickými důvody, kde první GIS byly využívány pro mapování a sledování objektů na zemském povrchu. Takto mohly vzniknout vnitřně rozporné názvy aplikací, jako jsou GIS Měsíce, GIS Marsu, GIS Sluneční soustavy.

Pojem GIS zde zahrnuje nejen programové vybavení, ale i další složky informačního systému. Definici GIS lze interpretovat například takto:

“Geografický informační systém je informační technologie, tvořená systémem technického a programového vybavení, prostorových dat a lidského prvku (znalostí, aplikací, organizačního kontextu). GIS slouží pro sběr, uložení, správu, analýzu a prezentaci prostorových dat a informací.”

Výhodou této definice je skutečnost, že jmenuje všechny složky GIS a zároveň určuje základní možnosti využití GIS.

Nejobecnější možností vnímání GIS je chápání tohoto pojmu jako celé vědní disciplíny zabývající se problematikou prostorových dat. V tomto případě existují jeho vhodnější pojmenování – geomatika, geoinformatika nebo geoinformační věda.

5.1. Praktické aplikace geografických informačních systémů

Geografické informační systémy jsou technologií, která si našla své uplatnění v mnoha oblastech lidské činnosti. Nejlépe se GIS uplatňují v oblastech, kde je nutné kombinovat znalosti z různých vědeckých oblastí. Praktické aplikace GIS v různých oborech lidské činnosti budou popsány v následujících příkladech.

Státní správa a samospráva

Obecně se uvádí, že přibližně 80% rozhodnutí na úrovni státní správy a samosprávy je prostorové povahy. Nejběžnější je využití GIS pro potřeby územního plánování, evidence nemovitostí, výpočtu pozemkových daní, správu veřejné infrastruktury, řízení a optimalizaci veřejné dopravy, řízení a optimalizaci sběru

komunálního odpadu, organizaci všech složek integrovaného záchranného systému (policie, hasiči, záchranná služba), apod.

Inženýrské sítě

Správci inženýrských sítí (rozvody plynu, elektřiny, vody, datové sítě a další) jsou jedni z největších uživatelů GIS. Uchovávání dat o inženýrských sítích v GIS umožňuje jejich efektivní správu. Další výhodou GIS je možnost jejich využití pro modelování chování sítí při různých možných situacích. V GIS aplikacích určených pro správu inženýrských sítí lze běžně modelovat například reakce sítě na náhlé změny ve spotřebě, poruchy. Ve vodovodním potrubí lze modelovat tlak vody v potrubí a mnoho dalších.

Doprava

Využití GIS v dopravě lze rozdělit do několika základních kategorií. První je využití GIS pro správu komunikací (podobné správě inženýrských sítí). Druhou aplikací GIS v dopravě je založeno na síťových analýzách. Ty lze využívat pro optimalizaci městské hromadné dopravy, rozvozu a svozu zboží, modelování dopravních proudů. Další, stále populárnější, aplikací GIS v dopravě jsou GPS navigace. Jinou zajímavou aplikací GIS je jeho využití pro správu vozového parku. GIS lze v tomto případě využít pro sledování aktuální polohy vozidel nebo automatické vytváření knihy jízd.

Obchod a finance

GIS zde může sloužit pro výběr nejvhodnějších lokalit pro optimální umístění obchodů, poboček bank nebo bankomatů. Do GIS je možné uložit různá socioekonomická a demografická data. Na základě těchto dat je možné při umístění obchodu v konkrétní lokalitě odhadnout možné tržby. Pro účely pojišťovnictví lze určovat pojišťovací riziko lokality (podle úrovně kriminality, nehodovosti, ohrožení přírodními riziky, apod.)

Archeologie

V archeologii lze využívat GIS pro zdokonalení dokumentace nálezů a hledání vnitřních zákonitostí archeologických objevů. Jinou možností je hledání lokalit s potenciálním výskytem archeologických nálezů. Pro tuto činnost lze použít buď analýzy leteckých snímků, nebo jsou možné lokality nálezů určovány podle charakteristických kritérií (vzdálenost od vody, nadmořská výška, orientace svahu, atp.).

Vojenství

Ve vojenství jsou GIS využívány například v leteckých simulátorech, leteckých navigačních systémech, zbraňových navigačních systémech (navigace střel s plochou dráhou letu) a především v systémech pro podporu rozhodování na úrovni velících složek vojska (zobrazení oblasti bojových operací, polohy vlastních i objevených nepřátelských jednotek, oblast dosahu leteckých sil a další).

5.2. Historie geografických informačních systémů

Zaznamenávání lidských znalostí o okolním světě je známo již od počátků lidské historie. Často se tak dělo pomocí schématických vyobrazení objektů na zemském povrchu, ze kterých se později vyvinuly mapy. Známé jsou například mapy egyptských zlatých dolů z 13. století př.n.l. Tyto mapy zachycovaly nejen polohu zlatých dolů v poušti u pobřeží Rudého moře, ale také oázy na cestě k nim.

Za první aplikaci GIS lze nejspíše považovat vytvoření pozemkových katastrů, ve kterých byla již spojena grafická složka – katastrální mapy, a textová část – informace o pozemcích v katastru. Obě tyto složky jsou spojeny přesně definovaným způsobem, který umožňuje snadné získání textových informací z grafických dat a naopak.

Vývoj GIS jako informační technologie začal již v 60. letech 20. století. Jejich vznik úzce souvisí s počátky počítačové grafiky a se vznikem prvních databázových systémů. Za první GIS ve smyslu předchozí definice je považován Canadian Geographic Information System (CGIS), který byl vytvořen v druhé polovině 60. let, je dále rozvíjen dodnes a tvoří jeden z největších GIS.

Vývoj GIS se v následujícím desetiletí ubíral dvěma směry. Prvním byl rozvoj počítačových mapovacích systémů (CAC – computer aided cartography) určených převážně pro pořizování a manipulaci s prostorovými daty s cílem vytvořit jejich analogovou reprezentaci v podobě map. Tyto systémy prakticky obsahovaly pouze minimální možnosti analýzy dat. Druhým směrem vývojem bylo vytváření systémů primárně určených pro analýzu prostorových dat. Z důvodu o velmi omezeného výpočetního výkonu a kapacity paměti tehdejších počítačů bylo možné provádět tyto analýzy pouze za cenu podstatného snížení kvality prostorových dat oproti mapovacím systémům.

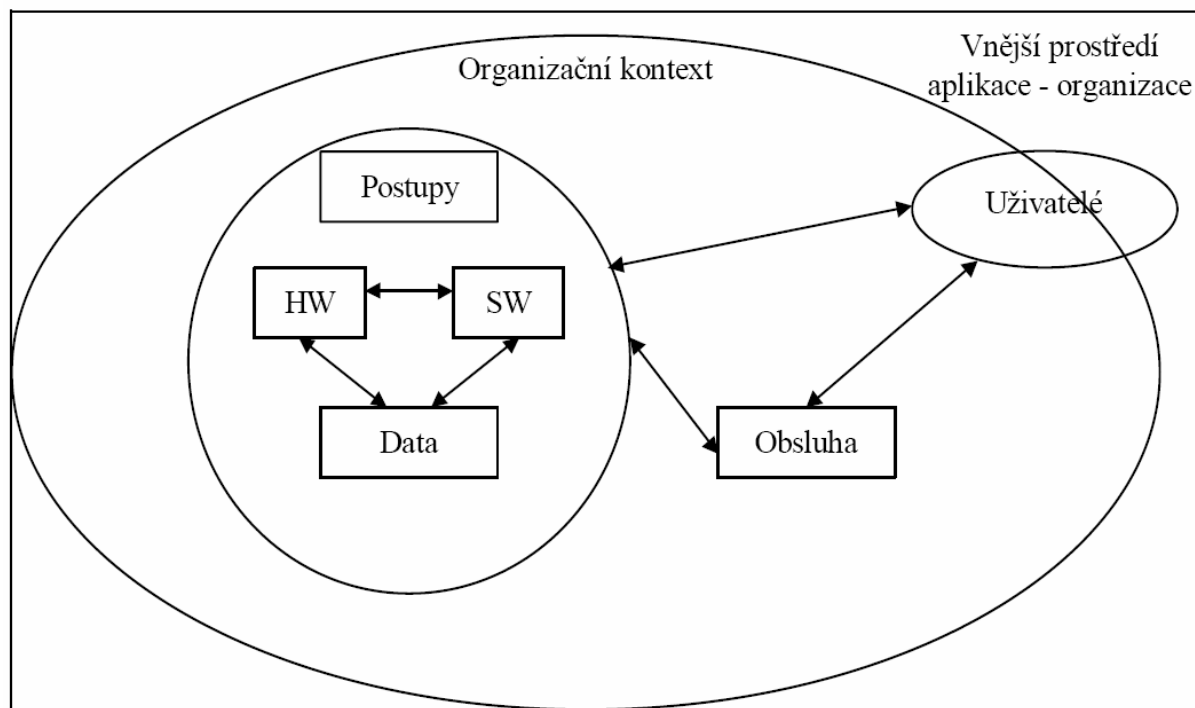
V 80. letech již růst výkonu a pamětí umožnil spojení obou směrů využití GIS v jednom systému. Moderní software pro GIS již v této době umožnily komplexní využití GIS pro všechny oblasti použití GIS.

