

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut ekonomiky a systémů řízení
oddělení GIS**

**Program celoživotního vzdělávání
„Geoinformatika a geoinformační technologie“**

Úvod do geografických informačních systémů

Petr Rapant

(Skripta PGS)

Ostrava, 2002

© Petr Rapant, 2002. Všechna práva vyhrazena.

VŠB – TU Ostrava, 2002.

1. Úvod

Se vstupem do Evropy se i u nás **informační společnost** stává objektivní realitou. Nelze ji ignorovat a není před ní úniku. Přitom je třeba si uvědomit, že informační společnost, to zdaleka není jen intenzivní využívání informačních technologií, ale vůbec práce s informacemi a související změny myšlení. **Informační společností se obvykle rozumí společnost, kde kvalita života i perspektiva sociálních změn a ekonomického rozvoje v rostoucí míře závisí na informacích a jejich využití.** V takové společnosti životní úroveň, typické způsoby práce i oddechu, systém výchovy a tržní podmínky jsou výrazně ovlivněny pokrokem v oblasti využívání informací a znalostí.

V informační společnosti jsou informace často i **zdrojem mocenským**. V tomto smyslu se často hovoří o „**kritických informačních potřebách**“, které vymezují nezbytné potřeby řídicího subjektu pro zajištění jeho úspěšné činnosti, a to podnikatelskou sférou počínaje a veřejnou správou konče. Kdo včas vlastní potřebné informační zdroje, ten si tím často zároveň vytváří výhodu přístupu i k informacím dalším. Přičemž platí, že nestačí informační zdroje vlastnit, ale je třeba **umět v nich obsažená data přetransformovat na potřebné informace a ty dále využívat**, zejména ke změně organizace, vztahů a v neposlední řadě i cílů jednotlivých řízených subjektů.

Významná role informací pro rozvoj společnosti je chápána ve všech vyspělých zemích světa. Nejinak je tomu i v zemích Evropského společenství, kde se rozpracovávaly různé programy a projekty (INFO2000, GI2000, IST apod.), z nichž některé nebyly nikdy realizovány, jiné se realizují a další se teprve připravují (např. projekt GINIE). Zvláštní pozornost je v nich věnována i problematice geoinformací a geoinformačních technologií, které mohou velice výrazně napomoci rozvoji informační společnosti.

Tento text je věnován problematice geografických informačních systémů, definicí pojmu počínaje a obecnou strukturou aplikací a oblastmi možného využití konče. Text byl zpracován pro potřeby studentů studujících v rámci programu celoživotního vzdělávání „Geoinformatika a geoinformační technologie“.

2. Geografický informační systém

2.1 Co je to GIS

Pojem **geografický informační systém** (zkr. GIS; angl. Geographical Information System, případně v USA běžné synonymum Geographic Information System) je běžně používán pro označení počítačových systémů orientovaných na zpracovávání geografických dat, prezentovaných především v podobě různých map.

Klasické analogové (papírové) mapy v principu plní současně dvě funkce:

- slouží pro „ukládání“ geografických dat
- slouží k prezentaci geografických dat.

S těmito dvěma funkcemi souvisí i hlavní nevýhody papírových map:

- ukládací funkce:
 - ◆ obtížná aktualizace uložených dat
 - ◆ velice obtížná změna struktury těchto dat
- prezentační funkce:
 - ◆ prezentace je statická
 - ◆ prezentace dat je závislá na účelu, pro který je mapa vytvářena a velice často je výsledkem kompromisu mezi různými požadavky uživatelů
 - ◆ změna způsobu prezentace dat je velice obtížná.

Mají samozřejmě i své výhody:

- dostupnost související s pro uživatele nízkou pořizovací cenou (ve srovnání s digitálními mapami)
- na mapách je jednoznačně vyznačen účel, pro který byly vytvořeny
- na mapách jsou běžně uváděné doprovodné údaje, jako je měřítko, datum poslední aktualizace, použité kartografické zobrazení, apod.
- mapy intuitivně vedou uživatele k tomu, aby je použil předpokládaným způsobem. Například nikoho obvykle nenapadne zvětšit si mapu na kopírce z původního měřítka 1 : 10 000 do měřítka např. 1 : 1 000. A pokud přeci jen, pak mu vzhled výsledné mapy zcela jednoznačně napoví, že použil nekorektní postup.

Výhodou GISů ve srovnání s analogovými mapami je, že důsledně oddělují obě funkce map - tedy ukládání geografických dat a jejich prezentaci a přidávají ještě další možnosti, jako jsou například prostorové analýzy dat. Stejná data pak mohou být snadno aktualizována, analyzována a prezentována různými způsoby a lze tak uspokojit odlišné požadavky uživatelů při mnohem menší potřebě kompromisů. GISy proto dosáhly od svého vzniku značného rozšíření, jen za roky 1990-1995 se celosvětový trh s GISy odhadoval na 12 miliard USD, přičemž meziroční nárůst se pro stejný časový interval odhadoval na 30 % [4]. Pro Evropu se uvádí roční nárůst průmyslu geografických informací 20 % [64].

GISy mají samozřejmě i své nevýhody, které budou postupně probrány na odpovídajících místech tohoto textu.

2.2 Oblasti použití GISů

Jak napovídá velikost trhu s GISy, zmíněná v předešlém odstavci, těší se tyto systémy velkému zájmu. Jejich použití přichází v úvahu v celé řadě oblastí lidských činností (viz Tabulka 1).

Nové produkty	Nové služby a aplikace
Systémy pro podporu rozhodování o prostoru pro průmysl	Analýza v prostoru rozmístěných zařízení, investic a zákazníků v bankovníctví a obchodě
Navigace vozidel v reálném čase	Marketing a zjišťování profilu zákazníků
Nástroje pro sběr digitálních dat (GPS apod.)	Lokalizace průmyslu a infrastruktury
Nové databázové systémy navržené pro zpracování komplexních dat	Výběr a lokalizace zařízení péče o zdraví
Systémy zaznamenávající v reálném čase úrodu přímo v kombajnech	Optimalizace a řízení záchranných služeb
Systémy pro řízení hnojení půdy s ohledem na její úrodnost	Analýza rozložení kriminality
Osobní navigační systémy pro nevidomé	Monitorování intenzity dopravy a stanovování poplatků za užití komunikací na základě hustoty dopravy
Multimediální systémy pro vizuální plánování a zvyšování hodnoty konvenčních databází poskytující „vizuální GIS“ pro množství aplikací sahajících od evidence nemovitostí až po tvorbu krajiny a čištění životního prostředí	Námořní a říční navigace, optimalizace letecké dopravy
Monitorovací systémy pro signalizaci povodňových stavů a jiných živelných pohrom	Analýza nemovitostí
Programy pro optimalizaci dopravy zboží	Modelování přírodních katastrof a jejich následků v reálném čase - svahových sesuvů, erupcí, zemětřesení, záplav, lesních požárů, hurikánů.
Systémy pro získávání energie z větru, slunce a přílivu	Využívání přírodních zdrojů ohleduplné k životnímu prostředí
Balíky určené pro návrh, umístění a dizajn budov s ohledem na energetickou účinnost	Monitorování úrody, modelování, politika
Systémy pro řízení městské dopravy	Turismus - optimalizace a rozmístování zdrojů
Automatické vzorkovače znečištění v zeminách, vodě a vzduchu	Řízení rybolovu
Mobilní kancelář s připojeným laptopem, GPS přijímačem a celulárním telefonem	Modelování obnovitelných zdrojů energií
	Epidemiologické analýzy

Tabulka 1 Nové produkty a služby v oblasti geografických informací [55]

2.2.1 Maloobchod

GISy slouží pro výběr nejvhodnějších míst pro supermarkety. Do GISu jsou uložena demografická data, socioekonomická data o potenciálních zákaznících, údaje o potenciálních konkurenčních obchodech a mapa jízdních časů, z které lze stanovit velikost spádové oblasti. Na základě těchto údajů se pak provede vlastní výběr nejvhodnějších lokalit. GISy jsou také využívány pro správu supermarketů (sledování a řízení rozmístění zařízení a zboží, sledování pohybu zákazníku po supermarketu), optimalizaci rozmístění skladovacích kapacit a pro optimalizaci zásobovací sítě supermarketů.

2.2.2 Inženýrské sítě

Správci inženýrských sítí patří k největším uživatelům geografických informačních systémů. GISy slouží jednak pro správu dat o sítích, jednak pro modelování reakcí sítí na změnu poptávky, na poruchy a nečekané události apod. Používají se také pro operativní vykreslování map položených vedení, rozvoden, potrubí, ventilů atd., potřebných pro údržbu a opravy sítí. Proto se těmto systémům zpočátku říkalo AM/FM (viz odst. 2.4).

2.2.3 Životní prostředí

Jedná se o historicky první oblast užití geografických informačních systémů. GISy jsou používány pro potřeby inventarizace přírodních zdrojů, dále pro potřeby modelování přírodních procesů, jako je eroze půd, šíření znečištění nebo modelování šíření povodňové vlny v povodí řeky při náhlém přívalu dešťových srážek.

2.2.4 Státní správa a samospráva

Státní správa a samospráva je další velkou oblastí aplikací GISů. Všechny tradiční oblasti státní správy mohou tyto systémy používat pro řešení svých problémů. Běžné je využití GISů pro potřeby územního plánování, evidence nemovitostí, vyměřování některých typů daní, evidencí všeho druhu, správu majetku, správu dopravní infrastruktury, veřejné městské dopravy, při organizaci požární a záchranné služby, policie apod.

2.2.5 Péče o zdraví obyvatelstva

Pomocí GISů lze provádět důležité studie zdravotního stavu obyvatelstva, jako je vyhledávání oblastí s rizikem výskytu specifických typů nemocí, nebo sledování a případně i modelování šíření epidemií v populaci.

2.2.6 Doprava

GIS poskytuje celou řadu výhod i při řešení problémů z oblasti dopravy. Obvyklou oblastí aplikací je plánování a údržba dopravní infrastruktury, nebo optimalizace městské hromadné dopravy, případně i dálkové přepravy, plánování přepravy nadměrných a nebezpečných nákladů, apod. Ale objevují se i zcela nové aplikace, směřující např. k navigaci vozidel pomocí systémů umístěných přímo ve vozidlech (tzv. AVL systémy - z angl. Automatic Vehicle Location). Podle některých předpokladů [21] by měly investice do této třídy aplikací dosáhnout v příštích dvaceti letech až 65 miliard ECU.

2.2.7 Aplikace ve sféře financí

V této oblasti je GIS využíván obdobným způsobem jako v oblasti maloobchodu, tedy pro vyhledávání míst vhodných pro umístění nových poboček např. bank nebo pojišťoven. V oblasti pojišťovnictví je GIS využíván pro vyhledávání oblastí se zvýšeným resp. sníženým pojišťovacím rizikem (oblasti ohrožené povodněmi, zemětřesením, svahovými sesuvy, zvýšeným výskytem požárů nebo vyšší kriminalitou, případně nehodovostí). K tomu jsou potřebné komplexní databáze obsahující jednak údaje o kriminalitě, nehodovosti, geologii, vývoji počasí, hodnotách nemovitostí apod. GIS pak umožňuje provádět složité a poměrně detailní analýzy i více faktorů současně.

2.2.8 Telekomunikace

Provozovatelé telekomunikačních sítí dnes patří k nejvýznamnějším uživatelům GIS technologie. Celá řada evropských společností dnes GIS využívá pro plánování přenosových sítí. Deutsche Telekom nyní zavádí jednu z největších současných aplikací GIS ve světě. Tato aplikace zahrnuje převod dat o telekomunikačních sítích z papírové podoby do prostředí GISu. Po dokončení bude tato aplikace zahrnovat jedenáct tisíc pracovních stanic ve 113 pobočkách rozmístěných po celém Německu. Projekt nese název **Megaplan** a pro jeho realizaci bylo zvoleno programové vybavení firmy Smallworld International. Výsledná aplikace bude poskytovat aktuální a konzistentní data o existujících telekomunikačních sítích a plánovaných rozšířeních.

2.2.9 Správa zdrojů

Geografické informační systémy lze s výhodou použít i pro správu přírodních zdrojů. Těmto aplikacím se říká „informační systémy pro správu zdrojů“ (angl. Resource Management Information Systems – RMIS). Tyto systémy integrují různými metodami získané údaje o přírodních zdrojích a na základě jejich zpracování a analýzy poskytují podklady pro rozhodování správcům přírodních zdrojů. Nesnímají z těchto správců zodpovědnost za rozhodnutí, jen jim poskytují dostatečné informační zázemí.

Tyto informační systémy velice často pracují s daty získanými různými metodami dálkového průzkumu Země, leteckým průzkumem počínaje a družicovými nosiči konče.

2.2.10 Územní plánování

Do GISu je možné vložit také mapy znázorňující rozčlenění města na zóny a dále mapy znázorňující existující územní plán. To může přinést celou řadu výhod. Pokud například hledáme údaje o určité parcele, stačí zadat její číslo, případně adresu a GIS poskytne údaje o tom, do které zóny je tato parcela začleněna a jaké je do budoucna plánované její využití.

Dále tato aplikace umožňuje vyhledávat vhodné parcely pro určitou činnost, jako například vyhledat všechny parcely, které jsou větší než zadaná velikost a je na nich plánován např. lehký průmysl.

A v neposlední řadě může GIS sloužit jako velice silný podpůrný nástroj pro tvorbu územního plánu.

2.2.11 Správa daní

Tato aplikace využívá existence digitálních katastrálních map a ne ně navázaných dat o nemovitostech. Z této digitální databáze, obsahující všechna potřebná data, lze vypočítávat daňové zatížení jednotlivých majitelů nemovitostí. Rovněž aktualizace a zpřístupnění těchto informací veřejnosti je velice efektivní.

2.2.12 Záchranné služby

Dispečeri záchranných služeb jsou zodpovědní za včasnou a bezchybnou reakci na nouzové volání. Ke své práci využívají celou řadu podkladů, jako jsou papírové mapy, kartotéky, databáze, vlastní znalosti, v nichž jsou zaznamenány potřebné informace, jako jsou důležité adresy a telefonní čísla, adresy majitelů nemovitostí, registry nebezpečných látek, místa shromažďování lidí apod.

Geografický informační systém může významně pomoci při orientaci v těchto podkladech, získávání potřebných informací o místě události apod. Začít lze například tak, že po zavolání systém automaticky zobrazí dispečerovi mapu s vyznačením adresy volajícího (zjištěné na základě jeho telefonního čísla) a bezprostředního okolí tohoto místa. Zatímco dispečer přijímá hlášení a organizuje odeslání záchranné jednotky, může z mapy vyčíst další potřebné informace, například o místech s nebezpečnými látkami apod.

Dále může GIS pomoci při navádění vozidel do místa neštěstí, a to ať už jednotek vyjíždějících z garáží, tak i jednotek rozmístěných v terénu (v případě policejních vozů). Dispečer ukáže na mapě pozici jednotek, které se mají přesunout do místa zásahu a GIS zobrazí optimální trasu jejich přesunu tak, aby co nejdříve dojeli do místa určení.

GIS je možné použít i pro analýzu neštěstí. Do databází GISu nejprve vložíme údaje o lokalizaci jednotlivých událostí za zadaný časový interval (včetně informací o událostech jako takových) a pak můžeme provádět jejich analýzu. Lze tak odhalit některé trendy ve vývoji kriminality, nebo nehodovosti apod., nebo vazby na jiné fenomény, které při běžném zpracovávání hlášení nejsou zřejmé.

2.2.13 Archeologie

V oblasti archeologie může GIS pomoci ve dvou směrech:

- zdokonalení dokumentace nálezů prostřednictvím (3D) map, pozemních a leteckých snímků, apod.
- vyhledáváním lokalit s potenciálním výskytem archeologických nálezů. Např. v je popsána aplikace, kdy autoři sestavili kritéria pro vyhledávání lokalit (orientace a velikost sklonu svahů, vzdálenost od řeky, poloha vůči jiným význačným bodům, apod.) a výsledkem analýzy bylo vykreslení mapy potenciálních archeologických nálezů.

2.2.14 Vojenství

GIS je ve vojenské oblasti využíván opět pro řešení celé řady úloh. Jedná se například o použití digitálních modelů terénu v leteckých simulátorech, leteckých navigačních systémech, zbraňových systémech (například rakety s plochou dráhou letu používané americkou armádou využívají pro navádění právě digitální modely terénu), systémech velení a v systémech

určených pro plánování akcí letectva. Typickou ukázkou vojenského využití GISů byla válka v Perském zálivu:

- Velitelství mělo k dispozici digitální mapy oblasti, obsahující veškeré pro velení potřebné údaje o území
- jednotky byly vybaveny přijímači GPS, umožňujícími neustále sledovat jejich aktuální polohu v terénu; poloha každé jednotky pak byla průběžně přenášena na velitelství, takže velící důstojníci měli na svých digitálních mapách vždy k dispozici aktuální polohy jednotlivých jednotek.

Použití této techniky bylo jedním z předpokladů pro udržení ztrát spojeneckých vojsk na tak nízké úrovni.

2.3 Definice pojmu GIS

Jednoznačná a všeobecně přijatelná **definice** pojmu GIS v současné době stále ještě neexistuje. Většina definic, které byly doposud sestaveny (a jsou jich desítky), je silně poznamenána prostředím, z něhož jejich autoři pocházejí.

2.3.1 Různé úrovně chápání pojmu GIS

Jednou z příčin této situace může být i skutečnost, že různí autoři definic vnímají tento pojem na odlišných úrovních. V zásadě lze rozlišit tři úrovně chápání pojmu GIS [40]:

- GIS jako software
- GIS jako konkrétní aplikace
- GIS jako informační technologie.

2.3.1.1 GIS jako software

Na této (nejnižší) úrovni je pojem GIS stavěn naroveň programovým produktům pro budování GISů. Typickým projevem tohoto stavu (této úrovně chápání pojmu GIS) je prohlášení typu „programový produkt XYZ firmy ABC je/není GIS“ a pod. K této rovině vnímání pojmu GIS lze uvést následující:

Používání pojmu GIS v této souvislosti je nesprávné. O jakémkoliv programovém produktu lze přinejlepším prohlásit, zda je nebo není vhodný pro budování GISů. Nicméně je skutečností, že ani ten nejlepší programový produkt pro budování GISů nezaručuje, že s jeho pomocí vytvořenou aplikaci bude možné označit jako GIS. A naopak, i s pomocí programového produktu, o kterém (většinou především jeho konkurenti) prohlašují, že v žádném případě není GIS, je možné vytvořit aplikaci, která bude mít podstatné rysy GISu.

2.3.1.2 GIS jako konkrétní aplikace

Používání pojmu GIS v této rovině uvažování je zcela oprávněné, pojem GIS je zde možné poměrně snadno definovat. Stačí se podívat do odborné literatury a nalezneme hned mnoho desítek různých definic. Většina z nich je však silně ovlivněna subjektivním přístupem autorů. Z nejnámějších definic lze uvést tu, kterou svého času sestavil Peter Burrough a která zní [7]:

„(GIS je) výkonný soubor nástrojů pro sběr, ukládání, výběr na požádání, transformaci a zobrazování prostorových dat z reálného světa pro jednotlivé účely“.

Nevýhodou této definice je, že zdánlivě ztotožňuje GIS s programovým vybavením, určeným pro budování GIS, inklinuje tedy k dříve diskutované rovině chápání pojmu GIS.

Osobně považuji za nejvhodnější definovat pojem GIS na právě diskutované úrovni takto [40]:

GIS je funkční celek vytvořený integrací technických a programových prostředků, dat, pracovních postupů, obsluhy, uživatelů a organizačního kontextu, zaměřený na sběr, ukládání, správu, analýzu, syntézu a presentaci prostorových dat pro potřeby popisu, analýzy, modelování a simulace okolního světa s cílem získat nové informace potřebné pro racionální správu a využívání tohoto světa.

Tato definice se skládá ze čtyř logických částí:

- v první části se říká, z čeho se aplikace GIS skládá

„GIS je funkční celek vytvořený integrací technických a programových prostředků, dat, pracovních postupů, obsluhy, uživatelů a organizačního kontextu ...“

- v druhé části je uvedeno, co aplikace GIS dělá

„zaměřený na sběr, ukládání, správu, analýzu, syntézu a presentaci prostorových dat“

- ve třetí důvody, proč to dělá

„pro potřeby popisu, analýzy, modelování a simulace okolního světa“

- ve čtvrté za jakým účelem to dělá

„s cílem získat nové informace potřebné pro racionální správu a využívání tohoto světa.“

Takto pojatá definice má několik výhod. K těm nejpodstatnějším patří, že již sama o sobě zdůrazňuje komplexnost problematiky geografických informačních systémů.

2.3.1.3 GIS jako informační technologie

Jedná se o nejobecnější rovinu chápání pojmu GIS, v níž je také nejtěžší tento pojem jakkoliv vymezit. V podstatě by se mělo jednat o celkové prostředí, v němž vznikají aplikace GIS. Složkami tohoto prostředí by mohly být:

- nezávislá národní organizace zaměřená na problematiku GISů
- systém přípravy odborníků
- systém standardů
- národní digitální data
- soustava konferencí a seminářů, pokrývající všechny stránky a oblasti aplikací GIS
- vhodný prostředek pro diskusi problémů, předávání zkušeností, šíření informací atd. s co možná největším dopadem (např. specializovaný odborný časopis)
- pravidelný výzkum
- rozumná státní politika
- a možná některé další.

2.4 Další názvy

Na pojem geografický informační systém je možné se dívat jako na obecné označení všech počítačových systémů pro zpracování geografických dat. Vedle tohoto pojmu se však používají i další, označující jen úzce zaměřený okruh aplikací. Jedná se například o **informační systémy o území** (angl. Land Information Systems, zkr. LIS), **městské informační systémy** (angl. Urban Information Systems), resp. **informační systémy o přírodních zdrojích** (angl. Natural Resources Information Systems). Systémy používané správci sítí se běžně označují jako **AM/FM systémy** (z angl. Automated Mapping and Facility Management systems).

2.5 GIS a CAD

GIS nelze jen tak jednoduše srovnávat s CAD systémy nebo se systémy digitální kartografie. CAD systémy poskytují velice účinné grafické funkce vhodné pro návrh strojírenských nebo stavebních konstrukcí. Kartografické systémy zase poskytují jiné, také velice účinné, grafické funkce (např. práce se souřadnými systémy), umožňují vstup dat přímo z terénních záznamových jednotek a mají k dispozici účinné funkce pro vytváření, aktualizaci a kreslení různých druhů map. Pro obě skupiny systémů je typické, že jsou zaměřené především na poskytování kvalitních grafických výstupů. Takovýto přístup je pro celou řadu aplikací vyhovující, ale neřeší problémy spojené se zpracováváním prostorových dat. U zpracovávaných prvků totiž nejsou brány v úvahu jejich prostorové vztahy - tzv. topologie. U GISů je tomu přesně naopak. Jejich síla vyplývá právě ze zpracování prostorových dat, provádění prostorových analýz. Zpracovávání prostorových dat na úrovni kartografických a CAD systémů je v GISech také obsaženo, ale tvoří jen nepatrnou část těchto systémů, do hry vstupuje při pořizování dat a především při výstupu výsledků zpracování.

Z jiného úhlu pohledu lze konstatovat, že zatímco CAD systémy slouží pro návrh, projektování nových objektů reálného světa a tím pomáhají reálný svět utvářet, formuje, tak GISy naopak reálný svět zobrazují. Rovněž objem zpracovávaných dat je jiný, GISy zpracovávají řádově větší objemy dat než CADy.

2.6 Geoinformatika a geoinformační technologie

Podívejme se ještě na některé další pojmy, které se objevují v souvislosti s geografickými informačními systémy, geodaty a geoinformacemi. Nejprve proberme pojem **geoinformatika**.

O geoinformatice můžeme říct, že se jedná o samostatnou vědní disciplínu zabývající se zpracováváním geodat a geoinformací. Definovat si ji můžeme například takto (upraveno podle [68]):

Geoinformatika je „vědecký a technický interdisciplinární obor, zabývající se získáváním, ukládáním, integrací, analýzou, interpretací, distribucí, vizualizací a užíváním geodat a geoinformací pro potřeby rozhodování, plánování a správy zdrojů“.

Tuto definici připravuje do svého výkladového slovníku pro oblast geoinformatiky a geoinformačních technologií Česká asociace pro geoinformace.

Význam pojmu **geoinformační technologie** zatím nikde publikován nebyl. Pro potřeby tohoto článku si ho můžeme definovat například takto:

Geoinformační technologie jsou specifické informační technologie určené pro získávání, ukládání, integraci, analýzu, interpretaci, distribuci, užívání a vizualizaci geodat a geoinformací.

Příkladem mohou být geografické informační systémy, digitální modely terénu, dálkový průzkum Země, prostorové databáze, digitální fotogrammetrie, družicové polohové systémy, prostorové značkovací jazyky (GML, TGML), geoweb a další.

Mobilní geoinformační technologie lze definovat jako prostředky vzniklé integrací geoinformačních technologií a telematiky a určené pro získávání geodat a geoinformací a jejich zprostředkovávání mobilním uživatelům.

Vedle pojmu geoinformatika se především v zahraniční literatuře (ale v posledních letech i u nás) objevují ještě alternativní názvy **geomatika** resp. **geoinformační věda**.

Pojem **geomatika** (angl. geomatics) byl původně zaveden před mnoha lety v Kanadě [69] pro označení rychle se měnícího a expandujícího světa správy informací o území, skládajícího se z měřictví, mapování, fotogrammetrie, počítačových systémů, dálkového průzkumu Země, informačních systémů, počítačové grafiky, družicových polohových systémů, digitálních modelů terénu, prostorových databází, geowebu, značkovacích jazyků, geoobjektů atd. Tento termín byl v krátké době poměrně široce akceptován i na oficiálních úrovních (ISO, ČSNI, celé katedry na vysokých školách). Zpočátku byl sice vnímán jen jako frankofonní synonymum k pojmu geoinformatika, nicméně dnes je často vnímán i jako pojem obecnější, pojmu geoinformatika nadřazený. Takovýto hierarchický výklad přijala i Česká asociace pro geoinformace.

Pojem **geoinformační věda** (angl. geoinformation science – zkr. GIS) vznikl pravděpodobně ze snahy dát novou náplň až příliš často užívané zkratce GIS (ve významu geografický informační systém), která postupně získávala mnohem obecnější význam.

Pro potřeby tohoto textu budeme nadále považovat oba pojmy za synonymum pojmu geoinformatika.

3. Historie geografických informačních systémů

3.1 Historie GISů ve světě

Lidé od pradávna cítili potřebu zaznamenávat a prezentovat své znalosti a zkušenosti o okolním světě, ve kterém se pohybovali a žili. Nejprve člověk zvládl postupy grafického záznamu a prezentace dat (např. v podobě nástěnných kreseb), později si osvojil i postupy textové. Oba způsoby se dlouho rozvíjely paralelně. Grafický směr vyústil mimo jiné i do vzniku kartografie (vznik prvních kreslených map se datuje do 13. století před naším letopočtem, kdy byly v Egyptě nakresleny na pergamenu mapy znázorňující polohu zlatých dolů), textový směr vyústil mimo jiné do vzniku různých seznamů, kartoték, registrů, apod. Oba směry se vyvíjely dlouhou dobu relativně nezávisle. Jako první případ jejich užšího propojení se uvádí vznik katastru nemovitostí v minulém století, který se skládal jak z mapové části - katastrálních map, tak i z textové části - písemného operátu. Vazba mezi oběma složkami byla přesně definovaná, takže bylo poměrně snadné například vyhledat na mapě konkrétní parcelu a pomocí z mapy získaných informací vyhledat příslušnou složku písemného operátu, vztahující se k dané parcele. Někdy se tento katastr označuje trochu nadneseně jako první reálný geografický informační systém.

Ve druhé polovině dvacátého století promluvily do vývoje jak grafického, tak i textového směru velice výrazně počítače. Vznikla celá řada programů, které umožňují graficky zaznamenávat, zpracovávat a prezentovat data, jako jsou např. systémy CAD, ale i celá řada programů pro zpracování textových údajů, jako jsou například databázové systémy.

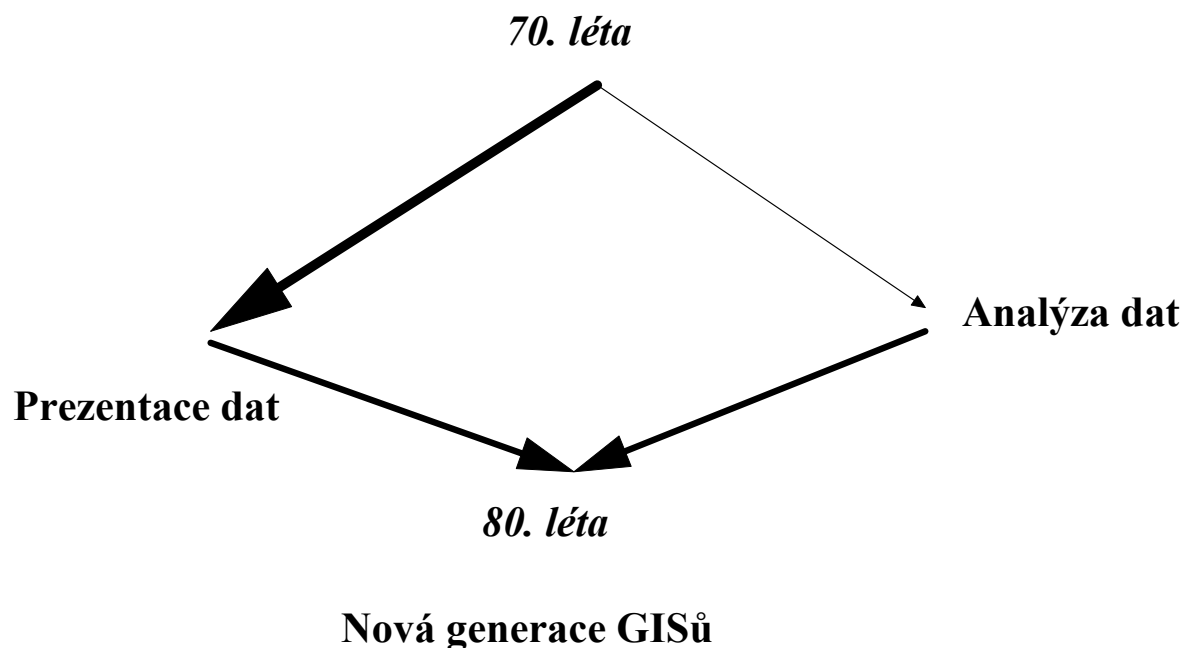
Vývoj geografických informačních systémů v dnešním pojetí začal prakticky na počátku 60. let, kdy se formovaly první skupinky nadšenců z různých vědních oborů, snažících se využít výpočetní techniku k integraci dat z rozličných zdrojů, k jejich společné analýze a k prezentaci výsledků v takové podobě, aby je bylo možné použít jako podklad k rozhodování.

Za první skutečně funkční geografický informační systém je považován The Canadian Geographic Information System (CGIS), implementovaný v roce 1966 a uvedený do plného provozu v roce 1971 [53], [28]. Dodnes se jedná o jednu z největších aplikací geografických informačních systémů, žádná jiná zatím nepokryla obdobně rozsáhlou oblast na tak detailní úrovni. (CGIS dnes zahrnuje asi 10 000 digitálních map zachycujících rozložení více než stovky různých údajů.) A pokud budeme trvat na tom, že GIS musí umožňovat provádění prostorových analýz dat, pak tato aplikace představovala na dlouhou dobu i jediný plnohodnotný geografický informační systém.

V následujícím období dochází k rozvoji především počítačových mapovacích systémů (angl. Computer Mapping System, CMS, později Computer Aided Cartography, CAC), které jsou určeny především k ukládání a manipulaci s prostorovými daty s cílem generovat jejich analogovou, grafickou reprezentaci v podobě map, dosahujících co nejvyšší kartografické přesnosti a vizuální kvality. Hlavní nevýhodou těchto systémů je, že ač shromažďují velké objemy prostorových dat, nejsou schopné s nimi provádět jakékoliv hlubší analýzy. Poněkud v ústraní v tomto období stojí druhý směr vývoje, který klade důraz především na prostorovou analýzu, a to i za cenu nižší kvality grafických výstupů (Obr. 3-1).

Teprve na počátku 80. let se objevují nové programové systémy, určené pro zpracovávání geografických dat, včetně jejich prostorových analýz a umožňující široké uplatnění geografických informačních systémů. K nejznámějším patří ARC/INFO firmy

ESRI. Nová generace GISů těží jednak z pokroku v oblasti výpočetní techniky, jednak ze vzrůstu dostupnosti prostorových dat v digitální podobě a také z výsledků vývoje v oblasti prostorové analýzy dat.



Obr. 3-1 Hlavní směry vývoje systémů pro zpracování geografických dat

Do dneška byla vyvinuta široká škála programových produktů pro budování těchto systémů (jen v [65] je jich uvedeno 112 a v [35] je jejich počet odhadován až na 300). Geografické informační systémy jsou budovány jak na úrovni místní, tak i regionální, národní, a v poslední době i nadnárodní.

3.2 Současný stav

Dnešní GISy mají daleko k dokonalosti. Jsou sice schopné zpracovávat prostorová data, ale na úrovni, která se zatím příliš nevzdálila úrovni ručního zpracování, a pokud přeci jen, pak pouze v oblasti ekonomie a rychlosti zpracování. Umožňují sice přístup k datům, ale nedávají k dispozici vhodné nástroje pro získání všech informací v datech obsažených. Uživatel musí GISu přesně zadat, co potřebuje. A to je čím dál obtížnější. Stále větší část reálného světa, ve kterém žijeme, je reprezentována prostřednictvím dat v masivních, dnes již často multimediálních databázích, které jsou navíc velice bohaté na "šumy". V takové situaci je nerealistické očekávat, že uživatel bude vědět přesně CO má hledat, KDE to má hledat a KDY to má hledat. Jediným řešením této situace je vyvinout vhodné technologie, které asi nejnvýstižněji charakterizuje úvodní motto této práce.

Vytvoření takovýchto technologií je úkolem blízké budoucnosti. Jeho splnění se neobejde bez využití nejnovějších poznatků z oblasti umělé inteligence, paralelního zpracování, superrychlých počítačů a neuronových sítí.

3.3 Vývoj GISů u nás

Počátek vývoje GISů u nás se datuje zhruba od počátku sedmdesátých let, kdy byly zahájeny práce na vývoji **informačních systémů o území (ISÚ)** [58]. Jednalo se v první řadě o **Integrovaný informační systém o území - ISÚ**, vyvíjený od roku 1970 Státním ústavem pro územní plánování - TERPLANem Praha a Slovenským výzkumným a vývojovým centrem urbanizmu a architektury - CUA Bratislava (později URBION Bratislava). Výsledkem vývoje měla být nadrezortní, jednotně uspořádaná a pravidelně aktualizovaná datová báze o území, která měla sloužit orgánům státní správy, resortům a projekčním institucím urbanistické a územně plánovací povahy. Lokalizace dat byla prováděna v systému S-JTSK na úrovni topografické mapy 1 : 50 000.

V 80. letech se rozvoj ISÚ zpomalil. Ke kvalitativnímu zvratu došlo až na počátku 90. let s příchodem programového vybavení pro budování GISů. Dříve byly tyto prostředky pro nás nedostupné, neboť byly z důvodů možného vojenského využití předmětem přísného embarga. Po jeho zrušení a po získání programového vybavení ARC/INFO (americké firmy Environmental Systems Research Institute, zkr. ESRI) byly datové báze ISÚ převedeny do tohoto prostředí a další vývoj ISÚ přešel na firmu ARCDATA Praha.

Jinak existence GISů u nás nezačala zrovna nejlépe. Bez jakékoliv hlubší znalosti problému a rozumné analýzy situace bylo rozhodnuto vybavit referáty životního prostředí všech okresních a jim naruvených úřadů geografickými informačními systémy (konkrétně programovým vybavením ARC/INFO). Zodpovědní pracovníci si však neuvědomili onen "drobný detail", že totiž nekupují geografický informační systém, ale jen jeho dvě nezbytné složky - a to technické a programové vybavení. Při téměř absolutní neexistenci digitálních dat, při totálním nedostatku lidí schopných pracovat s GISy a při neexistenci vhodných organizačních opatření však lze konstatovat, že byly ne příliš efektivně vynaloženy značné finanční prostředky. Dodnes se nepodařilo situaci zcela zvládnout a část pořízeného vybavení stále ještě není využívána odpovídajícím způsobem. A tak jedinou světlou stránkou této akce je, že byly vytvořeny předpoklady pro to, aby prakticky celá oblast životního prostředí u nás pracovala s jednotným systémem. Vedlejším efektem existence tohoto vybavení byla svým způsobem i popularizace geografických informačních systémů.

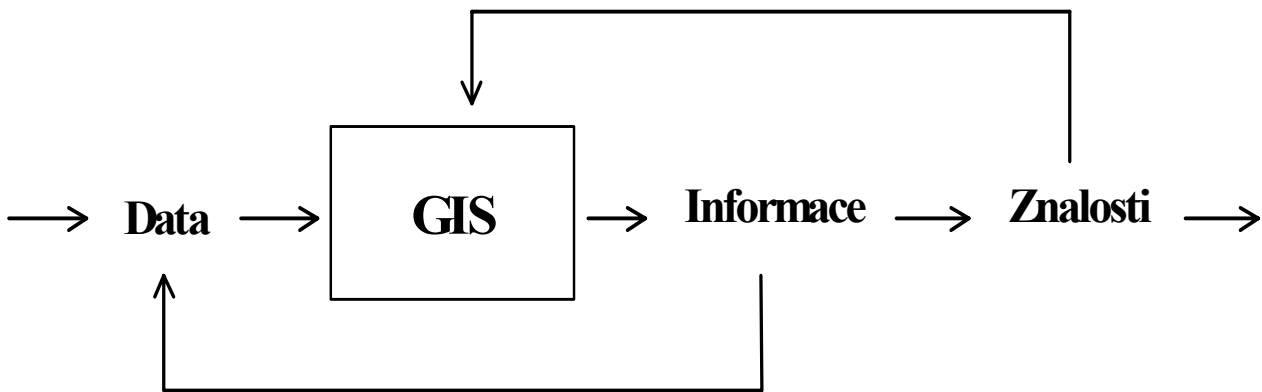
Současný vývoj je velice bouřlivý, aplikace GISů vznikají v celé řadě oblastí, jako je monitorování stavu životního prostředí a jeho ochrana, státní správa (na úrovni obcí, měst okresů a regionů), správa inženýrských sítí, správa dopravních sítí, městská hromadná doprava, lesní hospodářství, zemědělství, územní plánování, záchranné služby, policie, vojenství, marketing, rozmisťování zdrojů a pod. Co však dodnes chybí, je vhodné prostředí pro rozvoj těchto aplikací, i když v posledních letech k určitému zlepšení došlo, mimo jiné i díky aktivitám vyvíjeným Českou asociací pro geoinformace (CAGI; <http://www.cagi.cz>).

4. Data. Prostorová data. Geodata.

4.1 Data, informace, znalosti

Dříve než se začneme zabývat prostorovými daty, bude vhodné si vyjasnit rozdíl mezi pojmy data a informace, tak jak budou tyto pojmy chápány pro potřeby této práce. Hned na úvod je třeba zdůraznit, že hranice mezi těmito pojmy není jednoznačně daná. To, co je jednou považováno za data, může být příště vydáváno za informace a naopak.

Obecně to, co vkládáme do databází GISu a co pomocí GISu zpracováváme, bude dále označováno pojmem **data**. Výsledky zpracování těchto dat GISem budeme označovat pojmem **informace**. Přitom je nutné si uvědomit, že to, co jednou získáme jako nové **informace**, může být ihned použito jako vstupní **data** pro další analýzy (Obr. 4-1).



Obr. 4-1 Data, informace, znalosti

Případně je vztah mezi daty a informace definovat i tak, jak je uvedeno v ČSN 36 9001 [10]:

„Údaj (data) je obraz vlastností objektu, vhodně formalizovaný pro přenos, interpretaci nebo zpracování prostřednictvím lidí nebo automatů... Informace je význam, který člověk přisuzuje údajům (datům).“

Význam je datům přiřazován na základě **znalostí**, avšak na základě získaných informací zpřesňujeme své **znalosti**, resp. získáváme nové. Vztah znalostí a informací je proto dvojaký.

Lze uvést jednoduchý příklad:

*V databázi máme uložena **data** o průměrných ročních teplotách pro různá místa na povrchu zemském, dále **data** o rozložení typické flóry a fauny a další údaje. Vhodným zpracováním těchto **dat** lze vytvořit mapy, na kterých je znázorněno rozložení průměrných ročních teplot na Zemi a dále rozložení typické flóry a fauny. Získali jsme **informace** o rozložení těchto faktorů na zemském povrchu. Jejich společnou interpretací (využitím stávajících znalostí o studiu vzájemné závislosti veličin) můžeme zjistit, že mezi rozložením průměrné roční teploty a typické flóry a fauny existuje závislost. Získali jsme tak novou **znalost**: na základě hodnoty průměrné roční teploty v daném místě můžeme usoudit na výskyt typické flóry a fauny.*

V souvislosti s daty se dnes hojně používá i pojem **metadata**. Definice tohoto pojmu je relativně jednoduchá [67]:

Metadata jsou data, popisující obsah, reprezentaci, rozsah (prostorový i časový), prostorový referenční systém, kvalitu a administrativní, případně i obchodní aspekty využití digitálních dat.

Jsou to tedy údaje, které potřebuji k tomu, aby byla popisovaná data použita odpovídajícím způsobem, tj. předešlo se jejich chybnému užití (angl. misuse).

Stejně jako se dneska hojně diskutuje pojem metadata, je jen otázkou času, kdy se začne diskutovat i o pojmech (ale samozřejmě nejen o pojmech) **metainformace** a **metaznalosti**. Tak jako metadata upřesňují možné použití data a tím i okruh a kvalitu informací, které mohou být z dat získány, tak metainformace budou blíže popisovat vlastní informace a umožní uživateli usoudit na možné znalosti o modelovaném prostředí, které může využitím těchto informací získat.

