

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut geoinformatiky

Geoinformatika a geoinformační technologie

Petr Rapant

Ostrava 2006

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut geoinformatiky

Geoinformatika a geoinformační technologie

Petr Rapant

Ostrava 2006

Recenzovali: prof. Ing. Bohuslav Veverka, DrSc.
 doc. RNDr. Jaromír Kaňok, CSc.
 doc. RNDr. Vít Voženílek, CSc.
 RNDr. Daniela Ďuráková, Ph.D.

Copyright © Petr Rapant, 2006. Všechna práva vyhrazena.

Tuto publikaci je možné pouze vytisknout nebo zhotovit její kontaktní kopii pro vlastní potřebu. Jiné nakládání, jako je přetisk části publikace, umístování zdrojového souboru na jiných počítačích a serverech, komerční šíření apod. je možné pouze na základě písemné dohody s autorem.

Vydal: Institut geoinformatiky, VŠB – TU Ostrava, 2006.

URL: <http://gis.vsb.cz>

ISBN 80-248-1264-9

Mým rodičům.

Předmluva autora

Od počátku vývoje svého živočišného druhu se člověk pohybuje v prostoru, který je nedílnou součástí objektivní reality, označované zpravidla pojmem *reálný svět*. Zpočátku v něm jen přežíval, později ho začal stále více poznávat, využívat, přesouvat se v něm, a to i na značné vzdálenosti. S rostoucí mobilitou postupně rostlo i množství poznatků o tomto prostoru, nashromážděných lidmi. Člověk začal prostoru čím dál více rozumět, poznávat prostorové zákonitosti vývoje jak celého reálného světa, tak i lidského druhu jako jeho součásti. S rozvojem lidské společnosti se vedle poznávání a využívání prostoru s rostoucí měrou prosazovalo i jeho aktivní ovlivňování, ať už záměrné nebo nechtěné, ať už v pozitivním nebo v negativním směru.

Dnes se člověk snaží o holistický přístup k poznávání zákonitostí řídicích běh událostí v reálném světě. Cílem je aktivně a především pozitivně tento svět ovlivňovat, a to jednak směrem k eliminaci dosavadních negativních projevů existence člověka na Zemi a jednak směrem k aktivnímu využívání možností světa pro další (udržitelný) rozvoj lidské společnosti. Člověk si stále naléhavěji uvědomuje prostorové aspekty svého chování, svého jednání, svého rozhodování, svého bytí. To se v posledních desetiletích odráží mimo jiné i v rozvoji vědního oboru, který se přímo zabývá prostorovými aspekty zpracovávání informací o reálném světě. Tímto vědním oborem je *geoinformatika*.

Geoinformatika se jako samostatná vědní disciplína rozvíjí již několik desetiletí, nicméně jejímu rozvoji předcházela vznik a vývoj jiných vědních disciplín, zaměřených na poznávání, dokumentování, analyzování a zobrazování (vizualizaci) reálného světa. K těmto vědním oborům patří bezesporu geografie, kartografie, geologie, geodézie, astronomie a jiné. Geoinformatika při svém vzniku a vývoji čerpala právě z těchto disciplín, ale nejen z nich. Čerpala i z celé řady technických disciplín, jako je informatika, počítačová grafika, databázové a informační systémy, CAD a další, ze společenskovedních disciplín apod.

Cílem geoinformatiky je integrovat relevantní poznatky těchto disciplín a

využít je pro tvorbu digitálních modelů reálného světa, umožňujících jeho další studium, ale i pro získávání, ukládání, zpracovávání a analýzu geodat popisujících reálný svět a pro vizualizaci získaných informací o reálném světě pro potřeby rozhodování, správy a řízení racionálního využívání tohoto světa.

Teoretické poznatky geoinformatiky se promítají do celé řady *geoinformačních technologií*. K nim patří geografické informační systémy (GIS), dálkový průzkum Země (DPZ), digitální modely reliéfu (DMR), družicové navigační a polohové systémy (GNSS), digitální fotogrammetrie, počítačová kartografie, geostatistika, geoweb, mobilní geoinformační technologie apod.

Předkládaná kniha se zabývá především teoretickými aspekty geoinformatiky a geoinformačních technologií. Jejím cílem je poskytnout čtenáři základní informace potřebné pro porozumění těmto oblastem. Na ni bude navazovat řada dalších knih různých autorů, které budou postupně a mnohem detailněji zpracovávat některé speciální partie geoinformatiky (jako jsou například prostorové analýzy geodat, zdroje prostorových dat, digitální zpracování dat DPZ, algoritmy prostorových úloh apod.), budou se podrobněji zabývat jednotlivými geoinformačními technologiemi a budou se také zabývat některými širšími souvislostmi geoinformatiky a geoinformačních technologií (jako je plánování aplikací geoinformačních technologií, modelování a simulace v geovědách, expertní a znalostní systémy v geoinformatice, prostorová vizualizace geodat apod.).

Závěrem mi dovoluji poděkovat všem čtyřem recenzentům, kteří se podujali nelehkého úkolu knihu přečíst a připomínkovat. Významnou měrou tak přispěli ke zkvalitnění této knihy. Chtěl bych se jim současně i omluvit za to, že jsem některé jejich připomínky neakceptoval. Týkaly se především partií, kde se naše pohledy na problematiku rozcházejí z důvodů jiného pozadí, které si každý z nás do diskuze přinesl. Tato kniha reprezentuje můj pohled na geoinformatiku, který je v některých oblastech odlišný od dnes běžných přístupů. Můj pohled je nepochybně ovlivněn mým odborným vývojem. Vystudoval jsem geologii na naší Alma Mater, po té jsem se věnoval počítačovému zpracování geodat získávaných různými metodami (geologickým mapováním, vrtným a geofyzikálním průzkumem), několik let i modelování proudění podzemních vod. V roce 1993 jsem v rámci projektu TEMPUS JEP 4363 Application of Engineering and Natural Science Methods for Environmental Protection and Regional Planning absolvoval půlroční studijní probyt na Institutu zeměměřičtví a fotogrammetrie Dánské technické univerzity v Lyngby. Zde jsem podrobně studoval problematiku geoinformatiky a geoinformačních technologií a aktivně pracoval s geografickými informačními systémy, analytickou

fotogrammetrií, dálkovým průzkumem Země a digitálními modely terénu. Po návratu jsem začal s kolegy Jiřím Horákem a Petrem Jančíkem připravovat a prosazovat nový studijní obor nazvaný Geografické informační systémy. Od podzimu roku 1994 se věnuji výuce a dalšímu rozvoji tohoto oboru. Od téhož roku jsem se účastnil řešení celé řady projektů, grantů i spoluprací s praxí, a to jak na národní, tak i mezinárodní úrovni. Zapojil jsem se i do činnosti celé řady odborných společností a komisí, jako je Česká asociace pro geoinformace, Sdružení pro dopravní telematiku, Komise pro standardizaci prostorových dat Mezinárodní kartografické asociace, do činnosti technické normalizační komise TNK 122 Geografická informace/Geomatika při Českém normalizačním institutu, do Terminologické komise Českého úřadu zeměměřičkého a katastrálního a dalších.

Tento můj odborný vývoj, spolu se získanými znalostmi a zkušenostmi, podstatným způsobem ovlivnil můj pohled na geoinformatiku. Tento pohled (spíš jeho aktuální stav, neboť se s rostoucími znalostmi a zkušenostmi dále vyvíjí) vám, milí čtenáři, právě předkládám. Věřím, že vám studium této knihy pomůže porozumět geoinformatice a geoinformačním technologiím a rozpoznat v nich vědu a technologie blízké budoucnosti.

Jsem si vědom toho, že žádné dílo není dokonalé, každé vždy obsahuje určité nedostatky, ať už rázu formálního nebo i věcného. Chtěl bych touto cestou požádat laskavé čtenáře, aby mi zaslali své připomínky, náměty, diskuse k uvedeným myšlenkám apod. tak, aby mohly být zohledněny při zpracovávání dalších vydání této knihy.

V Ostravě, dne 23.7.2006

autor

Kontaktní adresa:

Petr Rapant
Institut geoinformatiky
VŠB – TU Ostrava
17. listopadu 15
708 33 Ostrava – Poruba

Tel.: 59 732 5470
Fax: 59 691 8589
E-mail: petr.rapant@vsb.cz
URL: <http://gis.vsb.cz>

Obsah

Předmluva autora	i
Seznam obrázků	xxiii
Seznam tabulek	xxv
Seznam použitých zkratek	xxvii

I Reálný svět **xxxv**

1 Úvod	1
2 Náhledy na reálný svět	3
2.1 Objektový náhled	3
2.2 Jevový náhled	7
2.3 Procesní náhled	9
3 Poznávání reálného světa	13
3.1 Geografie	13
3.1.1 Geologie	16
3.2 Kartografie	17
3.2.1 Mapa, plán	19
3.3 Geoinformatika	20
3.3.1 Modelování objektů reálného světa v geoinformatice	20
3.3.2 Modelování jevů v geoinformatice	21
3.3.3 Modelování procesů v geoinformatice	23
3.3.4 Role geoinformatiky v lidské společnosti	23

II Základy geoinformatiky **27**

1	Geoinformatika a geoinformační technologie	29
1.1	Informatika	30
1.1.1	Stručná historie informatiky	32
1.1.2	Rozdělení informatiky	33
1.2	Geoinformatika	34
1.2.1	Počátky historie práce s prostorovými daty	37
1.2.2	Rozdělení geoinformatiky	37
1.3	Geoinformační technologie	38
1.4	Mobilní geoinformační technologie	40
2	Historie, současnost a budoucnost ...	41
2.1	Historie geoinformatiky po nástupu počítačů	41
2.2	Současnost geoinformatiky a GIT	42
2.3	Trendy vývoje geoinformatiky a GIT	44
2.3.1	Dlouhodobý trend – budování geoinformačních infrastruktur	46
2.3.2	Krátkodobý výhled	48
2.3.3	Nové technologie pro pořizování geodat	48
2.3.4	Geoweb	53
2.3.5	Služby založené na znalosti polohy uživatele	57
2.3.6	Mobilní geoinformační technologie	58
2.3.7	Obecnější pohled	62
3	Data, informace, znalosti, geodata ...	65
3.1	Údaje, data, informace, znalosti	65
3.2	Prostorová data	68
3.2.1	Základní geodata	69
3.2.2	Aplikačně závislá geodata	71
3.2.3	Geografická data	72
3.3	Význam geodat a geoinformací	72
4	Prostor, různé koncepce ...	75
4.1	Historie vývoje pojetí prostoru	75
4.2	Matematické prostory	77
4.2.1	Množiny	79
4.2.2	Relace	84
4.2.3	Funkce	88
4.2.4	Topologický prostor. Grafy	89
4.2.5	Metrické prostory	99
4.2.6	Euklidovský prostor	101