Jednou z nejstarších a nejvýznamnějších aplikací GIS je vojenství. Z tohoto důvodu bylo na tyto technologie až do roku 1991 uvaleno na Československo, jako člena Varšavského paktu, embargo na dovoz software pro GIS. Přesto na území Československa vznikl již v 70. letech Informační systém o území (ISÚ) vytvořený státním ústavem pro územní plánování (TERPLAN). Po roce 1991 dochází na našem území v prudkém rozvoji GIS, který trvá až dodnes.

5.3. Struktura geografického informačního systému

Jak je uvedeno v definici geografického informačního systému, každý GIS se skládá ze čtyř základních složek:

- technické vybavení (hardware),
- programové vybavení (software),
- prostorová data a postupy
- lidský prvek (obsluha, uživatelé, organizační kontext).



Struktura Geografického informačního systému

První dvě položky asi není nutné detailně popisovat. Pro provoz GIS, stejně jako každé jiné informační technologie, je třeba odpovídající vybavení, a to jak po stránce hardwaru, tak softwaru. Nejklíčovější složkou každého GIS jsou prostorová data. Tato složka GIS má rovněž v celém systému největší hodnotu.

Lidským prvkem je GIS realizován na několika úrovních. Jedná se především odborné znalosti autorů a správců GIS umožňující jej vytvořit, spravovat a průběžně vylepšovat. Znalosti uživatelů GIS jsou rovněž významné, každý GIS je vytvořen pro určitou skupinu uživatelů. Některé GIS jsou koncipovány pro co nejširší okruh uživatelů (např. interaktivní mapy), potom musí být uživatelsky co nejjednodušší. Pokud se jedná o specifické GIS pro určitou úzce vymezenou skupinu uživatelů, může být jejich funkčnost významně rozšířena (na úkor jednoduchosti). Nutnou podmínkou použitelnosti GIS je potom řádné zaškolení budoucích uživatelů. Zavedení GIS rovněž může znamenat významné organizační změny. Může vzniknout potřeba nových pracovních míst (správci systému), jiná místa se mohou stát zbytečnými, na dalších pozicích může dojít k větší či menší změně pracovní náplně. Mohou dokonce nastat případy, kde si zavedení GIS vynutí změnu organizace celé instituce.

Prostorová data jsou nejtrvalejší složkou GIS. Životnost dat je závislá na typu objektu, které znázorňují v reálném světě. U některých objektů jsou neměnná řádově desítky až stovky let (digitální model terénu, vodní plochy, geologické úpravy). Taková data se mohou časem zhodnocovat - upřesňovat, ale jsou relativně trvalou složkou systému oproti ostatním. Zároveň prakticky nedochází k odstraňování (mazání) dat. I neaktuální data mají svou hodnotu a bývají obvykle archivována společně s daty aktuálními. Technické prostředky se dnes obměňují zcela za několik let. U počítačů se uvádí doba životnosti cca 2-3 roky. Obdobně je tomu u ostatních

technických zařízení. Relativně krátká doba životnosti této složky je dána především rychlým technickým vývojem, spojeným se stálým snižováním cen. Životnost programových prostředků je dána nástupem nových verzí operačních systémů a snahou konkurujících výrobců o každoroční zlepšování svých produktů. Je možno říci, že průměrná životnost softwaru pro GIS je cca 7 let. Za tuto dobu dojde k takovým změnám, že se jedná fakticky o celkovou obměnu

Prostorová data jsou také nejdražší složkou GIS. Cena pracovní stanice na bázi osobního počítače, vhodného pro menší GIS (např. menší obce) je cca 100 tis. Kč. Software pro GIS rozsahu je možno pořídit v ceně cca 200 tis. Kč (nebo také zadarmo). Digitální prostorová data pro území obce - digitální katastrální mapu, technické sítě, významné krajinné prvky a územní plán lze pořídit v průběhu několika let za cca 1 milion Kč. Tyto data je navíc nutné pravidelně aktualizovat, což způsobuje další dodatečné náklady. Obdobný poměr cen je i u jiných, větších GIS.

5.4. Software pro GIS

Pro vytváření GIS a obecně pro práci s prostorovými daty existuje celá řada softwarových produktů. Programy pro vytváření aplikací v GIS existuje široká škála od jednoduchých prohlížeček map po výkonné profesionální produkty mající nepřeberné množství funkcí a nástrojů. Účelem tohoto textu není podat vyčerpávající informace o softwarech pro GIS. Další informace se proto spíše budou zabývat kategorizací různých softwarů podle důležitých kritérií.

Protože o peníze jde vždy až v první řadě, je první uvedené kritérium založeno na pořizovacích nákladech. Z tohoto hlediska lze software pro GIS rozdělit do dvou kategorií:

- komerční software,
- volně šiřitelný software (open source).

Komerční software je nakupován jako již hotový produkt vytvořený softwarovou firmou. Open source software pro GIS je součástí v současnosti stále sílícího neformálního hnutí, jehož cílem je zpřístupňovat uživatelům alternativní programy k běžně používaným počítačovým aplikacím. Programy jsou zájemcům přístupné zcela zdarma a to včetně zdrojového kódu, takže si jej každý může dle libosti přeprogramovat. Vývoj těchto produktů je většinou řízen speciálně zřízenými nadacemi, které jsou financovány dobrovolnými příspěvky. Tyto nadace zpracovávají nápady a připomínky uživatelů a společně s objevenými chybami jsou tyto informace podklady pro vytváření nových verzí a modulů open source programů.

Mezi výhody komerčních programů patří především často léty ověřená kvalita produktů, kvalitní dosažitelná uživatelská dokumentace a vysoká úroveň zákaznické podpory, od školení nových i pokročilejších uživatelů po řešení aktuálních uživatelských potíží. Nevýhodou těchto produktů je, často vysoká, cena. Open source GIS je zdarma. Dalšími jeho výhodami je většinou jejich snadná kombinace s jinými programy a programovacími jazyky. Nejčastějšími nevýhodami open source softwarů je nedostatečná úroveň dokumentace programu, nízká úroveň zákaznické podpory a někdy též chybějící nástroje.

Nejčastěji používanými komerčními softwary jsou produkty firmy ESRI – ArcGIS, ArcGlobe, ArcView, ArcWeb a další. Dále softwary Autodesk, Intergraph, Erdas Imagine, Idrisi, Topol a další. Nejužívanějšími open source programy jsou Grass, Minnesota Map server a PostGIS.

Softwary pro GIS v sobě musejí kombinovat nejrůznější vlastnosti. Jedná se zejména o nakládání s grafickými daty, analýzu prostorových dat a správa dat. Pro všechny tyto oblasti existují speciální programy a software pro GIS z nich obvykle vycházejí. Z toho pramení silné i slabé stránky jednotlivých programů.

Programy založené na CAD (Computer Aided Design) jsou velice oblíbené v zeměměřičských nebo plánovacích aplikacích z důvodu snadného zakreslování grafických objektů. Jejich nevýhodou jsou problémy s topologickými vlastnostmi prostorových dat a se vztahy mezi geometrickými prvky a atributy. Patří zde například produkty firem Intergraph a Autodesk.

Programy založené na programech pro správu databází jsou mimořádně silné při práci s atributovými daty a při výběrových dotazech. Jejich slabou stránkou jsou zejména příprava grafických vstupních dat. Nejznámější z této skupiny programů je open sourceový PostGIS, který funguje jako nástavba, rovněž open sourceového databázového programu PostgreSQL.

Třetí skupinou programů jsou programy, které byly primárně vytvořeny pro analýzu prostorových dat. V těchto analýzách je zároveň jejich největší přednost. Vytváření grafických dat v nich není tak pohodlné jako v programech založených na CAD, ale i tak bývá relativně uživatelsky přívětivé. Pro správu dat se většinou (stejně jako u programů založených na CAD) používají jejich kombinace s profesionálními databázovými aplikacemi jako je například Oracle. Do této skupiny programů patří produkty nejúspěšnějšího výrobce GIS, firmy ESRI, kterým patří více než třetina trhu se softwarem pro GIS. Datový formát vektorových dat ESRI Shapefile je navíc obvyklým formátem pro výměnu prostorových dat.