4.2 Prostorová data

Jak již bylo zmíněno v definici GISu, geografické informační systémy pracují se zvláštním typem dat, a to daty prostorovými. Definic pojmu **prostorová data** existuje celá řada, např. v [33] je uvedena následující:

Prostorová data jsou jakákoliv data, která obsahují formální polohovou referenci, např. odkaz na buňku gridu. Jedná se např. o data DPZ nebo mapy.

V dalším textu budeme pracovat s následující definicí:

Prostorová data (angl. spatial data) jsou data, která se vztahují k určitým místům v prostoru, a pro která jsou na potřebné úrovni rozlišení známé lokalizace těchto míst.

Např. pro geografická data, jako jeden z druhů prostorových dat, je známá geografická poloha místa na zemském povrchu nebo v jeho blízkém okolí, ke kterému se data vztahují a která je daná např. zeměpisnými souřadnicemi.

Ostatní data, nespádající do této skupiny, tedy data, pro která není definovaná, nebo alespoň není **na potřebné úrovni rozlišení** známá, lokalizace v prostoru, označujeme jako **neprostorová data**.

Rozdíl mezi těmito dvěma pojmy lze vysvětlit na jednoduchém příkladě:

Máme k dispozici databázi všech občanů České republiky, v níž je mimo jiné uvedeno datum narození každého občana, ale není zde uvedeno místo trvalého pobytu. Z takovéto databáze si můžeme například vypočítat průměrný věk mužů a žen žijících v Česku a tyto údaje použít při sestavování tematické mapy Evropy, kde budou u každého státu znázorněny tyto údaje. Z tohoto pohledu lze konstatovat, že na této úrovni rozlišení lokalizace dat (státy Evropy) pracujeme s prostorovými daty.

Pokud ale budeme chtít vykreslit mapu rozložení těchto dvou veličin na úrovni okresů Česka, pak je tato databáze nepoužitelná, data v ní jsou z tohoto pohledu neprostorová, protože jim chybí prostorová lokalizace odpovídající požadované úrovni rozlišení (u každého občana chybí údaj o okrese, v kterém má trvalé bydliště).

Z tohoto jednoduchého příkladu je patrné, že hranice mezi prostorovými a neprostorovými daty není jednoznačná, je závislá nejen na přítomnosti údajů o prostorové lokalizaci, ale i na jejich úrovni rozlišení a požadavcích konkrétní aplikace. Ale je také zřejmé, že pokud data neobsahují **žádný** (buť i nepřímý) údaj o lokalizaci a lokalizace nevyplývá ani z kontextu (jako tomu bylo v předešlém příkladě, kde databáze sice neobsahovala žádné údaje o místě pobytu občanů, ale věděli jsme o ní, že se vztahuje k občanům Česka), pak takováto data jsou **vždy neprostorová**.

Údaj, který zajišťuje vazbu dat na konkrétní místo v prostoru se nazývá **georeference** (v širším slova smyslu; angl. georeference). V ideálním případě touto georeferencí jsou přímo souřadnice na mapě, ale většinou se jedná o údaj, který zprostředkovává prostorovou

lokalizaci nepřímo, jako je například adresa, číslo parcely, název státu, okresu, města, městské části apod.

Jako synonymum pro prostorová data se často používá pojem **geodata** (angl. georeferenced data). Přesto, že tyto pojmy ve skutečnosti nemají zcela stejný význam (u geodat je prostor, v němž může být definována jejich poloha, redukován jen na zemské těleso a přilehlé okolí), budou i v této práci používány jako vzájemně zaměnitelné.

4.3 Geografická data

Geografická data jsou definována různými způsoby. V [33] je uvedena následující definice:

Geografická data jsou data, která mohou být vztažena k místům (definovaným v rámci termínů bod, plocha, objem) na Zemi, především data o přírodních jevech, kulturních a lidských zdrojích.

V [61] je uvedena definice poněkud odlišná:

Geografická data jsou data týkající se fenoménů přímo nebo nepřímo svázaných s místy vztahujícími se k povrchu Země.

Ze studie norské společnosti KVANTIF [4], ale i z dalších studií vyplývá, že 50 až 70 % dat zpracovávaných státní správou je geografické povahy. Dále z těchto průzkumů vyplývá, že hlavní uživatelé geografických dat, jako je stavitelství, veřejná správa, zemědělství, lesnictví a další správci přírodních zdrojů, telekomunikace, doprava, rozvodné sítě, atd. vynakládají 1.5 až 2 % svých rozpočtových prostředků na geografická data. Celkově vynakládají průmyslově vyspělé země na geografická data průměrně 0.5 % hrubého národního produktu ročně a rozvojové země 0.1 %.

Geografická data mohou být rozdělena do dvou základních skupin [55]:

- **základní data**, která jsou nezbytná pro většinu aplikací GISů
- **aplikačně závislá data**, která jsou specifická pro konkrétní aplikaci.

Základní data mohou zahrnovat:

- základní geodetické sítě pro stanovování geografické polohy
- výšková data
- tematická data o místech přírodních objektů, jako jsou řeky, pobřeží a jezera a antropogenních objektů, jako jsou silnice, železnice, města ...
- administrativní hranice na národní, regionální a lokální úrovni
- „propojovací“ data, umožňující napojení tematických dat.

Aplikačně závislá data pokrývají všechny ostatní oblasti geografických dat, která mohou být použita v jednotlivých aplikacích. Jako příklad lze uvést socioekonomická data, data o přírodních zdrojích, případně i účelové verze základních dat (jako například středové linie silnic pro potřeby navigace vozidel). Jedná se většinou o tematická data.

Základní data byla dlouhou dobu pořizována a šířena v analogové formě geodetickými a kartografickými organizacemi. Dnes se postupně převádějí do digitální formy. Pomocí GIS mohou být různým způsobem šířena, užívána, modifikována a kombinována s jinými daty.

4.4 Význam geografických dat a informací

Vztahovat data (a informace) o aktivitách a zdrojích k místům v prostoru a monitorovat, případně i předpovídat vývoj v čase je pro moderní společnost nezbytné [55]. Správní orgány nejrůznějších úrovní a stupňů používají geografická data v široké škále aplikací sahající od obrany přes regionální plánování, strategické studie obnovitelných zdrojů energie, správu životního prostředí až po aktivity typu evidence nemovitostí, vyměřování některých typů daní nebo řízení dopravy.

Správci inženýrských sítí využívají geografická data pro sledování a řízení těchto sítí. Obchodníci používají geografická data spolu s ekonomickými daty pro určování optimálních zásobovacích tras, vyhledávání potenciálních trhů apod. Správci dopravní infrastruktury používají geografická data při stanovování množství a nákladů na materiály, potřebné při údržbě stávajících a budování nových silničních a železničních tahů. V sektorech, jako je zemědělství, lesnictví, hornictví a správa vodních zdrojů jsou tato data používána při odhadu výnosů a návrhu strategií řízení. V sektoru služeb geografická data využívají například poradenské firmy při návrzích na zvýšení efektivnosti obchodní činnosti, nebo poskytování služeb pro dopravu, turistiku apod. Při statistických šetřeních jsou geografická data využívána při analýzách prostorově závislých společenských jevů, jako jsou kriminalita, zdravotní stav, kvalita bydlení, věkové, profesní i jiné složení populace apod. Geografická data jsou využívána i v široké škále aplikací z oblasti životního prostředí, jako je monitorování a modelování eroze půdy, záplav, znečišťování půdy, vody a vzduchu apod.

GISy dovolují nejenom to, aby byla všechna data zaznamenaná v klasických analogových (papírových) mapách zpracovávána v digitální formě, nýbrž umožňují jejich integraci i s jinými druhy prostorových dat (jako jsou například data získaná umělými družicemi Země apod.).

Rozsah lidí a institucí zainteresovaných na sběru geografických dat narůstá exponenciálně a stejně se rozšiřuje i trh s digitálními mapami, družicovými snímky, daty ze sčítání lidu, daty o zdravotním stavu obyvatelstva, o přírodních zdrojích, dopravních a inženýrských sítích, o evidenci nemovitostí apod. Stejně tak se rozrůstá i trh s prostředky pro analýzu těchto dat.

5. Geografické prvky

Prostorová data se skládají ze všech dat, která se vztahují k prostředí, ve kterém žije člověk, a které mohou být lokalizované v prostoru, případně i čase. Základní entitou (nikoliv však nutně elementární), popisovanou prostorovými daty je **geoprvek** (angl. feature), který je možné definovat takto [44]:

Geoprvek je základní prostorová entita, která je dále nedělitelná na jednotky stejného typu a která je popisovaná prostorovými daty. Z geoprvků je složeno prostředí, v němž se pohybuje člověk.

Příkladem geoprvku může být budova, kterou již nelze rozdělit opět na budovy, ale může být rozdělena na patra, místnosti apod. Jiným příkladem může být studna, silnice, řeka, les, lom, jezero, uhelná sloj, zlom a pod. Na geoprvky se odkazujeme jedinečnými identifikátory, například adresou, číslem parcely, unikátním kódem a pod. Geoprvky mohou reprezentovat jak objekty reálného světa, tak i abstraktní jednotky, jako jsou například volební obvody, statistické jednotky apod. Ačkoliv mohou být složeny z více částí, mají jedinečnou reprezentaci.

5.1 Složky popisu geoprvku

Každý geoprvek, má-li být v GISu správně reprezentován a zpracováván, musí být popsán z mnoha hledisek. Z pohledu GISu je velice důležitý popis **polohy daného geoprvku** v prostoru a jeho **geometrických vlastností**. Dále musí být popsány **negeometrické vlastnosti geoprvku** - tzv. **atributy** (název, pórovitost, hustota, hloubka uložení ...). V neposlední řadě musí popis geoprvku zaznamenat jeho **trvání v čase** a jeho **vztahy k okolním geoprvkům**. Zapomenout nesmíme ani na popis **operací**, které lze s daným geoprvkem provádět a na specifikaci **kvality popisu**, která by měla doprovázet každý popis.

Popis geoprvku prostorovými daty je proto možné rozdělit na pět základních složek [44]:

- ◆ **geometrickou** - zaznamenává lokalizaci geoprvku v prostoru, popisuje přímo jeho **geometrické vlastnosti** a nepřímo **prostorové vztahy** s okolními objekty - tzv. **topologií** (tato složka je někdy v literatuře nepřesně označována jako „prostorová data“)
- ◆ **popisnou** (někdy též označovanou jako **tematickou**) - zaznamenává negeometrické vlastnosti geoprvku, jeho tzv. **atributy** (v některé literatuře je tato složka nepřesně označována jako „neprostorová data“)
- ◆ **časovou** - zaznamenává pozici geoprvku na časové ose, tedy dobu jeho existence při daném stavu geometrie a atributů
- ◆ **vztahovou** - popisuje jeho vztahy, do nichž geoprvek vstupuje s jinými geoprvkami
- ◆ **funkční** - popisuje operace, které lze s daným geoprvkem provádět.

Jako doplňující složka, která se nevztahuje přímo k popisovanému geoprvkovi, ale k jeho popisu jako takovému, je složka

- ◆ **kvalitativní** - popisuje kvalitu popisu geoprvku.

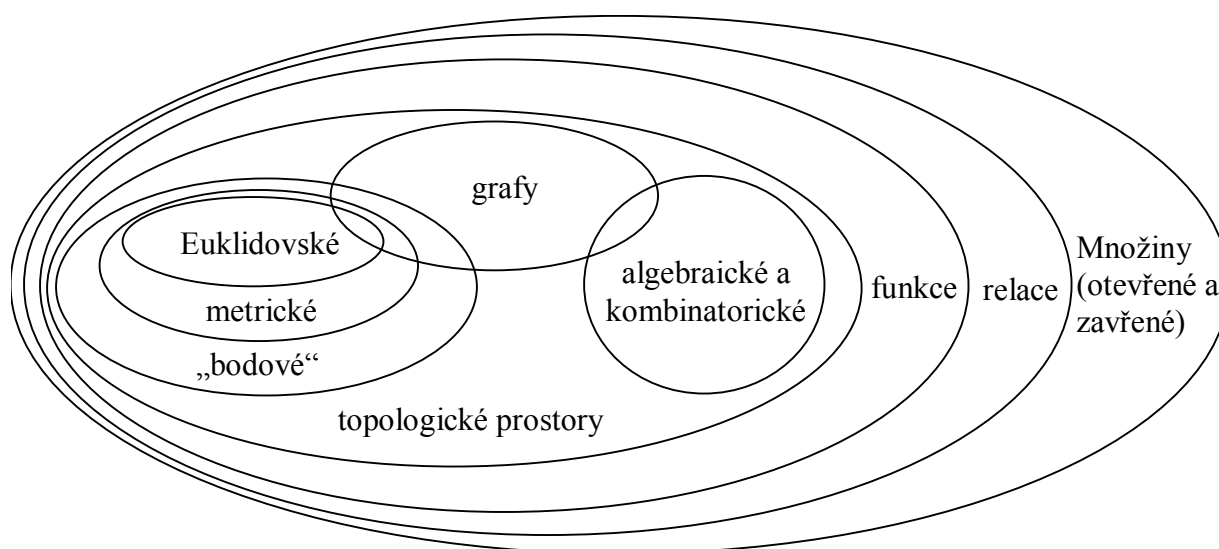
Následující kapitoly jsou věnovány podrobnějšímu rozboru jednotlivých složek.

5.2 Geometrická složka popisu geoprvků

Geometrická složka popisu geoprvků je z hlediska geografických informačních systémů velice důležitá a **nemůže** být nikdy opomenuta, musí být vždy definovaná na požadované úrovni rozlišení.

Je s ní svázáno pět okruhů problémů:

- ◆ prostor
- ◆ stanovování polohy geoprvků v prostoru
- ◆ měření vzdáleností
- ◆ vzájemné prostorové vztahy geoprvků - topologie
- ◆ prostorové vlastnosti geoprvků.

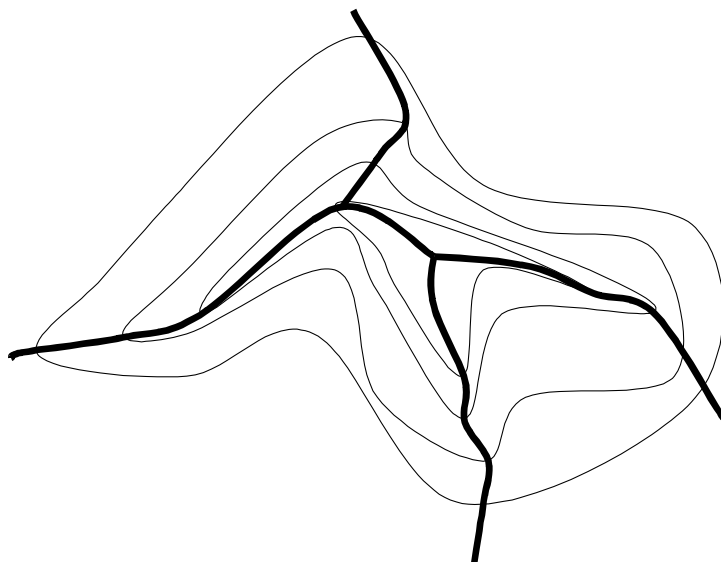


Obr. 5-1 Hierarchické členění matematických prostorů [1]

5.2.1 Prostor

Definovat pojem prostor je velice obtížné. Samo pojetí prostoru je velice široké, sahá na jedné straně od reálného fyzikálního prostoru (tedy prostoru, který známe ze svých každodenních zkušeností) až po abstraktní prostor na straně druhé. Ten je běžně definován jako množina prvků, která má některé výrazné rysy reálného fyzikálního prostoru. Pro člověka je běžné, že pracuje s různými pojetími prostoru a běžně a bez obtíží mezi nimi přechází. Může si tak volit takové pojetí prostoru, které nejlépe odpovídá řešenému úkolu. Například pokud potřebujeme stanovit plochu parcely, budeme pracovat v tzv. Euklidovském prostoru. Pokud budeme řešit úlohy typu nalezení vhodné trasy pro jízdu mezi dvěma městy po silnici, budeme pracovat s prostorem, kde nás zajímá, která města jsou propojená silnicemi, ale nemusí nám přitom záležet na znalosti přesné polohy měst a silnic.

I když tato různá pojetí prostoru se v běžném životě používají bez nároku na jejich formální popis, při přechodu do prostředí počítačově orientovaných informačních systémů je tato formalizace nezbytná [22].



Obr. 5-2 Mapa izochron

Na Obr. 5-1 je schematicky znázorněno hierarchické členění matematických prostorů, tak jak je uvedeno v práci [1]. Na nejnižší úrovni je zde položeno pojetí prostorů jako množin objektů, které jsou bez jakékoliv vnitřní struktury. Uvnitř těchto množin je možné definovat jednoduché relace typu členství.

O stupínek výše stojí podmnožina prostorů, umožňujících definovat relace mezi dvěma i více množinami. Tento vcelku jednoduchý konceptuální model prostoru je využíván při práci s relačními databázemi. Podmnožinou konceptuálního prostoru relací je prostor funkcí, který umožňuje transformovat každého člena první množiny na člena druhé množiny. Topologické prostory, stojící opět o stupínek výše, se poprvé přibližují k pojetí prostoru, tak jak je vnímán lidmi. Při pohledu na Obr. 5-1 snadno zjistíme, že se topologické prostory dělí na dvě základní skupiny: bodové a algebraické. Zatímco topologie bodů pracuje s okolími, algebraická topologie představuje základ grafů.

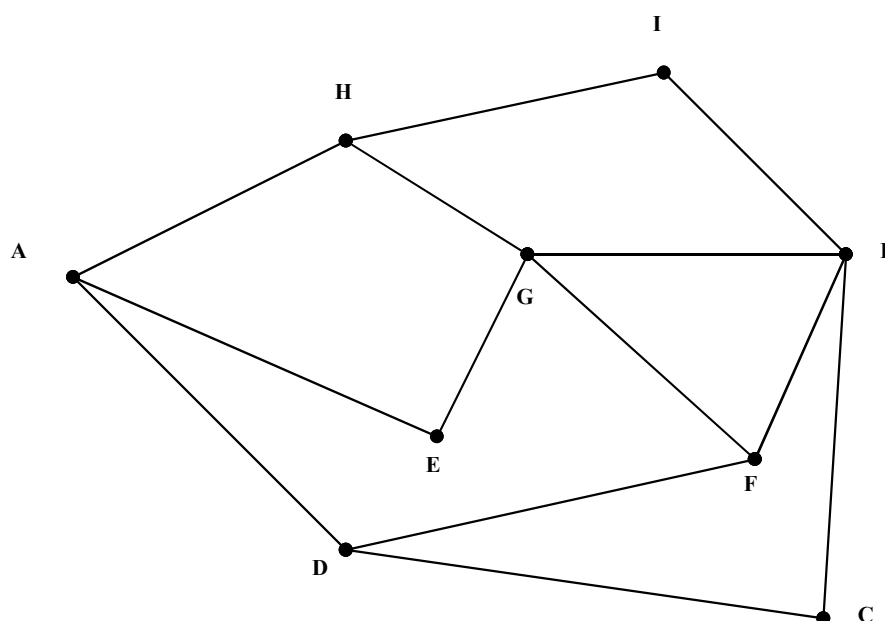
V topologickém prostoru, pracujícím s body, jsme definovali okolí. Pokud zavedeme do tohoto prostoru i vzdálenost, dostáváme se do podmnožiny tzv. metrických prostorů. Metrické prostory musí splňovat některé podmínky, týkající se právě měření vzdáleností (viz odst. 5.2.3). Euklidovský prostor, stojící na špici naší hierarchie, zavádí poslední důležitou vlastnost, a tou je směr.

Koncepce prostoru v geografických informačních systémech není jednoduchá a plně využívá oné výše naznačené šíře. GISy běžně pracují s celou řadou prostorů. Nejzákladnějším z nich je prostor, v kterém jsou definované geometrické vlastnosti geoprvků. Ten má nejbližší k reálnému fyzikálnímu prostoru. Prakticky vždy se jedná o Euklidovský prostor. Geometrické vlastnosti geoprvků jsou v něm popisované pomocí vhodného souřadnicového systému.

Většina dnešních GISů je koncipována pro práci s daty, jejichž poloha je definována v dvourozměrném prostoru, označovaném běžně zkratkou 2D. Používají tedy souřadnice x a y . Některé systémy sice umožňují zadávat ke geoprvkům i třetí souřadnici z , ale zaznamenávají ji jen jako jeden z atributů, a stejným způsobem ji i zpracovávají. Takovéto GISy se obvykle označují jako 2.5D. Jen malá část GISů je schopná pracovat s geoprvkem zadanými všemi třemi souřadnicemi. Jedná se o "pravé" třírozměrné (3D) GISy. Nicméně ani tyto geografické

informační systémy neumožňují provádění 3D analýz v plném rozsahu (proto ty uvozovky - sledování vzájemných prostorových vztahů geoprvků v třírozměrném prostoru je ještě stále jen hudbou budoucnosti).

Jedním z hlavních účelů geografických informačních systémů je provádění prostorových analýz. Tyto analýzy nemusí být nutně prováděné ve stejném prostoru, který je použit pro definování geometrických vlastností geoprvků. Například provádíme-li analýzu časové dostupnosti jednotlivých míst ve městě ze zadaného výchozího bodu, můžeme si výsledky znázornit v mapě izochron, tedy v mapě, na níž jsou vyneseny izolinie času, potřebného na cestování z výchozího bodu do daného místa (viz Obr. 5-2). Zůstali jsme tak v našem původním Euklidovském prostoru, kde se vzdálenosti měří v jednotkách délky. Výsledky je však možné vykreslit i tak, že se izochrony stanou soustřednými kružnicemi a základní mapa je odpovídajícím způsobem deformována. Přešli jsme do časového prostoru, kde se vzdálenosti již neměří jednotkami délky, ale času.



Obr. 5-3 Topologický prostor

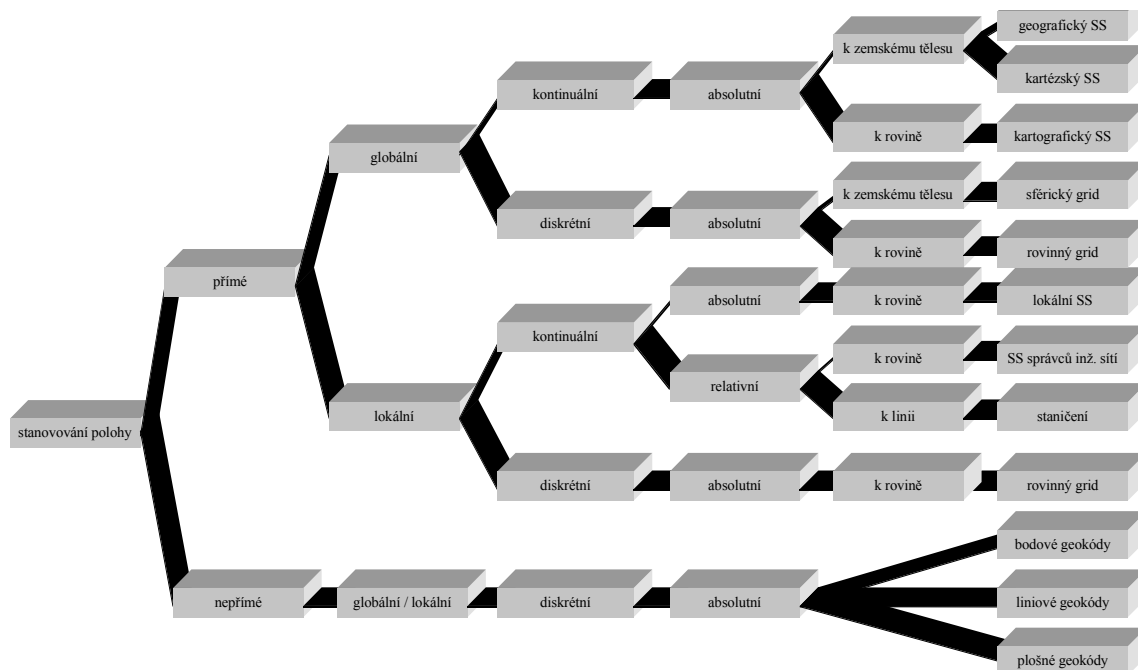
Jiným příkladem mohou být analýzy typu "Najdi v síti silnic nekratší cestu z místa A do místa B.". Pro takovéto analýzy nepotřebujeme dokonce znát jakékoliv souřadnice, stačí nám znát jen tzv. "topologii silniční sítě" (viz dále). Tím se s našimi prostorovými analýzami dostáváme do "topologického prostoru" (viz Obr. 5-3), kde, jak uvidíme dále, neexistuje žádný souřadnicový systém a neměří se zde vzdálenosti (ty se zde uchovávají v případě potřeby jen jako hodnoty přiřazené jednotlivým spojnicím).

A bylo by možné pokračovat dalšími příklady prostorových analýz a jim odpovídajících prostorů.

Výše uvedené lze shrnout následovně:

Geografické informační systémy pracují s různými prostory. Jeden z nich lze považovat za základní, a tím je prostor, v němž je definována geometrická složka popisu geoprvků. Většinou se jedná o Euklidovský prostor. Dále zde existuje celá řada dalších prostorů, v nichž jsou prováděné prostorové analýzy a v kterých jsou případně i poskytovány výsledky těchto analýz.

Existence více prostorů vede často k potřebě provádět transformace dat mezi těmito prostory. Ne všechny geografické informační systémy mají takovéto transformace zabudované v potřebném rozsahu. Příkladem může být výše uvedená mapa izochron. Ne každý GIS má k dispozici nástroje potřebné pro vykreslení zdeformované mapy s izochronami v podobě soustředných kružnic.



Obr. 5-4 Prostorové referenční systémy

5.2.2 Stanovování polohy v prostoru

Dříve než můžeme začít s geoprvky pracovat, musíme jednoznačně definovat jejich polohu v prostoru. K tomuto účelu můžeme použít celou řadu různých tzv. **prostorových referenčních systémů**, popisujících polohu geoprvků různými způsoby, s různou přesností a s různým rozlišením (viz Obr. 5-4).

Polohu je možné stanovovat v zásadě dvěma způsoby:

- ◆ přímo pomocí souřadnicových systémů (angl. georeferencing)
- ◆ nepřímo pomocí geokódů (angl. geocoding).

5.2.2.1 Přímé stanovování polohy

V případě přímého stanovování polohy pomocí souřadnicových systémů rozlišujeme:

- ◆ globální souřadnicové systémy
- ◆ lokální souřadnicové systémy.

Globální souřadnicové systémy

Globální souřadnicové systémy jsou takové, které se používají pro stanovování polohy v rámci velkých areálů (celá Země, stát nebo alespoň velká část státu).

Z hlediska plynulosti stanovování polohy se globální souřadnicové systémy dělí na:

- ◆ kontinuální souřadnicové systémy
- ◆ diskrétní souřadnicové systémy.

Globální kontinuální souřadnicové systémy

Kontinuální souřadnicové systémy jsou založeny na kontinuálním měření polohy geoprvků, bez skokových změn souřadnic a bez přerušování.

Globální kontinuální souřadnicové systémy lze podle způsobu odvozování polohy geoprvků dále rozdělit na

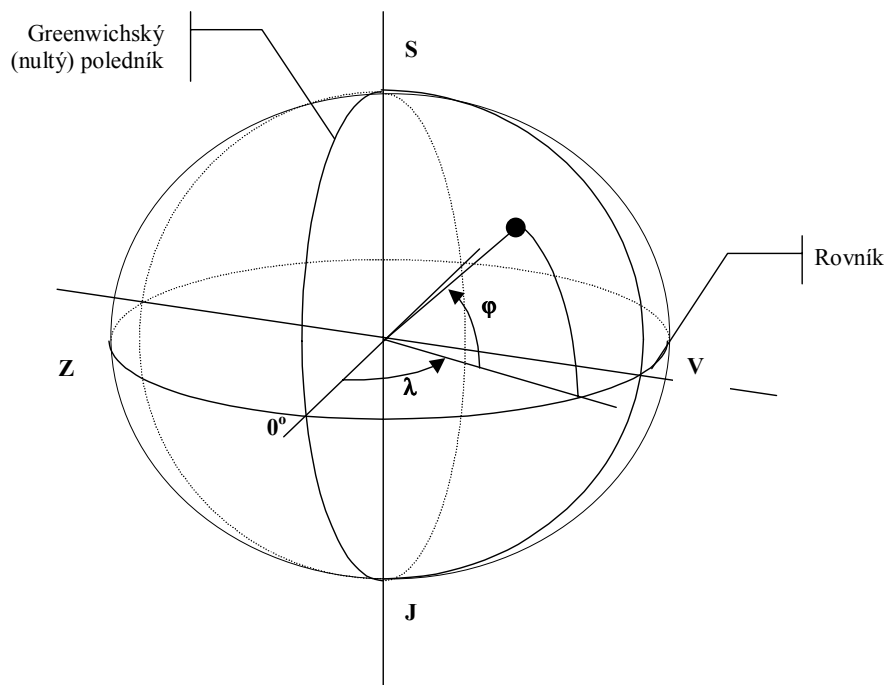
- ◆ absolutní
- ◆ relativní.

Vzhledem k tomu, že relativní stanovování polohy se v případě globálních systémů prakticky nepoužívá, budeme se dále zabývat pouze variantou absolutní, kdy je poloha dána přímo souřadnicemi vyjádřenými v globálním souřadnicovém systému.

Globální kontinuální absolutní souřadnicové systémy

Tyto souřadnicové systémy mohou být definovány ve vztahu k:

- ◆ zemskému tělesu
- ◆ k rovině do níž je povrch zemský promítnut.

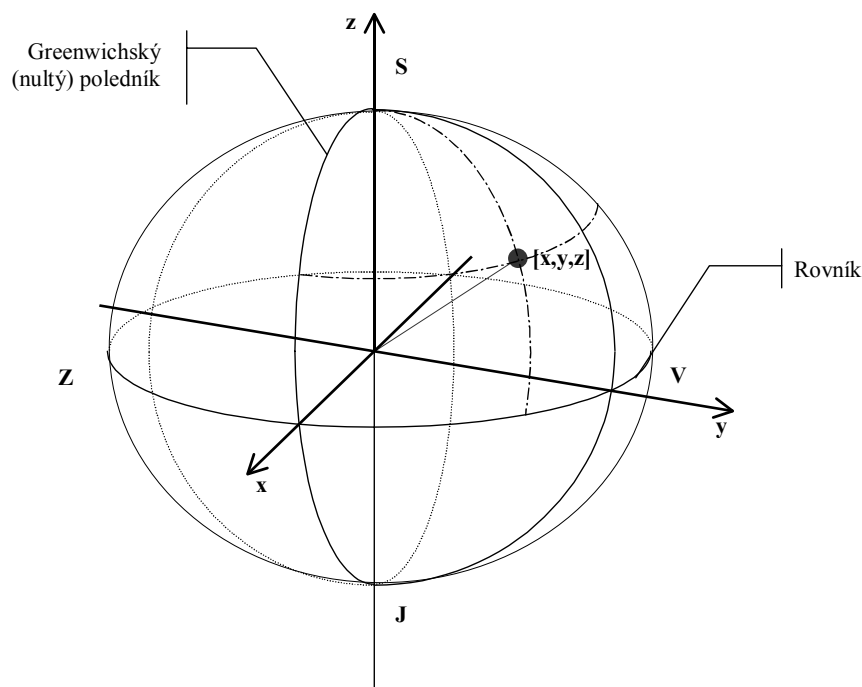


Obr. 5-5 Geografický souřadnicový systém

Souřadnicové systémy vztahované k zemskému tělesu

Obvykle se uvádějí dva základní souřadnicové systémy vztahované k zemskému tělesu [28]:

- ♦ **geografický souřadnicový systém** (který je v principu sférický), v němž je poloha bodu na zemském povrchu udávána pomocí zeměpisné šířky φ (angl. latitude) a zeměpisné délky λ (angl. longitude) (viz Obr. 5-5). Zeměpisná délka se udává ve stupních, nula stupňů odpovídá Greenwichskému (nultému) poledníku. Zeměpisná šířka se udává rovněž ve stupních, nula stupňů odpovídá rovníku, 90o odpovídá pólům. Geografické souřadnice se někdy ještě doplňují nadmořskou výškou h , udávanou v metrech.
- ♦ **kartézský souřadnicový systém** s počátkem ve středu Země, udávající polohu bodu pomocí trojice souřadnic $[x,y,z]$ (viz Obr. 5-6). Osy x a y leží v rovině rovníku, osa x prochází průsečíkem nultého poledníku a rovníku a osa z je k nim kolmá a obvykle se ztotožňuje s osou rotace Země.



Obr. 5-6 Kartézský souřadnicový systém

Podstatnou odlišností těchto dvou systémů je, že zatímco v případě geografického souřadnicového systému je poloha definována jen dvěma souřadnicemi a automaticky se předpokládá, že popisovaný bod leží na povrchu Země, tak v případě kartézského souřadnicového systému je poloha bodu popsána třemi souřadnicemi. Výhodou geografického souřadnicového systému je proto jeho jednoduchost, zatímco výhodou kartézského souřadnicového systému je, že s jeho pomocí lze popsat polohu kteréhokoliv bodu, tedy i nad, případně pod povrchem Země.

Souřadnicové systémy vztahující se k rovině do níž je povrch Země promítnut

Souřadnicových systémů patřících do této skupiny je celá řada a souvisí se znázorňováním povrchu Země na mapách.

Název elipsoidu	Délka hlavní poloosy [m]	Délka vedlejší poloosy [m]
Elipsoid Besselův (1841)	6377379.16	6356078.96
Elipsoid Clarkův (1880)	6378249.15	6356514.87
Elipsoid Helmertův	6378200.00	6356818.17
International 1909 (elipsoid Hayfordův)	6378388.00	6356911.95
Elipsoid Krassovského (1940)	6378245.00	6356863.02
Mercury 1960	6378166.00	6356794.28
New International 1967	6378157.50	6356722.20
World Geodetic System 1972 (WGS 1972)	6378135.00	6356750.52
World Geodetic System 1984 (WGS 1984)	6378137.00	6356752.31
Referenční koule pro Křovákovo zobrazení	6380703.61	6380703.61

Tabulka 5-1 Rozměry vybraných referenčních elipsoidů (délky poloos jsou zaokrouhleny na dvě desetinná místa) [23]

Chceme-li určitou velkou část zemského povrchu (kde již nelze zanedbat zakřivení) zobrazit na ploché mapě, musíme provést v zásadě následující transformace:

1. redukci měřítka tak, aby se zobrazovaná oblast vešla na list papíru požadované velikosti
2. systematickým způsobem promítnout zakřivený povrch do roviny. Tomuto promítání se říká **kartografické zobrazení** a v podstatě se jedná o systematickou transformaci geografických souřadnic (φ , λ) do odpovídajících pravoúhlých souřadnic (x a y) na mapě. Matematicky lze tuto transformaci zapsat

$$x = f_1(\varphi, \lambda)$$

$$y = f_2(\varphi, \lambda)$$

a schematicky naznačit

$$(\varphi, \lambda) \longrightarrow (x, y)$$

Tato transformace se obvykle skládá z několika kroků:

1. Transformace povrchu zemského na povrch geoidu. Povrch zemské koule je příliš členitý na to, aby s ním bylo možné efektivně pracovat. Proto se povrch Země zpravidla nahrazuje náhradní plochou, která se co nejtěsněji přimyká skutečnému průběhu terénu, ale nebere v úvahu nepodstatné detaily, jejichž vynechání výrazným způsobem neovlivní kvalitu výsledného díla.
2. Transformace povrchu geoidu na povrch rotačního dvojosého elipsoidu. Vzhledem k tomu, že geoid je zcela obecná plocha, je nezbytné nahradit ho jinou plochou, kterou lze matematicky velice snadno popsat a s kterou lze díky tomu snadno pracovat. K tomuto účelu se jako nejvhodnější ukázal rotační dvojosý elipsoid (angl. ellipsoid). V průběhu věků zavedli kartografové celou řadu elipsoidů, vhodných pro různé účely a pro zobrazení různých částí povrchu zemského (viz Tabulka 5-1 [23]).

Referenční elipsoid se používá při definici státních a mezinárodních geodetických souřadnicových systémů, při tvorbě mapových děl velkých a středních měřítek, kdy je vyžadováno minimální zkreslení.

3. Transformace povrchu elipsoidu na povrch koule. Referenční elipsoid se nahradí referenční koulí. Někdy se referenční koule používá přímo místo rotačního elipsoidu. To v případě, že máme nižší nároky na přesnost zobrazení, například v případě tvorby map malých měřítek, např. nástěnných nebo atlasových.
4. Transformace povrchu koule na plochu rozvinutelnou do roviny (plášť válce, plášť kužele, rovina).
5. Rozvinutí plochy do roviny a zavedení pravoúhlého souřadnicového systému.

Kartografických zobrazení dnes existuje široká škála (podrobněji se lze s touto problematikou obeznámit např. v [32]). Např. v naší republice se dnes běžně používá kartografické zobrazení Křovákovo (a jemu odpovídající souřadnicový systém S-JTSK), které bylo vytvořeno speciálně pro bývalou Československou republiku a které respektovalo její protáhlý tvar a polohu na zemském glóbu.

Vláda České republiky vydala nařízení č. 116/1995 Sb. [NV116], kterým stanovila závazné geodetické referenční systémy, použitelné na území našeho státu:

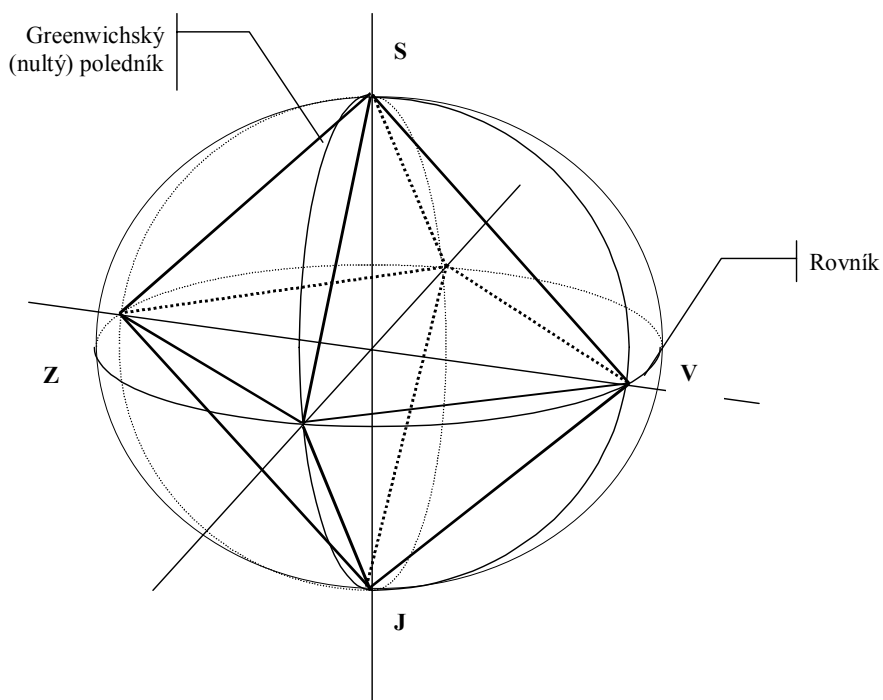
- ◆ světový geodetický referenční systém 1984 (závazná zkratka „WGS 84; angl. World Geodetic System 1984)
- ◆ evropský terestrický referenční systém (závazná zkratka „ETRS“; angl. European Terrestrial Referenc System)
- ◆ souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální (závazná zkratka „S-JTSK“)
- ◆ souřadnicový systém 1942 (závazná zkratka „S-42“)
- ◆ výškový systém baltský – po vyrovnání (závazná zkratka „Bpv“)
- ◆ tíhový systém 1995 (závazná zkratka „S-Gr95“).

V příloze tohoto nařízení jsou současně uvedeny i parametry těchto geodetických referenčních systémů.

Globální diskrétní souřadnicové systémy

Globální diskrétní souřadnicové systémy existují prakticky také jen ve verzi absolutní. Mohou být definovány opět ve vztahu k:

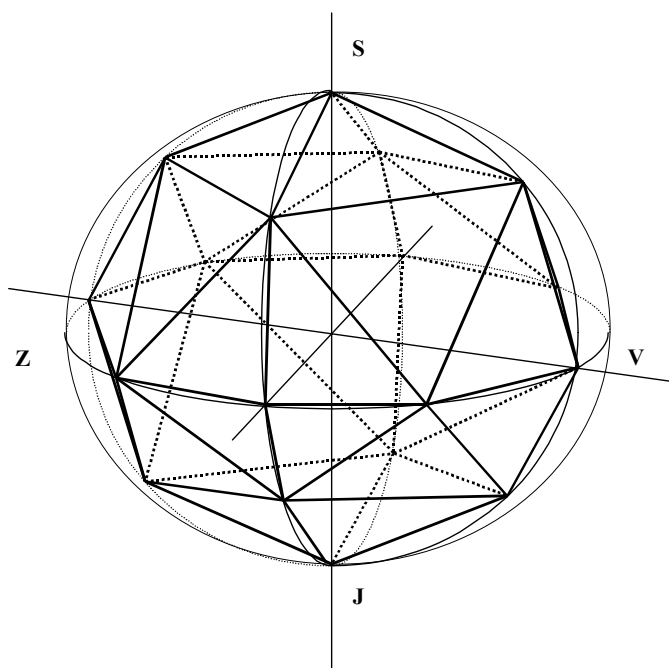
- ◆ zemskému tělesu
- ◆ k rovině do níž je povrch zemský promítnut.