5	Určování polohy v prostoru	103
6	Přímé určování polohy	111
6.1	Základní pojmy pro přímé určování polohy	111
6.1.1	Datum	111
6.1.2	Souřadnicový systém	112
6.1.3	Souřadnicový referenční systém	113
6.2	Souřadnicové systémy pro určování horizontální	114
6.2.1	Geografický souřadnicový systém	114
6.2.2	Geocentrický souřadnicový systém	115
6.2.3	Souřadnicové systémy kartografických zobrazení	116
6.2.4	Sférický diskretní souřadnicový systém	122
6.2.5	Globální diskretní souřadnicový systém v rovině	124
6.2.6	Lokální souřadnicové systémy	125
6.2.7	Souřadnicové systémy správců inženýrských sítí	126
6.2.8	Staničení	128
6.2.9	Lokální diskretní souřadnicový systém v rovině	130
6.3	Souřadnicové systémy pro určování vertikální	130
6.4	Prostorové referenční systémy používané v ČR	131
7	Nepřímé určování polohy, geokódy	135
7.1	Geokódy pro určování horizontální polohy	136
7.2	Systémy geokódů pro určování vertikální polohy	140
8	Čas, různé koncepce času	141
8.1	Historie pojetí času	142
8.2	Časové jednotky	142
9	Určování polohy v čase	145
9.1	Časové stupnice	145
9.1.1	Siderický čas	148
9.1.2	Solární čas	149
9.1.3	Univerzální čas	149
9.1.4	Atomový čas	150
9.1.5	Univerzální koordinovaný čas	152
9.1.6	Časová pásma – pásmový čas	157
9.1.7	Juliánský den	159
9.1.8	Jiné časové stupnice	159
9.2	Časové signály	162
10	Složky popisu geopravku	165

10.1	Geometrická složka popisu geoprvcu	166
10.1.1	Prostor, v němž je geometrická složka definována	166
10.1.2	Určení polohy geoprvcu v daném prostoru	166
10.1.3	Prostorové vlastnosti geoprvcu	166
10.2	Tematická složka popisu geoprvcu	169
10.3	Časová složka popisu geoprvcu	171
10.4	Vztahová složka popisu geoprvcu	173
10.4.1	Topologické vztahy	174
10.4.2	Časové vztahy	174
10.4.3	Metrické vztahy	176
10.4.4	Syntaktické vztahy	177
10.4.5	Vztah „je částí“	177
10.4.6	Ostatní vztahy	178
10.5	Funkční složka popisu geoprvcu	178
10.6	Kvalitativní složka popisu geoprvcu, metadata	179
11	Složky popisu sítě buněk	183
11.1	Složka popisu vlastností zobrazovaného jevu	183
11.2	Složka popisu vlastností sítě	184
11.3	Složka popisu vlastností buňky	185
III	Prostorové modelování reálného světa	3
1	Úvod	187
2	Metodologie, metodika, metoda, nástroj	189
3	Metodologie prostorového modelování	193
3.1	Základní pojmy	194
3.2	Členění prostorových modelů	198
3.3	Abstraktní modelování reálného světa	199
3.4	Proces modelování reálného světa	200
3.4.1	Proces abstrakce reálného světa vycházející z objektového náhledu	201
3.4.2	Proces konkretizace modelového světa vycházející z ob- jektového náhledu	208
3.5	Metodiky tvorby abstraktních modelů	210
4	Datové modely v geoinformačních ...	213

4.1	Datové modely reprezentující objekty	213
4.1.1	Vektorový datový model	214
4.1.2	Objektový datový model	221
4.2	Datové modely reprezentující jevy	225
4.2.1	Podmínky pro tvar buněk	225
4.2.2	Členění dat v rastrovém datovém modelu	227
4.2.3	Faktory ovlivňující kvalitu zobrazení reálného světa v rastru	227
5	Modelování prostorových procesů	233
6	Geoinformační systém jako obraz světa	237
6.1	Sestavování datových modelů	240
IV	Získávání geodat	3
1	Úvod	243
2	Signály, informace	245
2.1	Signál	245
2.1.1	Deterministický popis signálu	246
2.1.2	Stochastický popis signálu	249
2.2	Některé pojmy z oblasti zpracování signálů	250
3	Získávání geodat	253
3.1	Dělení geodat	253
3.2	Zdroje geodat	254
4	Primární geodata	255
4.1	Rozlišovací úrovně	256
4.1.1	Prostorová rozlišovací úroveň	256
4.1.2	Časová rozlišovací úroveň	258
4.1.3	Tematická rozlišovací úroveň	259
4.2	Proces získávání hodnot	259
4.2.1	Měření	260
4.2.2	Vzorkování	262
4.2.3	Kvantování	270
4.2.4	Kódování	271
4.3	Proces získávání geodat ostatních veličin	274
4.3.1	Soubory a vzorky	274

4.3.2	Výběr vzorku	276
4.3.3	Nepravděpodobnostní způsoby vzorkování	277
4.3.4	Pravděpodobnostní způsoby vzorkování	279
5	Sekundární geodata	283
5.1	Problémy spojené se zdroji sekundárních geodat	284
5.2	Zdroje sekundárních geodat	285
6	Dokumentování kvality geodat	287
6.1	Kvalitativní parametry kvality geodat	287
6.2	Kvantitativní parametry kvality geodat	288
7	Chyby v geodatech	291
V	Geoinformační technologie	3

1	Úvod	297
2	Geografické informační systémy	299
2.1	Definice pojmu GIS	300
2.2	Další názvy	300
2.3	GIS a CAD	300
2.4	Struktura aplikace GIS	301
2.4.1	Organizační kontext	303
2.5	Obecné zákonitosti zavádění GIS	304
2.6	Jaká je budoucnost GIS	306
2.7	Oblasti aplikací GIS	307
3	Dálkový průzkum Země	315
3.1	Zdroje elektromagnetického záření a používané senzory	317
3.2	Senzory odraženého slunečního záření	318
3.2.1	Senzory tepelného infračerveného záření	319
3.2.2	Radarové senzory	319
3.2.3	Laserové senzory	320
3.3	Spektrální charakteristiky materiálů	321
3.4	Získávání obrazů	322
3.5	Analýza a interpretace obrazů	326
3.5.1	Prvky vizuální interpretace	327
3.5.2	Digitální zpracování obrazů	328

3.6	Družice pro dálkový průzkum Země	332
3.7	Oblasti použití dálkového průzkumu Země	332
3.7.1	Meteorologie	334
3.7.2	Zemědělství	336
3.7.3	Lesnictví	337
3.7.4	Geologie	340
3.7.5	Hydrologie	341
3.7.6	Topografické mapování a mapování využití území	343
4	Globální družicové navigační systémy	347
4.1	Struktura systému GPS	348
4.1.1	Kosmický segment	348
4.1.2	Řídicí segment	349
4.1.3	Uživatelský segment	352
4.2	Signály vysílané družicemi GPS	352
4.2.1	C/A kód	353
4.2.2	P-kód	353
4.2.3	Y-kód	354
4.2.4	Navigační zpráva	354
4.3	Určování polohy a času	355
4.3.1	Souřadnicový systém	355
4.3.2	Nadmořská výška	355
4.3.3	Čas GPS	356
4.3.4	Družicový čas	356
4.4	Principy měření	357
4.4.1	Kódová měření	357
4.4.2	Fázová měření	357
4.4.3	Dopplerovská měření	358
4.5	Metody měření a vyhodnocování	358
4.5.1	Určování absolutní polohy přímo v terénu	358
4.5.2	Určování relativní polohy	361
4.5.3	Přesná geodetická měření	361
4.6	Požadovaná přesnost GPS	362
4.7	Metody zpřesňování určování polohy a času	363
4.7.1	Průměrování	363
4.7.2	Diferenční GPS	363
4.8	Oblasti využití GPS	367
4.8.1	Aplikace GPS v oblasti dopravy	367
4.8.2	Aplikace GPS při mapování a v geodézii	371
4.8.3	Zvládání krizových situací	373
4.8.4	Rekreace	373

4.8.5	Vědecké aplikace	374
4.8.6	Časové služby	374
4.8.7	Další oblasti aplikací	375
4.9	Další globální družicové navigační systémy	375
5	Mobilní geoinformační technologie	377
5.1	Malé přenosné počítače	378
5.2	Programové vybavení	380
5.3	Geodata	381
5.4	Bezdrátové komunikační technologie	381
5.5	Prostředky pro určování polohy	382
5.6	Internet a geoweb	382
5.7	Oblasti použití mobilních geoinformačních technologií	383
6	Digitální modely reliéfu	385
6.1	Geoprvky používané pro popis reliéfu	386
6.2	Zdroje dat pro DMR	386
6.3	Datové modely používané pro DMR	388
6.3.1	DMR typu grid	388
6.3.2	DMR typu TIN	388
6.4	Analytické úlohy řešené nad DMR	390
6.4.1	Objemové výpočty	393
6.4.2	Analýzy viditelnosti	393
6.4.3	Analýzy orientace a velikosti sklonu svahů	393
6.4.4	Analýzy drenážních sítí, odtokových poměrů, povodí apod.	394
6.5	Metody vizualizace DMR	395
6.5.1	Ortografické metody vizualizace DMR	395
6.5.2	Izometrické metody vizualizace DMR	400
6.6	Oblasti využití DMR	401
6.6.1	Stavitelství,územní plánování a urbanizmus	401
6.6.2	Hydrologické a hydrogeologické modelování	401
6.6.3	Hodnocení a hodnocení eroze v krajině	402
6.6.4	Dálkový průzkum Země a fotogrammetrie	402
6.6.5	Povrchové dobývání surovin a skládky	402
6.6.6	Vojenství	403
6.6.7	Jiné aplikace	403
7	Geoweb	405
7.1	Služby pro zpřístupňování geodat	407
7.2	Služby pro zpracovávání geodat	407