5.5. Analytické nástroje GIS

Klíčovou funkcí GIS je schopnost automaticky analyzovat prostorová data. Lze jej tedy využívat jako nástroj sloužící k podpoře rozhodování v záležitostech prostorové povahy. Uvádí se, že například v oblasti státní správy a samosprávy je až 80% rozhodnutí prostorové povahy (správa pozemků, územní plány, stavební řízení, údržba komunikací, atd.). Samotné analytické metody je podle jejich charakteru možné rozdělit do kategorií:

- zobrazování prostorových dat,
- výběr z dat,
- geometrické operace s daty,
- síťové analýzy,
- operace s rastry,
- operace s digitálními elevačními modely,
- matematické modelování prostorových jevů.

Při konkrétních analýzách prostorových dat jsou obvyklé kombinace různých analytických metod vedoucích k získání požadované informace. Většina software pro GIS umožňuje provádět rutinní operace automatizovaně pomocí vlastního skriptovacího jazyka.

Zobrazování prostorových dat

Zcela základní funkcí všech software pro GIS je zobrazování prostorových dat. Samotné zobrazování prostorových dat není samo o sobě analytickým nástrojem. Analytickým nástrojem je v tomto případě lidský mozek, pro který je vhodně připravená obrazová informace přirozeným prostředkem k pochopení souvislostí a zákonitostí prostorových vztahů.

Výběr z dat

Výběr z dat je pravděpodobně nejvíce používaný druh analýz v GIS. Výběr z dat lze provádět několika principiálně odlišnými způsoby. Lze jej provést pomocí různých charakteristik prostorových dat, podle toho se rozlišují na:

- výběr z atributů,
- geometrický výběr,
- topologický výběr.

Výběr z atributů je, jak už název napovídá, prováděn na základě atributů prostorových dat. Výběr z atributů není přímo vázán na prostorovou složku dat a svým charakterem patří tyto analýzy do skupiny analýz, které jsou prováděny v informačních systémech, ať pracují s prostorovými daty nebo ne. Při výběru z atributů je možné konstruovat i složité podmínky s použitím logických operátorů. V kombinaci s výběrem z atributů se mohou použít další matematické operace s vybranými daty, obvyklé jsou například základní statistické operace (počet prvků, součet, nejvyšší, nejnižší hodnota, průměrná hodnota, apod.) Druhy dotazů a jejich formulace závisí na možnostech SW, ve kterém je výběr prováděn. V rozsáhlých GIS jsou obvykle atributová data vedena v externích profesionálních softwarech pro správu databází (Oracle, Microsoft Access, MySQL, PostgreSQL, aj.).

Příklad 1

Pracovní sadou dat nechtě jsou data popisující průmyslové zdroje znečišťování ovzduší na území Ostravy. Každý komín nebo výdech je zaznamenán jako bod. O každém zdroji jsou v atributech zaznamenány parametry zdrojů, například kategorie zdroje a emise SO₂. Jednoduchým výběrem z atributů lze zjistit kolik existuje ve městě velkých a zvláště velkých, kolik středních a kolik malých zdrojů znečišťování ovzduší, je možné najít největší zdroje emisí v každé kategorii nebo určit celkové emise SO₂ v každé kategorii zdrojů.■

Příklad 2

V tomto příkladě budou pracovními daty polygony reprezentující chráněné lokality na území Moravskoslezského kraje. Jejich atributy mohou být například jejich kategorie nebo celková plocha území. Výběrem z atributů je možné snadno určit například počet nebo celkovou plochu jednotlivých kategorií chráněných území.■

Geometrický výběr je nejjednodušší analýzou, která je již přímo vázána na prostorovou složku prostorových dat. Pro geometrický výběr jsou využívány prostorové vztahy mezi dotazem a datovou sadou, na které je výběr prováděn. Dotaz je formulován geometricky, může se jednat o bod, linii, obdélník, obecný polygon nebo celou jinou sadu vektorových dat. Program provádějící geometrický výběr na základě dotazu následně vybírá data, která vyhovují geometrické podmínce dotazu. Může se jednat o podmínky:

- vybírané prvky leží v místě určeného bodu nebo v jeho dostatečné blízkosti,
- vybírané prvky jsou protnuty určenou linií,
- vybírané prvky se alespoň částečně protínají s určeným polygonem,
- vybírané prvky se nacházejí uvnitř určeného polygonu, apod.

Do kategorie geometrických výběrů patří také operace měření délek, vzdáleností, plošného obsahu nebo jiných podobných geometrických operací.

Základní součástí softwarů pro GIS s grafickým rozhraním je funkce „identifikace“ umožňující pomocí kliknutí na vybraný prvek prostorových dat získat informace o tomto prvku. Tato funkce se skládá ze dvou částí, kliknutí do „mapy“ samo o sobě formuluje dotaz geometrického výběru, který vybírá v blízkosti místa kliknutí. Druhou součástí je jednoduchá funkce vypisující atributy vybraného prvku.

Jinou základní součástí softwarů pro GIS je funkce pro výběr prvků. Tato funkce umožňuje provést výběr prvků tím, že se na ně klikne myší nebo se tahem myši vytvoří fiktivní obdélník, který slouží k výběru všech prvků prostorových dat protínajících tento obdélník.

Příklad 1

Při zobrazení dat popisujících průmyslové zdroje znečišťování ovzduší na území Ostravy je patrná vysoká koncentrace velkých a zvláště velkých zdrojů znečišťování ovzduší v jihovýchodní části města. Pro získání informací o podnicích působících v místě nakupení zdrojů stačí provést výše zmíněným způsobem geometrický výběr dotyčných zdrojů. Nahlédnutí do atributů vybraných zdrojů umožní určení všech jejich provozovatelů. Zde se samozřejmě předpokládá, že tyto informace jsou v atributové tabulce uloženy.

Provede-li se geometrický výběr například pomocí polygonu reprezentujícího území městské části Ostrava-Poruba, lze získat všechny informace o zdrojích znečišťování ovzduší nacházejících se ve vymezené oblasti.■

Příklad 2

Obdobným způsobem jako v předchozím případě je možné provádět geometrický výběr i s polygony reprezentujícími chráněné lokality v Moravskoslezském kraji. Jednoduchým geometrickým výběrem je možné určit, zdali například plánovaná nová komunikace prochází nějakým chráněným územím a jestli ano, pak je možné nahlédnutím do atributové tabulky určit také názvy dotčených území.■

Pro topologické výběry jsou využívány, jak již název napovídá, topologické vlastnosti prostorových dat. Na základě vybudované topologie sady prostorových dat lze provádět analýzy konektivity (prvky spolu sousedí, jsou součástí), směrové konektivity (prvky jsou ve směru, proti směru, vpravo, vlevo) a další analýzy.

Příklad 3

V řece byl zjištěn masivní úhyn ryb a provedená chemická analýza prokázala ve vodě přítomnost jedovaté látky. Topologickým výběrem na liniové sadě prostorových dat popisujících říční síť v dotčené oblasti je možné určit všechny úseky vodních toků nacházející se proti proudu od místa úhynu ryb a tím vymežit oblast, ve které mohlo dojít k úniku jedovatých látek.■

Geometrické operace s daty

Sada prostorových analýz souhrně označená jako geometrické operace s daty (anglicky geoprocessing) je na rozdíl od výběrových analýz charakteristická tím,

že jejich výsledkem je nová sada prostorových dat. Do kategorie geometrických operací s daty patří především:

- zónování (buffering),
- manipulace s geometrickou složkou dat,
- překryvné operace.

Zónování je geometrická operace, při které je kolem sady prostorových dat vytvořena zóna (anglicky buffer) vymezující všechna místa nacházející se blíže než je zadaná vzdálenost od zdrojové sady prostorových dat. Výsledkem operace zónování je tedy polygonová sada prostorových dat.

Příklad 3

Byly-li zjištěny všechny úseky vodních toků, ve kterých mohlo dojít k úniku jedovatých látek. Dalším krokem zjišťování potenciálních zdrojů úniku nebezpečných látek je vytvoření zóny vhodné velikosti (například největší možná vzdálenost průsaku látky půdou) kolem vybraných úseků vodních toků. Takto je vymezena oblast, ve které došlo k úniku, a nezbývá než pátrat po viníkovi právě v této oblasti.■

Manipulace s geometrickou složkou dat zahrnuje především spojování více datových sad do jedné (anglicky merge nebo append) a spojování prvků na základě atributů (anglicky dissolve - rozpouštění). Spojování prvků podle atributů využívá topologické vlastnosti prostorových dat, kdy jsou spojovány do jednoho ty prvky prostorových dat, které spolu souvisejí (navazují na sebe nebo mají společnou hranici). Samotné spojování je založeno na odstraňování hranic (bodů nebo linií), které od sebe oddělují prvky se shodnou hodnotou příslušného atributu. Spojování prvků na základě atributů lze ilustrovat na základě dvou jednoduchých příkladů:

Příklad

Z říční sítě ČR byl vybrán tok řeky Ostravice. Díky soutokům s jinými toky byla řeka rozdělena na několik úseků. Spojením těchto úseků na základě atributu „název toku“ lze spojit všechny úseky řeky Ostravice do jednoho prvku reprezentujícího celý tok řeky.■

Příklad

V rámci poslední reformy veřejné správy byly určeny obce s rozšířenou působností zajišťující pro menší obce ve svém okolí některé služby státní správy. Oblasti spravované jednotlivými obcemi s rozšířenou působností lze získat tak, že sadě polygonových dat reprezentujících území jednotlivých obcí je navíc přiřazen atribut popisující, pod kterou obec s rozšířenou působností každá jednotlivá obec spadá. Na základě toho atributu je potom již snadné pomocí funkce spojování prvků na základě atributu spojit území obcí spadajících pod jednu obec s rozšířenou působností a získat tak polygonovou vrstvu území spravovaných těmito obcemi.■

Překryvné operace kombinují mezi sebou dvě sady prostorových dat na základě jejich geometrických vlastností. Tyto analytické metody jsou obvykle klíčovou součástí aplikací pro podporu rozhodování založených na GIS. Mezi překryvné operace patří především:

- oříznutí (anglicky clip) datové sady jinou,
- průnik (anglicky intersection) a sjednocení (anglicky union) dvou datových sad,
- prostorové spojení atributů (anglicky spatial join).