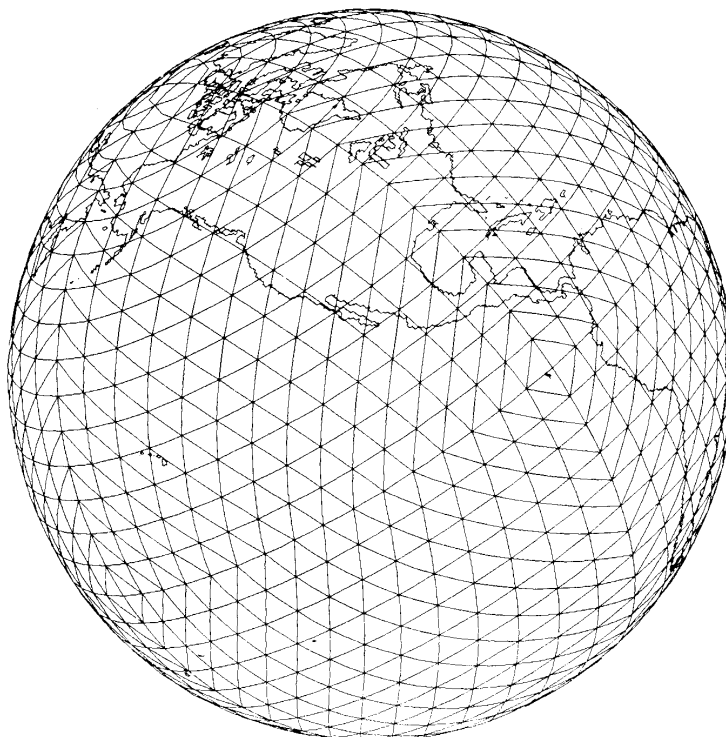
Obr. 5-7 Sférický grid – základní oktaedr

Globální diskrétní souřadnicové systémy vztahující se k zemskému tělesu

Příkladem takového souřadnicového systému může být sférický grid, který pokrývá povrch zeměkoule. Odvozuje se z oktaedru vepsaného do zeměkoule (viz Obr. 5-7), jehož trojúhelníkové strany jsou postupně rozdělovány na menší a menší trojúhelníky s tím, že nově vygenerované vrcholy jsou přimknuty k povrchu zemskému (viz Obr. 5-8 a Obr. 5-9).

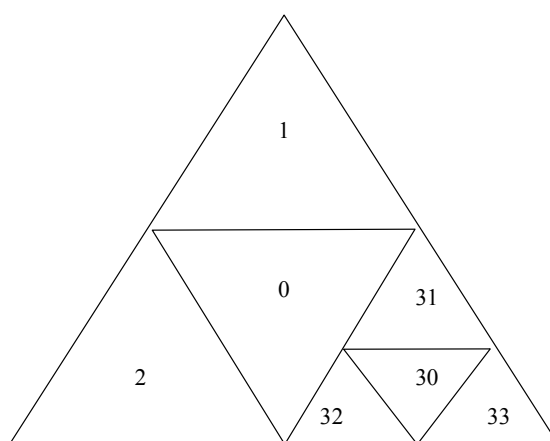


Obr. 5-8 Sférický grid – ukázka výsledku po prvním dělení



Obr. 5-9 Sférický grid – ukázka výsledku po čtvrtém dělení. [26]

Souřadnice je možné v tomto systému zavést poměrně jednoduše v podobě hierarchického číslování trojúhelníků, jak je patrné z Obr. 5-10.

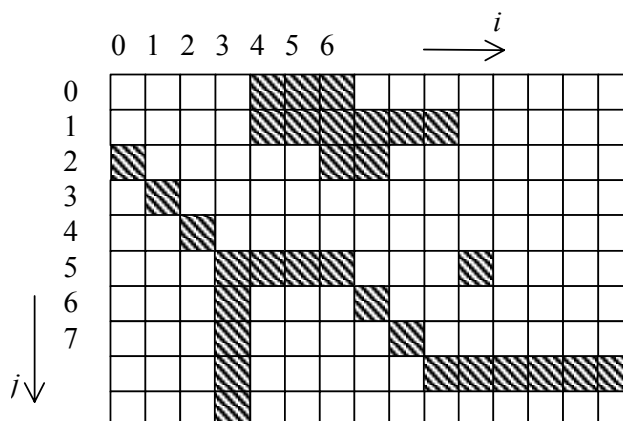


Obr. 5-10 Sférický grid – ukázka dělení a adresace

Globální diskrétní souřadnicové systémy vztahující se k rovině

Tyto souřadnicové systémy se používají prakticky výhradně při práci s rastrovými daty. Je pro ně typické, že se souřadnice mění skokem. Poloha je definována pravidelně

rozmístěnými plošnými prvky zpravidla čtvercového tvaru, odpovídajícími jednotlivým buňkám. V rámci rastru je obvykle používán lokální souřadnicový systém, jehož počátek leží zpravidla v levém horním rohu rastru, osa i jde ve směru zleva doprava a osa j shora dolů (Obr. 5-11). Rozměry buněk se berou jako jednotkové. Souřadnice se udávají ve formě dvojic sloupcových a řádkových indexů.



Obr. 5-11 Diskrétní souřadnicový systém

Při praktické práci s rastry v prostředí GISu však obvykle nepracujeme s lokálními diskretními souřadnicemi, ale většinou je transformujeme do globálního kontinuálního souřadnicového systému (viz kap. 9). Po té je možné stanovit globální souřadnice jednotlivých buněk. Přitom by mělo platit, že pro celou plochu buňky jsou souřadnice stále stejné (konstantní), odpovídající buďto globálním souřadnicím některého z rohů buňky, nebo středu buňky. Souřadnice se mění skokem při překročení hranice mezi dvěma buňkami.

Lokální souřadnicové systémy pro přímé stanovování polohy

Tyto souřadnicové systémy se opět dělí podle plynulosti změny souřadnic na:

- ◆ kontinuální souřadnicové systémy
- ◆ diskretní souřadnicové systémy.

Lokální kontinuální souřadnicové systémy

Lokální kontinuální souřadnicové systémy jsou založeny na kontinuálním měření polohy geoprvků, bez skokových změn souřadnic a bez přerušování.

Lze je podle způsobu odvozování polohy geoprvků dále rozdělit na

- ◆ absolutní
- ◆ relativní.

Absolutní souřadnicové systémy jsou založeny na stanovování polohy pomocí souřadnic udávajících vzdálenost podél souřadnicových os vzhledem k společnému počátku.

Naproti tomu relativní systémy jsou založeny na stanovování polohy geoprvků pomocí souřadnic, udávajících vzdálenost podél dvou zadaných směrů od počátku, který je ztotožněn s některým známým, pevným a snadno rozpoznatelným bodem v terénu (např. roh domu, vchod do domu, apod.).

Absolutní lokální kontinuální souřadnicové systémy

Tyto souřadnicové systémy se mohou vztahovat prakticky jen k rovině. V podstatě jsou reprezentovány tzv. lokálním souřadnicovým systémem (v užším slova smyslu), který je definován náhodně zvoleným počátkem a dvěma směry souřadnicových os a který platí jen v omezeném areálu. Použití takovýchto systémů má své výhody i nevýhody. Základní výhodou je, že můžeme měřit prakticky kdekoliv a kdykoliv, nejsme závislí na provedení tzv. přípojovacího měření, kterým se připojujeme ke globálnímu souřadnicovému systému (např. souřadnicovému systému S-JTSK.).

Nevýhodou však je, že je obvykle jen otázkou času, kdy bude nutné navázat tento lokální systém na systém globální. A pak obvykle nezbyvá, než znova zaměřit několik bodů, tentokrát v absolutních souřadnicích a pak provést transformaci lokálního systému do globálního, případně provést celé zaměření znovu.

Relativní lokální kontinuální souřadnicové systémy

Tyto souřadnicové systémy mohou být definovány ve vztahu k:

- ◆ rovině
- ◆ linii.

Relativní lokální kontinuální souřadnicové systémy vztahující se k rovině

Jedná se o relativní souřadnicové systémy udávající polohu relativně vzhledem k určitým pevně lokalizovaným objektům, jejichž poloha je známá i v absolutních souřadnicích. V podstatě se jedná o modifikaci předešlého případu s tím, že počátek lokálního souřadnicového systému je totožný s význačným bodem na povrchu terénu (např. roh domu, vchod nebo zvláštním způsobem vyznačený bod na stěně domu) a směry a orientace os jsou dány rovněž ve vztahu k význačným směrům na povrchu terénu (např. podél a kolmo ke stěně domu). Takovéto souřadnicové systémy jsou běžně používány při lokalizaci průběhu vedení a ovládacích prvků inženýrských sítí, např. vodovodů a plynovodů (známé tabulky na fasádách domů), případně i podzemních elektrických kabelů vysokého napětí. Nevýhodou těchto systémů je zpravidla neúplný popis průběhu vedení, dále malá přesnost a obtížná transformovatelnost do globálních souřadnic, vyplývající i ze skutečnosti, že prakticky pro každý lokalizovaný bod se zavádí vždy nový lokální souřadnicový systém. K nevýhodám také patří skutečnost, že různí správci různých inženýrských sítí vztahují polohu svých vedení k různým orientačním bodům a jejich mapy se pak obtížně porovnávají, lze-li porovnání vůbec provést. A k nevýhodám také patří i možnost likvidace původního orientačního bodu (např. v důsledku demolice domu) a tím i ztráta „orientace“.

Relativní lokální kontinuální souřadnicové systémy vztahující se k linii

Jedná se o souřadnicový systém používaný pro stanovování **relativní polohy** geoprvků vzhledem k výchozímu bodu („počátku“) podél zadané linie (tzv. staničení). Tento souřadnicový systém používají velice často správci dopravních sítí (silnic, železnic, vodních toků). Například podél železnic jsou rozmístěny patníky s vyznačenou vzdáleností od počátku dané železniční tratě. V případě železnic je použití takového souřadnicového systému asi nejméně problémové. Tratě se konec konců tak často nepřekládají. Daleko horší je ale situace v případě silniční sítě a vodních toků, a to zvláště v souvislosti s přechodem na používání GISů. V zásadě je možné zde rozlišit dva zdroje obtíží:

- ◆ **problematická pravidelná aktualizace souřadnic geoprvků** - při úpravách průběhu silnic a vodních toků se zpravidla neprovádí přeměření relativní polohy všech geoprvků vzhledem k počátku
- ◆ **generalizace průběhu liniových prvků v prostředí GISů** - generalizace vede obecně ke zkracování linií, takže pokud za této situace začneme zadávat polohu geoprvků (kanálů, parkovišť, uzávěrů inženýrských sítí, atd.) podél obrazu silnice v GISu dle původně zaznamenaných vzdáleností, začnou se geoprvky postupně podél linie vzdalovat směrem od počátku v porovnání se skutečnou polohou.

Oběma problémům se lze do značné míry vyhnout například tak, že se podél dané linie vybuduje systém „patníků“, které signalizují přesně definované vzdálenosti od počátku linie (např. říční kilometry) a poloha geoprvků se pak stanovuje odměřením od těchto „patníků“. Vznikne tak systém lokálních souřadnicových systémů, platných vždy v oblasti mezi dvěma „patníky“. Tak se dosáhne situace, kdy se chyby ve stanovování polohy podél linie nesčítají za celou délku linie, ale jen v rámci intervalů mezi „patníky“. Je však nezbytné splnit dvě podmínky:

- ◆ mít všechny patníky přesně zaměřené, jejich polohu v případě úprav aktualizovat
- ◆ vlastní reprezentace linie (silnice, vodního toku) v mapě musí bezpodmínečně procházet těmito „patníky“.

Lokální diskrétní souřadnicové systémy

Tyto souřadnicové systémy existují opět jen ve variantě absolutní a vztahují se k rovině. V podstatě se tyto souřadnicové systémy používají výhradně při práci s rastrovými daty. Je pro ně typické, že se souřadnice mění skokem. Poloha je definována pravidelně rozmístěnými plošnými prvky zpravidla čtvercového tvaru, odpovídajícími jednotlivým buňkám. V rámci rastru je obvykle používán lokální souřadnicový systém, jehož počátek leží zpravidla v levém horním rohu rastru, osa i jde ve směru zleva doprava a osa j shora dolů (Obr. 5-11). Rozměry buněk se berou jako jednotkové. Transformace do globálního souřadnicového systému není v tomto případě zavedena.

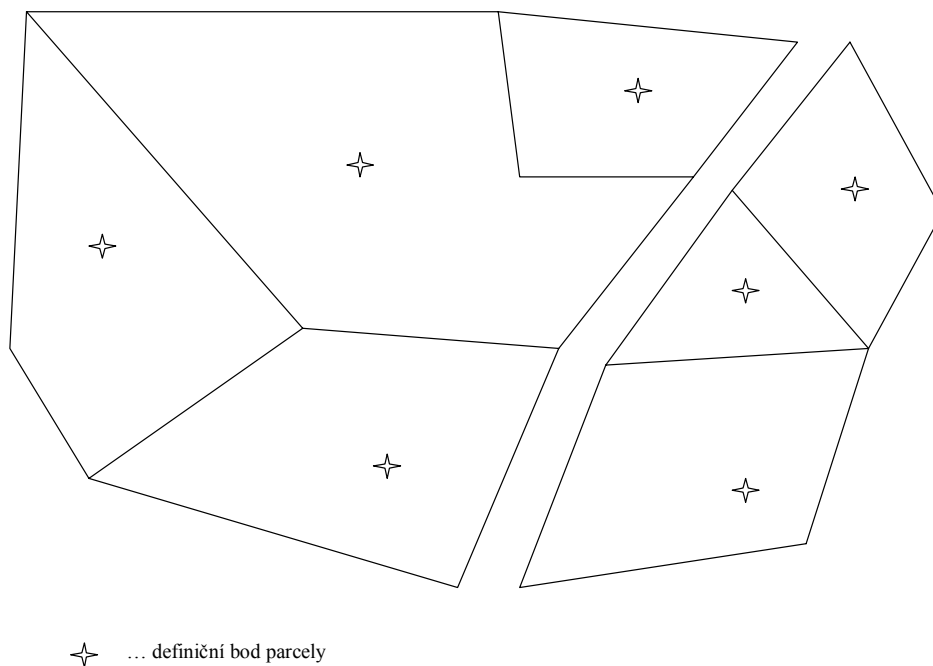
5.2.2.2 Nepřímé stanovování polohy

V případě nepřímého stanovování polohy již nemluvíme o souřadnicových systémech, ale spíše o **systémech geokódů**. U těchto systémů ztrácí pojmy globální a lokální na významu, neboť tyto systémy prakticky pracují v topologickém prostoru, kde souřadnice, vzdálenosti, velikosti apod. nemají žádný význam. Z tohoto důvodu zde nebudeme dělení na lokální a globální systémy dále uvažovat. Rovněž pojmy kontinuální či relativní zde nemají žádný význam, tyto systémy jsou již svojí povahou výlučně diskrétní a absolutní. A to samé platí o vztahu k rovině nebo linii.

Systémy geokódů jsou založeny na skokové změně polohy. Polohy geoprvků se vztahují k tzv. **geokódům**. Tyto systémy připouštějí i situaci, kdy je stanovení polohy geoprvků nejednoznačné, resp. kdy není možné polohu geoprvků stanovit vůbec. Z tohoto důvodu by bylo vhodné každý systém geokódů doplnit ještě o zvláštní geokódy, označené např. jako:

- ◆ nejednoznačný
- ◆ neznámý
- ◆ nepřřazený,

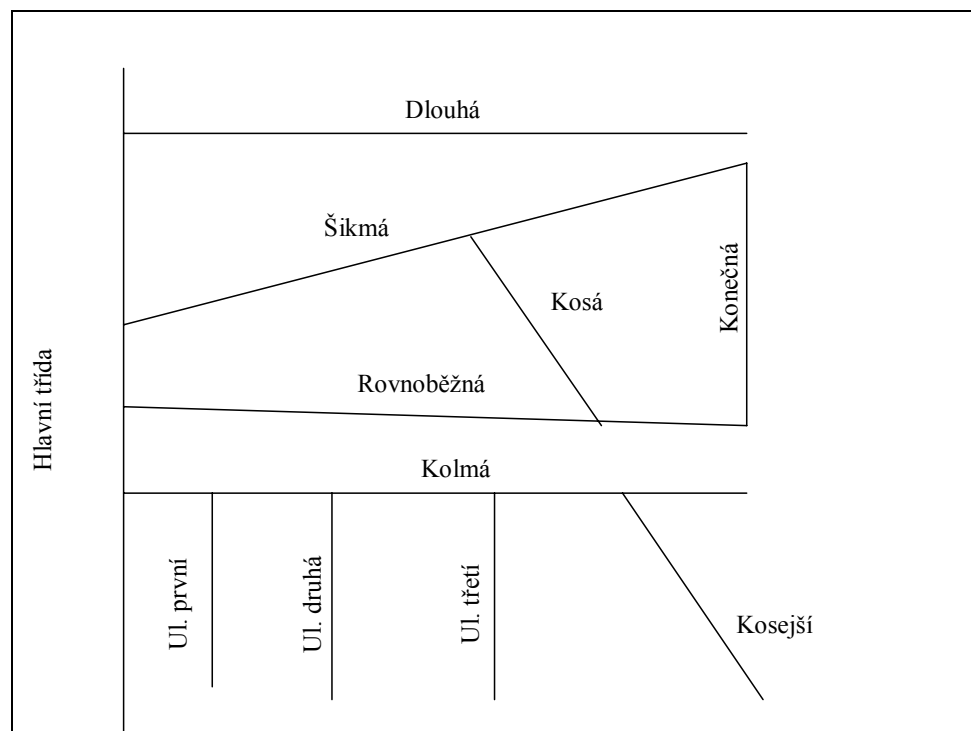
keré by umožňovaly řešit i sporné případy. Takovéto řešení by pak umožňovalo i ošetření těchto problémů při zpracovávání dat.



Obr. 5-12 Definiční body parcel použitelné pro nepřímou lokalizaci geoprvků

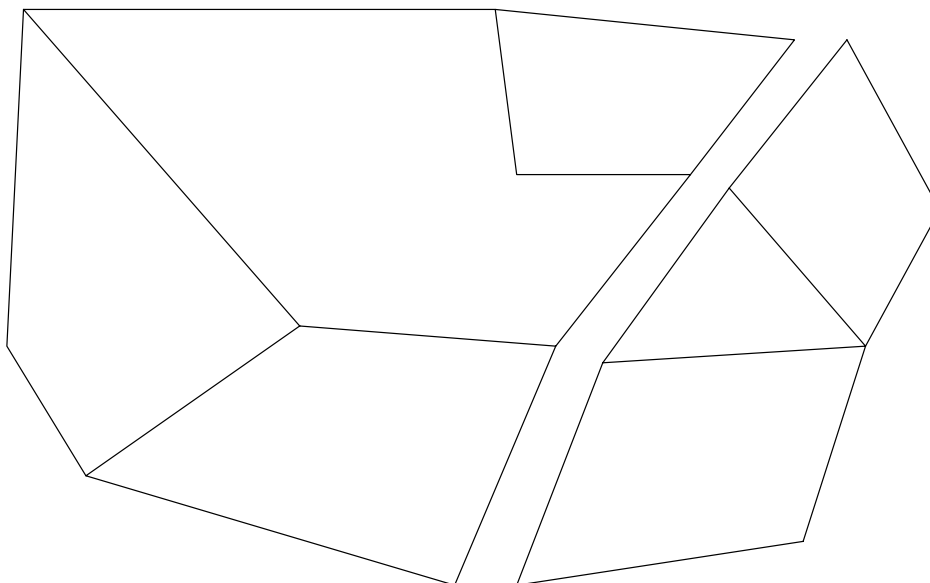
Tyto systémy je možné rozdělit na:

- ◆ **bodové** - polohy geoprvků se vztahují k předem definovaným bodům. Podle uspořádání těchto bodů lze bodové systémy pro nepřímou lokalizaci geoprvků rozdělit na:



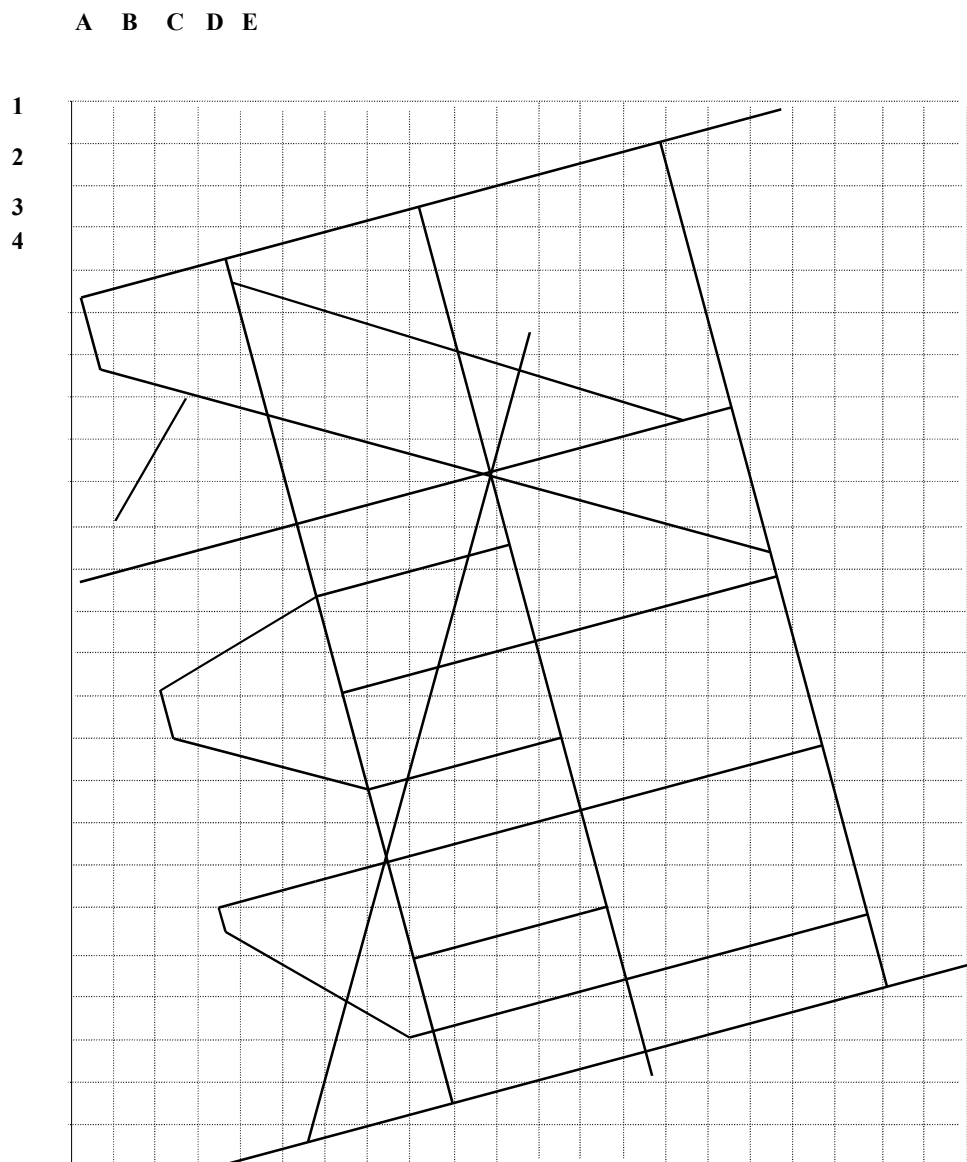
Obr. 5-13 Ulice jako liniový systém pro nepřímé stanovování polohy

- ◆ **nepravidelné** – bodové geokódy jsou v (Euklidovském) prostoru rozmístěny nepravidelně. Jako příklad lze uvést definiční body parcel, které mohou sloužit k lokalizaci celé řady geoprvků (viz Obr. 5-12), nebo adresy Územně identifikačního registru apod. Poloha geoprvcu se v mapě vyznačí bodem, případně značkou.
- ◆ **pravidelné** – bodové geokódy jsou (v Euklidovském prostoru) rozmístěny v pravidelné síti, nejčastěji čtvercové. Jedná se většinou o umělé systémy, které nemají přímý vztah ke geografické realitě a které nám usnadňují lokalizaci geoprvků v případech, kdy nelze využít přirozené sítě bodů. Přesnost lokalizace je nižší, vzdálenost bodů sítě se proto musí volit s ohledem na tolerovatelnou nepřesnost a případně i požadované rozlišení.
- ◆ **liniové** - polohy geoprvků se vztahují k předem definovaným liniím. V tomto případě lze reálně uvažovat pouze o jediné variantě uspořádání liniových geokódů, a tím je:
 - ◆ **nepravidelné** – linie jsou v (Euklidovském) prostoru uspořádány nepravidelně. Jako příklad lze uvést úseky pozemních komunikací, ulic, rozvodných sítí apod. (viz Obr. 5-13). Poloha geoprvcu se vyznačí **linií**.



Obr. 5-14 Parcely jako nepravidelný plošný systém pro nepřímé stanovování polohy

- ◆ **plošné** - polohy geoprvků se vztahují k předem definovaným plochám. Podle uspořádání a tvaru ploch lze plošné systémy lokalizace rozdělit na:
 - ◆ **nepravidelné** - plochy jsou rozmístěny nepravidelně. Jako příklad lze uvést samotné parcely, kdy celá řada geoprvků může být lokalizována k parcele, nebo doručovací okrsky jednotlivých pošt, charakterizované poštovním směrovacím číslem (Obr. 5-14). Pomocí PSC je opět možné provádět lokalizaci geoprvků. Poloha takto lokalizovaného geoprvků se v mapě vyznačí **celou plochou**.
 - ◆ **pravidelné** - plochy mají pravidelný (zpravidla čtvercový) tvar a jsou rozmístěny pravidelně. Jedná se většinou o umělé systémy, které nemají přímý vztah ke geografické realitě a které nám usnadňují lokalizaci geoprvků v případech, kdy nelze využít přirozeně ohraničených ploch, nebo je velikost těchto ploch z hlediska požadavků na přesnost a rozlišení lokalizace geoprvků nepřijatelná, případně takto obcházíme mnohem náročnější a nákladnější tvorbu bodového systému (viz Obr. 5-15, kde je místo adresní vrstvy, jejíž vytvoření by bylo obtížné, vytvořena pravidelný plošný systém prostorové lokalizace. Každé plošce je výčtem přiřazen seznam adres, které se k ní vztahují a údaje vztažené k adresám se pak vynášejí jako atributy těchto plošek). Velikost ploch se proto musí volit právě s ohledem na tolerovatelnou nepřesnost a požadované prostorové rozlišení. Možnost zavedení takového adresního systému v globálním měřítku se svého času studovalo i v rámci Evropské unie.



Obr. 5-15 Pravidelný plošný systém pro nepřímé stanovování polohy jako náhrada bodového systému

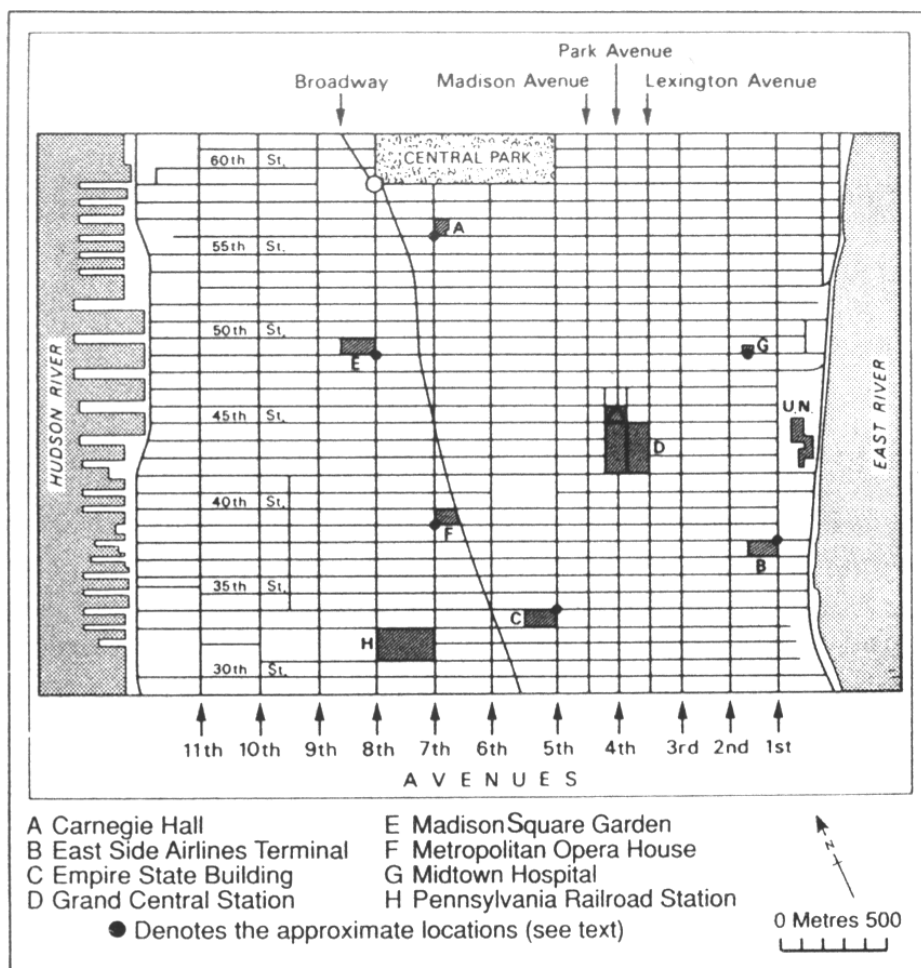
Pravidelnost rozmístění bodových, liniových a plošných geokódů se přitom hodnotí ve vztahu ke kontinuálnímu systému lokalizace geoprvků. Pokud bychom uvažovali v intencích „diskrétního prostoru“, pak by samozřejmě bylo nezbytné zavést jiné dělení, které by však mělo význam pouze teoretický.

Velice názornou ukázkou nepravidelných bodových, liniových i plošných geoprvků může být například plán městské hromadné dopravy:

- ◆ zastávky představují síť bodových geoprvků, ke kterým lze vztáhnout např. jízdní řády, seznamy projíždějících linek, počty nastupujících a vystupujících cestujících, ale i adresy bydlišť obyvatelstva
- ◆ úseky linek mezi zastávkami představují systém liniových geoprvků, ke kterým lze připojit údaje např. o počtu přepravených cestujících, o množství exhalací z autobusové dopravy, seznam linek projíždějících daným úsekem, apod.

- ♦ jednotlivé přepravní zóny pak představují plošné geoprvky, ke kterým lze opět přiřazovat různé údaje, jako je například počet cestujících přepravovaných z/do zóny v pracovní dny a ve svátky, počty obyvatel a počty pracovníků, atd.

Tento plán současně přesně vystihuje vztahy mezi bodovými, liniovými a plošnými geoprvky – je tedy použitelný i pro jejich vzájemnou transformaci. Ale o tom se podrobněji zmíníme v kap. 9.



Obr. 5-16 Mapa Manhattanu [28]

5.2.3 Měření vzdáleností

V odst. 5.2.1 jsme si při definování prostorů vymezili zvláštní skupinu prostorů, označovaných jako „metrické“, jejichž význačnou vlastností je možnost měření vzdáleností mezi libovolnými body prostoru. V různých prostorech lze přitom zavádět různé předpisy (tzv. metriky) pro měření vzdáleností. V prostředí GISů se nejčastěji objevují dvě metriky:

- ♦ Euklidovská, určená pro měření vzdáleností v prostorech s kontinuálními souřadnicovými systémy

- ♦ „Manhattanovská“, určená pro měření vzdáleností v prostorech s diskrétními souřadnicovými systémy.

Euklidovská metrika (též Euklidovská vzdálenost) je definovaná vztahem

$$d_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

Jiný způsob měření vzdáleností byl navržen pro město Manhattan. Toto město je známé svojí téměř důsledně pravoúhlou sítí ulic (Obr. 5-16). Z pohledu taxikáře je možné vzdálenosti v tomto "Manhattanovském" prostoru měřit pomocí "**Manhattanovské**" metriky definované vztahem [28]

$$d_{i,j} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$$

Tato metrika je vhodná pro měření vzdáleností v oblastech s hustou pravidelnou zástavbou (např. některé čtvrti našich měst), avšak je použitelná jen v případě, že osy souřadnicového systému jsou rovnoběžné s ulicemi. Použití takovéto speciální metriky může mít velký vliv na provádění některých typů prostorových analýz.

Jak Euklidovská, tak i „Manhattanovská“ metrika splňuje následující podmínky:

- ♦ podmínku symetrie, definovanou vztahem

$$d_{i,j} = d_{j,i}$$

- ♦ podmínku trojúhelníkové nerovnosti, definovanou vztahem

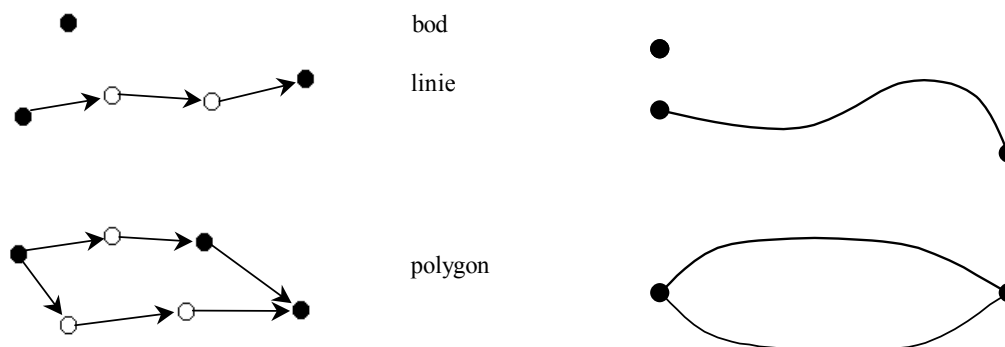
$$d_{i,k} \leq d_{i,j} + d_{j,k}$$

Ne ve všech prostorech, se kterými GISy při prostorových analýzách pracují, jsou tyto podmínky splněny. Vrátime-li se opět k našemu příkladu s analýzou časové dostupnosti z odstavce 5.2.1, pak lze snadno ukázat, že v našem "časovém" prostoru tyto podmínky splněny nejsou. Například podmínka symetrie by předpokládala, že doba jízdy do kopce je stejná jako doba jízdy z kopce. A obdobně lze dokázat i neplatnost trojúhelníkové nerovnosti. Důsledkem toho je, že z výše uvedené mapy časové dostupnosti obecně nelze odečítat jízdní časy mezi libovolnou dvojicí bodů, ale jen mezi počátkem a libovolným bodem, přičemž odečtená hodnota je platná jen pro jízdu směrem z počátku ke zvolenému bodu. Pokud by nás zajímala doba jízdy v opačném směru, museli bychom si vygenerovat novou mapu s počátkem v druhém z dvojice bodů. Tento „časový“ prostor proto nepatří do prostorů metrických.

5.2.4 Topologie

Topologie je matematická disciplína, která studuje vzájemné prostorové vztahy geometrických prvků. Je pro ni typické, že nepracuje se souřadnicemi těchto objektů. Někdy se jí také říká "geometrie bez souřadnic" (angl. rubber sheet geometry) [18]. Studuje geometrické vztahy geoprvků, které mohou být definované nezávisle na souřadnicovém systému.

V oblasti GISů se tímto pojmem označují přímo vlastní prostorové vztahy geoprvků.



Obr. 5-17 Základní topologické prvky

V každém moderním geografickém informačním systému je znalost topologie zaznamenaných geoprvků nezbytným předpokladem pro úspěšné zvládnání požadavků uživatelů. Např. má-li GIS poskytnout odpověď na otázku "Které parcely leží v okolí silnice XY v obci Z?" nebo "Jaká je rozloha lesů ležících v okruhu do 100 km od uvažovaného místa výstavby nového závodu pro výrobu celulózy?" atd., pak je znalost prostorových vztahů geoprvků víc než nezbytná.

Již jsme si uváděli, že dnešní GISy pracují většinou jen se dvěma souřadnicemi x a y . Jsou to tedy GISy dvojrozměrné a pracují také s dvojrozměrnou topologií. Základními topologickými prvky v tomto případě jsou (viz Obr. 5-17):

- ◆ **bod** (0D objekt); při studiu topologie se modelují body
- ◆ **linie** (1D objekt) - je to čára, která je většinou aproximovaná otevřenou posloupností přímkových úseků (vektorů). První a poslední bod se označují jako počáteční a koncový uzel (angl. nod), mezilehlé body jako vrcholy (angl. vertex). Jednotlivé linie se smí stýkat a protínat jen v uzlech; při studiu topologie se modelují čarami (tzv. hranami grafu) spojujícími počáteční a koncové body linií (tzv. uzly grafu)
- ◆ **polygon** (plocha - 2D objekt) - je to uzavřená posloupnost orientovaných linií, které tvoří hranici plochy. V terminologii GISů se většinou pod pojmem polygon rozumí vlastní plocha jím ohraničená; při studiu topologie se modelují uzavřenou posloupností uzlů a hran grafu.

Pokud bychom brali v úvahu případ, že GIS pracuje se třemi souřadnicemi, pak se situace značně komplikuje, protože linie již nemusí být rovinná a plocha může být také obecně třírozměrná. Navíc nám přistupuje další prvek - 3D objekt. Složitost prostorových vztahů takovýchto objektů způsobuje, že dnes ještě neexistuje komerčně dostupný GIS pracující s trojrozměrnou topologií.

Tyto vztahy jsou často studovány s pomocí teorie grafů [60], [25].

Teorie grafů je relativně mladý obor matematiky, který lze využít při formulování a řešení problémů z různých oblastí lidské činnosti, které je možné zobrazit v podobě grafů. Pod pojmem **graf** budeme rozumět soustavu bodů a jejich spojnic. Body budeme nazývat **uzly** a jejich spojnice **hranami**. Uzly znázorňujeme obvykle jako body, resp. kroužky, hrany jako přímé, lomené nebo hladké čáry. Pro teorii grafů přitom není podstatné ani rozložení bodů, ani tvar hran, význam má jen sama existence uzlů a existence, resp. neexistence hran.

Množinu všech uzlů obvykle označujeme symbolem U

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\} = \{u_i\} \text{ pro } i = 1, 2, 3, \dots, n$$

kde

u_i - i -tý uzel (viz. Obr. 5-18).

Množinu všech hran označujeme symbolem H

$$H = \{h_{i,j}\}$$

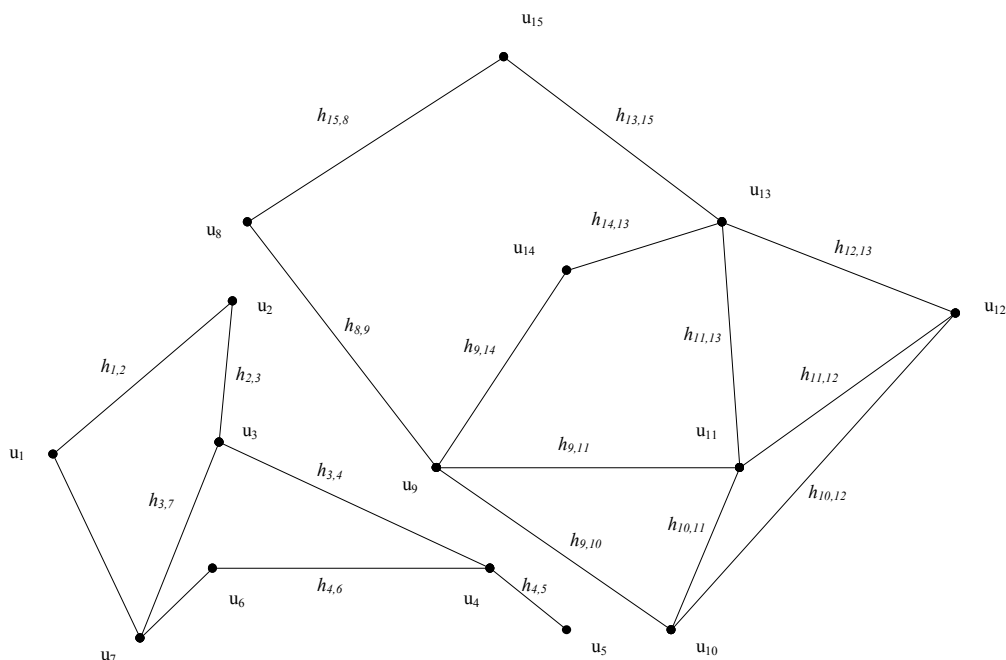
kde

$h_{i,j}$ - hrana spojující uzly u_i a u_j (viz. Obr. 5-18)

Vlastní graf značíme symbolem G . Zápis

$$G = (U, H)$$

říká, že graf G je složen z množiny uzlů U , propojených množinou hran H . Hrany grafu přitom představují libovolnou část všech možných hran, které mohou v grafu existovat.



Obr. 5-18 Příklad grafu

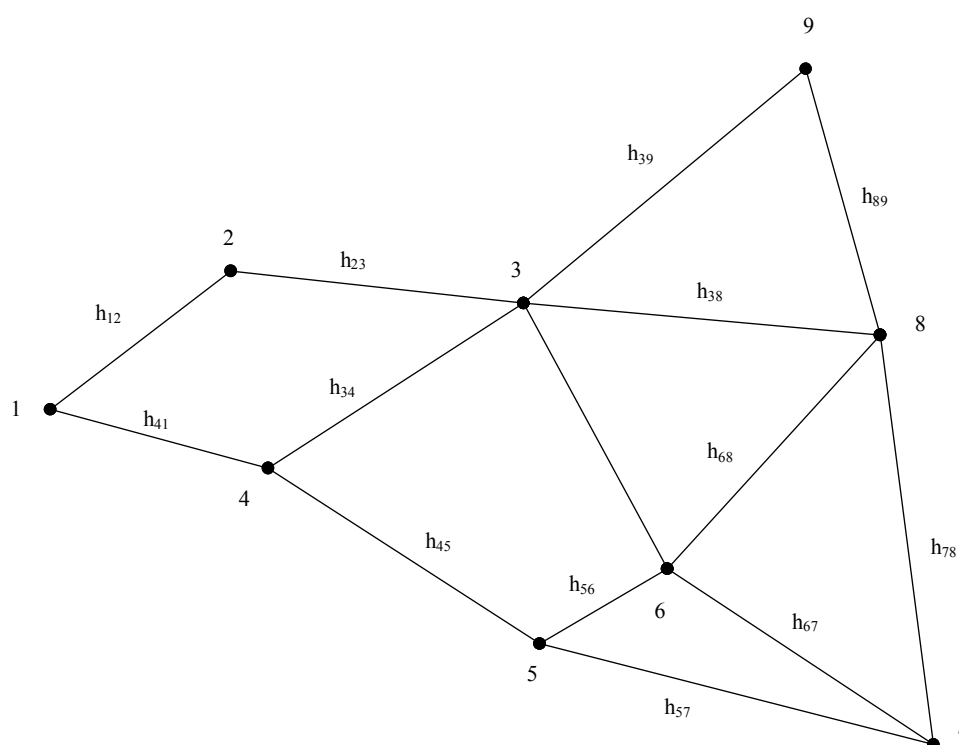
Jestliže je počet uzlů n konečný, hovoříme o **konečném grafu**. V opačném případě pak hovoříme o **grafu nekonečném**. Při řešení problémů z oblasti topologie geoprvků se budeme setkávat výhradně s konečnými grafy.