7.3	Katalogové služby	407
7.4	Služby pro vytváření aplikací	407
8	Lidar	411
8.1	Princip lidarů	411
8.2	Charakteristika získaných dat	414
8.3	Zpracování dat	414
8.3.1	Filtrace	415
8.3.2	Klasifikace	416
8.4	Aplikace lidarů	416
8.4.1	Tvorba digitálního modelu reliéfu	417
8.4.2	Tvorba 3D modelů měst	418
8.4.3	Tvorba dokumentace a 3D modelů budov	419
8.4.4	Tvorba diferenčních modelů	420
8.4.5	Mapování průběhu nadzemních vedení	421
8.4.6	Mapování vegetace	422
8.4.7	Mapování vodních ploch	422
8.4.8	Mapování úniků plynů z produktovodů	423
9	Nově nastupující geoinformační technologie	425
9.1	<i>Prostorové multiagentové systémy</i>	426
9.1.1	Agent	426
9.1.2	Multiagentový systém	428
9.1.3	Situovaný multiagentový systém	429
9.1.4	Prostředí v MASS	430
9.1.5	Komunikace mezi agenty v MASS	431
9.1.6	Výhradně komunikující MAS	432
9.1.7	Propojení MASS a GIS	433
9.1.8	Oblasti aplikací prostorových multiagentových systémů	435
9.2	Buněčné automaty	435
9.2.1	Struktura buněčného automatu	437
9.2.2	Oblasti aplikací buněčných automatů	438
10	Další geoinformační technologie	439
	Literatura	441

Seznam obrázků

I Reálný svět 1

I.2.1	<i>Hierarchická struktura reálného světa.</i>	5
I.2.2	<i>Výsek hierarchie z obr. I.2.1, který je předmětem zájmu geoinformatiky.</i>	5
I.2.3	<i>Komponenty prostorového procesu a jejich vzájemný vztah.</i>	10
I.3.1	<i>Geosféry Země.</i>	14

II Základy geoinformatiky 29

II.1.1	<i>Moorův zákon.</i>	30
II.1.2	<i>Nielsenův zákon.</i>	31
II.1.3	<i>Vývoj nákladů spojených s ukládáním dat.</i>	32
II.1.4	<i>Japonský Abakus – Soroban.</i>	32
II.1.5	<i>Ukázka mobilního telefonu s připojeným přijímačem GPS a spuštěným programem pro mobilní GIS.</i>	38
II.1.6	<i>Ukázka počítače třídy palmtop s vloženým přijímačem GPS.</i>	39
II.2.1	<i>Koncepce distribuovaného poskytování, dat, služeb i aplikací.</i>	48
II.2.2	<i>Digitální fotogrammetrická stanice.</i>	49
II.2.3	<i>Digitální model reliéfu odvozený z vrstevnic.</i>	50
II.2.4	<i>Tatáž oblast jako na obr. II.2.3, tentokrát nasnímaná zařízením lidar.</i>	50
II.2.5	<i>Letecký snímek oblasti z obr. II.2.4 a II.2.5.</i>	51
II.2.6	<i>Srovnání leteckého snímku a snímku lidar.</i>	52
II.2.7	<i>Ukázka výstupů videometrie.</i>	53
II.2.8	<i>Ukázka dat pořízených radarem umístěným na umělé družici Země.</i>	54

II.2.9	<i>Snímek města San Francisco v Kalifornii, pořízený 24. února 2002 družicí QuickBird.</i>	55
II.2.10	<i>Ukázka interpretace dat pořízených radarem umístěným na umělé družici Země.</i>	56
II.2.11	<i>Ukázka prostředí programu ArcExplorer, určeného k prohlížení map na Internetu.</i>	56
II.2.12	<i>Ukázka prostředí programu GeoMedia Web Map, určeného k prohlížení map na Internetu.</i>	57
II.2.13	<i>Ukázka aplikace LBS – nalezení nejkratší trasy v silniční síti.</i>	57
II.2.14	<i>Ukázka mobilního velitelského stanoviště s kontejnerem systému REMSAT.</i>	58
II.2.15	<i>Systém REMSAT.</i>	59
II.2.16	<i>Model vrtulníku osazený digitální kamerou s on-line přenosem obrazu na zem.</i>	60
II.2.17	<i>Ukázka zařízení pro předcházení kolizím při přepravě materiálu na povrchovém dole.</i>	61
II.3.1	<i>Data, informace, znalosti, jejich vzájemný vztah a vztah k informačnímu systému.</i>	66
II.4.1	<i>Hierarchické členění matematických prostorů.</i>	76
II.4.2	<i>Mapa izochron.</i>	77
II.4.3	<i>Geometrická interpretace kartézského součinu.</i>	82
II.4.4	<i>Ukázka tříd ekvivalence – tříd rovnoběžných přímk – definovaných v rámci množiny všech přímek.</i>	87
II.4.5	<i>Příklad homomorfních grafů.</i>	91
II.4.6	<i>Příklad grafu.</i>	91
II.4.7	<i>Ukázka souvislého grafu.</i>	93
II.4.8	<i>Ukázka nesouvislého grafu.</i>	94
II.4.9	<i>Ukázka kořenového stromu.</i>	94
II.4.10	<i>Stěna, most, stupeň stěny.</i>	96
II.4.11	<i>Duální graf.</i>	97
II.4.12	<i>Základní topologické prvky.</i>	97
II.4.13	<i>Graf konektivity.</i>	98
II.4.14	<i>Graf incidence.</i>	99
II.4.15	<i>Graf přilehlosti.</i>	100
II.4.16	<i>Analýza průchodnosti terénu.</i>	101
II.5.1	<i>Prostorový referenční rámec na pracovním stole.</i>	104
II.5.2	<i>Prostorové referenční systémy.</i>	108
II.6.1	<i>Konceptuální schéma souřadnicového referenčního systému.</i>	113

II.6.2	<i>Konceptuální schéma složeného souřadnicového referenčního systému.</i>	114
II.6.3	<i>Geografický souřadnicový systém.</i>	115
II.6.4	<i>Geocentrický souřadnicový systém.</i>	116
II.6.5	<i>Polohy ploch rozvinutelných do roviny vůči referenční kouli.</i>	119
II.6.6	<i>Odchylka skutečného průběhu povrchu Země od roviny.</i>	120
II.6.7	<i>Sférický diskrétní souřadnicový systém – základní oktaedr.</i>	121
II.6.8	<i>Sférický diskrétní souřadnicový systém – ukázka výsledku po prvním dělení.</i>	123
II.6.9	<i>Sférický diskrétní souřadnicový systém – ukázka výsledku po čtvrtém dělení.</i>	124
II.6.10	<i>Sférický diskrétní souřadnicový systém – ukázka dělení a adresace.</i>	124
II.6.11	<i>Diskrétní souřadnicový systém.</i>	125
II.6.12	<i>Ukázka určování polohy používaného správcí inženýrských sítí.</i>	127
II.6.13	<i>Vztah mezi výškou měřenou nad geoidem a výškou měřenou nad elipsoidem.</i>	129
II.7.1	<i>Reprezentační body parcel použitelné pro nepřímé určování polohy geoprůků.</i>	136
II.7.2	<i>Ulice jako liniový systém pro nepřímé určování polohy.</i>	137
II.7.3	<i>Parcely jako nepravidelný plošný systém geokódů pro nepřímé určování polohy.</i>	137
II.7.4	<i>Pravidelný plošný systém pro nepřímé určování polohy jako náhrada bodového systému.</i>	139
II.9.1	<i>Schéma cesiových atomových hodin.</i>	150
II.9.2	<i>Ukázka praktické realizace cesiových atomových hodin.</i>	151
II.9.3	<i>Zpráva o nezařazení přestupné sekundy do časové stupnice UTC na konci června 2005.</i>	154
II.9.4	<i>Zpráva o zařazení přestupné sekundy do časové stupnice UTC na přelomu roků 1998 a 1999.</i>	155
II.9.5	<i>Mapa rozložení časových pásem.</i>	156
II.9.6	<i>Detail rozložení časových zón v oblasti Indie.</i>	157
II.10.1	<i>Příklady charakteru prostorového rozložení bodových geoprůků.</i>	167
II.10.2	<i>Příklady charakteru prostorového rozložení liniových geoprůků na příkladu říčních sítí.</i>	168
II.10.3	<i>Příklady struktury prostorového rozložení plošných geoprůků.</i>	169

II.10.4	<i>Vztah času ke geometrické a tematické složce popisu geopruku.</i>	172
II.10.5	<i>Časové osy.</i>	173
II.10.6	<i>Stavová topologie geoprůků.</i>	176
II.10.7	<i>Stavová topologie geopruku.</i>	176
II.10.8	<i>Odvození doby platnosti geometrické topologie.</i>	177

III Prostorové modelování reálného světa 187

III.3.1	<i>Univerzum diskurzu a jeho vztah k rámci, kontextu a účastníkům.</i>	195
III.3.2	<i>Výřez upraveného leteckého snímku porubského areálu VŠB-TU Ostrava z roku 2000.</i>	201
III.3.3	<i>Proces modelování reálného světa v geoinformačním systému.</i>	203
III.3.4	<i>Konceptuální model pro pátou úroveň.</i>	208
III.3.5	<i>Konceptuální model pro čtvrtou úroveň.</i>	209
III.3.6	<i>Konceptuální model pro třetí úroveň.</i>	211
III.3.7	<i>Ukázka části konceptuálního modelu pro druhou úroveň.</i>	212
III.4.1	<i>Schematické členění geodat popisujících geoprůky ve vektorovém datovém modelu.</i>	215
III.4.2	<i>Základní stavební kámen geometrické složky popisu geoprůky ve vektorovém datovém modelu – vektor.</i>	216
III.4.3	<i>Základní geometrické prvky vektorového datového modelu a jejich reprezentace pomocí vektorů.</i>	216
III.4.4	<i>Špagetový model.</i>	217
III.4.5	<i>Topologický vektorový datový model.</i>	218
III.4.6	<i>Topologický vektorový datový model.</i>	219
III.4.7	<i>Obecná struktura objektu.</i>	222
III.4.8	<i>Znázornění dědění vlastností tříd – třídní hierarchie.</i>	223
III.4.9	<i>Tvary základních buněk rastru.</i>	226
III.4.10	<i>Schematické členění dat v rastrovém datovém modelu.</i>	226
III.4.11	<i>Vliv velikosti buňky rastru na výslednou reprezentaci zájmové oblasti v GIS.</i>	228
III.4.12	<i>Ukázka vstupních dat pro systém GMS.</i>	231
III.5.1	<i>Ukázka vizualizace výsledků modelování ze stejné oblasti, jako je popsána u obr. III.4.12.</i>	233
III.5.2	<i>Ukázka výstupů dalších analýz, prováděných nad výstupy z modelu.</i>	234