Příklad 1

Chceme-li z datové sady popisující průmyslové zdroje znečišťování ovzduší na území Ostravy vytvořit sadu novou zahrnující pouze zdroje nacházející se pouze v Ostravě-Porubě., lze jí vytvořit pouhým oříznutím původní datové sady pomocí polygonu reprezentujícího území příslušné městské části. Chceme-li všem zdrojům přiřadit informaci, ve které městské části se nalézá. To lze snadno provést pomocí prostorového spojení atributů. Nutnou podmínkou uskutečnění této operace je samozřejmě připravená sada polygonů reprezentujících jednotlivé městské části, jejichž názvy jsou uloženy v její atributové tabulce.■

Příklad 2

Ze sady polygonů reprezentujících chráněná území v Moravskoslezském kraji byl vybrán polygon reprezentující území Poodří. Průnikem tohoto polygonu s polygonovou sadou dat reprezentujících území obcí v kraji je možné rozdělit polygon reprezentující Poodří na několik menších polygonů. Každá část původního polygonu reprezentuje část Poodří nacházející se na území konkrétní obce.■

Síťové analýzy

Velice významným nástrojem pro analýzu prostorových dat jsou síťové analýzy. Algoritmy síťových analýz jsou založeny na moderním odvětví matematiky – teorie grafů. Podle této teorie je grafem struktura tvořena bodovými prvky zvanými uzly (anglicky nodes) a liniovými prvky zvanými hrany (anglicky edges), které mají svůj počátek a konec v uzlech. Podle typu úlohy mohou mít uzly i linie přiděleny různé vlastnosti (barva, hodnota, směrovost, apod.). Z předchozích údajů vyplývá, že v problematice grafů nejsou geometrické vlastnosti prvků grafu příliš podstatné, naprosto klíčovou jsou naopak topologické vlastnosti grafu neboli vzájemné návaznosti hran a uzlů.

Pojem graf je v oblasti GIS nahrazován pojmem síť (anglicky network) a pomocí sítí jsou reprezentovány různé reálné objekty – říční sítě, silnice, železnice, vedení elektrické energie, kanalizace, potrubní systémy, datové linky, dopravní spojení komunikační trasy, aj.

Sítě jsou využívány v GIS v celé řadě aplikací. Mezi standardní úlohy řešené pomocí síťových analýz patří:

- analýza dosažitelnosti (anglicky connectivity),
- hledání optimální trasy,
- problém obchodního cestujícího,
- určování obslužné oblasti,
- modelování toků v sítích, atd.

Analýza dosažitelnosti je nejjednodušší prováděnou síťovou analýzou. Problémem řešeným touto analýzou je určení, jestli existuje nějaká trasa v síti spojující zvolený počáteční a koncový bod.

Příklad

V minulých letech byla na území ČR sledována migrace velkých savců za účelem hledání problematických míst bránících v průchodu. Území, kde se mohou velcí savci volně pohybovat, tvořila uzlové body sítě (i když se fakticky jednalo o plochy). Tato území byla vzájemně propojena liniemi reprezentujícími biokoridory. Analýzou dosažitelnosti byly následně hledány problematická místa bránící migraci. Důsledkem této studie bylo navržení výstavby několika tzv. ekoduktů neboli nadzemních valů umožňujících průchod velkých savců přes některé frekventované silnice.■

Algoritmus hledání optimální trasy řeší problém nalezení optimální trasy v síti mezi zvolenými počátečním a cílovým místem. Optimálnost trasy určuje parametr určující hodnotu hran a/nebo uzlů. Tento parametr může v závislosti na typu úlohy znamenat vzdálenost, časovou náročnost průchodu, cenu průchodu, apod. Samotné hledání optimální trasy je následně realizováno pomocí Dijkstraova algoritmu (je popsán například v knize Matoušek, Nešetřil: Kapitoly z diskrétní matematiky). Hledání optimální trasy je klíčovou součástí GPS navigací, což z něj činí pravděpodobně nejznámější a nejpoužívanější síťovou analýzu.

Problém obchodního cestujícího lze popsat následovně. Obchodní cestující musí obejít své zákazníky, dodat jim objednané zboží a chce toho docílit po pro něj optimální trase. Z definice problému je patrná souvislost tohoto problému s hledáním optimální trasy. Celý problém je komplikován tím, že nutných bodů průchodu je více a jejich pořadí není určeno. Problém obchodního cestujícího má mnoho praktických aplikací od problémů velice blízkých původnímu problému - rozvoz zboží, rozvoz obědů, svoz dětí do školy školním autobusem, svoz odpadu, apod., až po problémy na první pohled nesouvisející (např. optimální postup lajnování sportovního hřiště).

Určování obslužné oblasti je problém podobný zónování. Celý ovšem probíhá v síti. Cílem je určení všech částí sítě, které se nacházejí do určité vymezené „vzdálenosti“ od zvoleného bodu (nebo bodů). Pojem vzdálenost je zde uveden v uvozovkách, protože stejně jako v předchozích popsáních analýzách, je tím míněn parametr hodnoty v grafu, což může být mimo vzdálenost také čas, cena, apod.

Příklad

Průzkumem mezi občany bylo zjištěno, že jsou ochotni docházet na zastávky hromadné dopravy maximálně 5 minut. Bylo proto provedeno určování obslužné oblasti od zastávek hromadné dopravy do vzdálenosti 5 minut chůze po síti chodníků a jiných podobných tras pro chodce. Byla tak vytipována místa, kde by bylo vhodné vybudovat nové zastávky hromadné dopravy, aby ji začali využívat i lidé, kteří to předtím nedělali z důvodu přílišné vzdálenosti zastávek. Obdobně lze také optimalizovat například umístění kontejnerů na tříděný odpad nebo sběrných dvorů.■

Modelování toků v sítích se využívá v celé řadě aplikací, například se jedná o modelování proudění vody ve vodních tocích i v potrubí, modelování šíření škodlivin ve vodě, modelování parametrů elektrické rozvodné sítě, modelování chování plynu v potrubí, modelování intenzity dopravy na silnicích nebo modelování chování davu lidí.

Operace s rastry

Zajímavou sadou analytických nástrojů GIS jsou operace s rastry. Operací s rastry je celá řada a často se pro ně používá výraz mapová algebra (anglicky map algebra). Mapovou algebru lze vnímat jako specifický nástroj pro zpracovávání a analýzu rastrových reprezentací reality s využitím jazyka mapové algebry. Jazyk mapové algebry je programovací jazyk vyšší úrovně speciálně navržený pro manipulaci s rastrovými daty (mapy). Speciální moduly profesionálních software pro GIS (např. Grid Analyst u MGE Intergraph nebo Spatial Analyst u ArcGIS) umožňují jednoduché a efektivní využití jazyka mapové algebry. Je přitom možné vykonat úlohy, které jsou jiným způsobem řešitelné jen velice obtížně nebo také vůbec.

Pro práci s rastry existují také specializované programy zaměřené především na digitální zpracování leteckých a družicových snímků z DPZ.

Operátory mapové algebry je možné rozdělit podle jejich charakteru do více různých skupin. Nejpoužívanější jsou operátory:

- aritmetické (+, -, *, /),
- relační ($\leq$, $\geq$, $<$, $=$, $>$, $\neq$),
- logické (NOT, AND, OR, XOR), atd.

Funkce mapové algebry se dělí na:

- lokální – vstupním údajem jsou individuální údaje uložené v dané buňce,
- fokální – vstupním údajem je definované okolí buňky,
- zonální – vstupním údajem je specifikovaná větší oblast dat,
- globální – vstupním údajem je celá sada dat.