Pokud hranám přisoudíme jednoznačný směr, označujeme je jako **orientované hrany** a graf jako **orientovaný graf**. Při řešení problémů topologie budeme pracovat výhradně s orientovanými grafy. Proto v dalším výkladu budeme pod pojmem graf rozumět automaticky graf orientovaný.

Hranám grafu lze přiřadit určité hodnoty. V tom případě nazýváme takový graf **hranově ohodnoceným grafem**. Ohodnocení hrany se zpravidla označuje symbolem k_{ij} , který

znamená, že hraně vedoucí z uzlu u_i do uzlu u_j je přiřazena hodnota k . Příkladem hranově ohodnoceného grafu může být znázornění topologie silniční sítě, kdy uzly znázorňují jednotlivé křižovatky silniční sítě, hrany reprezentují úseky silnic mezi křižovatkami, orientace hran vyjadřuje směr, kterým je daný úsek silnice průjezdný a ohodnocení hran vyjadřuje například délku jednotlivých úseků, nebo jízdní čas potřebný pro průjezd daného úseku silnice v daném směru. Takovýto graf lze využít pro vyhledávání nejkratší, resp. nejrychlejší cesty vedoucí z místa A do místa B při respektování např. jednosměrných silnic, nebo rozdílnosti jízdního času ve směru „do kopce“ a „z kopce“.

Stejně jako hranám lze přiřazovat hodnoty i uzlům. V takovém případě hovoříme o **uzlově ohodnoceném grafu**. Ohodnocení uzlů označujeme symbolem k_i . Příkladem takového grafu může být zjednodušený graf silniční sítě, kdy uzly odpovídají městům a hrany silnicím mezi městy. V tom případě lze uzlům přiřadit hodnoty odpovídající jízdnímu času potřebnému pro průjezd městem.



Obr. 5-19 Ukázka souvislého grafu

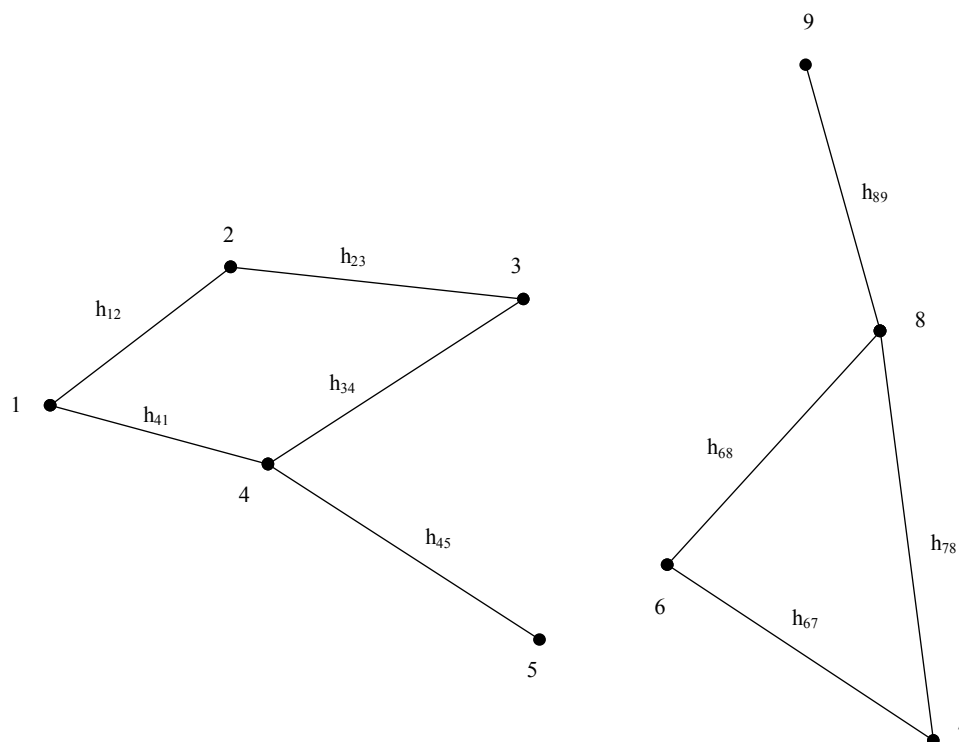
Jako **rovinný** označujeme graf, který je možné zakreslit v rovině, aniž by se kterákoliv dvojice hran křížovala. V případě studia topologie se pracuje výhradně s rovinnými grafy.

Cestou v grafu rozumíme posloupnost orientovaných hran, která splňuje podmínku, že následující hrana začíná v uzlu, v kterém skončila hrana předcházející. Příkladem může být cesta C , spojující uzly u_3 a u_8 v Obr. 5-19

$$C = (h_{34}, h_{45}, h_{57}, h_{78})$$

Cyklem nazýváme takovou cestu, která začíná a končí v témže uzlu.

Řetězem nazýváme cestu, u níž nebereme ohled na orientaci hran.



Obr. 5-20 Ukázka nesouvislého grafu

Graf, mezi jehož všemi dvojicemi uzlů existuje alespoň jeden řetěz označujeme jako **souvislý graf**. Na Obr. 5-20 je ukázka nesouvislého grafu. Například mezi uzly u_5 a u_9 neexistuje žádný řetěz.

V mnohých aplikacích GISů se pracuje se speciálním případem grafů, které se označují pojmem síť. **Síť** je graf, který splňuje následující podmínky:

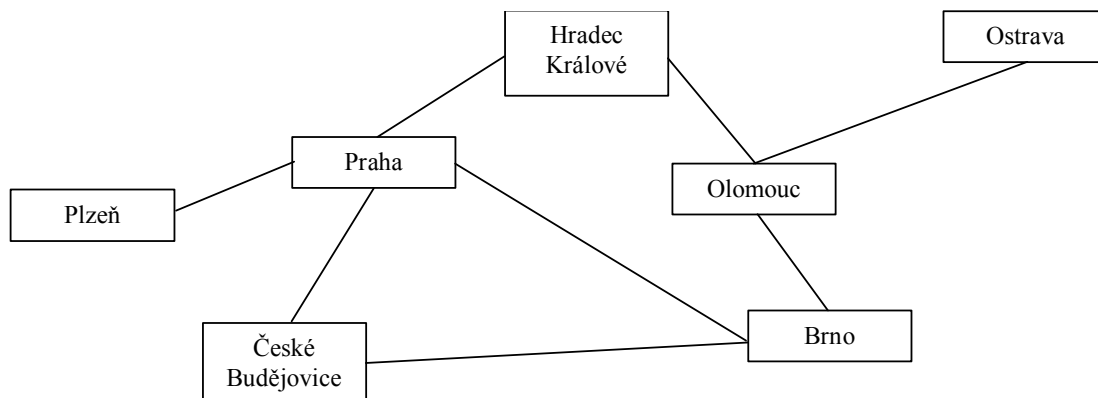
- ◆ je souvislý
- ◆ je orientovaný
- ◆ je hranově, případně uzlově ohodnocený
- ◆ s nezáporným ohodnocením
- ◆ existuje v něm dvojice uzlů, z nichž jeden, do kterého nevstupuje žádná hrana, nazýváme **vstupem do sítě**, a druhý, z něhož nevystupuje žádná hrana, nazýváme **výstupem ze sítě**.

Příkladem takové sítě může být například vodovodní síť, plynovodní síť, síť rozvodu elektrické energie a pod.

Kromě řešení problémů spojených s topologií geoprvků lze pomocí teorie grafů řešit i celou řadu dalších úloh, které mají být zpracovány pomocí GISu. Jedná se například o nalezení optimálního spojení míst (jak natáhnout vedení elektrické rozvodné sítě tak, aby byly napojeny všechny požadované lokality a celková délka vedení byla nejkratší), nalezení optimální cesty (nejkratší, nejdelší, nejrychlejší, případně podle jiného kritéria), nalezení optimálního toku sítě.

Topologii geoprvků, které jsou reprezentované liniemi (silnice, řeky, železnice ...), lze znázornit **grafem konektivity** (Obr. 5-21). Uzly grafu odpovídají uzlům jednotlivých linií

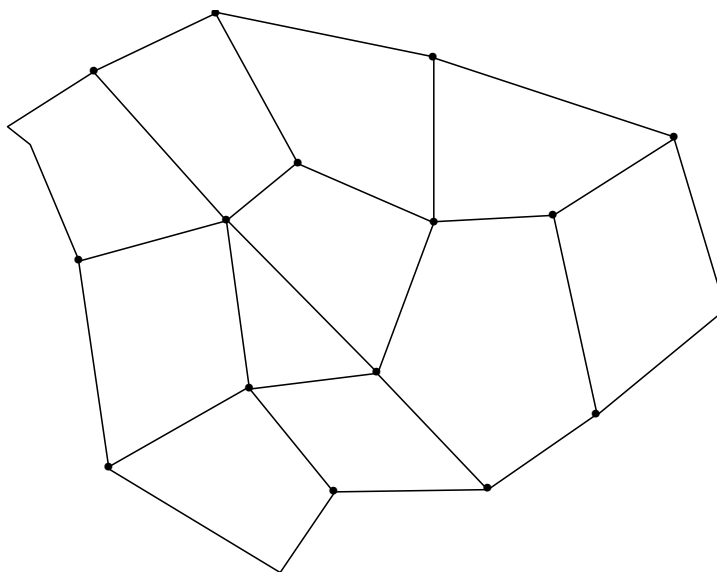
(křižovatkám, soutokům, nádražím), hrany grafu pak vlastním liniím. Pomocí takového grafu lze snadno určit trasu z místa **A** do místa **B** apod.



Obr. 5-21 Graf konektivity

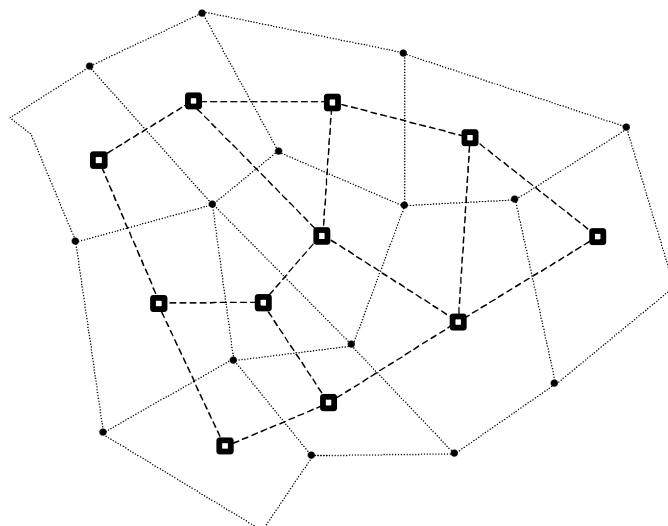
Topologie plošných prvků může být modelována **grafy přilehlosti a incidence**.

Graf incidence (Obr. 5-22) je topologicky homeomorfní s mapou liniových prvků (hranic plošných prvků). Hrany grafu reprezentují hranice mezi sousedními polygony, uzly grafu místa styku tří a více polygonů.



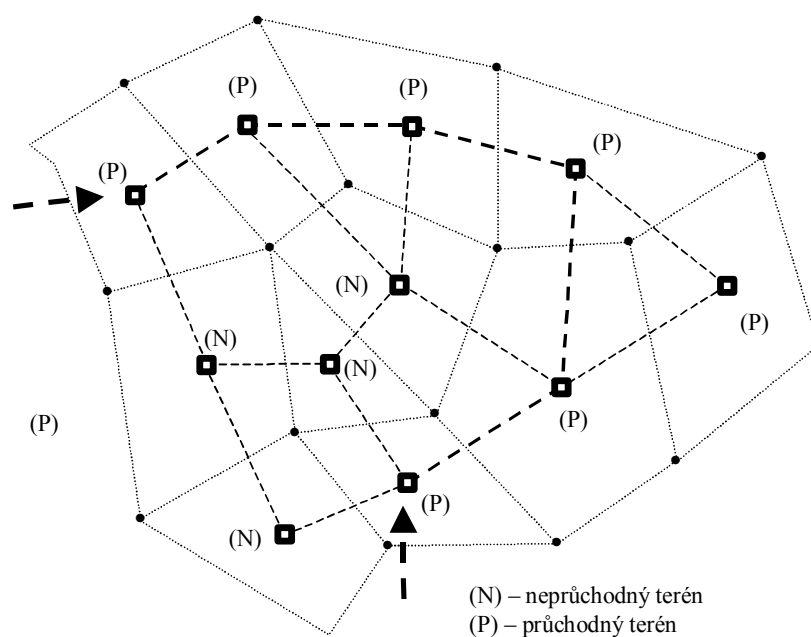
Obr. 5-22 Graf incidence

Graf přilehlosti (Obr. 5-23) vypadá jako když předešlý graf obrátíme naruby. Uzly v tomto případě reprezentují polygony a hrany grafu reprezentují dvojice sousedících polygonů. Takovýto graf lze využít například při studiu průchodnosti terénu (Obr. 5-24). Jednotlivé polygony jsou označeny jako průchodné nebo neprůchodné a analýzou grafu se pak vyhledávají např. nepřístupné oblasti nebo vhodné trasy pro přesun techniky.



Obr. 5-23 Graf přilehlosti

Topologie převádí pomocí grafů geometrické problémy do symbolické roviny, kde mohou být snadno vyřešeny. Výsledky zpracování se pak převádějí zpět do světa geometrie a souřadnic. Topologie tak umožňuje zefektivnit celou řadu klasických postupů prostorové analýzy, pro které manipulace se souřadnicovým popisem prvků představuje úzký profil. Topologie tak poskytuje silný nástroj pro manipulaci s fakty o prostorovém uspořádání geoprvků.



Obr. 5-24 Analýza průchodnosti terénu

5.2.5 Prostorové vlastnosti geoprvků

Prostorové vlastnosti geoprvků lze rozdělit na dvě skupiny:

- ◆ prostorové vlastnosti týkající se jednotlivých geoprvků
- ◆ prostorové vlastnosti týkající se skupin geoprvků.

Prostorové vlastnosti týkající se jednotlivých geoprvků jsou následující [26]:

- ◆ délka (například úseku silnice nebo řeky, vedení vysokého napětí)
- ◆ rozloha (například jezera, okresu, parcely)
- ◆ objem (například zásob uhlí, nebo náspu nezbytného pro vybudování silnice)
- ◆ tvar (kruhový, čtvercový, protáhlý)
- ◆ nepravidelnost tvaru (například klikatá pobřežní linie)
- ◆ orientace (například hlavních os drumlinu)
- ◆ střed linie nebo plochy (například střed města, středová linie silnice)
- ◆ sklon (například svahu).

Postupy pro měření těchto vlastností jsou snadné, i když jejich uplatnění není vždy jednoduché. Přesnost jejich stanovení je závislá jednak na použitých přístrojích, jednak na postupech a jednak na měřítku podkladových materiálů. Například délka pobřežní linie jezera bude různá při měření v reálných podmínkách krokováním, pásmem, měřickými postupy a bude odlišná při měření na mapách v měřítku 1 : 100 000 a v měřítku 1 : 1 000.

Dále lze tyto vlastnosti zjišťovat pro jednotlivé geoprvky, ale také pro množiny geoprvků stejného druhu (jezera, města, silnice apod.). Pak můžeme zjišťovat statistické charakteristiky těchto vlastností, např.:

- ◆ průměrná plocha jezera
- ◆ minimální a maximální plocha jezera apod.

Prostorové vlastnosti týkající se skupin geoprvků - některé prostorové vlastnosti lze definovat pouze pro skupinu geoprvků stejného druhu. Příkladem mohou být [26]:

- ◆ vzory prostorového rozložení bodových geoprvků (zda jsou rozptýlené, nebo jsou soustředěné do shluků)
- ◆ vzory prostorového rozložení plošných geoprvků (zda parcely jednotlivých vlastníků tvoří kompaktní plochy, nebo jsou jednotlivé parcely různých vlastníků vzájemně promíchány)
- ◆ vzdálenosti mezi bodovými geoprvkami (například vzdálenosti mezi jednotlivými obchodními domy, nebo semaforey, jízdní časy z různých míst města do jeho středu)
- ◆ počet sousedních geoprvků
- ◆ propojení geoprvků (například propojení leteckých koridorů)
- ◆ přednostní směry migrace v přírodě
- ◆ posloupnosti geoprvků s různými vlastnostmi (například posloupnost ploch s různým využitím půdy, nebo posloupnost silnic různých tříd (z dálnice sjedeme na silnici 1. třídy, ale už ne 2. třídy)).

5.3 Tematická složka popisu geoprvků

Tematická složka popisu geoprvků je tvořena tak zvanými **atributy** (angl. attribute), které popisují negeometrické vlastnosti geoprvků. Každý atribut je obecně tvořen párem: název vlastnosti - hodnota [14]. Název udává, jaká vlastnost geoprvků je hodnotou popisována. Každý geoprvek smí mít pro každý atribut (tedy každou vlastnost) přiřazenu nejvýše jednu hodnotu. Vlastnost, pro kterou má každý geoprvek unikátní hodnotu, je označována jako "identifikační vlastnost" a odpovídající hodnota jako "klíčová hodnota".

Hodnoty každé vlastnosti jsou vybírány z určitého definičního oboru, který je někdy nazýván "doména" (angl. domain). Doménou může být např. obor celých čísel, interval na reálné ose, nebo množina možných hodnot apod. Pro různé vlastnosti jsou vhodné různé domény.

V zásadě lze rozlišit následující typy domén:

- ◆ poměr - např. procenta
- ◆ interval - např. celá čísla z intervalu (0, 10), desetinná čísla z intervalu (0.5, 14.0)
- ◆ pořadí - řadová číslovka
- ◆ výčet - např. pro typ silnice to může být (dálnice, silnice pro motorová vozidla, 1.tř., 2.tř., 3.tř., polní, neuveden, neznámý).

Jak bylo výše uvedeno, každý geoprvek smí mít pro každou vlastnost přiřazenu nejvýše jednu hodnotu. To znamená, že je možná i situace, kdy pro danou vlastnost není hodnota definována. Odpovídající doména by měla umožňovat takovou situaci zaznamenat. Obvykle se tato situace řeší tak, že se do příslušné domény zahrne i hodnota, která neleží v definičním oboru vlastnosti a která pak reprezentuje neexistující údaj. Nejčastěji se k tomuto účelu používají hodnoty typu -99, -1, 0, 99 a pod. Např. pokud zaznamenávanou vlastností je hustota minerálů, lze definiční obor zadat intervalem např. (500, 14000) kg.m⁻³ a neznámou hodnotu proto může reprezentovat např. 499. Nedefinované hodnoty však způsobují četné problémy při prostorových analýzách, protože většina analytických nástrojů není schopná tyto nedefinované hodnoty adekvátním způsobem zpracovat. Ošetření jejich výskytu je pak většinou věcí konkrétní aplikace, běžící nad databází.

Z hlediska jednoznačného ošetření takovýchto situací by však bylo vhodné, kdyby doména obsahovala více možných hodnot označujících nedefinovanou hodnotu. Přinejmenším by bylo vhodné ošetřit alespoň tyto případy:

- ◆ hodnota neznámá (nezjištěná)
- ◆ hodnota neexistuje
- ◆ hodnota nebyla vložena.

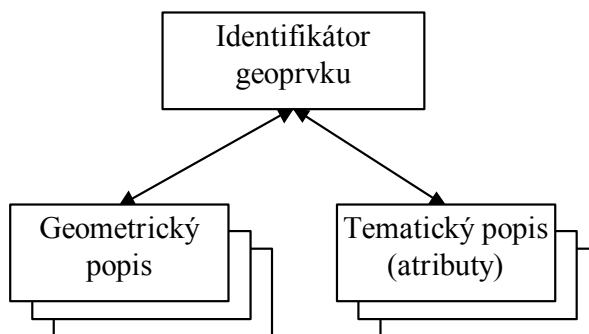
V případě, že při provádění analýzy budou zjištěny výskytu takovýchto „hodnot“, lze lépe rozhodnout o dalším postupu. Pokud například hodnota neexistuje, pak je nezbytné provést analýzu jen na základě známých hodnot. Pokud je hodnota neznámá, pak je nezbytné ji zjistit. A pokud hodnota nebyla vložena, pak je nezbytné zjistit, zda vůbec existuje, a pokud ano, tak i její velikost.

5.4 Časová složka popisu geoprvcu

Čas se svojí povahou výrazně liší od geometrických a popisných vlastností geoprvcu. Snad především tím, že nemůže být chápán jako složka popisu sama o sobě, ale vždy v těsném vztahu k výše uvedeným vlastnostem.

Data uložená v databázích GISů byla dříve dělena do dvou skupin [19]:

- ◆ data aktuální, popisující reálný (aktuální) stav geoprvců, tedy data používaná pro každodenní operace v GISu
- ◆ data neaktuální, popisující stav minulý, a proto data nepotřebná (!!!).



Obr. 5-25 Vztah času ke geometrické a tematické složce popisu geopravku

Problémem dnešních geografických informačních systémů je, že zatím časovou stránku popisu geopravků v databázích nezachycují, a proto je možné neaktuální data zachovat pouze archivací mimo databáze GISů (viz dále).

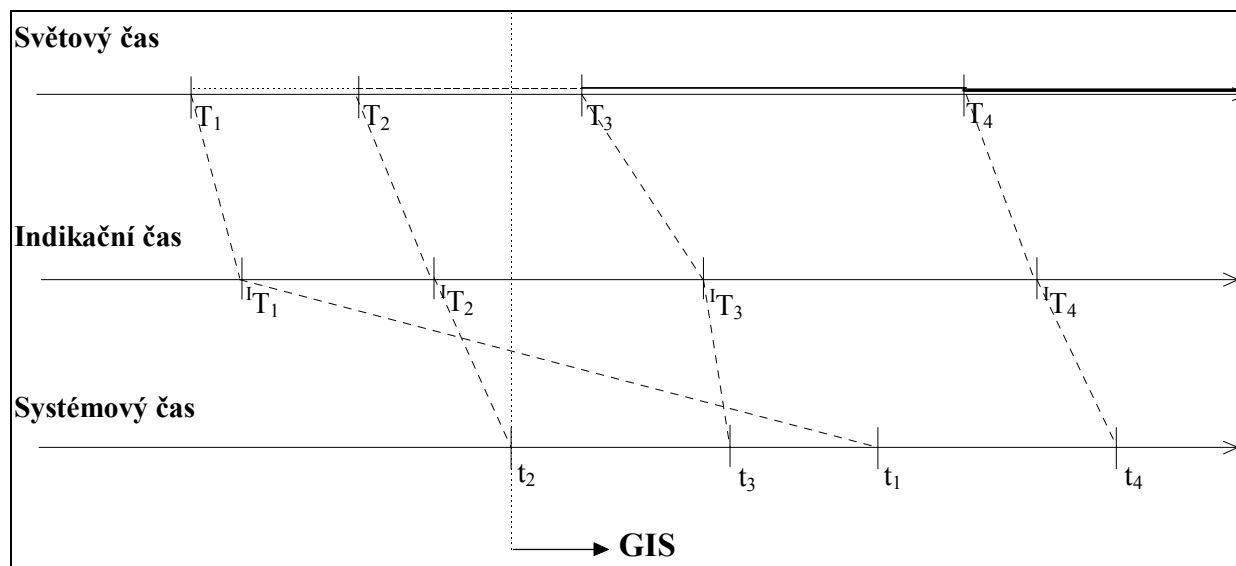
Postupem času si však uživatelé i tvůrci GISů začali uvědomovat, že i tato "neaktuální" data mohou mít určitou hodnotu, a to i za situace, kdy s nimi i několik let nikdo nepracuje. Vyplatí se je proto uchovat. Takováto data mohou být použita v různých situacích, např. [59]:

- ◆ při přezkoumávání dřívějších rozhodnutí lze s pomocí těchto dat zpětně ověřit, za jakých podmínek, na základě jakých informací bylo to které rozhodnutí učiněno. Tato možnost je cenná především při soudních sporech
- ◆ v oblasti sociálních věd při provádění analýz s časovou dimenzí
- ◆ v oblasti životního prostředí tato data umožňují vyhodnocovat změny v čase a hodnotit tak dopady zásahů člověka do přírody.

Problémem dnešních geografických informačních systémů je, že zatím časovou stránku popisu geopravků v databázích nezachycují, a proto je možné neaktuální data zachovat pouze archivací mimo databáze GISů. Tím je však značně ztíženo jakékoliv další zpracovávání těchto dat v prostředí GISů. Jistým řešením by mohlo být pořízení archivní kopie celé databáze GISu, ale i toto řešení má značné nevýhody. Předně, tímto způsobem jsou archivována veškerá - tedy i aktuální - data, dále, takovouto masivní archivaci nelze provádět příliš často, a tak není možné uchovat veškeré změny v databázi. Navíc postupem času vzniká celá řada verzí databází, které platí jen pro určitá časová období. Může tak snadno docházet k chybám při zpracovávání dat.

Jako nejrozumnější řešení se jeví vytvoření datového modelu pro GIS, umožňujícího zpracovávat čas zcela rovnocenným způsobem. Takovýto datový model pro GIS se však musí vyrovnat s celou řadou problémů, které s sebou zavedení času přináší [44].

Pryním problémem je, že časová osa, kterou je třeba do databází zahrnout, není jedna. Časových os je hned několik. Za prvé, GIS musí být schopný ve svých databázích postihnout skutečnost, že čas vzniku určitého údaje není totožný s časem jeho indikace (zjištění) a ten není totožný s časem vložení do databáze GISu. Schematicky je tato situace vyjádřena na Obr. 5-26.



Obr. 5-26 Časové osy [44]

První časová osa zaznamenává tzv. "světový čas", tj. čas změn v reálném světě, druhá osa „indikační čas“, tj. čas zjištění změny, zatímco třetí časová osa zaznamenává tzv. "systémový čas", tj. čas, v němž byly tyto změny zaznamenány v databázích GISu [37].

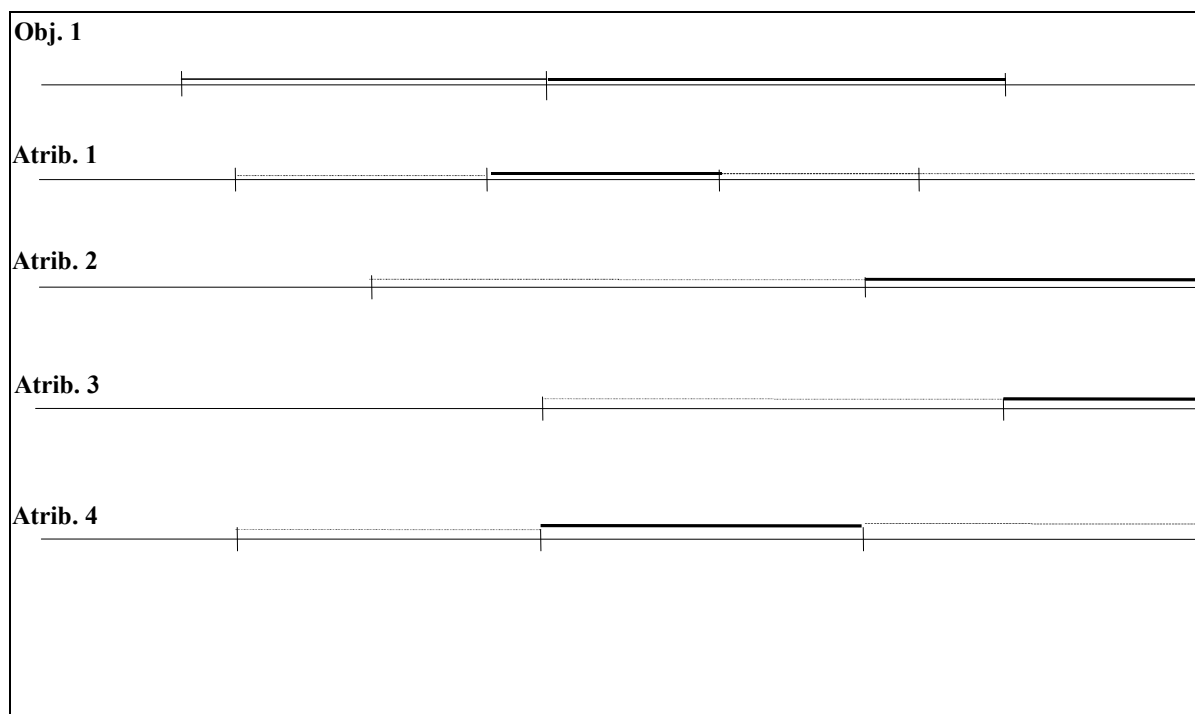


Obr. 5-27 Stavová topologie geoprvků [44]

Za druhé, již bylo uvedeno, že čas je velice těsně svázán s geometrickým a tematickým popisem geoprvků, a bylo také uvedeno, že obě tyto složky jsou vzhledem ke své rozdílné povaze zpracovávány v databázích GISu odděleně. Vzhledem k tomu, že i z pohledu proměnlivosti v čase se tyto dvě složky výrazně liší, je vhodné pro každou z nich vést časové údaje samostatně.

Zavedení času do databází GISu má ještě jeden aspekt, a tím je potřeba vytvořit a průběžně udržovat tzv. stavovou topologii (nebo topologii stavů, angl. state topology) [37]. Stavová topologie zaznamenává posloupnost změn geoprvků a je nezbytná, pokud chceme mít možnost vytvořit si obrázek o stavu reálného světa v kterémkoliv okamžiku za dobu, která je popisována databázemi GISu. Např. chceme-li se vrátit o deset let zpět a zjistit hranice

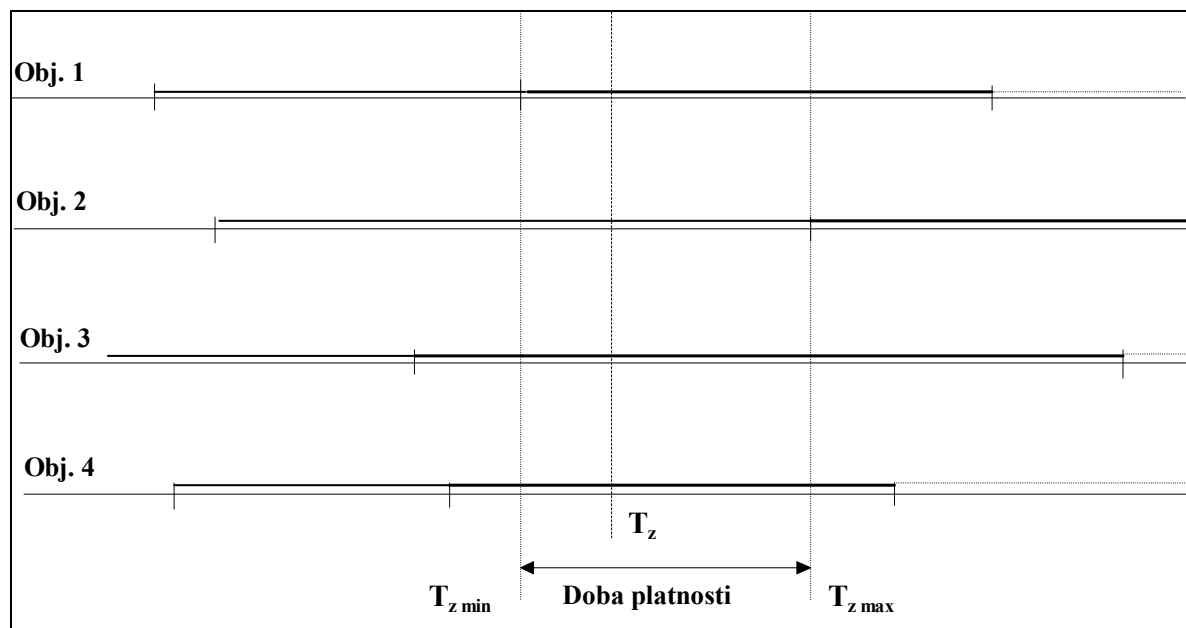
parcel v určité oblasti z té doby, musíme mít možnost si zjistit, které parcely v té době existovaly a dále jaký byl aktuální stav jejich atributů (kdo je vlastnil, jaké měly rozlohy, ceny...). A k tomu právě slouží stavová topologie. Obecně ji můžeme chápat jako dvouúrovňovou. Na vyšší úrovni stojí stavová topologie geoprvků, která zachycuje změny v geometrickém popisu geoprvků, na nižší úrovni pak stojí stavová topologie geoprvcu, zaznamenávající změny atributů geoprvcu. Je zřejmé, že první topologie je jediná pro celý GIS, zatímco druhou je zapotřebí konstruovat pro každý geoprvek zvlášť. Grafické znázornění obou stavových topologií je velice jednoduché, lze ho provést např. pomocí liniového grafu (viz. Obr. 5-27 a Obr. 5-28).



Obr. 5-28 Stavová topologie geoprvcu [44]

Posledním problémem je dvojaký charakter času. Čas se může projevovat jednak jako sled **diskrétních událostí**, jednak jako **kontinuální změna**. Vše, co bylo až doposud uvedeno, se týká právě „diskrétního“ času. Kontinuální čas nás zajímá nejčastěji v případě modelování v oblasti životního prostředí (například modelování šíření znečištění podzemních vod, modelování šíření škodlivin v ovzduší apod.), kdy jsme schopni pomocí odpovídajících modelů vypočítat aktuální stav v prakticky libovolném čase. Většinou se však i tyto úlohy převádějí na „diskrétní“ případ - modelem se spočítají stavy pro definované časové okamžiky a ty se pak uloží do databázi GISu. Mezistavy se mohou vypočítávat například interpolací.

Na závěr je vhodné si ještě vysvětlit **vztah mezi dříve popsanou "geometrickou" topologií a stavovou topologií**. Vztah mezi nimi je velice těsný. Chceme-li zkonstruovat geometrickou topologii pro určitý časový okamžik, musíme nejprve pomocí stavové topologie zjistit, které geoprvky a s jakými geometrickými vlastnostmi v té době existovaly a z nich teprve můžeme vytvořit vlastní geometrickou topologii. Navíc je možné ze stavové topologie zjistit, pro jaký časový interval je tato geometrická topologie platná (viz Obr. 5-29).



Obr. 5-29 Odvození doby platnosti geometrické topologie [44]

5.5 Složka popisu vztahů

Jednotlivé geoprvky mohou vstupovat do vzájemných vztahů s jinými geoprvky. Přitom některé z těchto vztahů mohou být odvozeny z dat, jako například průsečík dvou linií, reprezentujících silnice, nebo překryv dvou ploch jako překryv dvou polygonů apod. Jiné vztahy je nezbytné zadat explicitně jako atributy geoprvků, jako například vlastnické vztahy. Přehled možných vztahů týkajících se prostorové složky popisu geoprvků je uveden v následující tabulce [4]:

Vztah	Typický příklad
náleží / přísluší / patří	obec náleží do okresu, úsek potrubí patří do souvislé sítě vyššího řádu
obsahuje / je složen z	stát je složen z okresů, které jsou zase složeny z obcí
umístěn (nachází se) v / na	daná budova se nachází na konkrétní parcele
hranice	dvě parcely mají společnou hranici

Zatímco v běžných analogových mapách je většina těchto vztahů obsažena implicitně, uživatel je vnímá intuitivně, tak v digitálních mapách musí být vyjádřeny explicitně, protože počítač nemá žádnou intuici. Počítačové zpracování vzájemných vztahů geoprvků proto

vyžaduje doplňující informace popisující tyto vztahy, nebo instrukce jak mohou být tyto informace získány přímo z dat.

Některé vztahy, do nichž mohou geoprvky vstupovat, navíc závisí na konkrétním stavu, v němž se nachází zobrazovaná realita. Například v rozvodných sítích může stav ventilů určovat, které části sítí mohou být považovány za jednu logickou jednotku. Za takovéto situace je nezbytné rozlišovat **aktuální a potenciální vztahy**.

Obecně je této složce popisu geoprvků věnována explicitně jen malá pozornost, proto je její detailnější rozpracování otázkou spíše bližší budoucnosti.

5.6 Funkční složka popisu geoprvků

Tato složka je věnována operacím, které je možné provádět s geoprvkem. Tyto operace obvykle vedou ke změně stavu jedné nebo více složek jeho popisu.

Operace prováděné s geoprvkou lze rozdělit do dvou skupin:

- ◆ operace vztahující se k reálnému geoprvcu
- ◆ operace vztahující se k reprezentaci geoprvcu v GISu.

Přitom druhá skupina operací v podstatě představuje implementaci operací první skupiny.

Jako příklad **operací vztahujících se k reálnému geoprvcu** lze uvést:

- ◆ změna vlastnictví u nemovitosti
- ◆ postavení nového domu
- ◆ zboření domu
- ◆ přestavba domu
- ◆ změna příslušnosti obce k okresu
- ◆ změna názvu obce
- ◆ spojení dvou obcí
- ◆ změna vedení rozvodné sítě
- ◆ apod.

Tyto operace popisují události v reálném světě. Popisují tedy, jaké činnosti musí předcházet dosažení nového stavu. Jejich přesný popis se v podstatě rovná popisu chování reálného systému.

Naproti tomu **operace vztahující se k reprezentaci geoprvcu v GISu**, jako např.:

- ◆ grafické znázornění
- ◆ spojení dvou geoprvků do jediného
- ◆ rozdělení geoprvcu na dva nové
- ◆ archivace geoprvcu
- ◆ apod.

definují postupy aplikované na geoprvky ve vnitřním prostředí GISu. Přenášejí změny z reálného světa do prostředí aplikace GISu.

Pro tuto složku platí obecně stejný závěr, jako v případě složky předešlé. Dnes jí zatím není věnována dostatečná pozornost.

5.7 Složka popisu kvality dat

Data obsažená v prostorových databázích mají obecně multidimenzionální. Za jednotlivé dimenze lze považovat jednotlivé složky popisu geoprvků. A stejnou (multidimenzionální) povahu mají i chyby těchto dat. Z toho vyplývá, že chybu konkrétního prostorového údaje nelze popsat jednoduchým indexem. Např. prostorová přesnost zahrnuje jak horizontální, tak i vertikální složku, které nelze vždy oddělit. Tematická přesnost závisí na typu dat (např. numerická nebo kategoričká) a mnohdy i na prostorové přesnosti. Časová přesnost je důležitá, avšak často přehlížená dimenze přesnosti prostorových databází. A o přesnosti popisu vztahů a operací se dodnes nemluví vůbec.

Spolehlivost dat je často (i když ne vždy) inverzní funkcí jejich stáří, protože všechny složky popisu geoprvků se mohou v čase měnit. A navíc popisy geoprvků získané v dřívějších dobách pomocí dřívějších metod mají často omezenou, nebo dokonce neznámou přesnost.

Kvalita popisu geoprvků je obvykle dokumentována následujícími parametry (označovanými jako metadata):

- ◆ přesnost grafické složky popisu geoprvků, definované obvykle
 - ◆ přesností horizontální složky
 - ◆ přesností vertikální složky
 - ◆ úrovní rozlišení (zda bude vodní tok reprezentován jednou linií, kopírující střed toku, nebo bude reprezentován dvěma liniemi, kopírujícími oba břehy)
 - ◆ rozsahem geografického pokrytí
 - ◆ způsobem reprezentace (diskrétní vs. kontinuální)
- ◆ přesnost tematické složky popisu geoprvků, definovanou obvykle přesností jednotlivých atributů
- ◆ přesnost časové složky popisu geoprvků, definovanou obvykle
 - ◆ aktuálností jednotlivých složek
 - ◆ intervalem aktualizace
- ◆ logická konzistence mezi geometrickou a popisnou složkou
- ◆ relevance popisu geoprvků (pro které operace je možné popis geoprvků použít, případně pro které ne).

Tyto parametry mohou být sledovány jednak na úrovni jednotlivých geoprvků, pokud je to opodstatněné, nebo spíše na úrovni skupin stejných geoprvků (například pro všechny silnice zaměřené ve stejném období stejnou metodou bude definována jedna sada těchto parametrů). Přípustná je i kombinace obou přístupů.

Dnes se o této složce popisu geoprvků mluví poměrně intenzivně, hlavně ve spojitosti s budováním tzv. **metadatových služeb**. Hlavním problémem však je, že dohledání těchto údajů zpětně k existujícím datům je dosti obtížné a příliš velký tlak tímto směrem by mohl nadělat daleko více škody, než užitku. Možná by se totiž podařilo tato metadata získat, ale jejich reálná hodnota by mohla být téměř nulová. Daleko vhodnějším je zaměřit tuto snahu směrem do přítomnosti a budoucnosti, vypracovat jednoznačná pravidla pro vytváření, shromažďování a publikování těchto metadat při pořizování nových datových souborů a u dříve pořizovaných dat respektovat, že jsou tato metadata neznámá.

6. Datové modely používané v GISech

Jak je uvedeno v kap. 8, data uložená v databázích GISů mají extrémně dlouhou životnost - 30, 50 až 70 i více let, zatímco programové vybavení 4-8 let a technické vybavení dokonce jen 2-4 roky. Proto je ukládání dat v GISech nutné věnovat značnou pozornost.

6.1 Datové modely. Datové modelování. Datové struktury.

Dříve než se začneme zabývat datovými modely, bude vhodné si vyjasnit význam termínů datový model a datová struktura, protože v literatuře se tyto termíny nepoužívají jednotně.

Někteří autoři používají tyto termíny zcela záměnně, jiní termínem datový model označují logický model dat, jiní jej naopak používají pro označování vlastní fyzické struktury dat v databázi.