III.6.1	<i>Promítnutí reálného světa do GIS.</i>	237
III.6.2	<i>Vytvoření vnitřního modelu.</i>	238
III.6.3	<i>Promítnutí vnitřního modelu pozorovatele do mapy.</i>	239
III.6.4	<i>Převod mapy do GIS pomocí digitizéru.</i>	239

IV Získávání geodat

243

IV.2.1	<i>Ukázka vyjádření daného signálu (nahore) jako součtu sinusových signálů s různou periodou a amplitudou.</i>	248
IV.2.2	<i>Ukázka frekvenčního spektra signálu z obr. IV.2.1.</i>	249
IV.2.3	<i>Ukázka výkonového spektra signálu z obr. IV.2.1.</i>	249
IV.2.4	<i>Ukázka aliasingu při podvzorkování signálu.</i>	250
IV.2.5	<i>Ukázka výsledných signálů po aplikaci jednotlivých filtrů.</i>	251
IV.2.6	<i>Ukázka výsledku interference dvou signálů stejné amplitudy a velice blízké frekvence.</i>	252
IV.4.1	<i>Vývoj množství získatelných detailních informací a informací o celku.</i>	258
IV.4.2	<i>Úroveň abstrakce reprezentace signálu.</i>	261
IV.4.3	<i>Princip fungování čidla.</i>	261
IV.4.4	<i>Ukázka vlivu hustoty vzorkování na výslednou reprezentaci původního signálu vzorky a interpolovanými hodnotami.</i>	263
IV.4.5	<i>Stejná sada vzorků může odpovídat více různým signálům.</i>	265
IV.4.6	<i>Rozmístění vzorků při pravidelném vzorkování.</i>	266
IV.4.7	<i>Rozmístění vzorků při náhodném vzorkování.</i>	266
IV.4.8	<i>Rozmístění vzorků při vzorkování s roztřesením.</i>	267
IV.4.9	<i>Rozmístění vzorků při vzorkování s částečným roztřesením.</i>	267
IV.4.10	<i>Rozmístění vzorků při vzorkování s nezávislým roztřesením.</i>	268
IV.4.11	<i>Rozmístění vzorků při Poissonově diskovém vzorkování.</i>	268
IV.4.12	<i>Kvantování.</i>	271
IV.4.13	<i>Vliv kvantovacího zkreslení.</i>	272
IV.4.14	<i>Vliv kroku vrstevnic (tj. kvantovacího kroku) na přesnost reprezentace reliéfu terénu.</i>	273
IV.4.15	<i>Členění metod sběru vzorků.</i>	277
IV.4.16	<i>Ukázka areálového a vnořeného areálového vzorkování.</i>	280

V Geoinformační technologie

297

V.2.1	<i>Struktura aplikace GIS.</i>	301
V.2.2	<i>Organizační kontext - cílový stav.</i>	302
V.2.3	<i>Vývoj nákladů a přínosů v průběhu implementace GIS.</i>	305
V.2.4	<i>Srovnání důsledku „opatrného“ a „agresivního“ investování do GIS.</i>	305
V.2.5	<i>Pravidlo „80 - 20“.</i>	306
V.2.6	<i>Ukázka výsledku prostorové analýzy trhu práce.</i>	312
V.3.1	<i>Schematické znázornění jednotlivých fází procesu dálkového průzkumu Země.</i>	316
V.3.2	<i>Ovlivnění/pohlcování elektromagnetického záření atmosférou v celé šíři běžně používané části spektra.</i>	317
V.3.3	<i>Ukázka obrazu pořízeného v oblasti odraženého slunečního záření, konkrétně v oblasti červené barvy.</i>	318
V.3.4	<i>Ukázka obrazu pořízeného v oblasti tepelného infračerveného záření.</i>	319
V.3.5	<i>Ukázka obrazu pořízeného radarem.</i>	320
V.3.6	<i>Křivky spektrální odrazivosti suché půdy, zeleně a vody.</i>	321
V.3.7	<i>Sedm obrazů znázorňujících data pořízená v sedmi spektrálních pásmech družicí Landsat ETM+.</i>	325
V.3.8	<i>Ukázka rozvoje urbanizace ve městě Tracy, Kalifornie.</i>	326
V.3.9	<i>Ukázka zlepšení vzhledu obrazu.</i>	329
V.3.10	<i>Ukázka principu skládání obrazu v nepravých barvách ze tří obrazů získaných v různých spektrálních pásmech.</i>	330
V.3.11	<i>Obraz v nepravých barvách, vzniklý složením pásem 4 (červená), 5 (modrá) a 3 (zelená).</i>	331
V.3.12	<i>Obraz v téměř pravých barvách, vzniklý složením pásem 3 (červená), 1 (modrá) a 2 (zelená).</i>	331
V.3.13	<i>Obraz v nepravých barvách, vzniklý složením pásem 4 (červená), 2 (modrá) a 3 (zelená).</i>	332
V.3.14	<i>Obraz v nepravých barvách, vzniklý složením pásem 4 (červená), 3 (modrá) a 5 (zelená).</i>	333
V.3.15	<i>Obraz v nepravých barvách, vzniklý složením pásem 7 (červená), 2 (modrá) a 4 (zelená).</i>	333
V.3.16	<i>Snímek hurikánu Douglas z července roku 2002, pořízený družicí obíhající po polární dráze.</i>	335
V.3.17	<i>Snímek zachycující meteorologickou situaci nad východní částí Spojených států amerických.</i>	335
V.3.18	<i>Snímek hurikánu Isabel, opět pořízený družicí obíhající po polární dráze.</i>	336

V.3.19	<i>Srovnání využitelnosti multispektrálního (vlevo) a radarového obrazu.</i>	337
V.3.20	<i>Ukázka využitelnosti hyperspektrálního obrazu pro počítání stromů a měření rozměrů korun stromů.</i>	338
V.3.21	<i>Ukázka využitelnosti téhož hyperspektrálního obrazu pro analýzu druhového složení porostu.</i>	339
V.3.22	<i>Ukázka projevu geologických struktur na radarovém obrazu.</i>	340
V.3.23	<i>Oblast Zagros Mountains v Íránu, tak jak byla zachycena radarem v průběhu Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) raketoplánu Endeavour v roce 2000.</i>	341
V.3.24	<i>Oblast Gotel Muontines na hranici mezi Nigérií a Kamerunem.</i>	342
V.3.25	<i>Ukázka trojrozměrné vizualizace topografické mapy, vytvořené z dat získaných družicí Landsat.</i>	343
V.3.26	<i>Ukázka trojrozměrné vizualizace stínovaného digitálního modelu reliéfu obarveného dle nadmořské výšky.</i>	345
V.4.1	<i>Kosmický segment systému GPS.</i>	349
V.4.2	<i>Příklad zprávy o aktuálním stavu družic rozmístěných v kosmickém segmentu GPS.</i>	350
V.4.3	<i>Mapa rozmístění stanic řídicího segmentu systému GPS.</i>	351
V.4.4	<i>Schéma odvozování frekvencí jednotlivých signálů GPS.</i>	353
V.4.5	<i>Možné polohy přijímače vzhledem k jedné družici – kulová plocha.</i>	359
V.4.6	<i>Možné polohy přijímače vzhledem k dvěma družicím – kruh.</i>	360
V.4.7	<i>Možné polohy přijímače vzhledem ke třem družicím – dva body.</i>	360
V.4.8	<i>Vliv časového posunu hodin přijímače na přesnost měření.</i>	361
V.4.9	<i>Grafické znázornění odchylky průměrné hodnoty polohy od skutečné polohy v závislosti na době měření.</i>	364
V.4.10	<i>Ukázka referenční stanice GPS/GLONASS, vybudované na střeše hlavní budovy porubského areálu VŠB-TU Ostrava.</i>	365
V.4.11	<i>Rozmístění referenčních stanic sítě CZEPOS.</i>	366
V.4.12	<i>Ukázka přijímače GPS použitelného pro mapování v terénu.</i>	372
V.5.1	<i>Přenosný počítač třídy palmtop – HP iPAQ 4100.</i>	378
V.5.2	<i>Přenosný počítač třídy TabletPC – HP compaq TC1100.</i>	378
V.5.3	<i>Přenosný počítač HP compaq TC1100 uzavřený ve speciálním pouzdře pro práci v terénu.</i>	379
V.5.4	<i>Ukázky programů pro vizualizaci a sběr dat v terénu pro přenosné počítače.</i>	380

V.6.1	<i>Ukázka digitálního modelu reliéfu typu grid.</i>	387
V.6.2	<i>Ukázka digitálního modelu reliéfu typu TIN.</i>	387
V.6.3	<i>Ukázka objemových výpočtů s využitím DMR.</i>	389
V.6.4	<i>Ukázka analýzy viditelnosti.</i>	390
V.6.5	<i>Výsledky analýzy orientace svahů zobrazené v rovině (a) a v prostoru (b).</i>	391
V.6.6	<i>Výsledky analýzy velikosti sklonu svahů zobrazené v rovině (a) a v prostoru (b).</i>	392
V.6.7	<i>Ukázka výsledku analýzy povodí a drenážních sítí. Žlutě jsou vyznačeny rozvodnice, modře drenážní síť.</i>	394
V.6.8	<i>Vizualizace DMR pomocí vrstevnic v rovině (a) a v prostoru (b).</i>	397
V.6.9	<i>Vizualizace DMR pomocí obarvování v rovině (a) a v prostoru (b).</i>	398
V.6.10	<i>Vizualizace DMR stínováním v rovině (a) a v prostoru (b).</i>	399
V.6.11	<i>Vizualizace DMR pomocí sítě vertikálních řezů.</i>	400
V.7.1	<i>Organizační schéma geoweby.</i>	405
V.7.2	<i>Ukázka mapové služby.</i>	406
V.7.3	<i>Model prostorové analýzy k probíranému příkladu.</i>	409
V.8.1	<i>Schéma lidarů.</i>	412
V.8.2	<i>Rastrový obraz vytvořený z intenzit odražených signálů.</i>	413
V.8.3	<i>Na tomto obrázku je ukázán původní digitální model povrchu (včetně zeleně a zástavby).</i>	415
V.8.4	<i>Digitální model reliéfu oblasti Manitou Springs.</i>	417
V.8.5	<i>Ukázka dat získaných lidarem a multispektrálním skenerem (červená-zelená-modrá-blízké infračervené záření).</i>	418
V.8.6	<i>3D model baseballového stadionu.</i>	419
V.8.7	<i>Ukázka skenování fasád budov pozemním laserovým skenerem (lidarem).</i>	420
V.8.8	<i>Ukázka různého zpracování digitálního modelu reliéfu, vytvořeného z dat lidarů.</i>	421
V.8.9	<i>Ukázka prostorového 3D mapování průběhu vedení velmi vysokého napětí s využitím lidarů.</i>	422
V.8.10	<i>Ukázka mapování průběhu vedení vysokého napětí a pod ním se nacházející vegetace.</i>	423
V.8.11	<i>Ukázka využití diferenčního absorpčního lidarů pro detekci úniků metanu z potrubí.</i>	424