Mezi lokální operace patří především různé skalární operace s daty (přičítání a odečítání konstanty, násobení a dělení konstantou, apod.), složitější matematické funkce prováděné pro každou buňku rastru zvláště (umocňování, logaritmy, goniometrické funkce, cyklometrické funkce, apod.), atd. Za nejvýznamnější fokální operace lze považovat funkce určování směru a velikosti gradientu nebo některé typy digitálního filtrování. Zonální a globální funkce jsou nejčastěji využívány pro zjišťování základních statistických charakteristik (maximální, minimální hodnota, průměr, medián, rozptyl, apod.). Mezi důležité globální funkce patří rovněž funkce měnící základní parametry sady rastrových dat (velikost buňky a poloha referenčního bodu rastru).

Příklad

Při posuzování vlivu jednoho významného průmyslového podniku na kvalitu ovzduší bylo prováděno matematické modelování rozptylu znečišťujících látek v ovzduší, jehož výsledky jsou dvě sady rastrových dat – přízemní koncentrace vybrané znečišťující látky způsobené tímto podnikem a celkové koncentrace stejné znečišťující látky.

Z těchto dvou sad rastrových dat bylo možné vypočítat novou rastrovou sadu dat určující procentuální vliv průmyslového podniku ($100 \times [\text{imise z podniku}] / [\text{celkové imise}]$). Nová sada vznikla, jak je patrné ze vzorce, kombinací aritmetického operátoru a lokální funkce.

Dalším krokem analýzy výsledků bylo stanovení průměrného vlivu podniku v zástavbě okolních obcí. Toho bylo možné relativně snadno docílit použitím jedné ze základních zonálních funkcí.■

Digitální elevační modely

Digitální elevační modely (DEM) využívají kombinace dvourozměrných prostorových dat s třetí rozměrovou složkou uchovávanou jako atribut. Z matematického hlediska je tedy třetí souřadnice funkcí prvních dvou neboli první dvě souřadnice jednoznačně určují souřadnici třetí. Digitálními elevačními modely nelze tudíž reprezentovat libovolnou 3D plochu (například zemský povrch převisy), proto se v souvislosti s DEM hovoří o 2D+ plochách a analýzách. DEM historicky vznikly a jsou dodnes nejvíce používány v souvislosti s popisem zemského povrchu, proto jsou někdy také označovány pojmem digitální modely terénu (DMT, DTM). Velká část analýz založených na práci s DEM je určena speciálně pro DMT. Digitální elevační modely využívají dva odlišné způsoby datové reprezentace známé pod pojmy grid (někdy také lattice) a TIN.

DEM ve formě gridu (česky mřížka) je rastrový formát dat, je tedy tvořen pravidelnou sítí buněk (obvykle čtvercových) zadaného rozměru, kde je každé buňce přiřazena hodnota odpovídající „výšce“. Hlavními výhodami gridu je jeho jednoduchost, snadné určení hodnoty v libovolném bodě a snadný přenos dat. Nevýhodou gridu je především velká redundance (nadbytek nutných záznamů) dat. Velikost buňky gridu se obvykle volí tak, aby zachytila všechny potřebné detaily. Na většině plochy je potom tento rozměr zbytečně malý. Další nevýhodou gridu je jistá nejednoznačnost postupu při určování hodnoty v konkrétním bodě, která se může lišit v závislosti na aplikaci. Grid může být považován za nespojitou plochu složenou z pravidelných ploch (čtvercových buněk), ve kterých je hodnota konstantní nebo se mohou hodnoty buněk vztahovat pouze k jejich geometrickému středu a hodnoty mezi nimi se potom dopočítávají pomocí interpolace. Možných použitelných interpolačních metod je ovšem celá řada.

DEM ve formátu TIN (anglická zkratka Triangular Irregular Network – nepravidelná trojúhelníková síť) je vektorová datová struktura tvořena nepravidelnou trojúhelníkovou sítí. Hodnoty jsou přiřazeny vrcholům trojúhelníků a nad každým trojúhelníkem je tedy jednoznačně definována rovina. Klíčové jsou zde vzájemné topologické vztahy mezi vrcholy, stranami a plochami trojúhelníků. Reprezentace plochy pomocí TINu má oproti gridu několik výhod. TIN je přesnější, jednoznačnější a datově úspornější formát. Generování TINu může být rovněž prováděno rychleji. TIN rovněž umožňuje zachytit nespojitosti povrchu (pomocí „zlomových linií“ anglicky breaklines) a pokrýt i značně nepravidelné oblasti. Nevýhodou formátu TIN je především nejednotnost formátu v různých systémech, což velmi znesnadňuje přenos dat. V případě použití formátu TIN v oblasti s malou změnou hodnot může i malá změna hodnoty v jednom z vrcholů významně změnit průběh izolinií (vrstevnic).

Pro DEM existuje řada speciálních analytických nástrojů, které je možné rozdělit do následujících skupin:

- objemové výpočty (někdy též kubatury),
- analýzy viditelnosti,
- analýzy svahovitosti,
- hydrologické analýzy, atd.

Objemové výpočty se používají v řadě aplikací, kde je potřeba počítat objemy. Jedná se například o kapacity plánovaných vodních nádrží, množství odpadků navezených na skládku, objem vytěžené horniny nebo výpočet potřebného množství zeminy pro terénní úpravy. Při předpovídání povodní je možné vytvořit DEM interpolací hodnot množství srážek naměřených na meteorologických stanicích. Objemový výpočet umožní odhadnout celkové množství srážek spadlé v povodí a odhadnout průtoky na vodních tocích.

Při analýzách DEM lze řešit otázky vzájemné viditelnosti dvou míst. Z tohoto určování viditelnosti jsou vytvářeny aplikace umožňující určit oblasti viditelné ze zvoleného místa, které jsou velmi užitečné pro potřeby územního plánování (známý příklad viditelnosti větrných elektráren), vojenského hlídkování, pokrytí území signálem, aj. Existují i pokročilejší aplikace řešící například optimální pokrytí území vysílači. Speciálním typem analýzy viditelnosti je určování zastínění při konkrétním úhlu a směru osvětlení (anglicky hillshade). Tímto stínováním lze snadno dosáhnout plastického vzhledu terénu.

Analýzy svahovitosti se zabývají určováním směru a velikosti svažování terénu. Pro tento typ analýz je vhodnější DEM ve formátu TIN, protože každému trojúhelníku lze jednoduchým výpočtem určit směr a úhel klesání (stoupání). Tento typ analýz je velmi významný pro územní plánování. Umožňuje totiž vymezit oblasti vhodné pro daný způsob využití území jako výstavba vinic (jižní svahy), obytné zástavby nebo průmyslových areálů. Určování úhlu klesání je využíváno například při určování oblastí ohrožených erozí.

Hydrologické analýzy jsou zaměřeny na určování chování vody v terénu. Základním postupem je zde určování směrů odtoku vody, z jejichž znalosti lze zjišťovat odtokové vlastnosti území. Konkrétně se může jednat o:

- stanovení drenážní sítě,
- zjištění průběhů rozvodnic a plochy povodí,
- hledání uzavřených sníženin v terénu, atd.

Detailní znalosti reliéfu terénu jsou nutnou podmínkou pro modelování průtoků ve stanovených místech a tím k předpovídání povodní.

6. Matematické modelování prostorových jevů

Podle Wikipedie je model struktura, reprezentace nebo popis, který je navržen k tomu, aby demonstroval tvar, strukturu nebo fungování studovaného předmětu, zařízení, systému nebo jevu.

Jak je z této definice patrné, je každý model nějakým vhodným zjednodušením nebo abstrakcí konkrétního předmětu nebo jevu, která zachovává všechny jeho, pro danou problematiku podstatné, vlastnosti a umožňuje je tak lépe pochopit a studovat. Obecný princip využití „modelů“ při zkoumání světa a osvojování si dovedností je běžně využíván a je přirozeným prostředkem používaným pro poznávání okolního světa a osvojování si dovedností. Tato schopnost není typická pouze pro lidi, běžně se s ní jde setkat i u jiných živočišných druhů. Obvyklou hrou kočičích mláďat je předstíraný lov, kde jedno kotě představuje oběť, která je lovena kotětem druhým. Tento „model lovu“ slouží k základnímu osvojování si dovedností nutných k přežití.

Používané modely je možné podle způsobu, jakým jsou realizovány, rozdělit do dvou kategorií:

- fyzikální (mechanické) modely;
- matematické (abstraktní) modely.

Fyzikální (mechanické) modely jsou modely, které reprezentují studovanou skutečnost pomocí hmotných předmětů a zařízení. Jako příklady běžně používaných fyzikálních modelů lze uvést:

- dětské hračky (např. panenka - model dítěte, autíčko – model automobilu)
- vojenské modely (vojenská cvičení, štábní hry, apod.)
- simulátory (model kosmické lodě, letadla, automobilu, aj.)
- globusy a mapy (modely světa), atd.