Modely <i>Operace</i>	Problémy
reálný svět	???
<i>pozorování reálného světa</i>	dochází k jistému zjednodušení, pozorovatel je určitým způsobem zaujatý, smyly neumožňují vnímat vše, ...
mentální model	3D model, dynamický, pracující s geoprvky ve smyslu samostatných objektů, částečně zjednodušený
<i>tvorba papírové mapy</i>	další zjednodušení, standardizace obsahu a výrazových prostředků, kódování
papírová mapa	2D, statická, zjednodušená, pracující spíše s tématy než s objekty (geoprvky), obohacená o chyby spojené s tvorbou, produkcí a distribucí map
<i>digitalizace</i>	další zjednodušení a vnesení nových problémů, jako je menší polohová přesnost, chyby polohové i obsahové, chyby interpretace apod.
digitální mapa	všechny nectnosti papírové mapy, plus problémy vnesené vlastní digitalizací, reálný svět „rozlámán“ do tematických vrstev, geoprvky nahrazeny jednoduchými geometrickými prvky typu body, linie a polygony ...

Tabulka 6-1 Transformace reálného světa do prostředí GISu

V dalším textu bude termín **datový model** používán pro označení logické struktury dat z pohledu zobrazení reálného světa v GISu, zatímco termín **datová struktura** bude používán pro označení logické a fyzické struktury dat v databázi. Nicméně je nutné si uvědomit, že

datové modely a datové struktury nejsou vzájemně nezávislé, ale že se navzájem ovlivňují, přičemž v tomto vztahu mají dominantnější roli datové struktury. A to proto, že sebelepší datový model nám není k ničemu, pokud ho nemůžeme promítnout do reálně použitelných datových struktur. Tato skutečnost je dosti nepříjemná, jak si ukážeme později, protože pokrok v používaných datových modelech je limitován pokrokem v použitelných datových strukturách.

Datové modely i datové struktury použité v databázích GISů by měly splňovat určitá pravidla standardizace s ohledem na předpokládanou velice dlouhou životnost dat - i 50 let a více, protože za tuto dobu se mnohokrát změní technické i programové vybavení, ale data budou stále stejná.

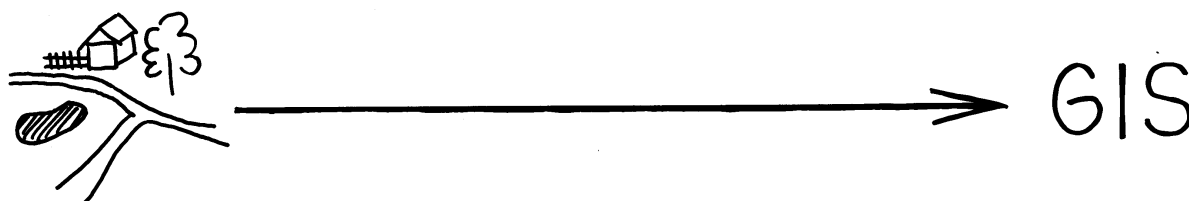
Datový model představuje zjednodušený pohled na část reálného světa. Je budován podle určitých pravidel.

Datové modelování je proces abstrakce, při kterém jsou podstatné elementy reálného světa zdůrazněny a nepodstatné eliminovány - avšak s ohledem na cíl, který má toto modelování splnit.

Vytvoření dobrého datového modelu je velice důležité, neboť tento model hraje významnou roli při určování, která část reality bude reprezentována v databázi, jak bude reprezentována, co s ní lze provádět a jak rychle. A navíc, datový model popisuje nejstabilnější a nejnákladnější součást geografického informačního systému - data.

6.2 GIS jako obraz reálného světa

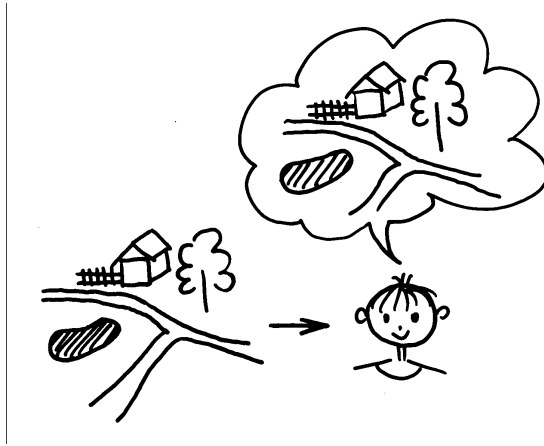
GISu se obecně říká, že je obrazem reálného světa. Zjednodušeně by bylo možné tuto situaci naznačit takto [40]:



Obr. 6-1 Promítnutí reálného světa do GISu [40]

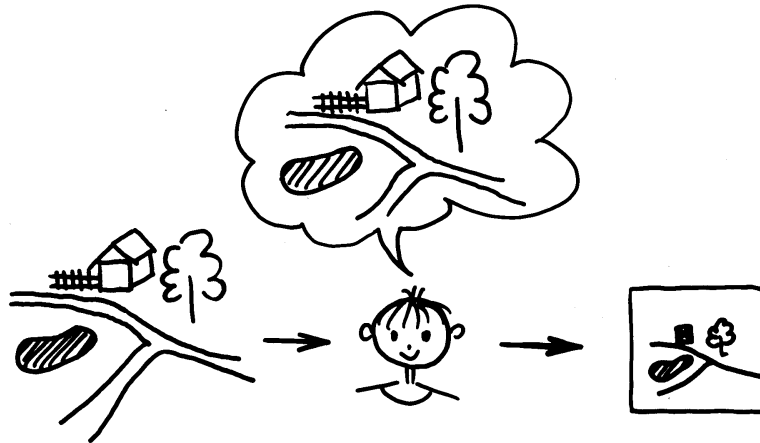
Nicméně ve skutečnosti není cesta reálného světa do databází GISu tak jednoduchá. Jedná se o zdoluhavý proces o mnoha krocích (viz Tabulka 6-1):

1, Reálný svět je pozorován pozorovatelem. Ten si vytváří na základě svých vjemů vnitřní (mentální) model tohoto světa (Obr. 6-2). Tento model je velice blízký pozorované realitě, nicméně představuje jisté zjednodušení, neboť pozorovatel není schopen vnímat všechny informace o pozorované realitě (nevidí do domu, nebo za kopec, pod zem, apod.). Může si sice pomoci použitím různých pomůcek a postupů (vejde do domu, obejde kopec, podzemí prozkoumá vhodnými průzkumnými metodami, apod.), ale ani tak nikdy nedosáhne 100% shody mentálního modelu s pozorovanou realitou. Dochází zde k určité ztrátě informací. Nicméně - tento model postihuje dům jako dům, jezero jako jezero, silnici jako silnici ..., a to jako třírozměrné objekty měnící se v čase (postihuje tedy i dynamiku reálného světa).



Obr. 6-2 Vytvoření vnitřního modelu [40]

2, Pokud chce pozorovatel dát tento model k dispozici uživatelům, musí ho nejprve převést do podoby, která umožní jeho šíření a jednoznačnou interpretaci. Za tímto účelem byly vyvinuty postupy, pomocí kterých jsou vytvářeny všeobecně známé mapy (Obr. 6-3).

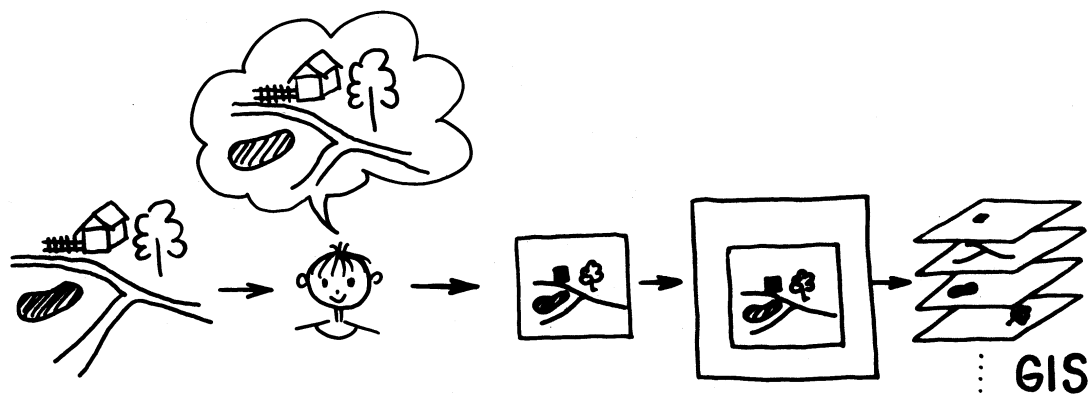


Obr. 6-3 Promítnutí vnitřního modelu pozorovatele do mapy [40]

Co z našeho pohledu vytvoření mapy znamená. Za prvé, mapa je dvourozměrná, nenávratně tedy ztrácíme jeden rozměr (dům již nikdy nebude třírozměrný, ale vždy jen plochý) a za druhé - mapa je statická, ztrácíme tedy rozměr času (dynamiku reálného světa) a vezmeme-li v úvahu, že nejkratší interval obnovy map u nás je sedm let, pak to znamená, že vytvořená mapa se bude s plynoucím časem stále více rozcházet se skutečným stavem reálného světa.

To vše znamená, že při přechodu z mentálního modelu do mapy došlo k výrazné redukci zaznamenaných informací.

3, Vytvořenou mapu někdo připevní na digitizér a začne ji postupně převádět do prostředí GISu (Obr. 6-4). Jednotlivé geoprvky na mapě začne nahrazovat třemi základními geometrickými prvky - body, liniemi a polygony - a ty začne rozmísťovat do jednotlivých „vrstev“. Užitečné informace přitom doplní o celou řadu chyb, vyplývajících z nepozornosti, nepřesnosti, opomenutí, únavy ...:



Obr. 6-4 Převod mapy do GISu pomocí digitizéru [40]

A tak získáme výsledný obraz reálného světa v GISu - obraz světa, složeného z bodů, linií a polygonů, roztržitého do vrstev, světa dvourozměrného, statického, zaostávajícího za reálným stavem, ochuzeného o mnoho informací, zato obohaceného o značné množství nepřesností a chyb.

Tento výsledný obraz je velice vzdálený reálnému světu, nicméně, **právě na podkladě tohoto obrazu přijímáme závažná rozhodnutí o světě reálném.**

Jedním z faktorů, které výrazně ovlivňují míru této odlišnosti, je i výsledný datový model v GISu.

6.3 Sestavování datových modelů

Při sestavování datového modelu mohou existovat dva extrémní přístupy [47]:

- **jevově orientovaný přístup**, který se snaží v datovém modelu reprezentovat všechny identifikovatelné geoprvky a jejich vztahy. Následkem toho je výsledný model komplexní, avšak často příliš komplikovaný na to, aby mohl být použit pro konkrétní aplikaci. (Avšak - pokud tento přístup vychází z mapy, pak je schopen do datového modelu pojmout jen **jevy zachycené v mapě.**)
- **aplikačně orientovaný přístup** sice produkuje datový model minimální komplexnosti, ale zato takový, který bude s velkou pravděpodobností nutné pro každou novou aplikaci modifikovat.

Reálná aplikace GISu vyžaduje zvolit vyvážený kompromis mezi těmito dvěma krajními variantami. Datový model by měl být co nejjednodušší, ale měl by přitom předjímat i možné změny požadavků na systém, ke kterým může dojít v blízké budoucnosti a které by mohly klást jisté nároky na změnu (rozšíření) datového modelu.

6.4 Datové modely v GIS

Datové modely používané v GISech lze rozdělit na dvě základní skupiny:

- **klasické datové modely** - jsou to datové modely, které vznikly jako výsledek transformace mapy → GIS.
- **objektově orientované datové modely** - tyto datové modely vznikají přímou transformací typu "vnitřní" model → GIS.

Datové modely lze popisovat a hodnotit různým způsobem, na základě různých kritérií. V tomto textu se budeme držet hodnocení jednotlivých datových modelů z pohledu možné realizace jednotlivých složek popisu geoprvků.

6.4.1 Klasické datové modely

Do této skupiny patří dva základní [5] a jeden kombinovaný datový model, a to:

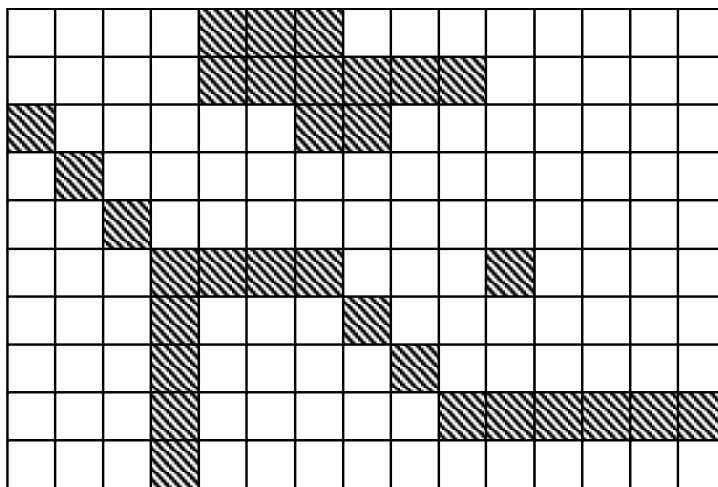
- rastrový datový model
- vektorový datový model
- hybridní datový model.

Společným jmenovatelem těchto modelů je, že reálný svět je v nich rozložen na nula- až dvojrozměrné geometrické prvky - body, linie, plochy.

Jakémukoliv prvku z reálného světa, má-li být v GISu zachycen, musí být přiřazen jeden z těchto tří typů geometrických prvků. Např. vodní tok je modelován běžně jako linie, křižovatka dvou silnic jako bod, jezero jako plocha, dům jako plocha a pod. (Přičemž toto přiřazení je ryze účelové. Např. na mapě dopravních sítí bude řeka reprezentovaná linií, znázorňující plavební čáru, ale na mapě vodních ploch již musí být větší řeka znázorněna jako plocha. Což ovšem znamená, že v databázích GISu bude tato řeka uložena dvakrát. Jednou jako linie, podruhé jako plocha.) Navíc tyto prvky musí být vzájemně disjunktní (řeka vždy rozdělí údolí na dvě zcela samostatné části) a přesně ohraničené (ale kde je např. hranice mezi horským hřbetem a údolím?).

6.4.1.1 Rastrový datový model

Rastrový model vychází z rozdělení rovinného prostoru pravidelnou mříží na jednotlivé dílky [53], označované jako buňky (angl. cell), které představují nejmenší, dále zpravidla nedělenou prostorovou jednotku (Obr. 6-5). Základní vlastností tohoto modelu je, že prostorové vztahy mezi prostorovými prvky jsou implicitně obsaženy přímo v rastru. Lokalizace a prostorové vztahy geoprvků nejsou přímo dostupné, v případě potřeby musí být sestaveny agregací buněk náležejících jednotlivým geoprvkům. To však často přináší značné komplikace.



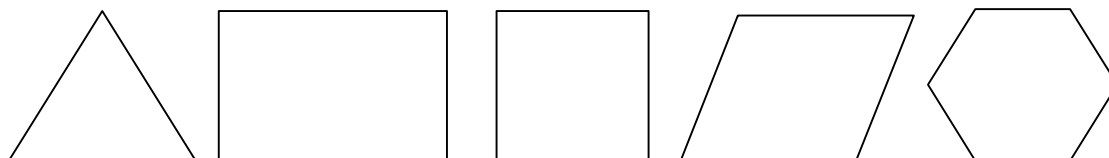
Obr. 6-5 Rastrový datový model

Použitá buňka rastru by měla splňovat dvě podmínky:

- měla by být nekonečně opakovatelná v rovině
- měla by být nekonečně rekurzivně rozložitelná na menší buňky stejného tvaru.

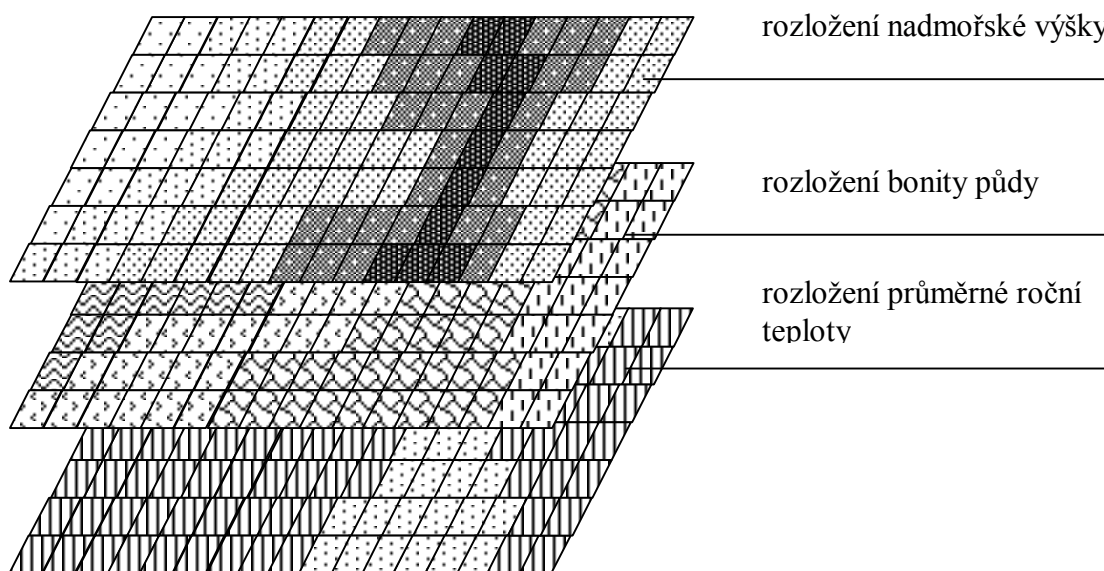
Splnění první podmínky zaručuje, že lze rastrem beze zbytku reprezentovat rovinnou oblast libovolné velikosti. Splnění druhé podmínky umožňuje použít hierarchické datové struktury pro ukládání rastrových dat.

První pravidlo splňují buňky ve tvaru trojúhelníka, rovnoběžníka a šestiúhelníka (Obr. 6-6). Avšak jen první dvě z nich splňují i druhou podmínku. A z nich se v drtivé většině případů používá čtvercová buňka.



Obr. 6-6 Tvary základních buněk rastru

Rastrový datový model zavádí své vlastní členění dat, které je schematicky znázorněno na Obr. 6-7. Co z tohoto členění vyplývá. V rastrovém modelu obecně neexistuje popis jedinečných geoprvků, ležících v zájmové oblasti, ale jen popis rozložení jedinečných atributů v této oblasti. Neexistuje zde ani explicitní popis geometrie geoprvků a tím ani nemůže existovat explicitně vyjádřená topologie. Prostorové vztahy geoprvků jsou zde obsaženy pouze implicitně.



Obr. 6-7 Schematické členění dat v rastrovém datovém modelu

Při ukládání popisu geoprvků pomocí rastrových dat [53] se v principu postupuje tak, že se celá zájmová oblast rozdělí pravidelnou (nejčastěji čtvercovou) sítí rovnoběžek na buňky (Obr. 6-5). Všechny mají své jednoznačné adresy, dané sloupcovými a řádkovými indexy. Každé buňce se přiřadí určité číslo nebo kód, reprezentující hodnotu atributu, který je mapovaný. Případně lze každé buňce přiřadit i vektor čísel nebo kódů, jehož prvky

reprezentují celou skupinu atributů. Výsledkem je zobrazení zájmové oblasti v podobě dvoj- nebo trojrozměrné matice, kde každé buňce s daným řádkovým a sloupcovým indexem odpovídá prvek matice resp. vektor hodnot se stejným řádkovým a sloupcovým indexem. Z hlediska úspory paměti nemá uspořádání do třírozměrné struktury žádný zvláštní význam, v podstatě znemožňuje použití jakýchkoliv metod zaměřených na úsporu paměťového prostoru, ale na druhou stranu může v některých případech značně urychlit práci - např. při provádění rastrových překryvů.

Faktory ovlivňující kvalitu zobrazení reálného světa v rastru

Kvalitu zobrazení reálného světa pomocí rastrového datového modelu ovlivňuje několik faktorů:

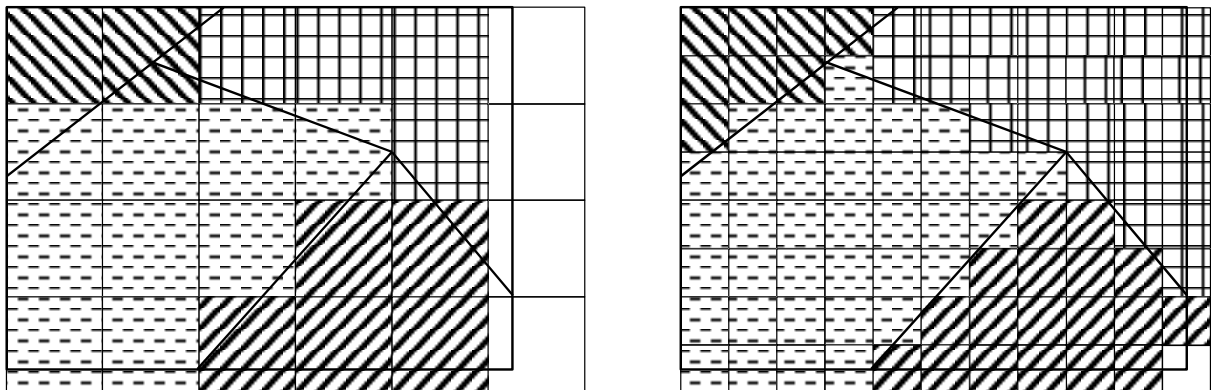
- A. způsob přiřazení hodnot zobrazovaného atributu jednotlivým buňkám
- B. velikost základní buňky rastru
- C. „barevná hloubka“ rastru, nebo též rozlišení, použité pro záznam hodnot atributů.

ad A, Hodnoty atributu v jednotlivých buňkách mohou být stanoveny různými způsoby [53]:

- jako bodová hodnota změřená kdekoli v ploše buňky
- jako aritmetický průměr z několika bodových měření
- jako vážený aritmetický průměr, kde váhou je plošný rozsah jednotlivých hodnot
- jako maximální nebo minimální hodnota atributu
- jako hodnota atributu s největší váhou.

Volba konkrétního způsobu stanovování hodnot atributu přiřazených jednotlivým buňkám může i výrazně ovlivnit výslednou reprezentaci zájmové oblasti na v rastru, a to jednak co do průběhu hranic oblastí s různou hodnotou sledovaného atributu, tak i co do reprezentace především malých oblastí.

ad B, Druhým faktorem, který výrazně ovlivňuje výslednou reprezentaci zájmové oblasti v GISu je velikost základní buňky rastru (viz Obr. 6-8). Obecně platí, že čím je základní buňka rastru menší, tím lépe (přesněji) lze v tomto rastru zachytit průběh hranic jednotlivých geoprvků. Platí však také vztah, který nám říká, že se zmenšením délky strany buňka na polovinu se čtyřnásobně zvýší nároky na paměťový prostor, nezbytný k uložení rastru.



Obr. 6-8 Vliv velikosti buňky rastru na výslednou reprezentaci zájmové oblasti v GISu

ad C, Při práci s rastry se používá pro záznam hodnot sledovaného atributu v jednotlivých buňkách různé rozlišení. Nejčastěji přichází v úvahu následující případy:

- zaznamenává se jen přítomnost, resp. nepřítomnost atributu (nejčastěji hodnoty „0“ a „1“). V tomto případě mluvíme o tzv. **binárních rastrech**, pro záznam hodnoty jedné buňky potřebujeme vždy jeden bit
- v buňce se rozlišuje 256 různých celočíselných hodnot sledovaného atributu. Pro záznam hodnoty jedné buňky rastru potřebujeme v tomto případě jeden bajt. Mluvíme pak o **osmibitovém rastru**
- v buňce se rozlišuje cca 1.6 milionu různých celočíselných hodnot sledovaného atributu. Pro záznam jedné buňky potřebujeme tři bajty a rastr obvykle označujeme jako **čtyřiadvacetibitový**
- v buňce rozlišujeme téměř neomezené množství reálných hodnot sledovaného atributu (tj. desetinných čísel). Pro záznam jedné buňky pak potřebujeme obvykle čtyři, resp. šest bajtů. Rastr označujeme jako **kontinuální**.

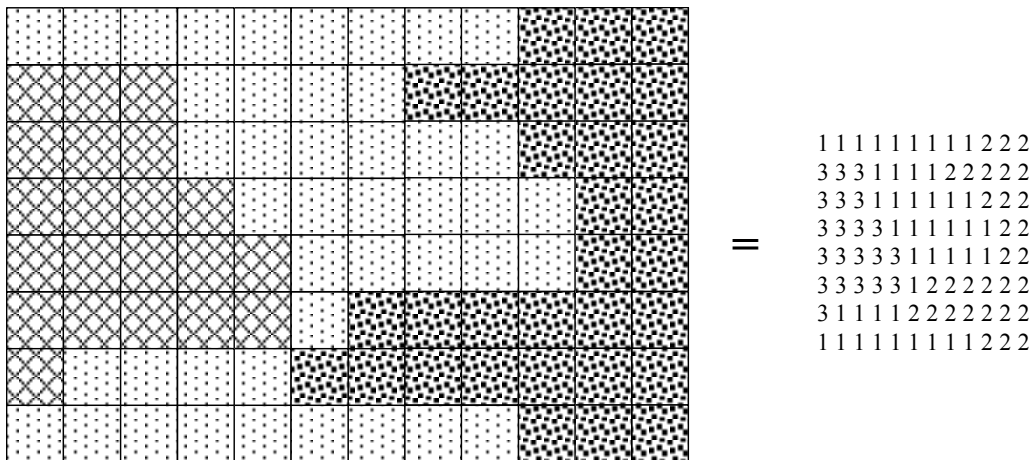
Dnes se nejčastěji pracuje s prvními třemi typy rastrových dat. Binární rastry se používají při práci s naskenovanými katastrálními mapami, zdrojem osmibitových rastrů jsou především skenované barevné předlohy a panchromatické letecké a družicové snímky, případně jsou produkovány rastrovými systémy při běžných rastrových analýzách, a čtyřiadvacetibitové rastry vznikají nejčastěji jako produkt zpracování multispektrálních družicových snímků.

Datové struktury používané pro ukládání rastrových dat

Pro ukládání rastrových dat jsou používány různé datové struktury. Tou nejjednodušší je ukládání rastrových dat po buňkách, nejčastěji v textovém souboru, kde jsou vždy na řádku tři údaje: řádkový a sloupcový index (resp. souřadnice **i**, **j**, případně **x** a **y**) a hodnota reprezentovaná buňkou. Tento způsob je z hlediska nároků na diskový prostor nejméně výhodný. Jeho použití je však někdy nevyhnutelné, pokud musíme přenést rastrová data mezi dvěma zcela nekompatibilními systémy. Jinou možností je ukládání rastrových dat v podobě běžné matice. Z Obr. 6-9 je patrné, že hlavní nevýhodou takovéto reprezentace je značný nárok na paměť. Další nevýhodou je, že k uloženým datům je nezbytné připojit i doprovodné údaje, které uživatele informují např. o rozměrech rastru (počtu buněk na řádku a počtu řádků), rozlišení dat v buňce (binární, 8 bitové, 24 bitové, apod.), způsobu uložení (po řádcích, sloupcích, po segmentech, resp. „dlaždicích“ (angl. tile)), o tvaru základní buňky, jejích reálných rozměrech, případně o úhlu, který svírají osy **i** a **j** (resp. **x** a **y**) (v případě kosého tvaru buňky), případně o poloze rastru v referenčním polohovém systému a dále parametry nezbytné pro transformaci rastru do tohoto referenčního polohového systému. Problémem je, jak tyto doprovodné údaje připojit k vlastním rastrovým datům. Nejčastěji se volí forma hlavičky, která je uložena na začátku datového souboru. Jsou však známé i případy, kdy jsou doprovodné údaje uloženy v samostatném souboru, případně nejsou k datům připojeny vůbec. Posledně uvedený případ je jistě ojedinělý, ale v každém případě těžko akceptovatelný. Společným jmenovatelem všech těchto způsobů ukládání rastrových dat jsou značné nároky na paměťový prostor (ať už diskový, nebo v operační paměti počítače).

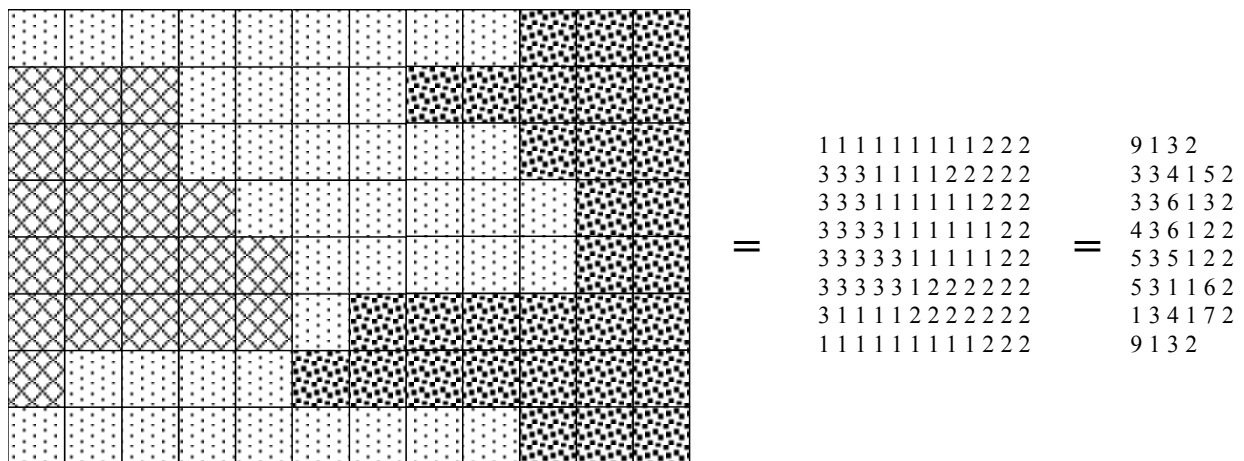
Proto byly hledány alternativní datové struktury, které by podstatně redukovaly nároky na paměť, ale které by přitom neznamenaly podstatné snížení rychlosti zpracování. Tyto

datové struktury jsou obecně založeny na dekompozici původního rastru na oblasti se stejnou hodnotou znázorňovaného atributu.



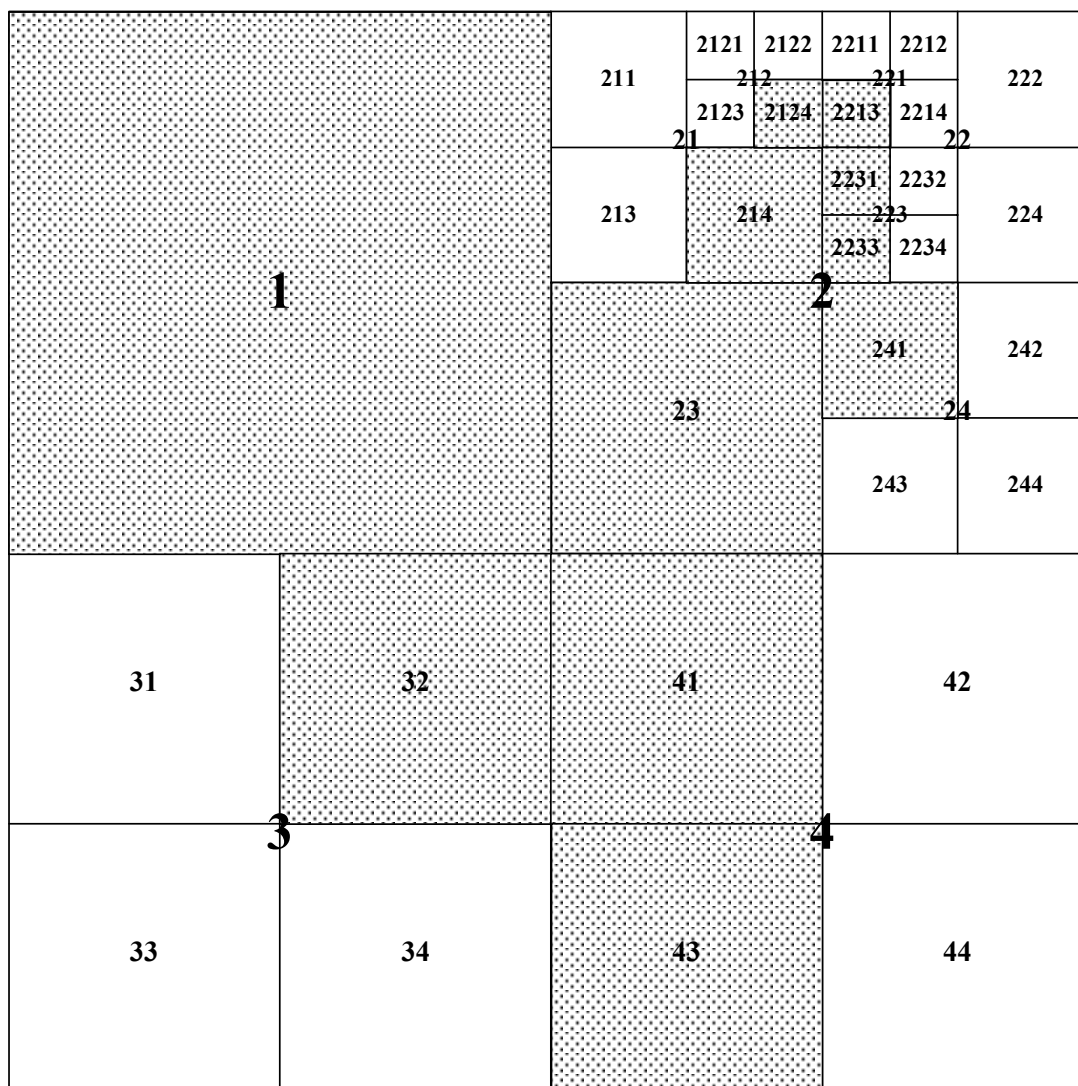
Obr. 6-9 Nejjednodušší datová struktura pro ukládání rastru - matice

Nejjednodušším příkladem je struktura typu **run-length-encoding** [36], založená na dekompozici původního rastru nejčastěji ve směru řádků na lineární úseky se stejnou hodnotou atributu. Vlastní rastr je pak ukládán jako série dvojic čísel, z nichž první znamená počet po sobě jdoucích buněk se stejnou hodnotou atributu a druhé má význam hodnoty atributu v těchto buňkách. Ukázka run-length kódování je na Obr. 6-10.



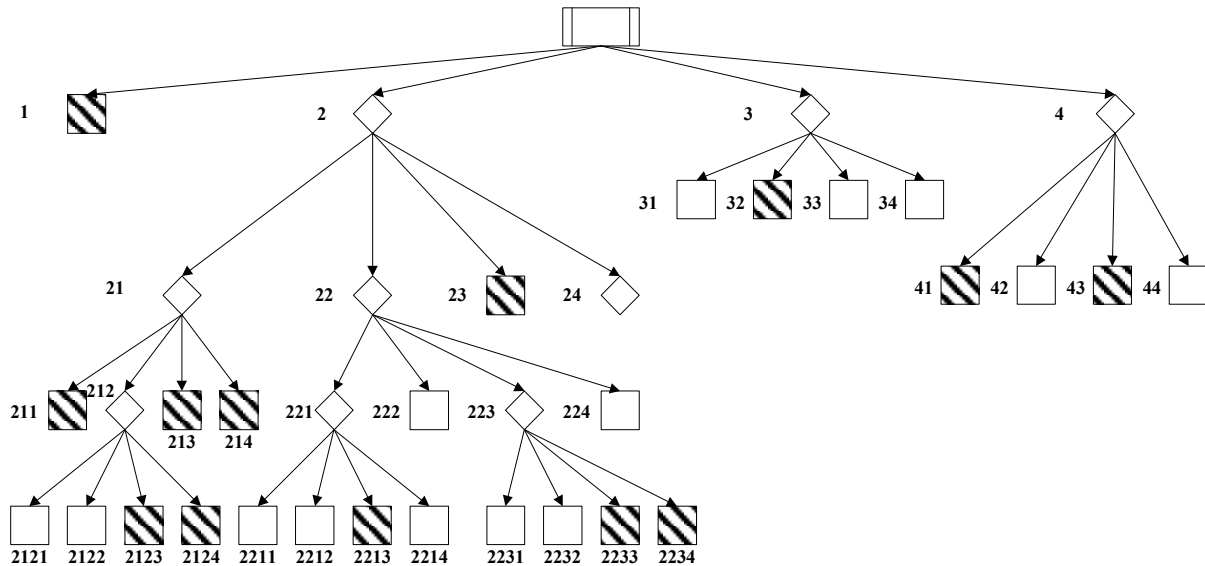
Obr. 6-10 Ukázka run-length kódování

Tento způsob ukládání rastrových dat se používá především při práci s binárními rastry, které vznikají nejčastěji skenováním černobílých předloh nesoucích pouze čárovou grafiku (např. katastrální mapy). V tomto případě může úspora paměťového prostoru dosáhnout i více než 80 %.



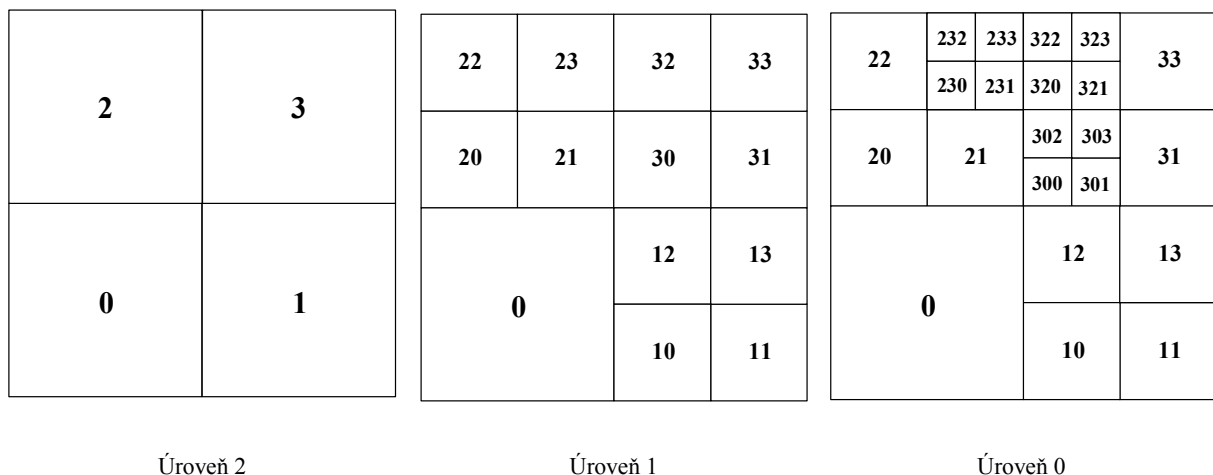
Obr. 6-11 Quadtree

Jinou často používanou datovou strukturou je tzv. **quadtree** [30], [31], založené na postupném pravidelném dělení čtvercové oblasti na kvadranty a sub-kvadranty tak dlouho, až je buďto v celém kvadrantu stejná hodnota atributu, nebo je dosaženo nejmenšího možného rozměru kvadrantu (rovného rozměru základní buňky) - viz Obr. 6-11. Strukturu quadtree lze nejnázorněji znázornit pomocí grafu, v němž jednotlivým kvadrantům a subkvadrantům odpovídají uzly, orientovanými hranami je znázorněn směr dělení (Obr. 6-12). Každý uzel je buďto koncový (pak se označuje jako **listový uzel** (zjednodušeně list) - angl. leaf node) a v tom případě nese údaj o hodnotě atributu v celém kvadrantu, který reprezentuje, nebo z něj vycházejí čtyři nové hrany, znázorňující další dělení, a pak se nazývá **mezilehlý uzel** (angl. internal node). Zvláštní postavení má první uzel, který reprezentuje celou znázorňovanou oblast. Označuje se běžně jako **kořenový uzel** (angl. root node). **Hloubka** (angl. depth) stromu (i quadtree) se označuje **n** a představuje počet hran ležících na nejdelsí cestě od kořene ke kterémukoliv listu. Navíc je to i velice důležitý parametr udávající rozlišení quadtree. Pokud budeme uvažovat, že kvadrant reprezentovaný nejbližším listem má hranu jednotkové délky, pak celá oblast má stranu délky 2^n buněk. Pokud nejbližší list označíme jako uzel s úrovní 0, pak kterýkoliv uzel s úrovní **m** reprezentuje kvadrant s délkou strany 2^m buněk.