V.9.1 *Konceptuální schéma vzájemné interakce agenta a okolního prostředí* 427

Seznam tabulek

I Reálný svět	1
<hr/>	
I.3.1 <i>Možné kombinace rozměrnosti zobrazovaných jevů, buněk a rozměrnosti výsledné sítě buněk.</i>	21
II Základy geoinformatiky	29
<hr/>	
II.1.1 <i>Hlavní mezníky vývoje informatiky.</i>	33
II.2.1 <i>Nové produkty a služby v oblasti geografických informací. . .</i>	43
II.3.1 <i>Rozsahy prostorového rozlišení a rozsahy měřítek pro jednotlivé úrovně referenčních geodat.</i>	71
II.4.1 <i>Nástin historie vývoje pojetí prostoru.</i>	76
II.4.2 <i>Tabulka jízdních vzdáleností měst.</i>	85
II.4.3 <i>Příklady prostorových vztahů geoproků.</i>	89
II.6.4 <i>Rozměry vybraných referenčních elipsoidů.</i>	117
II.9.1 <i>Vývoj časového rozdílu mezi atomovým časem (TAI) a univerzálním koordinovaným časem (UTC).</i>	152
II.9.2 <i>Chronostratigrafická tabulka, reprezentující geologický čas. .</i>	160
II.9.2 <i>Chronostratigrafická tabulka, reprezentující geologický čas. .</i>	161
II.9.3 <i>Historická časová stupnice.</i>	162
II.10.1 <i>Příklady prostorových vztahů v reálném světě.</i>	174
III Prostorové modelování reálného světa	187
<hr/>	

III.3.1	<i>Porovnání jednotlivých úrovní tříúrovňového a dvou používaných čtyřúrovňových přístupů k modelování reálného světa v informačních systémech.</i>	200
III.6.1	<i>Transformace reálného světa do prostředí GIS.</i>	238
IV Získávání geodat		243
<hr/>		
IV.2.1	<i>Různé typy signálů dle vlastností definičního oboru a oboru hodnot.</i>	247
IV.7.1	<i>Možné zdroje chyb v geodatech a výsledných geoinformacích.</i>	292
V Geoinformační technologie		297
<hr/>		
V.3.1	<i>Příklady v současné době používaných družic pro DPZ . . .</i>	334
V.3.2	<i>Ukázka první a částečně i druhé úrovně možné klasifikace pokrytí území</i>	344

Seznam použitých zkratk

0D	bezrozměrný
1D	jednorozměrný
2.5D	dvaapůlrozměrný
2D	dvourozměrný
3D	třírozměrný
AM/FM System	Automated Mapping and Facilities Management System informační systém správců inženýrských sítí
ARC/INFO	programový balík firmy ESRI Inc. pro tvorbu aplikací geografických informačních systémů
ArcGIS	programový balík firmy ESRI Inc. pro tvorbu aplikací geografických informačních systémů
ArcPad	programový balík firmy ESRI Inc. pro tvorbu aplikací geografických informačních systémů pro přenosné počítače
AVL	Automatic Vehicle Location automatická lokalizace vozidel palubní navigační systém pro silniční dopravu
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures
Bpv	výškový systém baltský po vyrovnání
CAD	Computer Aided Design počítačově podporované navrhování
CAGI	Česká asociace pro geoinformace
CEN	European Committee for Standardization
CMR2	formát pro předávání diferenčních korekcí při provádění fázových měření v reálném čase
CTV	Centrum tísňového volání
CZEPOS	Česká permanentní síť pro určování polohy
ČNI	Český normalizační institut
ČSN	česká státní norma
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DCF 77	označení vysílače časových značek, umístěného v Mainflingen, Německo
DGPS	diferenční GPS

DigitalGlobe	soukromá firma provozující družice pro dálkový průzkum Země (QuickBird)
DMR	digitální model reliéfu
DMÚ25	Digitální model území 1:25 000
DPZ	dálkový průzkum Země
E^2	dvourozměrný euklidovský prostor
E^3	trojrozměrný euklidovský prostor
E^n	n-rozměrný euklidovský prostor
ECEF	Earth Fixed, Earth Centered geocentrický kartézský souřadnicový systém
EDGE	Enhanced Data rates for Global Evolution
EGNOS	Euro Geostationary Navigation Overlay Service
EK	Evropská komise
ENIAC	Electronic Numerical Integrator and Computer programovatelný elektronkový počítač vyrobený v USA v roce 1943
EO	družice pro dálkový průzkum Země
EP	Evropský parlament
ERS	družice pro dálkový průzkum Země
ESA	European Space Agency Evropská kosmická agentura
ESRI	Environmental Systems Research Institute
ETeMII	European Territorial Management Information Infrastructure projekt EU
ETRS	European Terrestrial Reference System
EU	European Union Evropská unie
EUPOS	European Position Determination System
FGDC	Federal Geographic Data Committee
Galileo	globální družicový navigační systém budovaný Evropskou unií
geoweb	web rozšířený o možnosti práce s geodaty
GINIE	Geographic Information Network In Europe
GIS	Geographic Information System geografický informační systém
GISMO	GIS města Ostravy
GIT	Geoinformation Technologies geoinformační technologie
GLONASS	Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Systema Global Navigation Satellite System družicový navigační systém provozovaný Ruskou federací
GLONASS-M	modernizované družice GLONASS
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
GML	Geographic Markup Language Geografický značkovací jazyk

Seznam zkratek

GMS	Groundwater Modeling System
GMST	Greenwich Mean Sideral Time Greenwichský střední siderický čas
GNSS	Global Navigation Satellite System globální družicový navigační systém
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System Globální polohový systém
GRASS	Geographic Resources Analysis Support System volně dostupný programový balík pro GIS
grid	datový formát pro digitální modely reliéfu
GSDI	Global Spatial Data Infrastructure globální infrastruktura prostorových dat
GSM	Global System for Mobile Communications
HAE	Height above Ellipsoid výška nad elipsoidem
HSCSD	High-Speed Circuit-Switched Data
IBM-PC	IBM Personal Computer
IBM-XT	IBM Personal Computer XT
ICA	International Cartographic Association Mezinárodní kartografická asociace
ICAO	International Civil Aviation Organisation
ICT	Information and Communication Technologies informační a komunikační technologie
IERS	International Earth Rotation Service Mezinárodní služba pro rotaci Země
IKONOS 1	družice pro dálkový průzkum Země
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in Europe Evropská infrastruktura pro prostorové informace připravovaná direktiva EP a EK
IrDA	Infrared Data Association asociace vyvíjející standardy pro komunikaci prostřednictvím infračerveného záření
ISO	International Organisation for Standardisation Mezinárodní organizace pro normalizaci
IST	Information Society Technologies
ITRS	International Terrestrial Reference System Mezinárodní terestrický referenční systém
ITS	Intelligent Transport Systems Inteligentní dopravní systémy
JD	Julian Date Juliánské datum
Kvantif	projekt realizovaný koncem 80. let v Norsku

LAAS	Local Area Augmentation System
Landsat	družice pro dálkový průzkum Země
Landsat ETM+	družice pro dálkový průzkum Země
Landsat TM	družice pro dálkový průzkum Země
LBS	Location Based Services služby založené na znalosti polohy zákazníka
LIDAR, lidar	Light Detection And Ranging
LIS	Land Information System informační systém o území
MARK-1	elektromechanický počítač vyrobený v USA na přelomu let 1943 a 1944
MCS	Master Control Station hlavní řídicí stanice systému GPS
MGE	Modular GIS Environment
MGIT	Mobile Geoinformation Technologies mobilní geoinformační technologie
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MJD	Modified Julian Date modifikované Juliánské datum
MS-DOS	MicroSoft Disk Operating System
MSAS	Multi-Functional Satellite Augmentation System
MSL	Mean See Level střední hladina moře
Nemoforum	platformy spolupráce orgánů veřejné správy a profesních svazů a soukromého sektoru v oblasti politiky využívání nemovitostí, potřebného informačního zabezpečení, širších potřeb informací o území apod.
NGII	National Geographic Information Infrastructure Národní geoinformační infrastruktura
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration mimo jiné provozuje družice pro dálkový průzkum Země nesoucí stejné označení
NOAA-M	družice pro dálkový průzkum Země
OASIS	Organization for the Advancement of Structured Information Standards
OGC	Open Geospatial Consortium
Open Source	speciální licencování programového vybavení umožňující při splnění určitých podmínek jeho bezúplatné používání
PC ARC/INFO	verze programového balíku ARC/INFO, vyvinutá v 80. letech a určená pro osobní počítače
PDA	Personal Digital Assistant
QuickBird	družice pro dálkový průzkum Země
R	obor reálných čísel
R ⁺	obor kladných reálných čísel
RADAR	Radio Detection And Ranging

Seznam zkratek

REMSAT	Real-Time Emergency Managenet via Satellite
RS	Remote Sensing dálkový průzkum Země (DPZ)
RTCM	The Radio Technical Commission for Maritime Services
RTCM SC-104	RTCM Recommended Standards for Differential Navstar GPS Service
S-42	souřadnicový systém 1942
SEČ	středoevropský čas
SELČ	středoevropský letní čas
S-Gr95	tíhový systém 1995
SI	International System of Units mezinárodní systém jednotek
S-JTSK	souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
SMS	Short Message Service
SPOT	družice pro dálkový průzkum Země
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TAI	Atomic Time atomový čas
Terra	družice pro dálkový průzkum Země
TGML	Time Geographic Markup Language Časový geografický značkovací jazyk
TIN	Triangulated Irregular Network nepravidelná trojúhelníková síť
TNK	Technická normalizační komise (při ČNI)
ÚIR-ADR	územně-identifikační regist adres
UT	Universal time univerzální čas
UTC	Universal Time Coordinated univerzální koordinovaný čas
UTC _{RF}	UTC Russian Federation univerzální koordinovaný čas udržovaný Ruskou federací
UTC _{TP}	UTC Tempus Pragense univerzální koordinovaný čas udržovaný v Praze
UTC _{USNO}	UTC United States Naval Observatory univerzální koordinovaný čas udržovaný v USA
VGHMÚř	Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad
VNIIFTRI	Vserosijskij Naučno-Issledovatel'skij Institut Fiziko-Tekničeskich i Radiotěčničeskich Izmerenij
VŠB-TU	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
VUT	Vysoké učení technické v Brně
W3C	World Wide Web Consortium
WAAS	Wide Area Augmentation System
web	běžně používané zkrácení plného názvu Worl Wide Web
WFS	Web Feature Service