Oproti tomu matematické (abstraktní) modely studovanou skutečnost vhodným způsobem reprezentují abstraktně pomocí matematických vzorců a algoritmů. Matematické modely jsou stále častěji využívány v různých oborech lidské činnosti. Jako příklady lze uvést:

- fyzika (např. Archimédův zákon, Newtonovy zákony, mechanika tuhého tělesa, mechanika kontinua, Maxwellovy rovnice)
- konstrukce strojů a zařízení
- ekonomie (analýzy trhu, předpovědi vývoje ekonomiky)
- sociologie (chování davů, modely chování, modely sociálních interakcí)
- biologie (vývoj a vzájemné interakce populací)
- ochrana životního prostředí (záplavy, půdní eroze, šíření škodlivin, atd.)

Častým výsledkem definování matematických modelů jsou rovnice nebo soustavy rovnic popisujících jejich vnitřní zákonitosti. Při studiu konkrétních problémů mohou být tyto rovnice řešeny analyticky, nebo numericky. Analytické řešení je v tomto případě nalezení přesného řešení matematické formulace studovaného problému a

jeho výpočet pomocí konečného počtu matematických operací. Obvyklá je ovšem situace, kdy není znám nebo je dokázáno, že neexistuje postup vedoucí k nalezení analytického řešení. U některých problémů v oblasti proudění jsou vypsány zajímavé finanční odměny za určení podmínek existence řešení. Z tohoto důvodu jsou pro řešení těchto problémů používány prostředky numerické matematiky, pomocí kterých lze vypočítat alespoň přibližné (dostatečně přesné) řešení.

6.1. Matematické modely pro ochranu životního prostředí

Při ochraně životního prostředí se lze setkat s velkým množstvím prostorových jevů, které je možné matematicky popsat. Na základě těchto matematických vyjádření je možné tyto jevy modelovat a tím předvídat jejich možný budoucí vývoj. V technické praxi – při ochraně životního prostředí, se jedná zejména o předvídaní a popis šíření znečištění v jednotlivých složkách prostředí. Pro hodnocení vlivu na životní prostředí je matematické modelování již běžně používaným postupem.

Modely pro ochranu vod a půd

- Matematické modely šíření znečišťujících látek v podzemních vodách. Jedná se obvykle o jednoduché statistické modely doplněné o některé dynamické parametry a možnost zahrnutí vlivu horninového prostředí (fyzikální i chemické vlivy).
- Matematické modely šíření znečišťujících látek v povrchových vodách. U vodních ploch se jedná o podobné modely jako u podzemních vod, u vodních toků jsou to většinou modely založené na znalostech dynamických vlastností proudění kapalin.
- Modely eroze jsou založeny na využití překryvných analýz polygonových dat, matematických operací s rastry a analytických funkcí digitálních elevačních modelů. Sestavují se a hledají se kombinace faktorů jako je půdní typ, geologie, svahovitost, zvodnění, srážky, vegetace apod. Tím je možné předvídat erozní působení vody a větrů ve sledovaných lokalitách. Toto je jedna z nejstarších praktických aplikací GIS.
- Modely depozice znečišťujících látek jsou založeny na znalostech koncentrací znečišťujících látek v ovzduší a dalších meteorologických parametrů.

Modely pro ochranu krajiny

- Dlouhodobě se využívají modely poklesů terénu vlivem dobývání nerostů v hlubinných dolech. Dnes se pro toto modelování využívají prostředky GIS. Pro zpřesňování a verifikace výsledků modelování se využívají měřické postupy a DPZ.
- Speciálními modely jsou modely chování ekosystémů. Prostředky GIS se zde využívají především pro pořizování vstupních dat. Síťové analýzy se navíc dají použít pro modelování distribuce energie a živin v ekosystémech.
- Matematické modely jsou rovněž důležitou složkou při předvídaní klimatických změn a jejich následků.

Modely pro ochranu kvality ovzduší

- Matematické modely hlukové zátěže jsou založeny na znalostech vlastností šíření hluku. Šíření a útlum hluku je určen vlivem terénu a překážek a prostorové analýzy jsou proto nutnou součástí těchto modelů.

- Široce využívanými modely jsou v oblasti životního prostředí modely rozptylu znečišťujících látek v ovzduší. Tyto modely se dále dělí podle typu výsledků modelování na modely dlouhodobé - výsledkem jsou dlouhodobé koncentrace imisí (roční, sezónní průměry), krátkodobé - výsledkem jsou krátkodobé koncentrace imisí (denní, hodinové průměry nebo maxima), a modely okamžité – výsledkem jsou aktuální koncentrace imisí včetně zachycení dynamiky jevu.

Modely, používané v praxi jsou zatím obvykle náročné specializované SW balíky bez možné vazby na GIS. Je to dáno tím, že byly vyvíjeny jako jedny z vůbec prvních aplikací pro číslicové počítače. Jejich historie a vývoj tedy začala dávno před prvními GIS. Jejich autoři také o existenci GIS často vůbec nevědí. Přesto se postupně objevují softwarová řešení kombinující matematické modely s GIS, a to ve dvou směrech. Ve směru matematických modelů se jedná o rozšiřování software pro modelování o moduly obsahující zjednodušené formy GIS nebo umožňující import či export dat ve standardních formátech prostorových dat. Ve směru GIS se objevují stále nové moduly obsahující matematické modely ovladatelné přímo z prostředí softwaru pro GIS.

6.2. *Propojení matematických modelů a GIS*

Matematické modely reálných jevů lze považovat za specifický druh geoinformačních technologií. Je to dáno tím, že tyto modely pracují s daty majícími prostorový charakter. Z tohoto důvodu se takřka nabízí možnost využití GIS při řešení tří základních okruhů problémů spojených s matematickým modelováním, které je nutné řešit při každé programové realizaci matematických modelů. Jsou to:

- příprava vstupních dat,
- datová reprezentace a algoritmizace modelu,
- vizualizace a analýza výsledků modelování.

Pro řešení každého z vyjmenovaných okruhů problémů lze s úspěchem využít prostředky nabízené GIS. Podle míry využití GIS při řešení výše uvedených okruhů problémů spojených s matematickým modelováním lze propojení matematických modelů s GIS rozdělit do tří úrovní:

- GIS je využíván pro vizualizaci a analýzu výsledků modelování,
- GIS je navíc využíván pro přípravu vstupních dat,
- celý proces modelování je realizován v GIS.

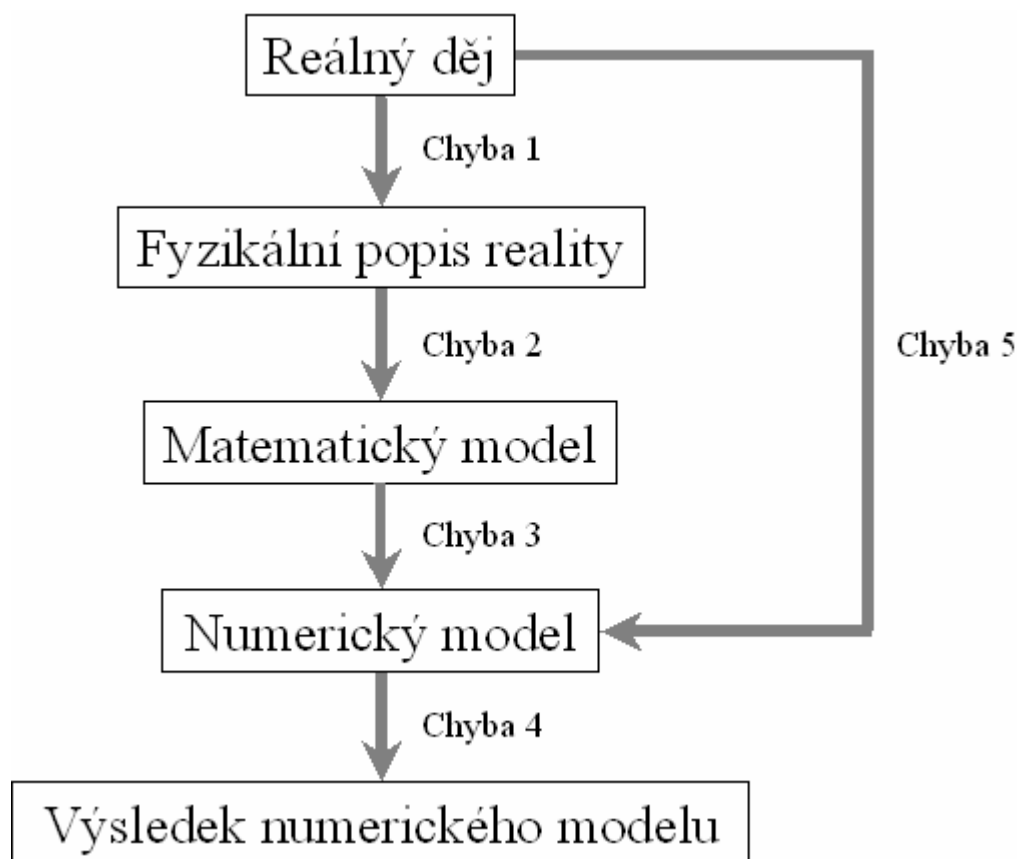
V prvním případě jsou prostředky GIS použity v podstatě jako „externí služba“ navazující na samotné modelování. Některá komerční softwarová řešení používají nějakou redukovanou verzi software pro GIS pro zobrazování výsledků modelování jako dodatečný programový modul. Jako příklad tohoto přístupu lze uvést programový balík modelů určených pro bezpečnostní inženýrství, EFFECTS GIS.