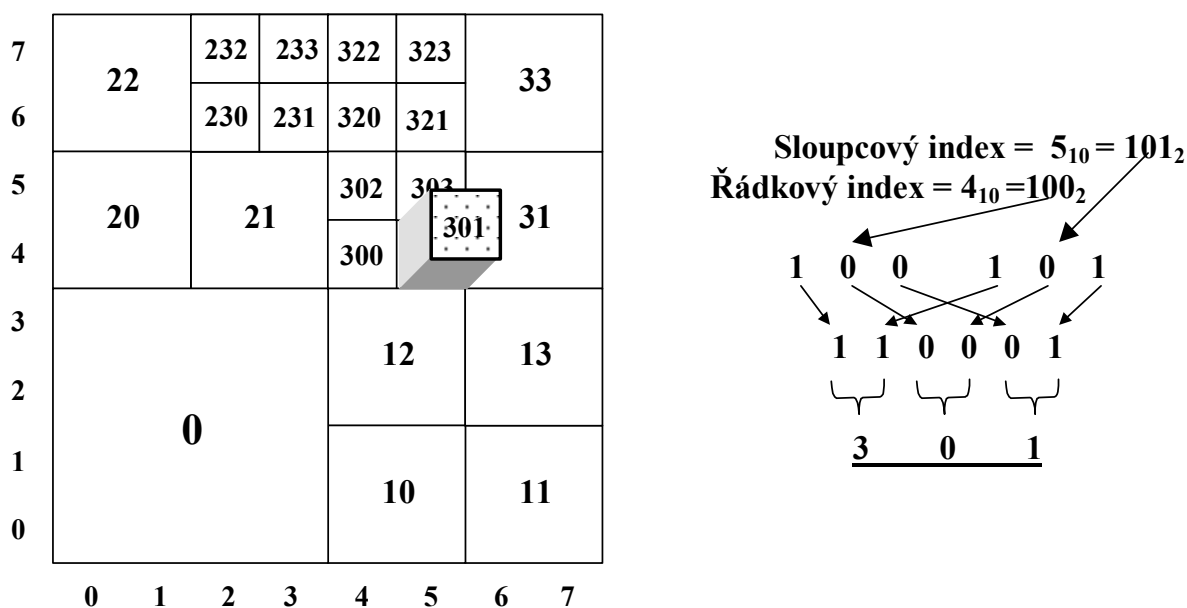
Obr. 6-12 Znázornění struktury quadtree pomocí stromu

Byla navržena celá řada datových struktur, umožňujících reprezentaci quadtree v paměti počítače [30]. Nejstarší z nich explicitně zaznamenávají všechny uzly quadtree, přičemž hrany jsou reprezentovány pomocí ukazatelů na podřízené uzly. Takováto struktura je však velice těžkopádná. Proto se hledaly výhodnější datové struktury. K nejpoužívanějším patří datová struktura označovaná jako lineární quadtree, v které jsou zaznamenány jen koncové uzly (listy). Každý uzel je přitom označen speciálním numerickým klíčem, z něhož lze snadno odvodit polohu uzlu v quadtree. Použití takovýchto klíčů dokonce dovoluje odvozovat prostorové vztahy. Díky tomu byla vyvinuta celá řada algoritmů, realizujících běžné prostorové operace, jako je průnik a sjednocení, geometrické transformace apod. [29] in [53].



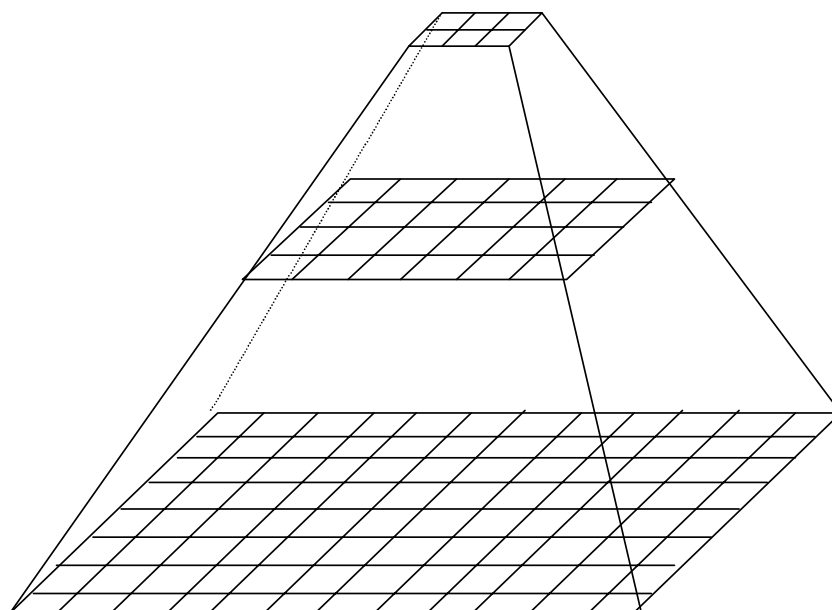
Obr. 6-13 Mortonův klíč

Nejpoužívanějším je tzv. Mortonův klíč [12]. Ukázka Mortonových klíčů pro quadtree o straně délky 8 je na Obr. 6-13. Existuje mnoho způsobů, jak tyto klíče získat, ale jako nejrychlejší se jeví prokládání bitů [12]. Princip této metody je velice jednoduchý. Na Obr. 6-14 je uvedena ukázka odvození Mortonova klíče pro buňku 301 (viz Obr. 6-13).



Obr. 6-14 Ukázka odvození Mortonova klíče

Jinou hierarchickou datovou strukturou je **pyramida** [53] (Obr. 6-15). Ta na rozdíl od quadtree ukládá všechny buňky v hierarchii, přičemž hodnota reprezentovaná ve vyšších buňkách je obvykle stanovena jako průměrná hodnota z buněk ležících o jednu úroveň níže. Tato struktura proto má vícenásobné rozlišení a umožňuje velice snadno prohlížet i velké obrazy (např. družicové snímky). Při vyhledávání zájmové oblasti postupujeme tak, že si nejprve zobrazíme rastr ležící na nejvyšší úrovni, který má největší rozměr základní buňky a tím i nejmenší rozlišení. V tomto rastru snadno nalezneme oblast, která nás zajímá. Pak se přepneme do rastru, ležícího o úroveň níže, a provedeme přesnější lokalizaci zájmové oblasti. Opět se přepneme do rastru s menším rozměrem základní buňky, který zobrazuje zájmovou oblast mnohem detailněji. Tyto kroky opakujeme, až dosáhneme rastru ležícího na nejnižší úrovni pyramidy, který zobrazuje zájmové území nejdetailněji.



Obr. 6-15 Pyramida

Zvláště při zpracování družicových snímků je takováto organizace rastrových dat téměř nevyhnutelná, protože vyhledávat cokoliv přímo v původním rastru je velice obtížné a snadno může dojít k přehlédnutí. Zvýšená rychlost manipulace se snímkem je však vykoupena zvýšením nároků na paměťový prostor.

Rastrový datový model a realizace jednotlivých složek popisu geoprvků

Jak již bylo uvedeno, v rastrovém datovém modelu prakticky nelze reprezentovat jednotlivé geoprvky, ale pouze rozložení jejich sledovaných vlastností v prostoru. Z toho také vyplývá výrazné omezení možností realizace jednotlivých složek popisu geoprvků, tak jak je uvedeno v následujícím zhodnocení.

Zhodnocení rastrového datového modelu

Z pohledu realizace jednotlivých složek popisu geoprvků je na tom rastrový model nejhůře [45]. Většina problémů vzniká proto, že v rastrovém modelu nelze pracovat přímo s jednotlivými geoprvků, ale pouze s rastry, znázorňujícími rozložení vlastností geoprvků v zájmové oblasti.

Geometrická složka popisu geoprvků je obsažena v tomto datovém modelu pouze implicitně, explicitní vyjádření geometrické složky je prakticky nemožné.

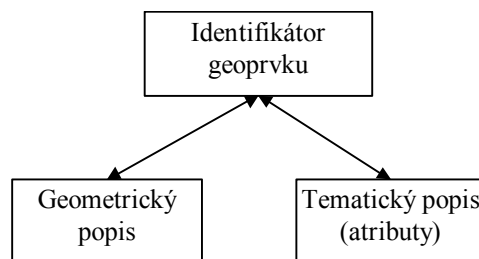
Tematická složka popisu geoprvků je realizována v podobě jednotlivých rastrů, znázorňujících rozložení vlastností v zájmové oblasti.

Časovou složku je možné zachytit jen jako posloupnost rastrů, znázorňujících rozložení stejného atributu v různých časových okamžicích.

Složku popisu vztahů lze realizovat jen velice omezeně, v rozsahu odpovídajícím možnostem rastru.

Složku popisu operací je možné realizovat v podobě programů, zpracovávajících rastry.

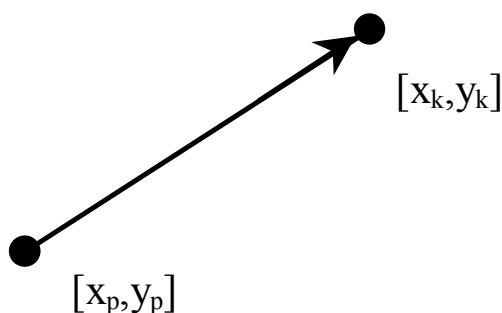
6.4.1.2 Vektorový datový model



Obr. 6-16 Schematické členění dat popisujících geoprvky ve vektorovém datovém modelu

Vektorový datový model dnes představuje jeden ze dvou nejrozšířenějších datových modelů, používaných v současných GISech. Vzhledem k tomu, že se jedná i o historicky jeden z nejstarších datových modelů, používaných v GISech, odpovídá tomu i rozsah, v jakém jsou tímto datovým modelem respektovány jednotlivé složky popisu geoprvků. Plně akceptované jsou geometrická a popisná složka, částečně i vztahová (především v oblasti prostorových vztahů - topologie - a v oblasti vztahů, které lze přímo popsat daty - vlastnické a jiné vztahy). Ostatní složky, tedy časová, funkční a částečně i vztahová nejsou do tohoto modelu běžně implementovány a jsou realizovány jinými prostředky.

Na rozdíl od rastrového datového modelu zavádí tento datový model schématické členění dat podle geoprvků (viz Obr. 6-15). Každému geoprvcu je v tomto datovém modelu přiřazen jedinečný identifikátor a zcela odděleně jsou vedeny geometrická složka popisu geoprvcu a tematické složka popisu, přičemž vazba mezi těmito dvěma složkami je zprostředkována právě pomocí jedinečného identifikátoru geoprvcu. Především z důvodu tohoto schématického členění, které se však promítá i do fyzické realizace tohoto modelu, se v oblasti GISů pracujících s vektorovým datovým modelem ujala poněkud zavádějící terminologie, kdy data geometrického popisu jsou označována jako „data prostorová“ a data tematického popisu jako „data neprostorová“.



Obr. 6-17 Vektor

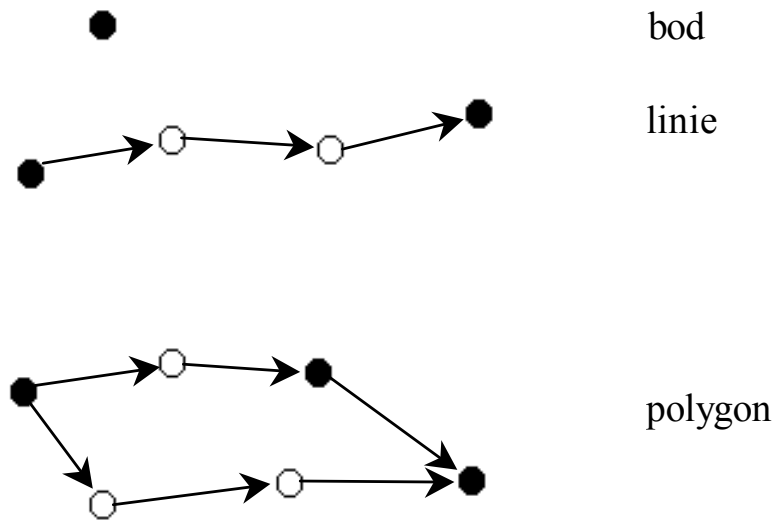
Vektorový model a ukládání geometrické složky

Ve vektorovém datovém modelu se pro popis geometrických vlastností geoprvků používají lineární geometrické prvky, tzv. **vektory** [1]. Vektor je v terminologii GISů orientovaná úsečka, definovaná souřadnicemi počátečního a koncového bodu (viz Obr. 6-17). Tyto vlastnosti jsou znázorňovány pomocí tří základních geometrických prvků (Obr. 6-18):

- **bod** - jako vektor nulové délky (vektor, u něhož splyne počáteční a koncový bod)
- **linie** - jako otevřená posloupnost vektorů (v zahraniční literatuře se pro linii používá termín arc (oblouk)). U linie rozlišujeme počáteční a koncový bod, které se běžně označují termínem **uzel** (angl. nod), a mezilehlé body, které se označují termínem **vrchol** (angl. vertex).
- **plocha** - je reprezentována svojí hraniční linií, která je uzavřená, popsána uzavřenou posloupností vektorů, resp. linií.

Z hlediska způsobu ukládání geometrické složky popisu geoprvků se vektorové datové modely dělí na dvě skupiny:

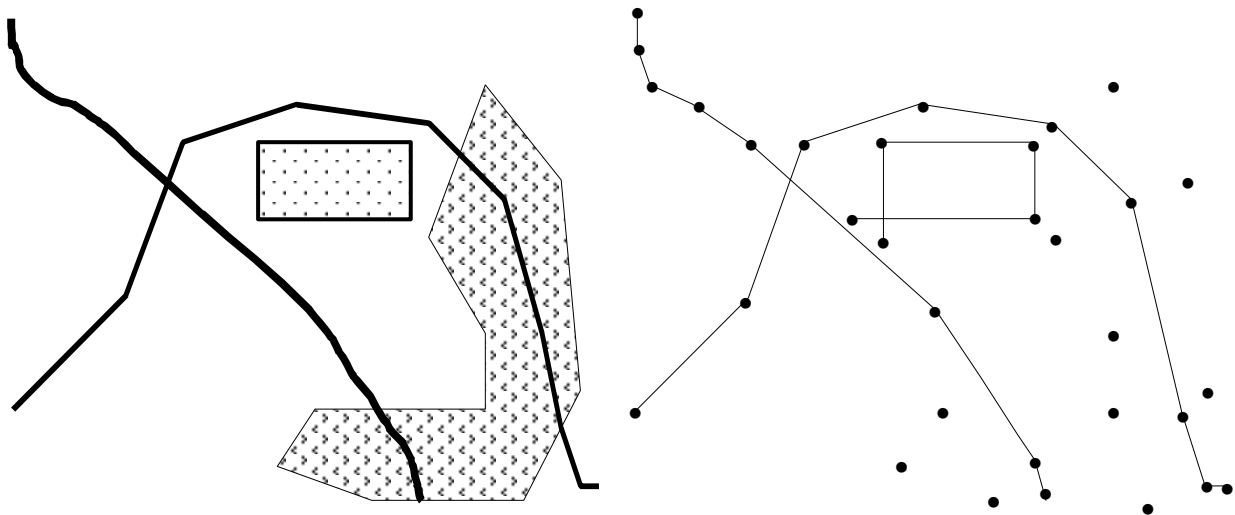
- nespojené (angl. unlinked)
- topologické (angl. topological)



Obr. 6-18 Popis geometrických vlastností jednotlivých základních typů geoprvků pomocí vektorů

Nespojené modely

Nejjednodušší formou je tzv. "špagetový model" (angl. spaghetti model). V tomto modelu je každý geoprvek na mapě kódován odděleně ve vektorové formě, bez vytváření vztahů s okolními geoprvky (Obr. 6-19). Linie se zde mohou křížit prakticky libovolně. Takovýto model je vhodný především pro zobrazování, a proto našel uplatnění především v počítačové grafice a digitální kartografii.



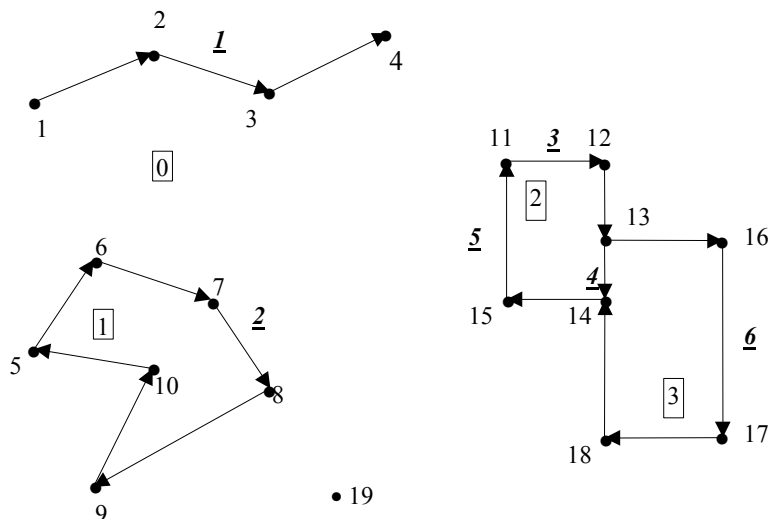
Obr. 6-19 Špagetový model

Objevila se i modifikace tohoto modelu, kdy první bod linie byl reprezentován absolutními souřadnicemi, zatímco další body již jen relativními souřadnicemi vzhledem k

prvnímu bodu. Prostorové operace s takto uloženými daty jsou však velice náročné na výpočty a proto se tato varianta příliš nerozšířila.

Topologický model

Základem topologického modelu je záznam linií tvořících mapu ve formě rovinného grafu. Jednotlivé linie odpovídají hranám grafu a jejich počáteční a koncové uzly uzlům grafu (Obr. 6-20). Mezilehlé vrcholy linií nemají při konstrukci vlastního grafu význam.



Obr. 6-20 Topologický model

V GISu může být tento graf uložen například tak, že v jedné tabulce jsou uloženy jednotlivé linie (= hrany grafu) spolu s počátečním a koncovým uzlem a mezilehlými vrcholy (jejich pořadí určuje orientaci linie), a také spolu s referencí na polygon, nacházející se na levé a pravé straně linie (pohybujeme-li se po ní ve směru její orientace – Obr. 6-21).

ID bod	x	y
1	1	10
2	3	11
3	5	10
4	7	11
5
6
7
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		

ID Plocha	Linie
1	2
2	3,4,5
3	6,-4

ID linie	ID l	ID n	Bodv
1	0	0	1,2,3,4
2	0	1	5,6,7,8,9,10,5
3	0	2	11,12,13
4	3	2	13,14
5	0	2	14,15,11
6	0	3	13,16,17,18,14

Obr. 6-21 Topologický model – jeden z možných způsobů uložení v databázi (viz. Obr. 6-20)

Uložení topologické informace ve formě grafu velice usnadňuje kontrolu konzistence a detekci chyb a usnadňuje také provádění některých analýz, jako jsou např. analýzy sítí.

Volba konkrétních datových struktur pro ukládání geometrické složky je závislá především na způsobu vytváření topologie. Pokud si GIS vytváří topologii jen v případě, že ji potřebuje pro určité zpracování (např. MGE firmy Intergraph), pak je možné geometrické složky geoprvků zaznamenávat přímo v grafické podobě (přesněji v podobě vektorového grafického souboru), a mít je tak kdykoliv k dispozici ve formě vhodné pro zobrazování na monitoru, případně pro vykreslování na výstupním zařízení. Jedinou podmínkou je, aby tyto grafické soubory obsahovaly korektní data umožňující kdykoliv podle potřeby vygenerovat topologii.

Naproti tomu některé GISy neustále udržují aktuální topologii (např. ARC/INFO firmy ESRI). V tom případě jsou geometrické složky popisu geoprvků ukládány ve speciálních tabulkách, které vedle těchto údajů zaznamenávají i vlastní topologii. Pokud si v tomto případě chceme zobrazit geometrické složky popisu geoprvků, musíme jejich grafickou reprezentaci vygenerovat z těchto tabulek.

Oba způsoby mají samozřejmě své výhody a nevýhody.

Vektorový datový model a ukládání tematické složky

Ve vektorovém datovém modelu je pro ukládání tematické složky popisu geoprvků používána celá řada datových struktur, které lze rozdělit do dvou velkých skupin [2], [4]:

- bez SŘBD
 - ◆ jednoduché tabulkově (souborově) orientované datové struktury
- se SŘBD
 - ◆ hierarchické datové struktury
 - ◆ síťové datové struktury
 - ◆ relační datové struktury.

	Sloupec 1	Sloupec 2	Sloupec 3
Řádek 1	Alois	Noha	1258
Řádek 2	Jóža	Stehno	1489
Řádek 3	Fero	Gul'a	1436
Řádek 4	Ujo	Zachar	4569

	Sloupec 1	Sloupec 2	Sloupec 3	Sloupec 3
Řádek 1	Alois	Noha	Horova 5	Folmava
Řádek 2	Jóža	Stehno	Dolova 8	Rumlava
Řádek 3	Fero	Gul'a	Rekova 158	Holdava
Řádek 4	Ujo	Zachar	Polova 258	Poldava

Obr. 6-22 Souborově orientované datové struktury

V **jednoduchých souborově orientovaných datových strukturách** (Obr. 6-22) jsou data ukládána ve vzájemně nezávislých souborech s řádky (záznamy) a sloupci (položkami). Položky jsou většinou pevně definované, mohou však mít proměnnou délku, případně se mohou i opakovat. Z tohoto důvodu může být délka jednotlivých záznamů různá. Hlavní nedostatek těchto datových struktur však spočívá v oblasti integrity dat. Protože neexistuje žádný mechanismus propojování souborů, může se snadno stát, že některé údaje musí být uloženy ve více souborech (viz Obr. 6-22, kde je ve dvou různých souborech uloženo vždy jméno a příjmení pracovníka). To však může způsobit, že při nevhodné aktualizaci se původně shodné údaje mohou začít lišit. Problematická je i efektivnost ukládání dat a pružnost práce se soubory. Na druhé straně však tyto datové struktury mají i své výhody, k nimž patří především jejich jednoduchost a z ní vyplývající snadnost programování a konverze mezi různými systémy.

Velkým problémem bývá sekvenční uložení dat v souborech. Takovýto způsob ukládání dat v praxi vede k značné časové náročnosti operací typu vyhledávání. Navíc jsou data často ukládána i bez třídění a vyhledání požadovaného údaje v takto uspořádaném souboru pak znamená při každém vyhledávání prohledat celý soubor.

Čas potřebný k prohledávání datového souboru lze redukovat v zásadě dvěma způsoby:

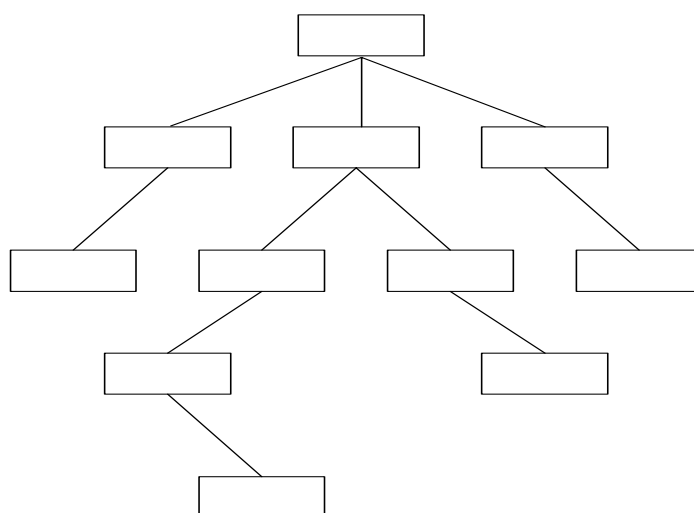
- uspořádáním záznamů podle jedné z položek (nebo i kombinace více položek)
- vytvořením zvláštního „indexového“ souboru, v němž jsou uloženy seřazené klíčové hodnoty spolu s ukazateli na začátek příslušných záznamů v originálním souboru.

Tyto souborově orientované datové struktury jsou nevhodné pro ukládání a manipulaci s velkými objemy dat, pro která není typická malá dynamika změn a sekvenční zpracování, ale spíše náhodný přístup a časté změny. V takovém případě se vývoj obvykle přiklání směrem k používání databázových systémů, které ukládají data v databázích s pevnou vnitřní strukturou a uživateli dávají k dispozici nástroje pro efektivní práci s databází. Umožňují například rychlé prohledávání databází, vytváření vazeb mezi jednotlivými tabulkami, efektivní výběr dat podle zadaných kritérií apod.

K historicky nejstarším datovým strukturám založeným na existenci systému řízení báze dat patří **hierarchické datové struktury**, které organizují data do stromových struktur (Obr. 6-23). Na nejvyšší úrovni takové struktury stojí právě jeden prvek, označovaný jako **kořen**. S výjimkou tohoto kořene je pro každý prvek ve struktuře typické, že má právě jednu vazbu na prvek v nadřazené úrovni (tzv. rodičovský prvek), ale může mít několik vazeb na prvky v podřazených úrovních (prvky dceřiné nebo synovské). To odpovídá vazbám typu $1:n$. Vazby mezi prvky jedné úrovně, případně vazby na prvky nadřazené úrovně nejsou povoleny. Nelze proto zachytit vazby typu $n:1$ resp. $n:m$.

Hierarchické datové struktury umožňují ukládat geografická data způsobem, který je velice blízký reálnému světu. Příkladem může být požití této datové struktury pro uložení administrativně správních jednotek, kdy na nejvyšší úrovni stojí stát, o úroveň níže regiony, pak okresy, obce atd.

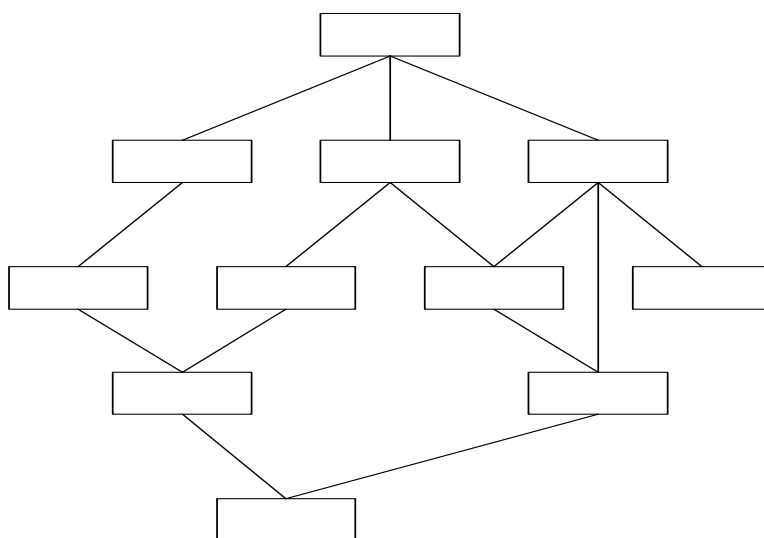
Tyto datové struktury se v oblasti GISů příliš neujaly. Jejich hlavní nevýhodou je, že vztahy mezi daty jsou zabudovány přímo do logické stránky datové struktury a velice obtížně se mění. Navíc všechny předpokládané dotazy do databáze musí být známy již v době návrhu databáze, aby bylo možné je zachytit v její struktuře. Dalším problémem je dotazovací jazyk, který musí být nutně závislý na logickém uspořádání datové struktury.



Obr. 6-23 Hierarchické datové struktury

Síťové datové struktury organizují data do sítí (Obr. 6-24), v nichž platí, že každý prvek v síti může být svázán s kterýmkoliv jiným prvkem. To znamená, že každý prvek může mít i více rodičů, a spojení mezi prvky nemusí být nutně jen směrem dolů, ale může být i směrem nahoru k prvkům na vyšší hierarchické úrovni. Lze tak ve struktuře databáze snadno zachytit vazby typu $1:n$, $n:1$ a $n:m$. Výsledná síťová struktura umožňuje ještě věrnější reprezentaci komplexních vztahů mezi geoprvky, existujících v reálném světě.

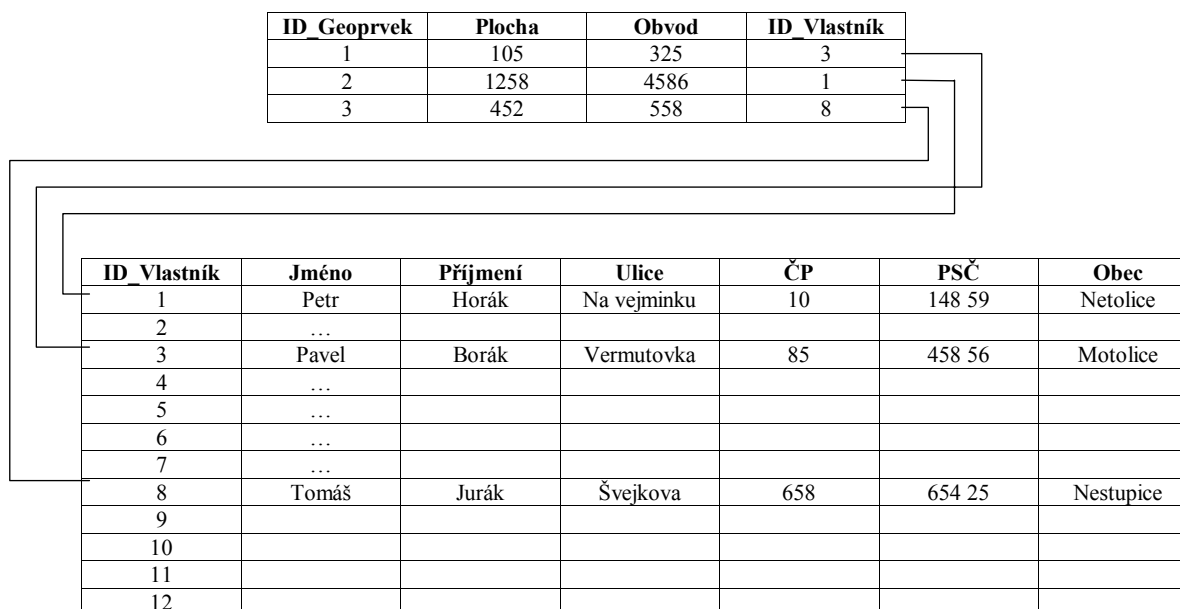
Ani tyto datové struktury se v GISech příliš neujaly, a to prakticky ze stejných důvodů jako v předešlém případě.



Obr. 6-24 Síťové datové struktury

Relační datové struktury (Obr. 6-25) mají blízko k souborově orientovaným datovým strukturám. Na rozdíl od nich však pracují s tabulkami, které mají přesně definovanou strukturu. Každá tabulka má své unikátní jméno. Je opět organizovaná do řádků (záznamů) a sloupců (položek), každá položka však má (v rámci tabulky) své unikátní jméno a přesně definovanou délku. Množina hodnot, z které jsou vybírány hodnoty ukládané v dané položce, je označována jako doména položky. Doménou může být např. množina celých čísel,

množina reálných čísel z intervalu (0,1), nebo výčet hodnot (např. (jaro, léto, podzim, zima) by mohla být výčtová doména pro položku s názvem "Roční období"). Další rozdíl oproti tabulkově orientovaným datovým strukturám je, že pro relační datové struktury je typická existence tzv. **Systému řízení báze dat** (SŘBD; angl. Data Base Management System - DBMS), který zajišťuje jednotnou práci s tabulkami a uživateli poskytuje přesně definované prostředky pro práci s tabulkami.



Obr. 6-25 Relační datové struktury

V relačních datových strukturách je dále zaveden mechanismus logického propojování tabulek. To se provádí prostřednictvím položek v různých tabulkách, které mají shodnou doménu. Takováto propojení jsou však prováděna jen dočasně, v případě potřeby. Jednoduchý příklad je uveden na Obr. 6-25. Máme dvě tabulky, jedna se jmenuje "Parcely" a obsahuje údaje o parcelách, druhá se jmenuje "Vlastníci" a obsahuje údaje o vlastnících. Položky "ID_Vlastník" v obou tabulkách mají společnou doménu a mohou být proto použity pro propojení těchto dvou tabulek. Výsledkem může být např. tabulka z Obr. 6-26.

Jedná se o tabulku, která sice v databázi GISu neexistuje, ale která může být kdykoliv na požádání vygenerována. To má za následek podstatnou redukci nároků na paměť. Je jasné, že takto lze spojovat tabulky zcela libovolně, jedinou podmínkou je, aby položky použité pro propojení tabulek měly stejnou doménu (a samozřejmě by bylo vhodné, aby měly i stejný význam, ale to je již věcí uživatele).

ID_Geoprvek	Plocha	Obvod	ID_Vlastník	Jméno	Příjmení
1	105	325	3	Pavel	Borák
2	1258	4586	1	Petr	Horák
3	452	558	8	Tomáš	Jurák

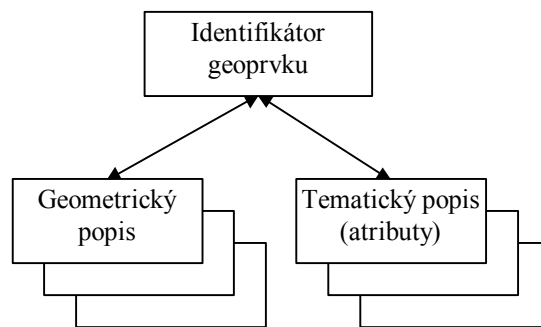
Obr. 6-26 Výsledek propojení dvou tabulek

Ukládání tematických dat pomocí relačních datových struktur doznalo v oblasti GISů největšího rozšíření. Výhodou tohoto řešení je, že GIS může velice snadno využívat existující

profesionální relační databázové systémy (jako je dBASE, ORACLE, Informix apod.) a může plně využívat jejich možností.

Vektorový datový model a ukládání časové složky

Již v odstavci pojednávajícím o časové složce popisu dat jsme si uvedli, že zahrnutí času do databází GISů není jednoduchým problémem, neboť čas zde není možné zahrnout jen jako další veličinu. Čas se v databázích GISů projevuje zprostředkovaně, prostřednictvím proměnlivosti geometrické a tematické složky popisu geoprvcu. Zjednodušeně je tato skutečnost znázorněna na Obr. 6-27. Z tohoto důvodu nemůžeme mluvit přímo o datových strukturách používaných pro ukládání časové složky popisu geoprvců, ale o speciálních datových strukturách používaných pro ukládání geometrické a tematické složky a umožňujících zaznamenávat i jejich proměnlivost v čase.



Obr. 6-27 Schematické členění dat popisujících geoprvcy ve vektorovém datovém modelu

Otázky spojené se zahrnutím času do databází GISů jsou dnes ještě pořád spíš předmětem akademických diskusí než konkrétních kroků tvůrců programového vybavení. I když první aplikace se již objevují - mělo by se jednat především o databázový modul ARCSTORM firmy ESRI. Nakolik se podařilo jeho tvůrcům zvládnout tuto složitou problematiku však ukážou až reálné aplikace.

Zhodnocení vektorového datového modelu

Z pohledu realizace jednotlivých složek popisu geoprvců poskytuje vektorový datový model lepší podmínky, než rastrový datový model. Zásadní výhodou oproti rastrovému datovému modelu je skutečnost, že zde můžeme pracovat přímo s jednotlivými geoprvcy, i když jsou data ve skutečnosti organizována jinak.

Geometrická složka popisu geoprvců je zvládnuta v tomto datovém modelu velice dobře, nejčastěji je realizována v podobě samostatné „prostorové databáze“, která však má dvě omezení:

1. prostorová databáze není organizována po geoprvcích, ale po vrstvách, rozdělených do mapových listů
2. geometrická složka umožňuje popsat geoprvcy pouze jako dvourozměrné. Pokud má uživatel zájem i o třetí rozměr, pak se jeho popis obvykle přesouvá do složky tematické.

Tematická složka popisu geoprvců je obvykle realizována pomocí relační databáze, přičemž vazba mezi tematickou a geometrickou složkou je realizována prostřednictvím

unikátního identifikátoru. Rovněž realizace této složky je ve vektorovém datovém modelu velice dobře propracovaná.

Časová složka popisu geoprvků není do tohoto datového modelu prozatím zahrnuta. V literatuře se objevují úvahy o možném řešení, avšak praktická realizace naráží na problémy s organizací „prostorové databáze“. I když i zde se již objevují tendence ke změně této organizace, a pak bude možné i časovou složku do vektorového datového modelu zavést.

Složka popisu vztahů je v tomto datovém modelu realizovatelná, částečně pomocí tematické složky (některé vztahy jsou popsány přímo daty), částečně pomocí struktury datového modelu a částečně pomocí programů pracujících nad datovým modelem.

Složka popisu operací je zde realizována prostřednictvím programů, pracujících nad oběma databázemi.

Shrnutí: Ve vektorovém datovém modelu je možné (nebo bude v blízké budoucnosti možné) realizovat všechny složky popisu geoprvků [45]. Hlavní nevýhodou je však obtížně udržitelná konzistentnost. Jsou realizovány pomocí různých databází, organizovaných podle odlišných pravidel, pomocí programů, zcela odtržených od geoprvků jako takových. Udržet konzistenci takového „systému“ v průběhu celého životního cyklu je dosti obtížné.

6.4.1.3 Hybridní datový model

Tento datový model vznikl z potřeby společného jednotného zpracování vektorových a rastrových dat. Tohoto cíle lze samozřejmě dosáhnout i vzájemnou konverzí dat mezi oběma základními modely (např. konverzí vektorových dat na rastrové a jejich zpracováním společně s původními rastrovými daty), ale takovéto řešení přináší celou řadu obtíží (především konverze rastrová data - vektorová data) a nevýhod. Proto je snahou výzkumných a vývojových pracovníků nalézt obecný datový model, který by ležel někde mezi oběma základními modely a který by byl vhodný pro ukládání dat jak ve vektorové, tak i rastrové podobě [31]. Data by tak byla uložena ve velice kompaktní formě, umožňující efektivní zpracování dat.

V [12] je navržen **unifikovaný datový model**, který spojuje výhody vektorového a rastrového datového modelu a umožňuje tak současné ukládání a zpracování dat z GIS, DMT a DPZ.

Unifikovaný datový model vychází z lineárního quadtree - to znamená, že geometrický popis geoprvků je místo souřadnic x a y vyjádřen pomocí Mortonových klíčů. Pro zvýšení přesnosti reprezentace pozice bodů je základní buňka quadtree ještě rozdělena jemným gridem (opět reprezentovaným pomocí quadtree). Lokalizace bodu je pak reprezentována dvěma Mortonovými klíči, z nichž první indikuje pozici bodu v základním quadtree a druhý v jemně děleném gridu. Linie je reprezentována množinou Mortonových klíčů, která obsahuje nejen pozice počátečního a koncového uzlu a všech vrcholů, ale sestává z celé cesty procházející základním quadtree. Obdobně je kódována i plocha. Ta je reprezentována jednak hraničními liniemi, jednak všemi buňkami hraničního quadtree ležícími v této ploše.

Ayala a kol. (1985) in [30] a [51] in [53] navrhl modifikované quadtree, určené pro zpracování linií a polygonů. Zavedl nový typ listu, nazvaný hranová buňka (angl. edge node). Tato buňka je protnuta právě jedním přímým segmentem linie a neleží v ní žádný vrchol. List pak obsahuje pointer na rovnici této přímé linie.

6.4.2 Objektově orientované datové modely

Geografické informační systémy zaznamenávají v posledních letech prudký nárůst popularity. Bylo vyvinuto velké výzkumné a vývojové úsilí zaměřené na zvýšení funkčnosti a efektivnosti těchto systémů. Výsledkem byla některá významná zlepšení, ale také odhalení celé řady slabých míst [15]:

- značně narostlo množství dostupných dat (např. díky rostoucí rozlišovací schopnosti dat z družic), což vede k problémům s ukládáním a zpracováním těchto dat
- při analýzách se těžiště zpracování postupně přesouvá od prostorově orientovaných analýz k analýzám objektově orientovaným. To vede k potřebě zavedení objektově orientované reprezentace dat. Tento požadavek otevírá zcela novou oblast vývoje technologie GISů
- s tak masivními objemy dat je spojen problém, jak v kterémkoliv systému provádět analýzy a podávat výsledné zprávy. Je zde totiž nebezpečí, že uživatel bude zavalen příliš mnoha informacemi. A navíc je obtížné vědět, jakou váhu dát kterému výsledku, protože tyto výsledky nejsou zařazeny do kontextu.

V [57] je provedena kritika datových struktur stávajících GISů:

- dnešní datové struktury jsou optimalizovány s ohledem na ukládání a rychlost manipulace s daty, aniž by braly v úvahu přesnou reprezentaci reálného světa.
- geoprvky jsou redukovány na body, linie a plochy, případně na pixely.
- datové struktury kladou důraz v první řadě na lokalizaci geoprvků, tematické údaje ukládají zcela odděleně, a tím podstatně stěžují provádění prostorových analýz.
- ani vektorový, ani rastrový model v reálném světě neexistují - silnice není linie, města nejsou body, a pixely reprezentují zcela libovolná místa prostoru, bez vyhraněného vztahu ke konkrétnímu geoprvku.

Tyto nedostatky lze odstranit jediným možným způsobem - vytvořením a zavedením objektově-orientovaného GISu. Nezbytnost zavedení objektově-orientovaného přístupu do zpracování prostorových dat lze dokumentovat na jednoduchém příkladě: Když promítneme pozorovateli snímek krajiny a zeptáme se, co vidí, pak nám určitě neodpoví, že vidí body, linie, nebo dokonce pixely, ale naopak lesy, silnice, údolí, řeky atd. A to je také výchozí platforma pro vývoj objektově-orientovaných GISů (OOGIS).

OOGISy musí pracovat s objekty, které odpovídají konkrétním reálným geoprvkům a popisují je jak po stránce prostorové, tak i tematické, časové, vztahové i funkční. Vznikají tak multidimenzionální entity, umožňující řešit i problémy, které byly při použití dřívějších datových struktur neřešitelné. Jedná se například o překrývající se geoprvky, nebo geoprvky s nejasnou prostorovou hranicí (s "fuzzy" omezením).

Příkladem překrývajících se geoprvků může být řeka a údolí. Zatímco v klasických datových modelech řeka rozdělí údolí vždy na dvě části, tak v OOGISu tato situace nepředstavuje žádný problém, protože tyto objekty se sice překrývají v 2D prostoru, použitým pro zobrazování, ale v jiných dimenzích jsou zcela odlišné.

Příkladem geoprvků s "fuzzy" omezením může být samo údolí a jeho přilehlý hřbet. Tyto dva geoprvky se opět mohou překrývat, neboť linie, která je odděluje, není přesně a jednoznačně definovaná. Takovéto geoprvky nemohou být strukturovány exaktním dělením prostoru, tak jak to vyžadují klasické datové modely.

OODBMS (objektově orientovaný databázový systém; angl. object oriented database management system) poskytuje mnohem přirozenější přístup k budování systémů, protože

programové objekty odpovídají přímo objektům reálným. Objekty mohou zachycovat jakýkoliv řád komplexnosti a při použití objektově orientovaného přístupu je proto jednoduché ukládat různé datové typy a jejich komplexní vztahy [11].

Většina dnešních GISů využívá pro ukládání dat relační databáze. Avšak užití relačního přístupu je v mnoha oblastech vcelku nové (uvádí se, že jen 5 % všech dat je dnes uloženo v relačních databázích). V takovém případě se nabízí otázka, zda by nebylo lepší přeskočit používání relačních databází a přejít přímo k objektově orientovaným databázím.