WGS-84	World Geodetic Reference System 1984 světový geodetický referenční systém 1984
WiFi	označení technologií pro budování bezdrátových lokálních počítačových sítí
WMS	Web Map Service
WWW	World Wide Web
ZABAGED	Základní báze geografických dat
Z	množina přirozených čísel
ZČU	Západočeská univerzita v Plzni

Část I

Reálný svět

Kapitola 1

Úvod

Lidé žijí v konkrétním prostředí, které je obklopuje a které svými vlastnostmi do značné míry předurčuje způsob jejich života. Působení však je vzájemné – i člověk více či méně na toto prostředí působí, mění (modifikuje) jeho složky, ovlivňuje jeho vývoj. V tom nejobecnějším pojetí budeme tomuto prostředí říkat *reálný svět*. V průběhu své historie člověk rozvinul celou řadu vědních disciplín, zabývajících se jeho popisem a studiem. Důvodem byla (a stále je) snaha co nejlépe porozumět objektům a jevům v něm se vyskytujícím a procesům v něm probíhajícím. O reálném světě lze říct, že existuje zcela nezávisle na našem vědomí, na našich subjektivních vjemech, na našem poznání. Z pohledu této knihy budeme reálný svět považovat za poznatelný jen částečně. Úplné poznání reálného světa je technicky neproveditelné. (A koneckonců není ani účelné, ale o tom blíže v části věnované modelování reálného světa v geoinformačních systémech.)

Příklad. Asi se nám nikdy nepodaří prozkoumat všechny hvězdy naší Galaxie, natož všechna zákoutí našeho Vesmíru. Ale koneckonců není třeba ani uvažovat tyto extrémní případy. Ani nitro naší planety Země není pro nás zcela poznatelné. Ačkoliv penzum našich znalostí roste, přesto pro nás bude značná část informací „z technických důvodů“ stále nedosažitelná.

Při poznávání reálného světa se v geoinformatice omezujeme zpravidla jen na tu jeho část, v níž aktivně žijeme, kterou využíváme, spravujeme a kterou i ovlivňujeme. Nicméně nic nám nebrání poznatky geoinformatiky a na nich založené geoinformační technologie používat v mnohem širším kontextu. Dnes se rozvíjejí aplikace GIT pro Mars (vytváří se geografický informační systém, shrnující všechny doposud získané údaje – má sloužit při přípravě misí k Marsu; zpracovává se koncept sružicového navigačního systému; běžně se provádí dálkový průzkum Marsu), ale i například pro Měsíc.

Kapitola 2

Náhledy na reálný svět

Na reálný svět je možné se dívat různými způsoby:

- reálný svět může být vnímán jako množina diskrétních *objektů reálného světa* rozložených v prostoru a popsanych hodnotami jejich vlastností (tzv. *objektový náhled*),
- reálný svět může být vnímán jako množina *jevů* popsanych rozložením hodnot vlastností reálného světa v prostoru a případně i v čase (tzv. *jevový náhled*),
- reálný svět může být vnímán i jako množina *procesů* v něm probíhajících a jej utvářejících (tzv. *procesní náhled*).

Každý z těchto pohledů je vhodný pro studium jiných aspektů reálného světa. Je však nesporné, že tyto pohledy nejsou navzájem zcela nezávislé. Každý z nich sice zahrnuje jen specifickou část aspektů reálného světa, avšak dochází přitom mezi nimi i k určitým překryvům i vzájemnému prolínání. Pro komplexní porozumění reálnému světu proto musíme tyto tři pohledy kombinovat.

2.1 Objektový náhled

Při objektovém náhledu reálný svět popisujeme prostřednictvím tzv. *objektů*. Pojem *objekt* (angl. object) je na nejobecnější úrovni definován ve filozofii. Zde se nejčastěji uvádí definice [288]:

Objekt je cokoliv materiální povahy, co může být vnímáno smysly.

Ve [297] je uvedena odlišná definice, pocházející opět z oblasti filozofie:

Objekt je obecně něco, co může mít vlastnosti a vztahy.

Zde se navíc připouští i existence abstraktního objektu, tedy něčeho, co neexistuje fyzicky.

Tyto definice jsou příliš obecné, pro potřeby dalšího výkladu (tj. z pohledu geoinformatiky) je nezbytné význam pojmu *objekt* vymezit poněkud úžeji. Proto si zavedeme pojem *objekt reálného světa* (angl. real world object; feature), který budeme definovat takto:

Objekt reálného světa je jakákoliv odlišitelná, vymežitelná (prostorově, časově, tematicky, funkčně i vztahově) a jednoznačně identifikovatelná část reálného světa.

Každý objekt reálného světa je možné popsat šesticí (upraveno podle [151]):

$$\{e, a, s, r, f, t\}$$

kde e reprezentuje daný objekt, a reprezentuje sadu neprostorových vlastností popisujících objekt, s reprezentuje sadu prostorových vlastností objektu, r reprezentuje vztahy, do nichž objekt vstupuje, f reprezentuje akce (činnosti), které lze s objektem provádět a t reprezentuje čas.

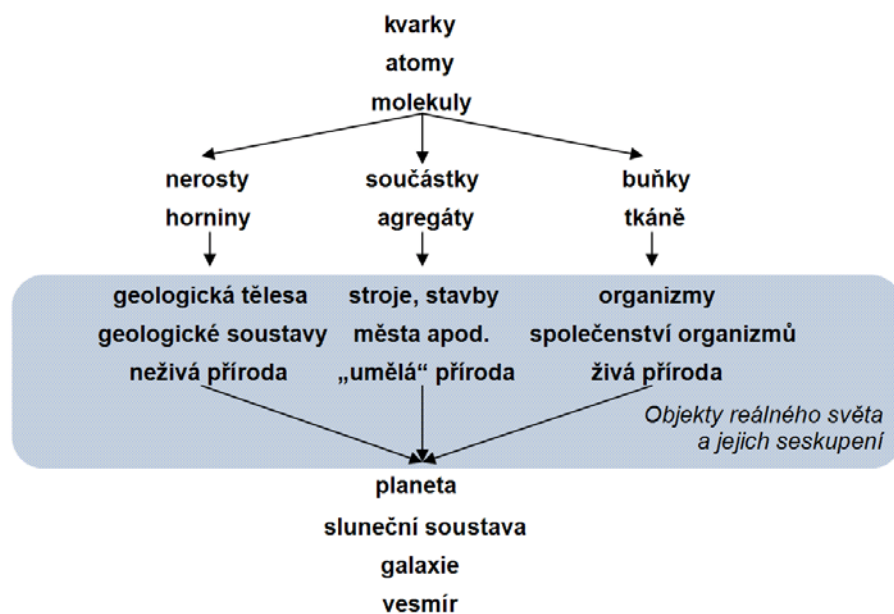
Reálný svět má poměrně složitou vnitřní strukturu, kterou nejčastěji popisujeme jako hierarchickou. Na nejnižší úrovni můžeme hovořit o základních stavebních kamenech představovaných subatomovými částicemi (dnes se na nejnižší úrovni nacházejí tzv. *kvarky*), na nejvyšší úrovni stojí prozatím náš Vesmír (obr. I.2.1). Z pohledu geoinformatiky nás ale bude zajímat jen určitý výsek této hierarchické struktury, který začíná u *objektů reálného světa* (na nejnižší hierarchické úrovni) a končí planetou Zemí a jejím bezprostředním okolím (na nejvyšší hierarchické úrovni; obr. I.2.2). Takto vymezený výsek hierarchie popisuje tu část reálného světa, v níž se člověk v současné době běžně (nebo i méně běžně) pohybuje.

Reálný svět se tedy pro nás bude skládat z konkrétních *objektů reálného světa* a jejich *seskupení* (tzv. *agregací* (angl. aggregation), tj. složitějších objektů, vzniklých složením z jednodušších objektů – viz dále).

Objekty reálného světa mohou být jak *fyzické*, tak *abstraktní*. Příkladem fyzického objektu reálného světa může být řeka Labe, dům U Hybernů, pohoří Krkonoše, planeta Země apod., tj. jakákoliv fyzicky existující část reálného světa. Příkladem abstraktního objektu reálného světa může být jednotka územně správního členění státu (kraj Moravskoslezský), konkrétní sčítací obvod nebo konkrétní volební obvod apod. Jsou to tedy jednotky, které v reálném světě fyzicky neexistují a člověk si je vytváří uměle.

Na základě shodných znaků mohou být objekty reálného světa sdružovány do tzv. *tříd objektů reálného světa*:

Třída objektů reálného světa je tvořena skupinou objektů reálného světa se společnými znaky (vlastnostmi).



Obr. I.2.1 Hierarchická struktura reálného světa. (Obrázek uvádí jen příklady jednotlivých hierarchických úrovní a na nich jen příklady stavebních kamenů té které úrovně. V žádném případě není vyčerpávajícím popisem reálného světa. Jeho cílem je jen naznačení konceptu hierarchického členění reálného světa.)



Obr. I.2.2 Výsek hierarchie z obr. I.2.1, který je předmětem zájmu geoinformatiky.

Příkladem může být třída listnatý strom. Do této třídy patří všechny objekty reálného světa, představované listnatými stromy, tj. všechny lípy, javory, kaštany . . . Jejich společnými znaky (vlastnostmi) mohou být například botanický název, poloha, stáří, výška a průměr koruny.

Objekty reálného světa pro nás budou představovat základní stavební kameny reálného světa. Nicméně v běžné praxi obvykle pracujeme s komplexnějšími jednotkami, tvořenými logickými i fyzickými seskupeními (*agregacemi*) jednodušších objektů. Zda budeme daný objekt reálného světa vnímat jako agregaci jednodušších objektů, nebo jako objekt samotný, bude záviset na úrovni rozlišení, na níž budeme reálný svět studovat.