Díky využití GIS navíc pro přípravu vstupních dat pro modelování se těžiště modelovacího procesu přesouvá na stranu GIS a nastává situace odlišná od prvního případu, kdy většina modelování probíhá v prostředí GIS a naopak jinak programově realizovaný model je zde použit jako „černá skříňka“ počítající výsledky na základě připravených vstupních dat.

U rozsáhlé třídy modelů je při vlastní realizaci výpočtů vhodné nebo přímo nutné použít prostorové analýzy. V těchto případech je nutná volba mezi realizací matematického modelu v GIS a naprogramováním potřebných prostorových analýz přímo. Výhody použití GIS spočívají především v tom, že jsou zde k dispozici obecné a dobře využitelné datové reprezentace reálných jevů a navíc je pro tyto datové reprezentace předpřipravena široká sada analytických nástrojů (obvykle velice efektivních). Nevýhoda použití GIS spočívá především v relativně pomalém vyčíslování matematických výrazů oproti jiným programům (např. Matlab, Perl, Fortran nebo C++) s použitím pouze základních matematických operací.

6.3. Chyby matematických modelů

Obecné výpočetní schéma matematických modelů popsat následujícím schématem, které zachycuje obecný postup tvorby matematického modelu a který dokumentuje celkem 5 druhů chyb vznikajících při tomto postupu:



Chyba 1: Tato chyba vzniká při fyzikální formulaci problému, kde se určuje, které jaké fyzikální jevy a zákonitosti budou brány v úvahu a které budou zanedbány. V problematice proudění kapalin jsou často zanedbány například kvantové a relativistické jevy, interakce na molekulární úrovni, chemické reakce, aj.

Chyba 2: Vzniká při matematické formulaci fyzikálního popisu. Jsou to především dodatečné předpoklady, které nemusí odpovídat realitě, jako jsou například

předpoklady na spojitost a diferencovatelnost funkcí, předpoklady na vlastnosti funkcí popisující materiálové vlastnosti, tvar oblasti, apod.

Chyba 3: Další, v pořadí třetí, chyba vzniká při diskretizaci (převod spojitého problému na diskrétní) matematického modelu, proto se také nazývá chyba diskretizace. Tato chyba může zahrnovat například chybu použité numerické metody, chybu numerické integrace, chybu aproximace hranice výpočetní oblasti, chybu aproximace různých nelinearit, aj.

Chyba 4: Další chyba je způsobena samotným výpočtem. Jejimi nejčastějšími důvody jsou kumulace zaokrouhlovacích a iteračních chyb během výpočtu. Míra citlivosti numerického modelu vůči této skupině chyb je shrnuta pod pojmem numerická stabilita výpočtu. O úlohách vzniklých numerickou formulací úloh proudění vzduchu zahrnujících časový vývoj je známo, že nestabilita výpočtu se s délkou předpovědi zvětšuje.

Chyba 5: Poslední chyba je způsobena při zadávání reálných vstupních dat do numerického modelu, kdy jsou tyto data získána měřeními pouze s určitou mírou přesnosti nebo odborným odhadem a navíc je nutné je vhodným způsobem aproximovat do vyjádření vhodného pro numerický model.

Numerická matematika se zabývá chybou diskretizace a chybami vznikajícími během numerického výpočtu a často poskytuje prostředky a metody, kterými lze tyto chyby odhadnout (apriorní a aposteriorní odhad chyby) a redukovat. Navíc existují speciální postupy, kterými lze odhadnout vliv nepřesnosti vstupních dat matematického modelu na výsledek modelování. Tyto postupy se souhrně nazývají analýza citlivosti.

Libovolná z popsanych chyb může při nevhodném sestavení výpočtu zcela znehodnotit výsledky modelování. Objektivním způsobem, jak lze posoudit souhrnný vliv všech výše uvedených chyb na celkový výsledek modelování, je ověření (verifikace) výsledků modelování pomocí srovnání s reálnými daty získanými měřením nebo fyzikálním modelováním a ověřování známých vlastností řešení problému. Následně je třeba se vyhnout další možné závažné chybě zvané – chybné interpretaci výsledků modelování.

7. Zásady vytváření tematických map

Nejobvyklejším výstupem sdělujícím výsledky práce s GIS jsou tematické mapové kompozice. Grafické znázornění prostorových dat a analýz je velice vhodným a přirozeným komunikačním prostředkem. Tímto způsobem se dají snadno sdělovat informace, a to i při komunikaci odborníků různého zaměření nebo při komunikaci s laiky a s veřejností. Jack Dangermond, zakladatel a ředitel firmy ESRI (vytváří software pro GIS), propaguje komunikaci za použití map nebo jiných grafických prostředků za univerzální komunikační prostředek pomocí, kterého lze nacházet společnou řeč mezi lidmi.

Jazyk map má, stejně jako všechny jazyky, svá vnitřní pravidla a zákonitosti. Tato pravidla v sobě obsahují extrahovanou zkušenost generací tvůrců map a mají spíše charakter dobře míněných rad a doporučení sdělovaných staršími a zkušenějšími pracovníky. Rozhodně se tedy nejedná o zákony, které je nutné za každých okolností dodržovat. Jejich dodržováním se ale lze vyhnout nedorozuměním a nejasnostem. Platí zde ovšem podobná skutečnost jako v etiketě, v některých okamžicích je možné pravidla porušit, je to však nutné učinit bez váhání, ale zároveň s citem, abyste nebyli považováni za nevychované a hrubiány.

Pro tvorbu map existuje rozsáhlá kartografická literatura obsahující velké množství detailních rad, informací, pravidel a postupů. V následujícím textu budou uvedeny pouze některé nejdůležitější.

Mapy lze rozdělit do několika kategorií, podle měřítka lze mapy rozdělit na mapy:

- velkého měřítka (1:1 – 1:10 000),
- středního měřítka (1:10 000 – 1:200 000),
- malého měřítka (1:200 000 a menší).

Dělení map je zde opačné, než by na první pohled bylo správné. Zde je třeba připomenout, že tvary zápisu měřítka mapy odpovídají zlomkům, rostoucí hodnota jmenovatele tedy snižuje celkovou hodnotu zlomku. Navíc toto členění odpovídá mnemotechnické pomůcce – zobrazené objekty budou na mapě velkého měřítka velké, u středního měřítka střední a u malého měřítka malé.

Podle svého zaměření se mapy dělí na mapy:

- technické,
- topografické,
- geografické,
- tematické.

Technické mapy jsou používány pro technické nákresy (plány, pozemkové mapy, apod.), vyžaduje se po nich vysoká detailnost a přesnost. Postihují obvykle relativně malá území. Obvykle svým měřítkem odpovídají mapám malého měřítka.

Topografické mapy zachycují objekty na zemském povrchu, jejich tvar a členění. Obvykle svým měřítkem odpovídají mapám středního měřítka.

Geografické mapy popisují rozsáhlejší oblasti, obvykle formou rozdělení popisovaného území na menší zeměpisné celky (územní členění, hory-nížiny, apod.). Odpovídají jim obvykle mapy malého měřítka. Často se zde používá generalizace objektů. Typické je zde například nahrazování vrstvy budov vrstvou zastavěných oblastí, při ještě meších měřítcích mohou být celá města nahrazena bodovými objekty.

Tematické mapy jsou speciální mapy zachycující přednostně zvolenou tematiku pomocí jednoho nebo i více grafických prvků. Podkladem pro tematické mapy jsou obvykle mapy topografické nebo geografické, jejich prvky ovšem mají být potlačeny (mohou být i vynechány) slouží pouze pro usnadnění orientace.

7.1. Základní prvky mapy

Každé mapové dílo se skládá z několika základních prvků, každá mapa je **MUSÍ** obsahovat, nedodržení této konvence je považováno za hrubou chybu. Mapa musí obsahovat:

- nadpis mapy,
- mapové pole,
- legendu mapy,
- měřítko,
- severku,
- tiráž.

Navíc může obsahovat další doplňující informační prvky, vztahující se k obsahu mapy. Může se jednat o různé doprovodné texty, tabulky, grafy, apod.