OODBMS nabízejí nejlepší rysy moderních technologií. Protože objekty mohou obsahovat zase objekty, lze v OODBMS postihnout prakticky jakkoliv komplexní strukturu dat. Tyto databáze nabízejí přirozený způsob ukládání a vybírání komplexních objektů, uživatelé si mohou definovat své vlastní (nové) objekty, umožňující reprezentovat v databázích GISu všechny potřebné typy geoprvků (silnice, ulice, řeky ...).

Takováto redukce propasti mezi porozuměním reálnému světu a ukládáním dat o něm činí OODBMS snadněji srozumitelnou a použitelnou pro všechny, kdo přicházejí do styku s GISem.

Oblastí vhodných pro použití OODBMS je mnoho a jsou různé. Na úrovni veřejné správy mohou aplikace sahát od monitorování znečištění životního prostředí až po plánování výstavby. V komerční oblasti lze tyto databáze využít např. v realitních kancelářích, kdy k dané nemovitosti lze velice snadno uložit i doprovodný textový popis, fotografii nebo i videozáznam.

Zhodnocení objektově orientovaného datového modelu

Geometrická složka popisu geoprvků je realizovatelná v plné šíři, navíc je možné zavést k jednomu geoprvcu několik reprezentací (popisů), například jeden v dvourozměrném prostoru, jeden ve třírozměrném prostoru, nebo i reprezentace závislé na měřítku zobrazení geoprvcu. Bez problémů lze popsat jak polohu v prostoru, tak i topologii geoprvcu a jeho geometrické vlastnosti. Geometrická složka popisu geoprvcu se v tomto datovém modelu dostává na stejnou úroveň, jakou zaujímají ostatní složky.

Tematická složka popisu geoprvcu je opět snadno realizovatelná v plném rozsahu.

Časová složka popisu geoprvcu je opět velice snadno realizovatelná, v tomto případě jako posloupnost verzí geometrických popisů, resp. atributů, platných po vymezený časový interval. Při dotazu na stav objektu v určitém časovém okamžiku je vrácena množina odpovídajících „verzí“ geometrického a tematického popisu.

Složka popisu vztahů je realizovatelná s využitím různých nástrojů, poskytovaných objektově-orientovaným přístupem, jako je dědičnost, polymorfismus, vnitřní struktura objektů apod.

Složka popisu operací je realizovatelná prostřednictvím metod, zprostředkovávajících komunikaci mezi „uživatel“ objektu a jeho datovou částí.

Shrnutí: Ze v současné době dostupných datových modelů poskytuje objektově-orientovaný datový model nejvhodnější prostředí pro konzistentní realizaci všech složek popisu geoprvků [45]. Výhodou je především to, že tento model pracuje přímo s jednotlivými geoprvky - objekty, které představují základní organizační jednotky datového modelu a dále, že každý objekt obsahuje všechny složky popisu reprezentovaného geoprvcu na jednom místě.

6.5 Závěr

Popis geoprvků, reprezentovaných v databázích geografického informačního systému je relativně složitý, skládá se ze složek, reprezentovaných daty, dále složek reprezentovaných logickými vazbami a v neposlední řadě ze složek reprezentovaných programovým kódem.

Rastrový datový model neumožňuje plnou realizaci popisu geoprvků, navíc jsou zde striktně odděleny složky realizované prostřednictvím dat a složky realizované prostřednictvím programového kódu, pracujícího nad těmito daty.

Vektorový datový model umožňuje téměř úplnou realizaci popisu geoprvků, avšak tento popis je roztržštěn do relativně samostatných částí, jako je prostorová databáze, tematická databáze a programový kód. Navíc vnitřní organizace těchto relativně samostatných částí mnohdy plnou implementaci popisu geoprvků ztěžuje.

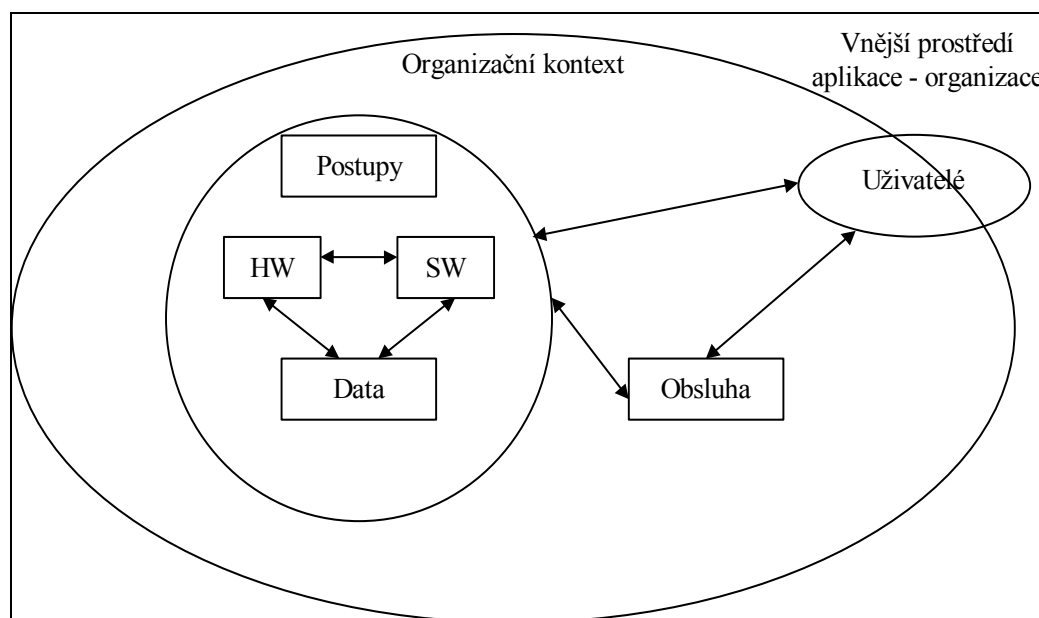
Objektově-orientovaný datový model umožňuje plnou realizaci popisu geoprvků, vyznačuje se vysokou konzistentností popisu geoprvků, jednotlivé složky popisu každého geoprvků vytvářejí organický celek - objekt. Nevýhodou objektově-orientovaného datového modelu je prozatím jeho novost, z které může pramenit jistá nevyzrállost a každopádně omezená nabídka vhodných programových produktů, umožňujících práci s tímto datovým modelem a plnou realizaci všech složek popisu geoprvků.

7. Struktura aplikace GIS

V odstavci 2.3.1 bylo uvedeno, že termín geografický informační systém je možné chápat na třech úrovních. V této kapitole se budeme zabývat úrovní druhou - aplikační.

Jak vyplývá z definice uvedené v odstavci 2.3.1.2, lze v rámci aplikace geografického informačního systému vyčlenit sedm základních složek (Obr. 7-1) [43]:

- technické prostředky
- programové prostředky
- data
- postupy
- obsluha
- uživatelé
- organizační kontext.



Obr. 7-1 Struktura aplikace GIS [43]

Pokud má GIS uspokojivě fungovat, je nezbytné tyto komponenty dobře vyvážit. Podcenění kterékoliv z nich může způsobit v konečných důsledcích značné finanční ztráty, případně i opuštění projektu.

Je problematické probírat tyto komponenty odděleně, protože spolu velice úzce souvisí a vzájemně se podmiňují. Nicméně určující složkou by měl být **organizační kontext**, který definuje mimo jiné i rozhraní mezi aplikací a vnějším prostředím, tedy organizací a tím definuje, jaké požadavky bude mít organizace na GIS a na druhé straně také definuje, jaké podmínky musí organizace GISu zajistit, aby mohl tyto požadavky uspokojovat.

Této problematice by měla být věnována náležitá pozornost, protože - ač jsou všechny výše jmenované složky pro úspěšnou aplikaci GIS podstatné a žádná z nich **nesmí** být zanedbána, natož opomenuta, tak tato složka má poněkud výsadní postavení - je pro budování

GISu určující. Bez ujasnění si této složky není možno zodpovědně přistoupit ke specifikaci zbývajících šesti.

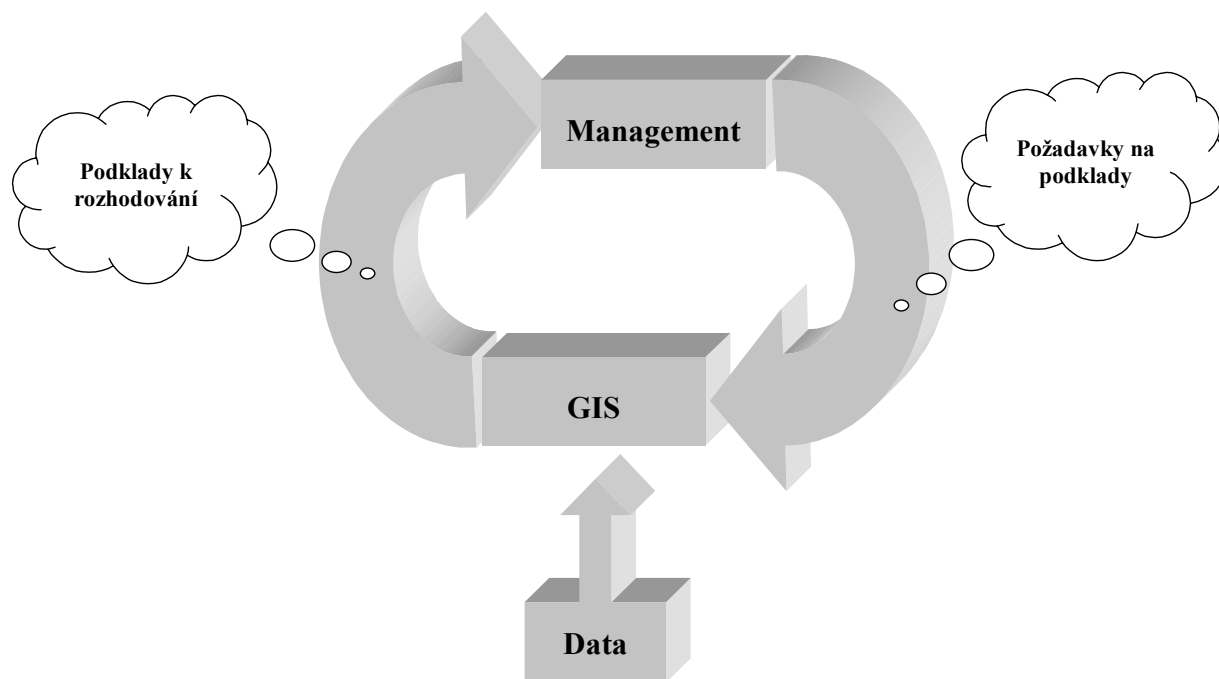
7.1 Organizační kontext

Jakákoliv nová komplexní technologie může být účinně a efektivně využívána pouze pokud je vhodně integrována do celého pracovního procesu. A platí to i o geografických informačních systémech.

Vzhledem k tomu, že budování aplikací geografických informačních systémů je časově velice náročný proces (trvajících řádově roky), je nutné organizační kontext GISu vnímat ve dvou úrovních [7]:

1. **cílový stav** - kontext, kterého má být v budoucnu dosaženo, a který je určujícím faktorem pro volbu vhodných technických a programových prostředků, dat atd. Tato rovina je velice úzce svázána s přípravou projektu GISu.
2. **okamžitý stav** - uvádění GISu do požadovaného kontextu jeho postupným začleňováním do řešení úloh a problémů dané organizace. Tato rovina je úzce svázána s jednotlivými etapami realizace projektu.

ad 1, Tento cílový stav je schematicky vyjádřen na Obr. 7-2. Veškerá data a informace potřebná pro řízení vstupují do organizace pouze prostřednictvím GISu. S jeho pomocí jsou pak připravovány nezbytné podklady pro řídicí pracovníky. Ti na jejich základě rozhodují, případně kladou další požadavky a dotazy na GIS.



Obr. 7-2 Organizační kontext - cílový stav

Toto schéma je velice zjednodušené, má za cíl jen naznačit místo GISu v organizaci. Ve skutečnosti bude v každé reálné organizaci existovat takovýchto smyček více, na různých úrovních, od strategické (pro vrcholové řídicí pracovníky), až po operační (pro potřebu

operativního řízení). Ale to už závisí na konkrétní situaci v konkrétní organizaci. Nicméně tvůrci geografického informačního systému musí mít toto schéma na paměti.

ad 2, Budování geografických informačních systémů je dlouhodobou záležitostí, probíhá po etapách, a tedy i jeho začleňování do struktur organizace musí probíhat po etapách.

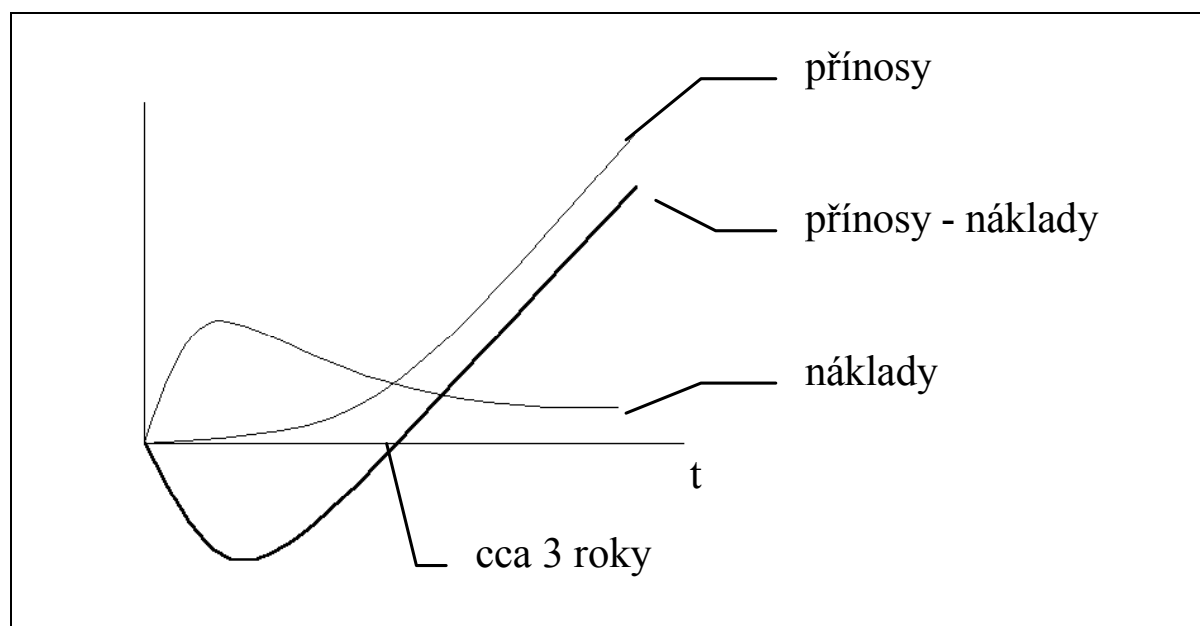
Organizačním kontextem dané implementace GISu by se měly zabývat různé konzultační a poradenské firmy.

Podrobněji bude problematika projektování GISů pojednána v kapitole 8.

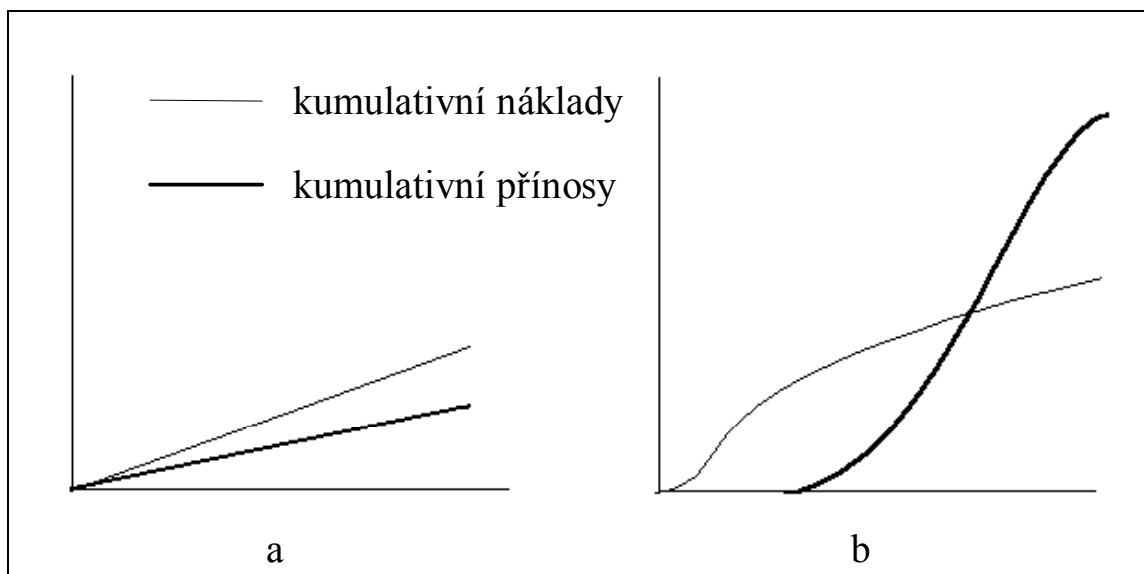
8. Obecné zákonitosti plánování a zavádění GISů

Než se pustíme do problematiky plánování a projektování GISů, věnujme se krátce některým obecným zákonitostem budování aplikací GISů:

- **doba zavádění (implementace) aplikací GIS** - běžně se uvádí, že celý proces implementace GISu přípravou plánu počínaje a uvedením do plného provozu konče trvá deset až patnáct i více let [4], [20], [24]
- **doba návratnosti investic** - v literatuře se uvádí doba návratnosti investic opět deset a více let [4], [24]
- **životnost dat vs. životnost technického a programového vybavení** - životnost dat se měří řádově v desítkách let [56] (běžně se uvádí životnost 50 až 70 i více let; minimální životnost dat je v podstatě dána životností geoprvků, které tato data popisují, tj. životností např. domů, měst, komunikací ...). Naproti tomu životnost technického a programového vybavení se měří řádově v letech (dva až čtyři roky u technického a 4 až 8 let u programového vybavení), což v praxi znamená, že už v průběhu implementace GISu dojde k několikeré výměně technického a pravděpodobně i programového vybavení.
- **poměr investic do technického a programového vybavení a investic do dat** - uvádí se, že data pohltí 70 až 80% všech investic do implementace GISu.
- **vývoj nákladů a přínosů** - na Obr. 8-1 je schematicky znázorněn vývoj nákladů a přínosů v průběhu implementace GISu. První cca 3 roky převládají investice do GISu nad přínosy, teprve po této době začínají převládat okamžité přínosy
- **nezbytnost „agresivního“ investování** – na Obr. 8-2 je uvedeno srovnání „opatrného“ a „agresivního“ investování do GISu. V případě opatrného investování může snadno dojít k situaci, že nikdy nebude dosaženo návratnosti investic [4], [9].

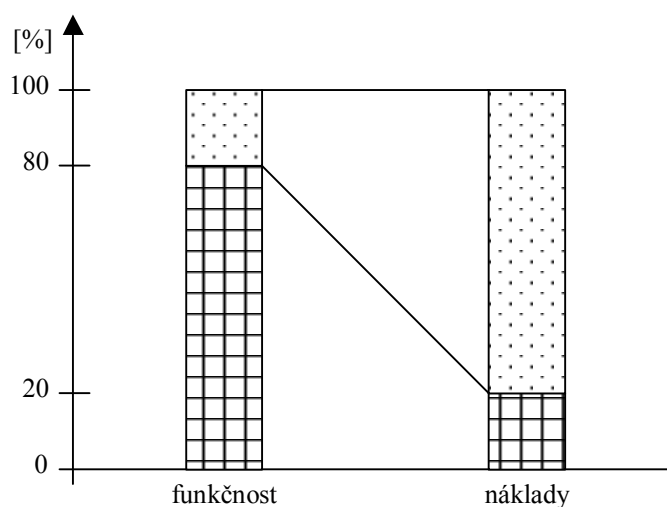


Obr. 8-1 Vývoj nákladů a přínosů v průběhu implementace GISu



Obr. 8-2 Srovnání důsledku "opatrného" (a) a "agresivního" (b) investování do GISu [4], [9]

- **pravidlo 80 - 20** - vezmeme-li v úvahu 100% nákladů na implementaci aplikace GISu, řešící 100% úloh prováděných v dané organizaci, pak platí, že 80%



Obr. 8-3 Pravidlo "80 - 20"

prováděných úloh lze řešit při vynaložení pouze 20% těchto nákladů (Obr. 8-3). Pokud budeme chtít dosáhnout toho, aby implementovaný GIS pokrýval i zbývajících 20% úloh, bude nás to stát „zbývajících“ 80% nákladů. (V obecné teorii systémů [52] je uveden obecný princip osmdesát-dvacet (angl. eighty-twenty principle): V jakémkoliv velkém a složitém systému je osmdesát procent výstupů generováno pouze dvaceti procenty systému.)

- **vývoj úloh v průběhu životního cyklu aplikace GIS** – nejprve jsou řešeny úlohy typu inventarizace, což souvisí především s prvotním pořizováním dat do databází GISu, pak následuje etapa komputerizace stávajících postupů, související

s přípravou prvních aplikací nad vytvořenou databází. Tyto aplikace většinou znamenají převod stávajících úloh a postupů jejich řešení do prostředí GISu. Teprve později přichází etapa řešení nových úloh novými postupy, která staví na dokonalém seznámení se obsluhy a hlavně uživatelů s možnostmi nové technologie a se snahou využít maximálně jejich možnosti. Teprve v této etapě pocítí vrcholový management, že má v organizaci vybudovaný geografický informační systém a že je možné použít ho pro podporu rozhodování na nejvyšší úrovni řízení.

Čísla uvedená u těchto obecných zákonitostí nelze brát doslovně. Jedná se spíše o orientační údaje. Např. u vývoje přínosů a nákladů je uvedeno, že k převážení přínosů nad náklady dojde po cca 3 letech. Může k němu však dojít i dříve (např. již po dvou letech) nebo i později. Vždy se však budeme pohybovat řádově v letech, nikoliv v měsících nebo dokonce týdnech.

8.1 Plánování vs. projektování GISů

Hned z prvních dvou zákonitostí vyplývá, že proces implementace GISu je extrémně dlouhodobý a vyžaduje si proto pečlivou přípravu a vedení. V této souvislosti se v literatuře běžněji mluví o plánování, než o projektování aplikace GISu. **Plánováním** se rozumí příprava implementace GISu na obecné úrovni, vlastní **projektování** je jen jednou specifickou etapou implementace.

8.2 Potřeba plánování GISu

Výše byla zmíněna struktura aplikace GISu a bylo konstatováno, že pro dobré fungování systému je nezbytné správně tyto komponenty vyvážit. Dále bylo upozorněno, že určující je složka poslední, označená jako **organizační kontext**. Tato složka má velký význam především v přípravné fázi implementace GISu. Definuje nám cílový stav, kterého má systém po úplné implementaci dosáhnout a dále, umožňuje nám stanovit nároky kladené na zbývající složky implementace GISu. Nejlepší způsob, jak začít plánovat implementaci GISu je proto pečlivé zpracování přehledu potřeb organizace (stávajících a samozřejmě i budoucích) a zpracování plánu implementace GISu, který nás provede systematicky procesem výběru a implementace systému.

Sestavení plánu implementace GISu je velice důležité. Umožní nám [24]:

- **vytřídit si problémy** a přijmout strategická rozhodnutí, týkající se zaměření a obsahu systému a také jeho pozice v organizaci
- **vedení implementace GISu** - plán implementace GISu poskytuje vodítko pro organizovanou, systematickou a efektivní implementaci této nové technologie
- **předpověď požadavků** - plán implementace GISu slouží jako základ pro návrh požadavků na rozpočet a na personální zabezpečení. A je tím nejlepším prostředkem, zajišťujícím, že budou uspokojeny jak současné, tak i budoucí potřeby všech uživatelů
- **dobré zdůvodnění programu** - plán implementace GISu může také pomoci získat rychlou a plnou finanční podporu GIS programu. Pro implementace GISů jsou charakteristické velké počáteční náklady, dlouhá doba návratnosti investic, vysoké riziko a hluboké změny pro uživatele. Kombinace těchto faktorů vyvolává velký zájem u vrcholových řídicích pracovníků, kteří musí odsouhlasit financování GISu.

Ale dobře sestavený GIS plán jim může poskytnout takovou úroveň porozumění a důvěry, kterou potřebují pro schválení programu.

- **předcházení problémům** - jestliže organizace předvídá výskyt problémů a může odhadnout jejich pravděpodobnou povahu a jejich potenciální velikost, bude lépe připravena na jejich zvládnutí. To může urychlit řešení těchto problémů a snížit náklady na jejich řešení.
- **stanovení cílů** - plán implementace GISu může definovat cíle a tak dát implementaci GISu směr a účel. Cíle pomáhají udržet morálku pracovníků v situacích, kdy narazí na problémy a nezdary. Jasně definované cíle rovněž umožňují hodnotit úspěšnost implementace GISu.
- **zapojení uživatelů** - Uživatelé musí plnit zodpovědnou úlohu při plánování, výběru a implementaci GISu. Pokud se tohoto procesu nezúčastní, organizace ztrácí příležitost těžit z jejich zkušeností. Uživatelé, kteří nedostanou příležitost se vyjádřit, mohou nést nelibě radikální změny spojené s implementací GISu. Takže opomenutí zapojení uživatelů může také vytvořit pocit lhostejnosti, nebo dokonce nepřátelství k novému systému. V průběhu procesu plánování GISu je nezbytné hovořit s potenciálními uživateli o jejich potřebách, problémech a návrzích. Takovýto přístup u nich vytváří pocit sounáležitosti s programem.

8.2.1 Komponenty plánu implementace GISu

Plán implementace GISu obvykle zahrnuje následující kapitoly [24]:

- Úvod
- Souhrn existujících činností
- Souhrn současných omezení a potřeb
- Doporučení týkající se existujících činností
- Všeobecný popis GISu
- Požadavky na zpracování GISem
- Požadavky na databázi GISu
- Konceptuální návrh databáze GISu
- Schematický návrh konfigurace GISu
- Požadavky na komunikaci
- Požadavky na personální zabezpečení a školení
- Fáze implementace a časový harmonogram
- Očekávané přínosy
- Očekávané náklady
- Analýzu návratnosti investic
- Všeobecná doporučení

Tento plán popisuje navrhovaný program GIS, zdůvodňuje záměr vybudovat GIS a je vodítkem pro jeho implementaci. Měl by popsat stávající operace a potenciální uživatele GISu. Plán by měl obsahovat schematický popis obsahu databáze GISu a popsat zdroje dat. Měl by rovněž zahrnovat schematickou konfiguraci technického vybavení a všeobecný popis programového vybavení pro GIS a požadované komunikační funkce. Dále by měl obsahovat i požadavky na personální zabezpečení programu, především s důrazem na nově navrhovaná místa. Plán by měl nastítnit postupy, časový harmonogram a rozpočet pro implementaci technického a programového vybavení pro GIS a pro konverzi existujících dat do formátu

GISu. Měl by popsat přínosy, které lze očekávat od zavedení GISu, a to jak kvalitativní, tak i kvantitativní a jeho součástí by měla být i analýza nákladů a přínosů.

8.2.2 Fáze implementace GIS

V [24] je popsán proces implementace GISu. Tento proces je rozdělen přehledně do tří fází a sedmnácti kroků. Jedná se o tyto fáze:

1. přípravná
2. analytická
3. implementační.

Přípravná fáze se skládá z těchto kroků:

- **příprava plánu projektu** - naplánování procesu zdůvodnění, ekonomického ohodnocení, výběru a implementace GISu
- **získání souhlasu k provedení studie** - seznámení vrcholových řídicích pracovníků s plánem implementace GISu a získání jejich souhlasu se zahájením prací (nejedná se o definitivní schválení celé implementace GISu, ale jen úvodní studie)
- **proškolení řídicích pracovníků** - pro snadnější komunikaci s řídicími pracovníky oddělení, představujícími potenciální zákazníky GISu, je vhodné je nejprve vhodnou formou proškolit (například půldenním školením apod.)
- **sestavení přehledu existujících činností a potřeb** - rozbor toho, jak v současné době organizace používá geografická data, včetně sběru, analýzy, ukládání, prezentace a distribuce dat. Předmětem zájmu měly být nejen mapy, ale také různé registry a archívy atd. Tento přehled by měl zahrnovat činnosti všech potenciálních uživatelů GISu a měl by obsahovat:
 - ◆ přehled cílů a vnitřní organizaci jednotlivých oddělení
 - ◆ jak tato oddělení sbírají, užívají, analyzují a distribuují geografická data
 - ◆ a také jejich potřeby a problémy spojené s užíváním těchto dat.

Výsledky by měly být zdokumentovány v písemné formě a oddělení zmíněná v této zprávě by měla mít možnost si výslednou zprávu prostudovat a okomentovat ji.

Analytická fáze se skládá z těchto kroků:

- **analýza a doporučení** - provedení analýzy získaných údajů a posouzení proveditelnosti GISu. Tato analýza by měla být rovněž zdokumentována v písemné formě. Zpráva by měla popsat potenciální uživatele GISu. Měl by v ní být prezentován detailní plán, časový harmonogram a rozpočet nákladů na implementované technické a programové vybavení GISu a také nákladů na konverzi existujících dat do formátu potřebného pro GIS. Měla by popsat výhody, které lze očekávat od GISu, a to jak kvantitativní, tak i kvalitativní a měla by obsahovat i analýzu nákladů a přínosů. Dále by zpráva měla obsahovat schematický popis obsahu databází GISu a popis zdrojů dat. Měla by obsahovat i schematickou konfiguraci technického vybavení pro GIS a všeobecný popis funkcí, vyžadovaných od programového vybavení pro GIS. Dále by měly být do zprávy zahrnuty i požadavky na nová pracovní místa pro zaměstnance určené pro zabezpečování provozu GISu a také požadavky na školení uživatelů a na podpůrné programy
- **získání souhlasu s pilotním projektem** - vrcholovým řídicím pracovníkům je předložena zpráva o existujících postupech a výsledky analýz. Pokud vedoucí

pracovníci vysloví souhlas s pilotním projektem, podvolují se tímto významným vydáním. Přesto si musí být vědomi toho, že ještě budou mít příležitost po dokončení pilotního projektu definitivně rozhodnout o plné implementaci systému.

- **příprava specifikací funkcí a standardů** - v tomto kroku je nezbytné zpracovat dvě sady specifikací. První sada by měla popisovat nároky na technické a programové vybavení a druhá požadavky na konverzi existujících dat do formátu databázi GISu.
- **výzva dodavatelům** - na základě vypracovaných specifikací je vypsána veřejná soutěž na dodavatele technického a programového vybavení a konverzí dat.
- **ohodnocení nabídek, výběr dodavatelů** - jako kritérium výběru by neměla sloužit jen cena, ale i zkušenosti organizace, kvalifikace zaměstnanců apod.

Implementační fáze sestává z těchto kroků:

- **detailní návrh databáze** - Jakmile je vybrán dodavatel technického a programového vybavení, je možné konkretizovat schematický návrh databáze do detailního návrhu odpovídajícího dodanému systému
- **provedení pilotního projektu - Pilotní projekt zahrnuje vytvoření databáze GISu pro malou reprezentativní část zájmové oblasti. Klíčovými cíly pilotního projektu jsou:**
 - ◆ otestování detailního návrhu databáze
 - ◆ odhad nákladů na konverzi dat.

Vrcholoví řídicí pracovníci by měli posoudit výsledky pilotního projektu a aktualizované analýzy nákladů a přínosů a pak definitivně rozhodnout o implementaci GISu. Toto je poslední příležitost schválit, zrušit, nebo pozdržet implementaci GISu dříve, než na něj budou vynaloženy nemalé prostředky.

- **dolaďování detailního návrhu databáze** - vytvoření digitální databáze obvykle reprezentuje největší část investic do vybudování GISu. Proto je nezbytné využít každé příležitosti k dolaďování návrhu databáze dříve, než jsou zkonvertována data pro celou zájmovou oblast. Změny v návrhu databáze mohou být provedeny i po konverzi dat, avšak je mnohem méně nákladné vybudovat databázi správně hned na první pokus, než provádět dodatečné změny.
- **konverze dat** - první fáze tohoto procesu překvapivě často spočívá ve sběru, koordinaci a opravách dat (což obvykle vyžaduje nemalé úsilí) a až následně dochází k jejich konverzi do digitálního tvaru.
- **opatření si technického a programového vybavení** - pokud je konverze dat prováděna vlastními silami, je obvykle nezbytné nejprve pořídit a instalovat alespoň část systému a zaškolení uživatele. Teprve pak je možné začít s konverzí. Pokud konverzi dat provádí dodavatel, lze s pořízením technického a programového vybavení počkat, ale vše musí být instalováno před dokončením konverzí a tak, aby bylo dostatek prostoru pro proškolení uživatelů.
- **školení uživatelů** - důkladný program školení všech uživatelů, kteří přijdou s GISem do styku, je velice důležitý. Školení musí být navíc provedeno včas tak, aby uživatelé mohli převzít údržbu databáze ihned po dokončení konverzí dat.
- **testování a oprava dat** - ať už je konverze dat prováděna vlastními silami, nebo ji provádí dodavatel, vždy je nezbytné provádět kontrolu dat. Konverze dat jsou velice

pracné a informace jsou většinou velice komplikované. Rovněž může být obtížné interpretovat zdrojové materiály. Z tohoto důvodu musí být posuzovány člověkem provádějícím konverze. Kombinace všech těchto faktorů vede k tomu, že konverze dat jsou náchylné k chybám. Navíc spolehlivost dat významně ovlivňuje konečný úspěch GISu.

- **údržba dat** - protože se reálný svět neustále mění, musí být databáze GISu neustále aktualizovány, tak aby neustále odrážely skutečný stav. Celý proces aktualizace by měl být dobře dopředu naplánovaný. Zařízení a personál musí být připraveni na převzetí péče o databázi ihned po dokončení konverzí dat.

9. Transformace prostorových referenčních systémů

Při transformaci prostorových referenčních systémů může existovat celá řada kombinací. V následujících odstavcích budou postupně probrány jednotlivé varianty, reálně přicházející do úvahy. Rozdělení do odstavců je provedeno podle výchozího systému, z něhož se provádí transformace. V úvahu se přitom bere pouze geometrická složka popisu geoprvků.

9.1 Transformace kontinuálních souřadnicových systémů

Kontinuální souřadnicové systémy lze transformovat do všech prostorových referenčních systémů (viz odstavec 5.3), přičemž způsob transformace se případ od případu liší. Transformace mohou být definované obecně třemi způsoby:

- matematickým vztahem (funkcí)
- tabulkou
- grafickou „vrstvou“.

Který z těchto způsobů zvolíme závisí obvykle na konkrétním případě transformace. V některých případech přichází v úvahu všechny, v některých situacích bude možné využít jen některou z nich.

9.1.1 Transformace do kontinuálního souřadnicového systému

V tomto případě rozlišujeme dvě základní varianty:

- transformace ze souřadnicových systémů vztažených k zemi do souřadnicových systémů vztažených k rovině a zpět – kartografická zobrazení
- transformace mezi dvěma souřadnicovými systémy vztaženými k rovině (mezi dvěma kartografickými zobrazeními).

9.1.1.1 Kartografická zobrazení

Problémem kartografických zobrazení je, že dnes jsou dobře známé postupy pro řešení přímé úlohy, tedy transformace geografických souřadnic do zobrazovací roviny (tedy do mapy), ale úlohy inverzní zatím nejsou pro celou řadu zobrazení příliš dobře zvládnuté, protože je donedávna ani nikdo nepotřeboval.

Přímá úloha vychází z analyticky odvozených rovnic popisujících vztah mezi geografickým souřadnicovým systémem na zemském glóbu a kartézským souřadnicovým systémem na mapě. Umožňuje tak řešit transformace typu

$$(\varphi, \lambda) \longrightarrow (x, y)$$

Matematické vztahy jsou pro tento případ velice dobře známé, protože byly potřebné již v dobách ručního zpracovávání map.

Problémy však nastávají při řešení úlohy obrácené (inverzní, též zpětné transformace), to znamená rovinný kartézský souřadnicový systém transformovat do geografického souřadnicového systému. Schematicky je možné tento postup naznačit takto:

$$(x,y) \longrightarrow (\varphi, \lambda)$$

Právě tento krok je pro celou řadu kartografických zobrazení obtížně proveditelný, kartografové dobře zvládly především řešení úloh přímých, které používali po mnohá tisíciletí. Požadavek na řešení úloh obrácených však přišel až s nástupem digitální kartografie a především GISů, a tak ještě v mnoha případech není řešení zpětné úlohy dostatečně zvládnuté [28].

9.1.1.2 Transformace mezi dvěma kartografickými zobrazeními

V podstatě se jedná o transformaci mezi dvěma rovinnými kartézskými souřadnicovými systémy patřícími k různým kartografickým zobrazením. Potřeba těchto transformací vyvstala právě s příchodem geografických informačních systémů, které začaly kombinovat mapy získávané z různých zdrojů a velice často vytvořené pomocí různých kartografických zobrazení. V takovém případě nezbyvá než všechny mapy přetransformovat do jediného zobrazení s jediným rovinným kartézským souřadnicovým systémem (v našich podmínkách často potřebná transformace S-JTSK \longleftrightarrow S-42). Význam těchto transformací roste přímo úměrně s velikostí zpracovávaného území.

Transformace kartografických zobrazení lze rozdělit do dvou skupin:

- analytické transformace
- numerické transformace.

Analytické transformace vycházejí z analyticky odvozených rovnic popisujících vztah mezi geografickým souřadnicovým systémem na zemském globu a kartézským souřadnicovým systémem na mapě.

Problémy však nastávají při konverzi mezi dvěma kartézskými souřadnicovými systémy dvou rozdílných kartografických zobrazení. Zde je totiž nutné nejprve vyřešit úlohu obrácenou, to znamená výchozí kartézský souřadnicový systém transformovat do geografického souřadnicového systému, a z něj pak řešením přímé úlohy přetransformovat data do cílového kartézského souřadnicového systému. Schematicky je možné tento postup naznačit takto [28]:

$$(x,y) \xrightarrow{\text{zpětná úloha}} (\varphi, \lambda) \xrightarrow{\text{přímá úloha}} (x', y')$$

Již dříve bylo uvedeno, že právě první krok je pro většinu kartografických zobrazení obtížně proveditelný, a proto je tento typ transformací v praxi obtížně použitelný.

Numerické transformace nevyžadují znalost zobrazovacích rovnic kartografických zobrazení do obou souřadnicových systémů. Místo toho vycházejí ze znalosti přesné polohy tzv. **identických bodů** (angl. control points) v obou souřadnicových systémech. Parametry numerických transformací se pak stanovují právě z polohy těchto identických bodů (někdy se těmto identickým bodům říká i vlíčovací body (angl. tics)). Schematicky je možné tento postup naznačit takto:

$$(x,y) \xrightarrow{\quad} (x', y').$$

V praxi se používají tyto numerické transformace:

- lineární konformní

- afinní
- polynomická.

Lineární konformní transformace využívá vztahů

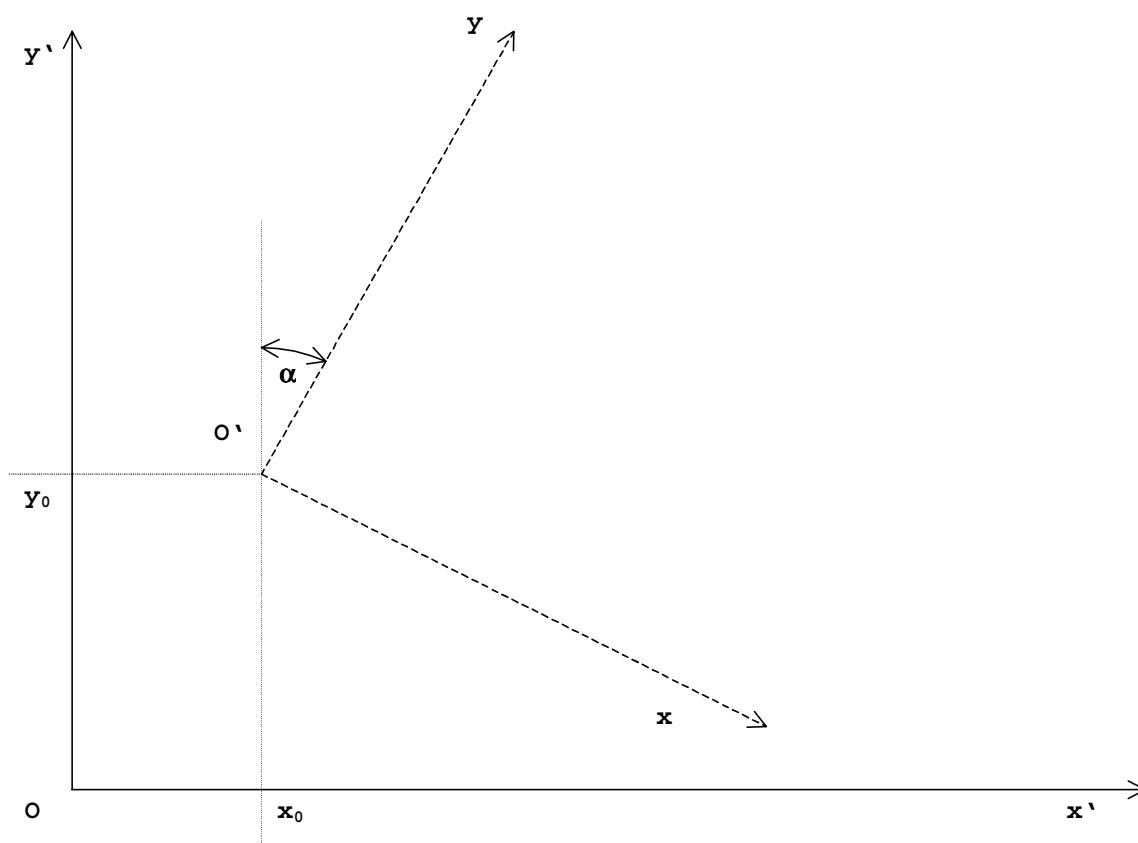
$$x' = A + C \cdot x + D \cdot y$$

$$y' = B - D \cdot x + C \cdot y$$

Pro stanovení parametrů lineární konformní transformace nám stačí teoreticky znalost souřadnic pouze dvou identických bodů v původním souřadnicovém systému (x_1, y_1) a (x_2, y_2) a v cílovém souřadnicovém systému (x'_1, y'_1) a (x'_2, y'_2) . Pak parametry transformace vypočteme dle vztahů [23]:

$$C = \frac{(x_2 - x_1)(y'_2 - y'_1) - (y_2 - y_1)(x'_2 - x'_1)}{(x'_2 - x'_1)(x_2 - x_1) - (y'_2 - y'_1)(y_2 - y_1)}$$

$$D = \frac{(x_2 - x_1)(x'_2 - x'_1) - (y_2 - y_1)(y'_2 - y'_1)}{(x'_2 - x'_1)(x_2 - x_1) - (y'_2 - y'_1)(y_2 - y_1)}$$



Obr. 9-1 Numerické transformace - lineární varianta

Mnohem vhodnější však je použít větší počet identických bodů a hodnoty koeficientů transformace stanovit např. metodou nejmenších čtverců. V tom případě se používá nejčastěji tzv. Helmertova transformace, která nejlépe přiblíží síť bodů transformovaných z původního souřadnicového systému (x,y) pomocí sítě identických bodů v cílovém souřadnicovém systému (x',y') . Transformace je navržena tak, aby minimalizovala součet čtverců odchylek mezi transformovanými a známými body v cílovém souřadnicovém systému

$$\begin{aligned}\sum d^2 &= \min \\ d^2 &= d_x^2 + d_y^2 \\ d_x &= x' - x \\ d_y &= y' - y\end{aligned}$$

Postup výpočtu této transformace lze nalézt například v [17], [49] apod.