Příklad: Město je komplexní jednotka, která je tvořena jednotlivými budovami, chodníky, silnicemi, stromy, trávníky apod., představujícími jednotlivé objekty reálného světa.

Budeme-li o městě hovořit z pohledu celé republiky, obvykle ho budeme vnímat jako jednoduchý objekt reálného světa. V tom případě nemůžeme v daném městě pracovat s budovami apod.

Na úrovni rozlišení obcí však můžeme město vnímat právě jako agregaci jednodušších objektů, k nimž budou patřit například i dříve zmíněné budovy.

Při objektovém popisu reálného světa nejprve identifikujeme jednotlivé třídy objektů reálného světa, které popíšeme jejich vlastnostmi, a po té identifikujeme jednotlivé objekty reálného světa, které pak popisujeme hodnotami příslušných vlastností (podrobněji viz odst. III.4). Každá vlastnost objektu reálného světa má zpravidla přiřazenu jedinou hodnotu, platnou pro celý objekt.

Příklad: Objekty patřící do třídy listnatý strom mají například následující vlastnosti:

*evidenční číslo,
botanický název,
poloha X,
poloha Y,
stáří,
výška koruny,
průměr koruny.*

Každý objekt reálného světa – listnatý strom – je popsáný konkrétními hodnotami těchto vlastností, např.:

125/92,

*lípa obecná,
100,
150,
120,
25,
15.*

2.2 Jevový náhled

Pojem *jev* (angl. phenomenon) můžeme definovat na nejobecnější úrovni (ve filosofii) například takto [20]:

Jev je obecně jakýkoliv vnímaný nebo pozorovaný objekt, fakt nebo výskyt.

Z pohledu tohoto textu si však význam pojmu *jev* poněkud omezíme:

Jev reálného světa je jakákoliv vlastnost (nebo logicky související sada vlastností) reálného světa, u níž nás primárně zajímá rozložení jejích hodnot v prostoru, případně i v čase.

Alternativně:

Jev reálného světa je jakákoliv odlišitelná, vymežitelná (prostorově i časově) a jednoznačně identifikovatelná vlastnost (nebo logicky související sada vlastností) reálného světa, jejíž hodnoty jsou definovány zpravidla v každém bodě studovaného prostoru a případně i časového intervalu¹).

Na rozdíl od objektu reálného světa, u kterého klademe důraz na to, že se jedná o prostorově vymežitelnou část reálného světa, kterou můžeme popsat jejími vlastnostmi (a co je podstatné, každý objekt má pro celý prostor, který zaujímá, přiřazenou *jedinou* hodnotu dané vlastnosti), u jevu klademe naopak důraz na to, že se jedná o vlastnost, u níž studujeme časové a prostorové rozložení jejích hodnot popisujících různá místa v tomto prostoru.

Příklad: Objektu typu parcela může být přiřazena jediná hodnota nadmořské výška (např. průměrná hodnota), i když je jasné, že parcela

¹Konkrétním případem jevu v našem pojetí je fyzikální pole, které přiřazuje každému místu v prostoru hodnotu dané fyzikální veličiny (např. teplotní pole). Přitom rozložení hodnot této veličiny v prostoru je možné matematicky popsat. Jev v našem pojetí však zahrnuje i případy, kdy jsou místům v prostoru přiřazovány i kvalitativní hodnoty (např. využití území). Toto pojetí jevu je možné považovat za zobecnění fyzikálních polí i na případy, kdy nejsme schopni matematicky popsat přiřazování kvalitativních hodnot sledované vlastnosti resp. veličiny jednotlivým místům v prostoru, nýbrž tyto hodnoty můžeme zjistit *pouze* přímým pozorováním reálného světa.

nacházející se na strmém svahu má v různých místech různou nadmořskou výšku. Naproti tomu pokud budeme sledovat přímo nadmořskou výšku v zadané oblasti, budeme si zpravidla definovat síť bodů, v nichž nadmořskou výšku zaměříme, ale nebudeme přitom mít žádnou informaci o tom, na které parcele které body leží. Tuto informaci však můžeme získat následnou analýzou.

Každý jev reálného světa je proto možné popsat čtveřicí (upraveno podle [151]):

$$\{v, (x, y, z), b, t\}$$

kde v reprezentuje vlastnost (nebo sadu vlastností) prostoru, $[x, y, z]$ reprezentuje polohu v prostoru, k níž se vztahuje konkrétní hodnota sledované vlastnosti, b reprezentuje prostorové vymezení oblasti, v níž jev studujeme (hranici oblasti; angl. boundary) a t reprezentuje čas.

V případě jevového náhledu se tedy na svět díváme jako na sadu jevů popsaných daným rozložením hodnot různých vlastností reálného světa v prostoru (a případně i čase).

Jevy reálného světa můžeme dělit podle různých kritérií.

Nejjednodušší je dělení jevů na:

- *kvalitativní* (například využití území),
- *kvantitativní* (například nadmořská výška).

Jiné dělení může být dle spojitosti prostoru, resp. hodnotové domény, na:

- *kontinuální* (například nadmořská výška),
- *diskrétní* (například osídlení).

Další dle proměnlivosti v čase na:

- *statické* (například nadmořská výška),
- *dynamické* (například meteorologické jevy).

Jiné členění může být dle počtu prostorových dimenzí studovaného jevu:

- 0-rozměrné, tj. *bodové* (například koncentrace znečišťujících látek v daném bodě),
- 1-rozměrné, tj. *liniové* (například rozložení koncentrací znečišťujících látek v řece, tj. podél vodního toku),

- 2-rozměrné, tj. *plošné rovinné* (například využití území, geologická stavba),
- 2.5-rozměrné, tj. *plošné prostorové* – tzv. *povrchy* (například nadmořská výška nebo rozložení koncentrací znečišťujících látek v půdách na daném území),
- 3-rozměrné, tj. *objemové* (například rozložení vlhkosti v troposféře nebo rozložení koncentrací rudních minerálů v ložisku).

2.3 Procesní náhled

Vedle objektů a jevů můžeme v reálném světě popisovat i *procesy*, které vnášejí do tohoto světa dynamiku, ovlivňují (mění) jeho objekty i jevy, ale ovlivňují i jiné procesy.

Termín *proces* (angl. process) je na nejobecnější (tedy filozofické) úrovni definován takto [288]:

Proces je přirozený jev vyznačující se postupnými změnami vedoucími ke konkrétnímu výsledku.

a nebo (tamtéž):

Proces je přirozená průběžná aktivita nebo funkce.

nebo (opět tamtéž):

Proces je posloupnost akcí nebo operací vedoucích k finálnímu výsledku.

Poněkud odlišná definice je uvedena v [297] (upraveno):

Proces je přirozeně se vyskytující nebo uměle vytvořená posloupnost operací, produkující určitý výstup. Proces může být identifikován na základě změn vlastností objektů, které jsou jím ovlivňovány.

Z pohledu geoinformatiky je nezbytné opět zavést poněkud zúžený výklad:

Proces reálného světa je jakákoliv aktivita nebo posloupnost aktivit (ať už přirozená nebo umělá), ovlivňujících objekty a jevy reálného světa, případně i jiné procesy reálného světa.

Vzhledem k tomu, že bereme v úvahu i prostorové aspekty, budeme v tomto případě pod pojmem proces uvažovat i *prostorový proces* (angl. spatial proces), i když to nebudeme většinou explicitně uvádět.

Můžeme proto rozlišovat:

- *neprostorový proces* – mění/ovlivňuje pouze hodnoty negeometrických vlastností objektů (bez přímé vazby na jejich polohu v prostoru), nemění jejich prostorové uspořádání a také na něm nezávisí; příkladem může být proces

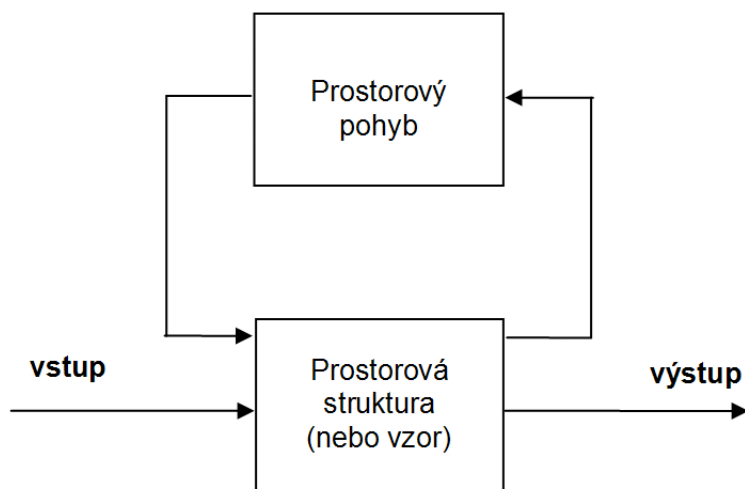
„změna vlastnictví parcely“, který způsobí změnu hodnoty vlastnosti „vlastník parcely“, ale její tvar apod. zůstane nezměněn,

- *prostorový proces* – mění/ovlivňuje prostorové uspořádání objektů a případně i hodnoty jejich negeometrických vlastností, resp. mění hodnoty vlastností (jevů) v závislosti na poloze; příkladem může být proces „rozdělení parcely na dvě části“, „eroze půdy“ apod.

Prostorový proces se skládá ze dvou základních komponent: *prostorové struktury* (nebo vzoru; angl. spatial structure nebo spatial pattern) a *prostorového pohybu* (angl. spatial movement), který způsobuje změny (transformace) prostorové struktury [190]. Vstupem do systému může být např. energie, hmota, obyvatelstvo apod. Stejně různorodý může být i výstup. Schematicky jsou vztahy mezi komponentami prostorového procesu zachyceny na obr. I.2.3 a blíže vysvětleny v následujícím příkladu.

Příklad: Mějme prostorový proces – migrace obyvatelstva. Prostorovou strukturu reprezentují sídla a továrny a dále síť komunikací mezi nimi, prostorový pohyb je reprezentován pohybem obyvatel mezi sídly a továrnami po komunikacích. Vstupem může být například počáteční rozložení obyvatelstva ve studovaném prostoru (a potažmo v sídlech) a informace ovlivňující chování obyvatelstva (např. aktuální cena benzínu), výstupem může být změna rozložení obyvatelstva po určité době.