Nadpis mapy

Nadpis mapy má obsahovat věcné, místní a časové určení mapy. V případě potřeby je jej možné rozdělit na nadpis hlavní obsahující věcné určení mapy a na podnadpis obsahující místní a časové určení. Hlavní nadpis by měl být celý proveden KAPITÁLKAMI, bezpatkovým písmem (Arial – ano, Times New Roman – ne) a měl by být čitelný i z větší vzdálenosti. Nadpisy by měly být co nejkratší a zároveň výstižné. Věcné zaměření odpovídá hlavnímu zobrazovanému prvku prostorových dat. Není snad třeba uvádět, že nadpis se vždy vyskytuje v horní části mapové kompozice.

Častými chybami v nadpisech (kromě nedodržení předchozích pravidel) jsou především nevhodně použité slova a výrazy. Mezi nevhodná slova patří hlavně slovo „mapa“ (to každý pozná) a nadbytečné používání odborných termínů (zhoršuje to komunikaci). Součástí nadpisu by rovněž neměla být informace o postupu získání a charakteru tematických vrstev.

Příklad

Špatně: „Mapa kvality povrchových vod na území Ostravy získaných měřeními v terénu pomocí nově získané měřicí aparatury“

Správně: „KVALITA POVRCHOVÝCH VOD NA ÚZEMÍ OSTRAVY“

Mapové pole

Mapové pole je nejdůležitější součástí mapy. Zde jsou zobrazena prostorová data. Z tohoto důvodu by mapové pole mělo na mapě zabírat co největší plochu. Symboly jednotlivých mapových prvků by od sebe měly být snadno odlišitelné a nejvýrazněji by měla být znázorněna ta sada dat, na kterou je celá kompozice zaměřena. Měně výrazně by měla být zobrazena data sloužící pro snadnější orientaci v prostoru (budovy, silnice, vodní toky, apod.). Navíc je vhodné zachovávat zažitá konvence barevného odlišení prvků zemského povrchu – zelené lesy, šedivé budovy, modré vodní toky a plochy, apod.

Legenda

Legenda se klíč sloužící k porozumění a správné interpretaci významu prvků mapy. Legendu tvoří dvojice tvořené znázorněním mapového symbolu doplněné o vysvětlující text. Symboly musí odpovídat znázorněným grafickým prvkům použitých v mapovém poli. Vysvětlující text by měl být jasný, srozumitelný a co nejkratší. Pokud jsou jako podklad tematické mapy použity topografická data, která jsou intuitivně srozumitelná, nemusí se jejich symboly v legendě nutně uvádět.

Měřítko

Měřítko mapy je důležitou informací umožňující odečítání vzdáleností. V mapové kompozici jej lze realizovat dvěma odlišnými způsoby (lze použít i oba zároveň). Měřítko lze vyjádřit v číselné formě jako poměr zmenšení mapy vzhledem ke skutečnosti (1:10 000, 1:50 000, apod.) nebo v grafické formě, kde jsou znázorněny vzdálenosti odpovídající skutečným rozměrům.

Číselné měřítko by mělo být použito pouze v případě, že má rozumné „kulaté“ hodnoty (viz. hodnoty v předcházející závorce), rozhodně by nemělo být měřítko uváděno ve tvaru např. 1:2345,67. V mapách je spíše vhodnější používat měřítko grafické, které má oproti číselnému tři podstatné výhody. Grafické měřítko je stále korektní i v případě zmenšení či zvětšení mapové kompozice, lze jej použít i v případech, kdy měřítko mapy není „kulaté“, a navíc lze pomocí grafického měřítka podstatně jednodušeji odečítat vzdálenosti (zvládnou to i osoby matematickým talentem chudé). Vzdálenosti zaznamenané na grafickém měřítku by opět měly obsahovat „kulaté“ hodnoty a samozřejmě také jednotku vzdálenosti.

Severka

Severka (též směrovka nebo růžice) je grafický objekt znázorňující orientaci světových stran. Severka nemusí být v mapové kompozici uvedena v případě, že je možné určit světové strany jiným způsobem (např. znázornění poledníků a rovnoběžek v mapovém poli).

Není snad třeba připomínat, že obvyklá orientace světových stran je se severem nahoru. Jsou-li použita prostorová data v souřadném systému S-JTSK, je pozice severu pootočena o 4° ve směru hodinových ručiček od obvyklého směru.

Tiráž

Tiráž je (stejně jako v knize) informací o mapě, konkrétně o autorovi (autorech) mapy, místu a času jejího vytvoření, copyrightu, zdroji podkladových prostorových dat, atd. Pokud je mapa součástí větší publikace, kde jsou tato data uvedena v textu díla, pak lze tiráž uvést v redukované podobě nebo úplně vynechat.

7.2. Nejčastější chyby v mapách

V mapách, které nebyly vytvořeny profesionálními kartografy, se často objevují stejné chyby, který se ovšem lze snadno vyhnout (profesionálové ty chyby samozřejmě dělají také, ale je to méně pravděpodobné). Nejobvyklejší chyby jsou uvedeny v následujícím textu.

Efektivní využití mapového prostoru

Mapový prostor by měl být využit co nejefektivněji. Způsob rozmístění mapových prvků by měl být určen mapovým polem., který by mělo zabírat co největší část mapové kompozice. Rozložení mapového pole by mělo respektovat charakter zobrazovaných dat, především rozložení prvků té sady dat, na kterou je celá mapová kompozice zaměřena. Pokud převládá horizontální směr rozložení dat, pak by měla být mapová kompozice umístěna na „papíře“ na šířku, pokud převládá vertikální směr, potom na výšku. Mapové pole by mělo mít poměr stran přibližně 3:4 (respektive 4:3). Ostatní mapové prvky se umísťují do nevyužitých oblastí mapové kompozice. Na mapové kompozici by se neměla vyskytovat hluchá, nevyužitá místa.

Odečitelnost hodnot z mapy

Zobrazování symbolů tematické sady dat by mělo být voleno tak, aby bylo možné alespoň přibližně odečítat hodnoty zobrazovaných prvků. Toho lze docílit různými způsoby. Nejčastější jsou rozdělení symbolů na základě hodnoty, a to barvou, velikostí nebo typem symbolu. Zde platí pravidlo, že symboly by měly být od sebe snadno rozlišitelné. Tříd symbolů by nemělo být příliš mnoho, ideální počet je 3-5 tříd symbolů. Z dálky by mělo být patrné prostorové rozložení prvků tematické vrstvy.

Čitelnost mapy z blízka i z dálky

Mapa by měla být čitelná ze dvou vzdáleností. Z dálky by měl být čitelný nadpis a zároveň by při pohledu z dálky měl z mapového pole „vysvítat“ hlavní tematický obsah mapy. Často se stává, že topografické prvky mapy zastiňují vlastní tematický obsah mapy. Nejvhodnější je pro ně používat méně výrazné barevné odstíny nebo třeba pouze jen stupně šedé barvy. Vlastní tematické vrstvy by měly být naopak zobrazeny ve výrazných barvách a odstínech.

Z blízka by měly pomocné vrstvy umožňovat snadnou orientaci. Je třeba důsledně vážit, jak detailní podkladová data budou pro vytvoření mapy použita. Málo detailní topografické informace neumožňují dostatečnou orientaci v mapě. Je-li jich naopak příliš mnoho, nastává efekt zahlcení čtenáře množstvím zbytečných detailů a neopodstatněného zdůrazňování pomocné vrstvy.

Vazba mezi mapovým polem a legendou

Všechny symboly použité v mapě by měly být vysvětleny v legendě (mimo výše popsanou výjimku) a naopak všechny symboly v legendě by měly být v mapě opravdu použity. Výjimkou je zde použití společné legendy pro více map (například v atlasech). Tam se ovšem legenda nachází zvlášť, mimo samotné mapové kompozice. Je samozřejmé, že symboly v mapovém poli i v legendě musí mít stejný tvar, velikost, strukturu i barvu.

Častou začátečnickou chybou je ponechání výběru prvků při zobrazování prostorových dat. Tyto prvky jsou při zobrazování zvýrazněny (např. v ArcView jsou označeny žlutou barvou) a nekorespondují tak s prvky legendy.

Jednotnost použitého jazyka

Všechny textové části mapy, tj. nadpisy, text tiráže, popisky v mapě, text legendy nebo znaky světových stran u severky, by měly být v jednom jazyce (podle příjemce, v našich podmínkách nejspíše česky nebo občas anglicky). Častá je především ta chyba, že nadpis, mapové pole a legenda jsou v češtině a jednotky vzdálenosti u měřítka stejně jako označení severu jsou anglicky.

Finální uložení mapové kompozice

Finální uložení mapy dokáže celou náročnou práci vytváření mapy znehodnotit. Mapová kompozice by měla být ze softwaru, ve kterém byla vytvořena, korektně exportována do vybraného formátu obrázku. Výsledný obrázek by měl být vytvořen s maximálním možným rozlišením a minimální možnou kompresí, tak aby se zbytečně neztrácely detaily mapy. Zároveň je zde vhodné připomenout, že mapou jako takovou NENÍ mapová kompozice připravená v prostředí softwaru pro GIS a uložena ve formě tzv. projektu.