Afinní transformace se zapisuje ve tvaru

$$x' = A + C \cdot x + D \cdot y$$

$$y' = B + E \cdot x + F \cdot y$$

Koeficienty je možné stanovit na základě znalosti souřadnic alespoň tří identických bodů v původním souřadnicovém systému (x_1, y_1) , (x_2, y_2) a (x_3, y_3) a v cílovém souřadnicovém systému (x'_1, y'_1) , (x'_2, y'_2) a (x'_3, y'_3) . Pak parametry transformace vypočteme dle vztahů [17]

$$C = -\frac{1}{K} (y_1 \cdot (x'_2 - x'_3) + y_2 \cdot (x'_3 - x'_1) + y_3 \cdot (x'_1 - x'_2))$$

$$D = \frac{1}{K} (x_1 \cdot (x'_2 - x'_3) + x_2 \cdot (x'_3 - x'_1) + x_3 \cdot (x'_1 - x'_2))$$

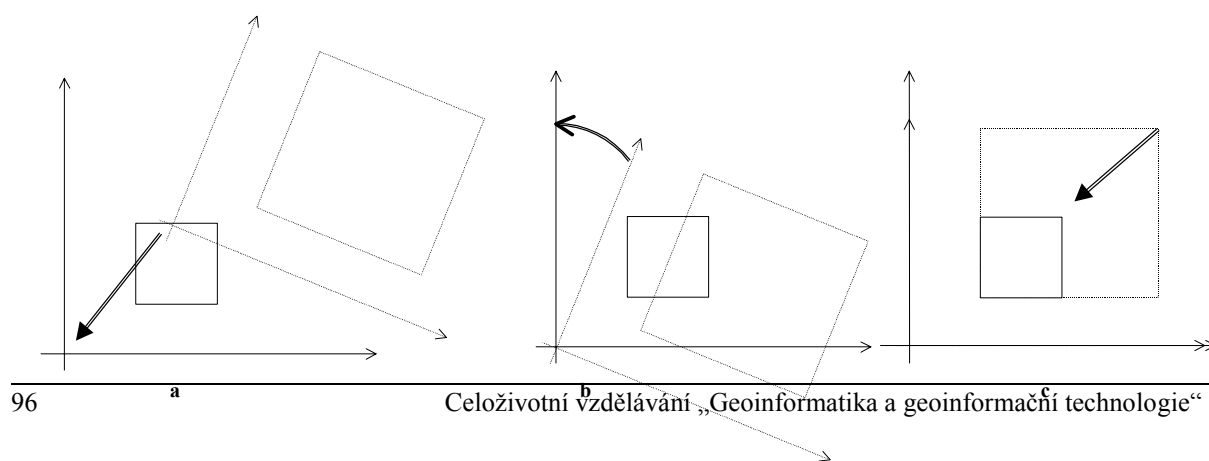
$$E = \frac{1}{K} (x_1 \cdot (y'_2 - y'_3) + x_2 \cdot (y'_3 - y'_1) + x_3 \cdot (y'_1 - y'_2))$$

$$F = -\frac{1}{K} (y_1 \cdot (y'_2 - y'_3) + y_2 \cdot (y'_3 - y'_1) + y_3 \cdot (y'_1 - y'_2))$$

$$K = x_1 \cdot (y_2 - y_3) + x_2 \cdot (y_3 - y_1) + x_3 \cdot (y_1 - y_2)$$

Koeficienty A a B se stanoví výpočtem přímo z transformačních rovnic.

Pokud máme k dispozici souřadnice více než tří identických bodů, je možné opět použít postup založený na metodě nejmenších čtverců (obdobu Helmertovy transformace – viz [17]).



Lineární konformní i afinní transformace v sobě zahrnují tři základní operace (Obr. 9-2 a, b, c):

- posunutí počátku
- otočení souřadnicových os o určitý úhel
- změna měřítka.

Vycházejí přitom z předpokladu, že parametry charakterizující tyto operace jsou konstantní v celé transformované oblasti. Někdy se tyto dvě transformace označují též jako transformace přímé.

Afinní a konformní transformace se liší jen v jednom bodě, a to ve způsobu změny měřítka. Zatímco konformní transformace předpokládá, že změna měřítka je ve všech směrech stejná, afinní transformace zavádí odlišnou změnu měřítka (měřítkový faktor) ve směru osy x a y . Této vlastnosti lze využít například v případě, že je nutné eliminovat ovlivnění souřadnicového systému některými vedlejšími faktory, jako je rozdílná kontrakce papírových map v různých směrech (projevuje se především při manuální digitalizaci papírových předloh), apod.

Polynomické transformace jsou rovněž založeny na znalosti souřadnic identických bodů, z nichž se stanovují parametry transformace. Pro transformaci se používají polynomické funkce vyššího řádu. Obvykle se pracuje s polynomy druhého, nejvýše třetího řádu (použití polynomů vyšších řádů již prakticky nepřináší podstatnější zlepšení výsledků):

$$x' = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot y + a_3 \cdot xy + a_4 \cdot x^2 + a_5 \cdot y^2$$

$$y' = a_6 + a_7 \cdot x + a_8 \cdot y + a_9 \cdot xy + a_{10} \cdot x^2 + a_{11} \cdot y^2$$

resp.:

$$x' = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot y + a_3 \cdot xy + a_4 \cdot x^2 + a_5 \cdot y^2 + a_6 \cdot x^2 y + a_7 \cdot xy^2 + a_8 \cdot x^3 + a_9 \cdot y^3$$

$$y' = a_{10} + a_{11} \cdot x + a_{12} \cdot y + a_{13} \cdot xy + a_{14} \cdot x^2 + a_{15} \cdot y^2 + a_{16} \cdot x^2 y + a_{17} \cdot xy^2 + a_{18} \cdot x^3 + a_{19} \cdot y^3$$

Minimální počet identických bodů N potřebných pro stanovení parametrů transformace je dán právě řádem n použitého polynomu:

$$N = \frac{n^2 + 3n + 2}{2}$$

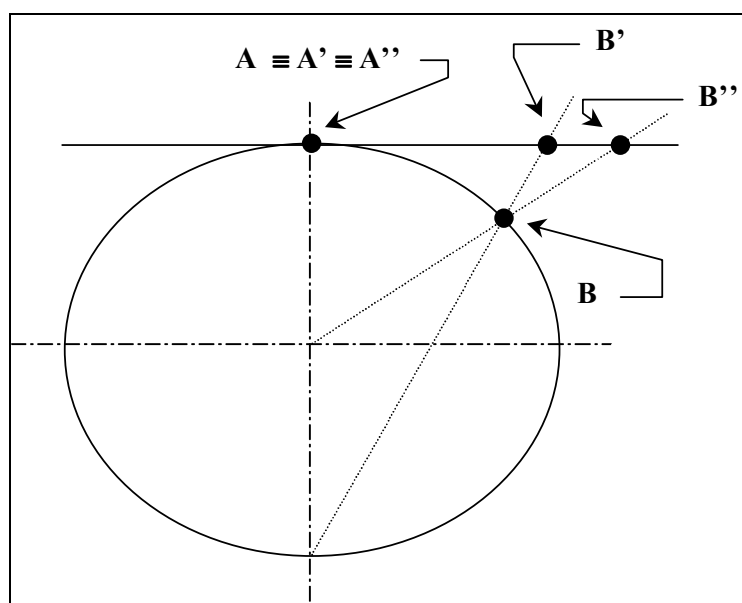
Z tohoto vztahu vyplývá, že v případě polynomu druhého řádu je zapotřebí znát souřadnice minimálně šesti identických bodů, při použití polynomu třetího řádu pak deseti identických bodů. Obvykle se však pracuje s mnohem vyššími počty bodů a při stanovování parametrů transformace se používají statistické metody (např. metoda nejmenších čtverců).

Vedle požadavku na minimální počet identických bodů je pro správné stanovení parametrů transformace důležité splnit také požadavek na co nejrovnoměrnější rozmístění těchto bodů po ploše transformované oblasti. V případě nahloučení byť i dostatečného počtu bodů v jedné oblasti nebudou výsledné transformace pracovat správně. Polynomické transformace se totiž v oblastech vně prostoru omezeného identickými body stávají nestabilními. Proto se doporučuje umístit dostatečný počet bodů po obvodu zájmové oblasti a doplnit je body umístěnými uvnitř této oblasti. Pokud to situace dovolí, je vhodné doplnit

ještě i několik bodů vně zájmové oblasti. Úkolem těchto bodů je stabilizovat průběh polynomické transformace v blízkém okolí zájmové oblasti.

Již bylo zmíněno, že použití analytických transformací většinou nepřichází v úvahu. Běžnému uživateli prakticky zbývá použít jen některou z numerických transformací. Otázkou však je, pro kterou z nich se kdy rozhodnout.

Základním kritériem je požadovaná přesnost transformace. Z ní lze odvodit velikost oblasti, v níž lze ještě zanedbat zakřivení zemského povrchu a pro kterou je ještě použitelná některá z přímých transformací. Pokud se provádí transformace větší oblasti, pak již je použití polynomických transformací nezbytné. Velice zjednodušeně je tato situace znázorněna na Obr. 9-3. Zatímco bod A se v obou zobrazeních zobrazuje stejně, tak bod B se zobrazuje rozdílně a posun mezi oběma průměty se zvyšuje s rostoucí vzdáleností od středu zájmové oblasti.



Obr. 9-3 Vliv zakřivení povrchu zemského na promítání bodů při použití různých kartografických zobrazení

V takovém případě je použití polynomické transformace nevyhnutelné. Jen polynomická transformace je schopná zajistit jinou změnu měřítka ve středu transformované oblasti a jinou na okrajích.

Obecně se uvádí, že pokud velikost transformované oblasti nepřekročí cca 20 km, je možné použít některou z přímých transformací, v opačném případě se použití polynomické transformace nevyhne.

9.1.2 Transformace do diskrétního souřadnicového systému

Diskrétní souřadnicový systém je dán svým počátkem, směrem a orientací os. Při transformaci kontinuálního systému do diskrétního musíme znát tyto parametry:

- souřadnice počátku diskrétního systému v systému kontinuálním
- přírůstky $\Delta x'$ a $\Delta y'$ ve směru osy x' a osy y'

- informace o tom, ke kterému bodu v rámci buňky diskrétního systému se budou vztahovat souřadnice v kontinuálním systému (zda ke středu buňky, nebo k některému z rohů).

Pro tuto transformaci je možné použít kteroukoliv z numerických transformací s tím, že je nezbytné ji převést do diskrétního tvaru. Například lineární konformní transformace by vypadala takto:

$$i = \text{round}\left(\frac{x'}{\Delta x'} + k_x \cdot \frac{\Delta x'}{2}\right) = \text{round}\left(\frac{A + C \cdot x + D \cdot y}{\Delta x'} + k_x \cdot \frac{\Delta x'}{2}\right)$$

$$j = \text{round}\left(\frac{y'}{\Delta y'} + k_y \cdot \frac{\Delta y'}{2}\right) = \text{round}\left(\frac{B - D \cdot x + C \cdot y}{\Delta y'} + k_y \cdot \frac{\Delta y'}{2}\right)$$

kde

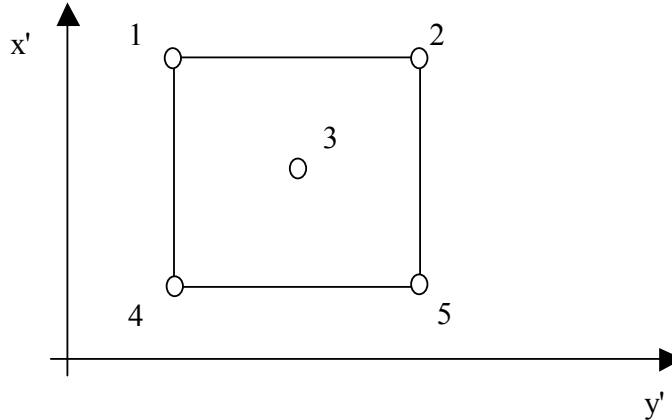
$k_x, k_y \dots$ parametry, jejichž hodnota je závislá na poloze bodu, k němuž se vztahují kontinuální souřadnice platné pro celou plochu buňky diskrétního souřadnicového systému (viz obr. 9-4 a Tabulka 9-1)

$x', y' \dots$ pomocný souřadnicový systém ($x'|i, y'|j$)

$x, y \dots$ výchozí souřadnicový systém.

Tato transformace se provádí prakticky ve dvou krocích:

- nejprve se původní kontinuální souřadnicový systém přetransformuje do pomocného kontinuálního souřadnicového systému, který bude mít počátek, směr a



Obr. 9-4 možné polohy vztažných bodů

orientaci os totožný s počátkem, směrem a orientací os diskrétního souřadnicového systému

- pak se provede transformace pomocného souřadnicového systému do diskrétního

Číslo polohy vztažného bodu	Slovní popis	Hodnota k_x	Hodnota k_y
1	vlevo nahoře	-1	1
2	vpravo nahoře	1	1
3	uprostřed	0	0
4	vlevo dole	-1	-1
5	vpravo dole	1	-1

souřadnicového systému výše zmíněnou diskretizací.

9.1.3 Transformace do systému pro nepřímé stanovování polohy

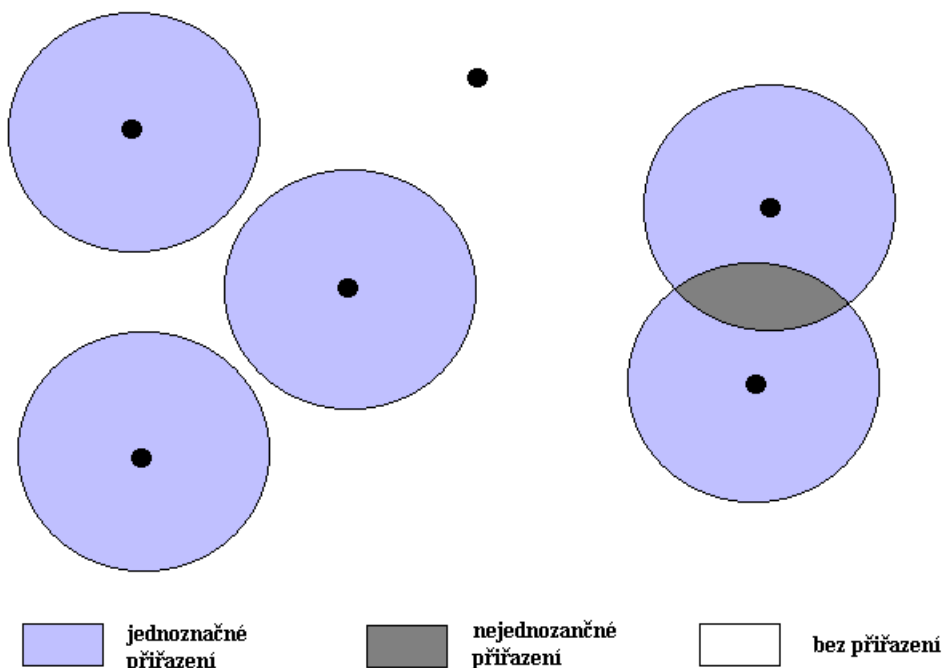
Tento způsob transformace je pravděpodobně nejobtížnější. Jeho realizace v praxi znamená, že každému bodu systému pro nepřímé stanovování polohy (každému geokódu) musíme přiřadit spádovou oblast (= polygon), z níž se budou kontinuální souřadnice vždy převádět (vztahovat k) na příslušný geokód. Tyto spádové oblasti mohou být dány různými způsoby:

- jako přirozené hranice, např. hranice povodí, ...
- jako administrativně-správní hranice, např. hranice obce, okresu, základní sídelní jednotky, parcely ...
- jako uměle definované hranice, např. v podobě Thiessenových polygonů, nebo kruhů zadaného poloměru opsaných kolem jednotlivých bodových geokódů (Obr. 9-5) apod.

Z výše uvedeného je zřejmé, že sestavení „transformačního vztahu“ (v tomto případě spíše grafické reprezentace transformace) není v tomto případě triviální záležitostí, vyžaduje mnohdy značný podíl ruční práce a v některých případech může transformace vést k nejednoznačnému výsledku (např. v případě překrývání kruhových spádových oblastí – viz Obr. 9-5), resp. transformace nemusí mít vůbec řešení (pokud např. tyto kruhy nevyplňují zájmový prostor beze zbytku).

9.2 Transformace diskrétních souřadnicových systémů

Diskrétní systémy je možné transformovat do všech ostatních systémů, s tím, že některé transformace mohou být velice obtížně realizovatelné. Ani zde se mnohdy nevyhneme nejednoznačnosti, resp. neexistenci řešení. Transformace mohou být definované v podobě matematického vztahu, tabulky, nebo grafické „vrstvy“.



Obr. 9-5 Transformace kontinuální souřadnicový systém → systém pro nepřímé stanovování polohy pomocí spádových oblastí ve tvaru kružnic

9.2.1 Transformace do kontinuálního souřadnicového systému

Transformace diskrétního souřadnicového systému do kontinuálního je nezbytné provést opět ve dvou krocích:

- nejprve je nezbytné převést diskrétní souřadnicový systém do pomocného kontinuálního souřadnicového systému
- pak přepočítat pomocný souřadnicový systém do cílového.

Výsledkem transformace je pravidelná síť bodů v kontinuálním souřadnicovém systému. Ke každému bodu je vztažena vždy celá plocha odpovídající buňky.

Pro tento typ transformace je nezbytné znát:

- souřadnice počátku diskrétního systému v kontinuálním systému
- přírůstky Δx a Δy ve směru osy x a osy y
- informace o tom, ke kterému bodu v rámci buňky diskrétního systému se budou vztahovat souřadnice v kontinuálním systému (zda ke středu buňky, nebo k některému z rohů).

Transformační rovnice lze zapsat např. takto:

a, transformace do pomocného kontinuálního souřadnicového systému:

$$x = i \cdot \Delta x + k_x \cdot \frac{\Delta x}{2}$$

$$y = j \cdot \Delta y + k_y \cdot \frac{\Delta y}{2}$$

kde

k_x, k_y, \dots viz odstavec 9.1.2, obr. 9-4 a Tabulka 9-1

$x, y \dots$ souřadnice v pomocném kontinuálním souřadnicovém systému.

b, přepočet pomocného kontinuálního souřadnicového systému do cílového je pak možné provést některou z numerických metod. Nejčastěji lze očekávat lineární konformní transformaci, zapsanou např. ve tvaru

$$x' = a + m \cdot \cos(\alpha) \cdot x + m \cdot \sin(\alpha) \cdot y$$

$$y' = b - m \cdot \sin(\alpha) \cdot x + m \cdot \cos(\alpha) \cdot y$$

kde

$a, b \dots$ posunutí počátku pomocného kontinuálního souřadnicového systému.

$m \dots$ měřítkový faktor

$\alpha \dots$ úhel otočení souřadnicových os.

9.2.2 Transformace do diskrétního souřadnicového systému

Tento způsob transformace je obecně velmi jednoduchý, zahrnuje jen dvě operace:

- posunutí počátku
- otočení os.

O změně měřítka nemá cenu v případě diskretního souřadnicového systému uvažovat. Transformaci lze provést některou z numerických metod v diskretním tvaru. Nejčastěji lze očekávat použití lineární konformní transformace ve tvaru:

$$i' = \text{round}(i_0 + A.i + B.j)$$

$$j' = \text{round}(j_0 - B.i + A.j)$$

Vlivem zaokrouhlování může dojít při této transformaci k nejednoznačnosti řešení, kdy dvojici souřadnic (i', j') odpovídají dvě i více dvojic souřadnic (i, j) . Dochází ke zvláštnímu efektu, kterému se říká převzorkování. A právě způsob provedení převzorkování výrazně ovlivňuje výsledek transformace.

V praxi je realizace této transformace mnohem obtížnější, protože se obvykle berou v úvahu reálné rozměry buněk výchozího a cílového systému. Vlastní transformaci pak lze schematicky naznačit takto:

$$(i,j) \longrightarrow (x,y) \longrightarrow (x', y') \longrightarrow (i',j')$$

kde

- i, j výchozí diskretní souřadnicový systém.
- x, y pomocný kontinuální souřadnicový systém, kde $x \parallel i$ a $y \parallel j$
- x', y' ... pomocný kontinuální souřadnicový systém, kde $x' \parallel i'$ a $y' \parallel j'$
- i', j' cílový diskretní souřadnicový systém.

9.2.3 Transformace do systému pro nepřímé stanovování polohy

Tato transformace je popsána prostřednictvím definice spádových oblastí jednotlivých geokódů. Tuto definici je možné provést prakticky jedině výčtem buněk, spadajících do jednotlivých spádových oblastí. Mnohdy to znamená jak výchozí, tak i cílový systém převést do pomocného kontinuálního souřadnicového systému a zde provést přiřazení buněk spádovým oblastem geokódů. Sestavení této transformace je proto velmi obtížné.

Zvláště problematické může být definování spádových oblastí v případě, že jsou jako geokódy použity plochy. Snadno se může stát, že daná buňka leží na hranici dvou plošných geokódů, ale pro dosažení jednoznačnosti transformace je nezbytné přiřadit danou buňku jen jednomu geokódu.

9.3 Transformace systémů pro nepřímé stanovování polohy

V pozadí těchto transformací velice často stojí pomocný kontinuální souřadnicový systém, který se používá jako „mezikrok“. Transformace systémů pro nepřímé stanovování polohy mohou být definované v podobě tabulky, nebo grafické „vrstvy“

9.3.1 Transformace do kontinuálního souřadnicového systému

Transformace do kontinuálního souřadnicového systému jsou v případě bodových geokódů jednoduché, stačí každému geokódu přiřadit souřadnice v kontinuálním

souřadnicovém systému. V případě lineárních a plošných geokódů je nezbytné definovat exaktně průběh liniových geokódů, resp. hranice jednotlivých plošných geokódů. Například v případě Přílohy A by to znamenalo:

- pro **zastávky**: provést přesnou lokalizaci těchto bodových geokódů na mapě s tím, že pro transformaci by mohla sloužit jednak tato mapa (resp. „vrstva“ zastávek), nebo by bylo možné sestavit jednoduchou tabuku, v níž by byly každé zastávce přiřazeny souřadnice x a y
- pro **linky**: zkonstruovat průběh jednotlivých linek nad sítí pozemních komunikací. Jako transformace by bylo možné použít přímo tuto „vrstvu“ linek; jiný způsob transformace prakticky nepřichází v úvahu
- pro **přepravní zóny**: zakreslit do mapy přesné hranice zón; pro vlastní transformaci je pak možné použít opět prakticky pouze takto zkonstruovanou „vrstvu“ zón.

9.3.2 Transformace do diskretního souřadnicového systému

Transformace do diskretního souřadnicového systému jsou v případě bodových geokódů jednoduché, stačí každému geokódu přiřadit souřadnice buňky v diskretním souřadnicovém systému. V případě liniových geokódů je nezbytné přiřadit každému geokódu výčet buněk z diskretního souřadnicového systému, které mu odpovídají.

V případě plošných geokódů je nezbytné přiřadit každému geokódu výčet buněk z diskretního souřadnicového systému, které mu odpovídají. Opět bude nezbytné řešit případné nejednoznačnosti.

Snad není nutné zdůrazňovat, že v pozadí je opět použití pomocného kontinuálního souřadnicového systému.

9.3.3 Transformace do systému pro nepřímé stanovování polohy

Tato transformace je pravděpodobně nejproblematictější. Definovat ji lze v zásadě dvěma způsoby:

- pomocí tabulky přiřazující geokódům výchozího systému geokódy cílového systému
- pomocí grafického schématu, které vyznačuje graficky vztahy mezi geokódy obou systémů.

Konkrétní příklady budou uvedeny dále.

Při transformaci mezi dvěma systémy pro nepřímé stanovování polohy přichází v úvahu celá řada variant:

- | | | |
|---------------------|---|------------------|
| a, bodové geoprvky | → | bodové geoprvky |
| b, bodové geoprvky | → | liniové geoprvky |
| c, bodové geoprvky | → | plošné geoprvky |
| d, liniové geoprvky | → | bodové geoprvky |
| e, liniové geoprvky | → | liniové geoprvky |
| f, liniové geoprvky | → | plošné geoprvky |
| g, plošné geoprvky | → | bodové geoprvky |
| h, plošné geoprvky | → | liniové geoprvky |
| i, plošné geoprvky | → | plošné geoprvky. |

Ad a, V tomto případě je řešení pravděpodobně nejjednodušší, transformace je definována buďto tabulkou, která přiřazuje geokódům z prvního systému geokódy z druhého systému, nebo je vyjádřena grafickým schématem. Tato transformace opět může vést k nejednoznačnému řešení, resp. k žádnému řešení.

Ad b, Transformaci je možné definovat opět tabulkou, respektive grafickým schématem. V tomto případě lze předpokládat, že řešení bude zpravidla jednoznačné, nebo nebude existovat vůbec.

Ad c, Řešením je opět buďto tabulka, která přiřazuje bodové geokódy z prvního systému plošným geokódům z druhého systému, nebo grafické schéma. K nejednoznačnosti může v tomto případě dojít opět spíše jen teoreticky, ale může snadno nastat situace, kdy transformace nemá řešení.

Ad d, Transformaci tohoto typu lze popsat tabulkou, resp. grafickým schématem. Řešení je zpravidla nejednoznačné, resp. neexistuje vůbec.

Ad e, Jedná se obecně o problematickou transformaci, která bude většinou nejednoznačná, resp. nebude existovat. V obecné poloze o ní snad ani nemá smysl uvažovat, diskutovat by bylo možné o některých speciálních případech. Případně je možné cílový systém nejprve vhodným způsobem připravit, např. rozdělením linií na jednotlivé úseky, a teprve potom definovat vlastní transformaci.

Ad f, Opět se bude často jednat o problematickou transformaci.

Ad c, I v tomto případě je řešením tabulka. Transformace může vést k nejednoznačnému řešení (jednomu plošnému geokódu odpovídá více bodových geokódů), případně opět nemusí mít vůbec řešení.

Ad d, Transformaci lze opět popsat tabulkou, která ale bude pravděpodobně obsahovat mnoho nejednoznačností a pro některé případy opět nemusí vůbec obsahovat řešení. Praktickou použitelnost této transformace je nezbytné posuzovat případ od případu. Pokud se provádí např. transformace typu obce → okresy, nebo okresy → ČR, pak takováto transformace může mít smysl. Pokud ale provádíme transformaci mezi dvěma systémy, které nevykazují skladebnost plošných geoprvků, nýbrž jsou definovány plošnými geokódy, které se překrývají zcela náhodně, pak je možné o smyslu této transformace pochybovat.

9.4 Závěr

Transformace mezi různými prostorovými referenčními systémy jsou velice častou operací, prováděnou s daty v prostředí GISů. Vzhledem k tomu, že právě tyto transformace mohou výrazně ovlivnit kvalitu výsledných produktů GISů, je nezbytné věnovat jim náležitou pozornost. Zvláště pak v případech, kdy dochází k vícenásobným transformacím. Při nich dochází ke kumulaci chyb, ztrátě prostorové přesnosti i prostorového rozlišení a může dojít i k ovlivnění přesnosti atributových dat. Obecně by tyto transformace neměly vést ke „zvyšování“ prostorové přesnosti a prostorového rozlišení.

10. Závěr

Problematika geografických informačních systémů je komplexní, interdisciplinární povahy. Efektivní využití geografických informačních systémů pro řešení konkrétních úkolů při maximálním využití možností této geoinformační technologie není možné bez znalostí z celé řady oborů, jako jsou technické a programové vybavení, operační systémy, databázové systémy, programovací jazyky, počítačová grafika, numerické metody a statistika, prostorová analýza dat, geodézie a kartografie, dálkový průzkum Země, ekonomika a další.

Naše univerzita se již od počátku historie moderních geografických informačních systémů u nás (datuje se od počátku 90. let) zapojila do využívání této informační technologie a později i do systému přípravy odborníků. Na počátku roku 1994 byl schválen na hornicko-geologické fakultě studijní obor s názvem „Geografické informační systémy“ (který dnes nese název „Geoinformatika“), vznikla zde tradice každoročních konferencí s mezinárodní účastí, věnovaných různým aspektům využití systémů GIS (právě se připravuje jubilejní desátý ročník), rozvinul se systém celoživotního vzdělávání v oblasti geoinformatiky a geoinformačních technologií pro zájemce z praxe, zapojili jsme se do různých mezinárodních projektů v rámci programů TEMPUS a COPERNICUS. Celý systém vzdělávání se postupně vyvíjí směrem ke komplexnímu systému přípravy odborníků.

11. Literatura

- [1]: Albrecht, J., Kemppainen, H.: A framework for defining the new ISO standard for spatial operators. Kopie referátu předneseného na konferenci GISRUK'96.
- [2]: Aronson, P.: Attribute handling for geographic information systems. In: Chrisman, N. R. (ed.): AutoCarto 8. Proceedings of Eighth International Symposium on Computer-Assisted Cartography. ASPRS. Baltimore, 1987. Str. 346-355.
- [3]: Barr, R.: Data, information and knowledge. GIS Europe, č. 3, roč. 5, 1996. Str. 14-15.
- [4]: Bernhardsen, T.: Geographic Information Systems. 318 s. Viak IT and Noewegian Mapping Authority. Arandal 1992.
- [5]: Berry, J. K.: Fundamental Operations in computer-assisted map analysis. Int. Journal of GIS, č. 2, roč. 1., 1987. S. 119-136.
- [6]: Burnst, T.; Henderson, J.: Education and training in GIS: The view from ESRI. In: AutoCarto 9: Proceedings of the Ninth International Symposium on Computer-Assisted Cartography. Baltimore, 1989. Str. 31-37
- [7]: Burrough, P. A.: Principles of geographical information systems for land resources assessment. Clarendon Press. Oxford, 1986.
- [8]: Campbell, J.; Steidler, F.: GRADIS - The Straessle approach to a modern GIS. EARSeL Advances in Remote Sensing, č. 3, roč. 1. 1992. Str. 45-53.
- [9]: Corcoran, L.: GIS life-cycle concept: key to planning data conversion. GIS Europe, October, 1992. Str. 27-30.
- [10]: ČSN
- [11]: DaCosta, R.: Object database technology in GIS. Mapping Awareness & GIS in Europe, č. 3, roč. 7, 1993. Str. 44-45.
- [12]: Deren, L., Jianya, G.: An unified data structure based on linear quadtrees. EARSeL Advances in Remote Sensing, č. 3, roč. 1, 1992. Str. 33-38.
- [13]: Duben, J.: Objektové modely podniku. Grada Publishing. Praha, 1996. 200 s.
- [14]: Frank, A. U.: Overlay processing in spatial information systems. In: Chrisman, N. R. (ed.): AutoCarto 8. Proceedings of Eighth International Symposium on Computer-Assisted Cartography. ASPRS. Baltimore, 1987. Str. 16-31.
- [15]: Gahegan, M. N.; Roberts, S. A.: An intelligent, object-oriented geographical information system. Int. Journal of GIS, č. 2, roč. 2., 1988. Str. 101-110.
- [16]: Graham, I.: Object Oriented Methods. Addison – Wesley, Cambridge, 1995. 475 stran.
- [17]: Hauf, M. a kol.: Geodézie. SNTL - nakladatelství technické literatury, Praha, 1989. 565 stran.
- [18]: Herring, J. R.: TIGRIS: Topologically integrated geographic information system. In: Chrisman, N. R. (ed.): AutoCarto 8. Proceedings of Eighth International Symposium on Computer-Assisted Cartography. ASPRS. Baltimore, 1987. Str. 282-291.

- [19]: Hunter, G. J.: Non-current data and geographical information systems. A case of data retention. *Int. Journal of GIS*, č. 3, roč. 2., 1988. Str. 281-286.
- [20]: Huxhold., W. E., Levinsohn, A. G.: *Managing Geographic Information System Projects*. Oxford University Press, Oxford, 1995. 250 stran.
- [21]: Ireland, P.: Europe at the digital crossroads - part 2. *GIS Europe*, č. 3, roč. 3, 1994. Str. 42-45.
- [22]: Kolář, J.: *Geografické informační systémy 10*. Vysokoškolské skriptum. Vydavatelství ČVUT Praha, 1997. 150 stran.
- [23]: Koreň, M.: Kartografické transformácie pre geografické informačné systémy. *Geoinfo*, časopis nadácie Geofórum pre geografické informačné systémy a diaľkový prieskum Zeme, ročník 3, č. 1. Str. 24-27. Bratislava 1996.
- [24]: Korte, G. B.: *The GIS Book*. Third edition. OnWord Press. Santa Fe, 1994.
- [25]: Kučera, L.: *Kombinatorické algoritmy*. SNTL. Praha, 1983. 288 s.
- [26]: Laurini, R., Thompson, D.: *Fundamentals of Spatial Information Systems*. The APIC series. Number 37. Academic Press, London, 1994. 680 stran.
- [27]: Lukatela, H.: GIS future: Automated cartography or georelational solid modelling. In: *AutoCarto 9: Proceedings of the Ninth International Symposium on Computer-Assisted Cartography*. Baltimore, 1989. Str. 341-347.
- [28]: Maguire, D.J.; Goodchild, M.F.; Rhindt, D.W.: *Gographical Information Systems*.; Vol. I: Principles. Vol. II: Applications. Longman Scientific&Technology. London, 1991.
- [29] in [53]: Mark, D. M., Lauzon, J. P.: Linear quadtrees for geographic information systems. *Proceedings of International Symposium on Spatial Data Handling*, 1984.
- [30]: Mark, D. M., Lazoun, J. P., Cebrian, J. A.: A review of quadtree-based strategies for interfacing coverage data with digital elevation models in grid form. *Int. Journal of GIS*, č. 1, roč. 3., 1989. Str. 3-14.
- [31]: Mason, D. C., Townshwnd, J. R. G.: Research related to geographical information systems at the Natural Environment research Council's Unit for Thematic Information Systems. *Int. Journal of GIS*, č. 2, roč. 2., 1988. Str. 121-141.
- [32]: McDonell Jr., P. W.: *Introduction to Map Projections*. Marcel Dekker, Inc.. New York, 1979.
- [33]: McDonell, R., Kemp, K.: *International GIS Dictionary*. 111 s. GeoInformation International, Cambridge, 1995.
- [34]: Openshaw, S.: A second generation GIS research agenda. *Mapping Awareness & GIS in Europe*, č. 2, roč. 7., 1993. Str. 8-10.
- [35]: Parsons, E.: *The Essential Guide to GIS*. WWW dokument: <http://gisww.kingston.ac.uk/ESGUIDE/start.html>. Ver. 2.0, květen, 1996.
- [36]: Persson, J.; Jungert, E.: Generation of multi-resolution maps from run-length-encoded data. *Int. Journal of GIS*, č. 6, roč. 6., 1992. Str. 497-510.

- [37]: Raafat, H. a kol.: State and time topologies for geographic information. In: XVII. international Congress of Photogrammetry and Remote Sensing, Washington D.C., 1992. Díl B3. Str. 155-161.
- [38]: Rabenseifer, A.: Moderné navrhovanie informačných systémov. Bratislava, 1993. 196 s.
- [39]: Rapant, P.: Faktor času v aplikáciách GIS. In: Sborník referátů z mezinárodní konference GeoInfor Slovakia 97. Bratislava, 1997. Str. 46-51.
- [40]: Rapant, P.: Geografické informační systémy - oč běží? Sborník referátů z konference GIS Ostrava 96. VŠB-TU Ostrava, Ostrava, 1996. Str. 97-103 .
- [41]: Rapant, P.: Možné způsoby realizace času v databázích GISů. In: Sborník referátů z IX. semináře GIS ve státní správě. Seř, 1997. ISSN 1211-7439. Str. 70-78.
- [42]: Rapant, P.: Objektově-orientovaný přístup v GIS. In: Sborník referátů z mezinárodní konference GeoInfor Slovakia 97. Bratislava, 1997. Str. 42-45.
- [43]: Rapant, P.: Plánování a projektování aplikací GIS. In: Sborník referátů z konference s mezinárodní účastí GIS Ostrava 97. VŠB-TU Ostrava, 1997. Str. 195-200.
- [44]: Rapant, P.: Problémy spojené se zavedením času do databází GISů. Referát přednesený na mezinárodní konferenci „GIS v zemědělství a lesnictví 97“.
- [45]: Rapant, P.: Proč objektově-orientovaný GIS (pohled z jiné strany). In: Sborník referátů z konference s mezinárodní účastí GIS Ostrava 97. VŠB-TU Ostrava, 1997. Str. 23-29.
- [46]: Rapant, P.: Proč OOGIS? In: Sborník referátů z konference s mezinárodní účastí GIS Ostrava 96. VŠB-TU Ostrava, 1997. Str. 215-219.
- [47]: Rhind, D. W., Green, N. P. A.: Design of a geographical information system for a heterogenous scientific community. . Int. Journal of GIS, č. 2, roč. 2., 1988. Str. 171-189.
- [48]: Sarjakoski, T.: Object-oriented approaches in the design of more capable (adjustment) systems. Proceedings of XVIth International Congress of Photogrammetry and Remote Sensing, Commission III, Vol. B10. ISPRS, Kyoto, 1988. Str. 244-253.
- [49]: Schenk, J.: Kartografie. Učební text pro obor Geografické informační systémy. VŠB-TU Ostrava, Ostrava, 1997. 73 stran.
- [50]: Šešera, L., Mičovský, A.: Objektovo-orientovaná tvorba systémov a jazyk C++. Vydavateľstvo PERFEKT. Bratislava, 1994. 375 s.
- [51] in [53]: Shneier, M. Two hierarchical linear feature representations: Edge pyramids and edge quadtrees. Computer Graphics and Image Processing, roč. 17, 1981. Str. 211.
- [52]: Skyttner, L.: General System Theory. An Introduction. Macmillan Press Ltd. London, 1996. 290 stran.
- [53]: Smith, T. R.: Requirements and principles for the implementation and construction of large scale GIS. Int. Journal of GIS, č. 1, roč. 1., 1987. Str. 13-31.
- [54]: Taylor, D. A.: Object-Oriented Technology: A Managers Guide. Servio Corporation. Alameda, 1994. 160 s.
- [55]: The Context of European Geographic Information Infrastructure (EGII). WWW dokument: <http://www2.scho.lu/gi/gi2000/en/c1.html>.

- [56]: Uhlenbruck, M.: Database acquisition and revision with INFOCAM and LEICA photogrammetric systems. *EARSeL Advances in Remote Sensing*, č. 3, roč. 1, 1992. Str. 54- 59.
- [57]: Usery, E. L.: Category theory and the structure of features in geographical information systems. *Cartography and Geographical Information Systems*, č. 1, roč. 20, 1993. Str. 5-12.
- [58]: Veverka, B.: Kartografie a GISy v ČR – vývoj, zkušenosti a perspektiva. *GIS & DPZ*, číslo 2-3, roč. 1, 1994. Str. 9-12.
- [59]: Vrana, R.: Historical data as an explicit component of land information systems. *Int. Journal of GIS*, č. 1, roč. 3., 1989. Str. 33-50.
- [60]: Walter, J. a kol.: Operační výzkum. 192 s. SNTL/ALFA. Praha, 1973.
- [61]: ———: CEN/TC 287 N 441, Geographic information - Fundamentals – Overview; WG 1, ze dne 1995-12-05
- [62]: ———: Consultants predict a bright future for GIS. *GIS Europe*, č. 1, roč. 4, 1995. Str. i-vii.
- [63]: ———: Geographic Information Systems in Europe: Problems and Potential. Information Market Observatory (IMO) Working Paper 95/2. Luxembourg, June 1995. WWW dokument: <http://www2.echo.lu/impact/imo/9502fnl.html>
- [64]: ———: GI2000: Towards a European Policy Framework for Geographic Information. A Discussion Document, 15 May 1996. <http://www2.echo.lu/gi/gi2000/en/gi2000dd.html>.
- [65]: ———: GIS consultants: your good health! . *GIS Europe*, č. 3, roč. 5, 1996. Str. 23-26.
- [66]: ———: Proceedings of the International Colloquium Progress in Terrain Modelling. DTU Lyngby; Lyngby; 1987.
- [67]: ———: Terms and definitions from CEN/TC 287 Geographic information. Source: ISO/TC 211/PT Terminology secretariat, 1996-05-22
- [68]: Rapant, P.: Pracovní návrh první části výkladového slovníku pro oblast geoinformatiky. Škola, příloha časopisu *GeoInfo*, roč. VIII, č. 2, červen 2001. 15 str.
- [69]: Ogleby, C. (ed.): Reference notes on plane surveying. <http://www.sli.unimelb.edu.au/Horizons/Documents/intro.html>