I procesy reálného světa je možné dělit dle různých kritérií, např. na:



Obr. I.2.3 *Komponenty prostorového procesu a jejich vzájemný vztah (upraveno podle [190]).*

- *kvalitativní* (například změna využití půdy) a *kvantitativní* (například šíření znečišťujících látek ve vodě),
- *kontinuální* (například eroze půdy) a *diskrétní* (například zemětřesení),
- apod.

Kapitola 3

Poznávání reálného světa

Již jsme se zmínili o tom, že se v průběhu historie lidstva rozvinula celá řada vědních disciplín, zabývajících se popisem a studiem prostředí, v němž žijí lidé. Pramátí těchto věd je filosofie, která kdysi jakožto první a původně jednotná vědní disciplína studovala i přírodní prostředí, v němž žil člověk. V průběhu antiky se z ní vyčlenila nejprve *geografie*, která zahrnovala všechny tehdejší poznatky člověka o povrchu zemském. Z té se pak od doby renesance postupně vydělovaly jednotlivé přírodní a společenské vědní obory [16]. Z nich nás budou nejvíce zajímat (vedle již zmíněné geografie) i *geologie*, *kartografie* a z těch nejmladších samozřejmě *geoinformatika*.

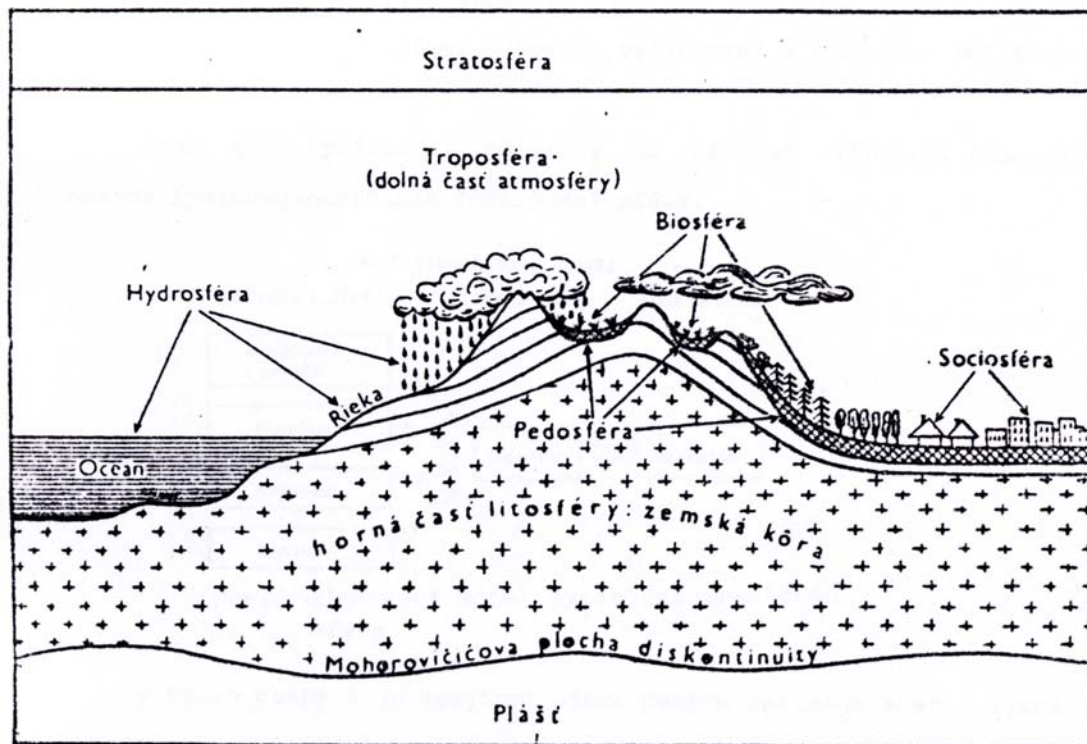
Geografie se zabývá studiem krajiny, jejích prvků a složek, jejich vzájemných interakcí, ale i interakcí s člověkem. Popisem podpovrchových partií planety Země, jejich složením, historií vývoje apod. se zabývá *geologie*. *Kartografie* se zabývá zobrazováním poznatků geografie (ale i geologie a dalších přírodovědních disciplín) jednotným a obecně srozumitelným způsobem.

Produkce informací o reálném světě prudce narůstá. Pro jejich zpracování potřebujeme vhodnou vědní disciplínu – a tou je *geoinformatika* – a na jejích teoretických poznacích založené prostředky – těmi jsou *geoinformační technologie*.

Podívejme se stručně na tyto oblasti (geografie, geologie, kartografie, geoinformatika a geoinformační technologie) a uveďme si některé základní pojmy. Vcelku logicky se budeme nejvíce věnovat oblasti geografie, která je z hlediska poznávání reálného světa nejdůležitější.

3.1 Geografie

Vymezení *geografie* jakožto vědní disciplíny není jednoduché. Tím nejjednodušším může být, že „*jejím hlavním cílem je popis jevů nacházejících se na povrchu zemském . . . a analýza jejich integrací a interakcí*“ [287]. Obdobně je geografie cha-



Obr. I.3.1 Geosféry Země [167].

rakterizována i v [91]:

Geografie studuje prostorový a časový systém reálného světa, prostorové vztahy přírody a společnosti v hranicích přírodní sféry.

Cílem geografie je tento systém a tyto vztahy popsat a vysvětlit. Všeobecně platnými zákonitostmi se zabývá *obecná geografie*, jejich působení v rámci stanovených územních jednotek se zabývá *geografie regionální* [36].

V souvislosti s geografí se objevují některé důležité pojmy: *krajina*, *přírodní sféra* a *geosféra*. Dříve, než budeme pokračovat, vyložme si jejich význam.

Krajinou rozumíme v geografii *část zemského povrchu* (o rozměrech několika km² až několika tisíc km²), *kteřá se kvalitativně odlišuje od svého okolí – od jiné krajiny* [91]. Krajina je složitý komplex. Díky tomu není geografie jedinou vědou ji studující, nýbrž krajina je předmětem zájmu i jiných věd, jako je biologie, ekologie, architektura, urbanismus apod. Každá z nich ji samozřejmě studuje z jiného pohledu. Specifický přístup geografie ke studiu krajiny spočívá v prostorovém a časovém aspektu, v komplexnosti vztahů, v dynamickém pojetí založeném nejen na jejím dosavadním, ale i budoucím vývoji.

Krajina představuje životní prostředí pro člověka, poskytuje mu to, co potřebuje ke svému životu i k naplnění svých zájmů.

Země je tvořena několika obaly – *sférami* (viz obr. I.3.1), z nichž *litosféra* tvoří základ tzv. *přírodní sféry* (viz dále). Směrem do kosmu je obklopena plynným obalem – *atmosférou*. Povrch Země označovaný jako *georeliéf* je ve sníženinách vyplněn moři a oceány, které spolu s jinými vodními plochami a toky a s vodou podzemní tvoří *hydrosféru*. Nejsvrchnější část zemské kůry podléhá zvětrávání, které vede ke vzniku půd. Vrstva půdy je označována jako *pedosféra*. Část zemské kůry spolu s přiléhající částí atmosféry a hydrosféry, v níž je rozšířen život, představuje tzv. *biogeosféru*. Vedle těchto sfér rozlišujeme také *sféru sociální*, tj. lidskou společnost se vším, co v přírodní sféře vytvořila, s objekty, formami a vzájemnými vztahy [91].

Přírodní sféra představuje složitý *planetární geosystém* [179] tvořený litosférou, reliéfem, pedosférou, hydrosférou, dolní částí atmosféry (přibližně po spodní hranici stratosféry), biogeosférou a sociální sférou (obr. I.3.1). Složitost spočívá především v jejich vzájemném pronikání a interakcích v nich se odehrávajících [91].

V přírodní sféře vydělujeme jednotlivé *geosystémy*. Pod pojmem geosystém rozumíme obecně *soubor prvků a složek přírodní sféry s jejich vazbami* (upraveno podle [179]). Přitom každá složka geosystému může představovat samostatný geosystém nižšího řádu a naopak každý geosystém může představovat složku geosystému vyššího řádu.

Geografie se zabývá studiem jak přírodních, tak i společenských (sociálních) jevů. To proto, že předmětem geografie je studium krajiny v nejširším pojetí, tedy jak složek přírodních, tak i těch, které jsou výsledkem činnosti člověka. Proto geografie stojí na pomezí přírodních a společenských věd. Navíc patří mezi vědní obory, které mají povahu *multidisciplinární* (tj. pokrývá několik výzkumných polí) i *interdisciplinární* (tj. sleduje vztahy mezi výsledky více vědních oborů, integruje je). Toto postavení geografie je její velkou předností – umožňuje jí komplexní pohled na přírodní a sociální sféru Země. Umožňuje studovat problémy dopadu přírodních vlivů na společnost i vlivu lidské společnosti na přírodní prostředí s cílem prosazování trvale udržitelného rozvoje [16].

Geografie se obecně dělí na [16]:

- fyzickou geografii,
- sociální geografii.

Fyzická geografie je v [16] vymezena takto:

Fyzická geografie se zabývá vysvětlováním přírodních tvarů, struktur a jevů, studiem jednotlivých složek přírodní sféry, jejich vzájemnými vztahy a jejich vlivem na vytváření a územní organizaci ekosystémů.

Fyzická geografie má složitou strukturu. Představuje komplex dílčích věd [179]:

- obecná fyzická geografie,
- teoretická fyzická geografie,
- geoekologie,
- paleogeografie,
- regionální fyzická geografie,
- geomorfologie,
- klimatologie,
- hydrologie,
- oceánografie,
- glaciologie,
- geokryologie,
- pedogeografie,
- biogeografie,
- geografie přírodních zdrojů.

Bližší popis těchto dílčích věd překračuje rámec této úvodní části. Zájemce je možné odkázat na existující učebnice fyzické geografie.

Sociální geografie je v [16] vymezena takto:

Sociální geografie se zabývá populacemi a jejich rozvojem, strukturami a územním rozložením na Zemi, jejich demografickým chováním, pohybem. Studuje územní rozložení kulturních, sociálních a vzdělanostních struktur na Zemi. Zabývá se organizací a typy hospodaření a jejich propojováním globalizačními procesy. Do okruhu zájmu sociální geografie patří i studium vztahů mezi částmi společnosti, mezi regiony a státy na Zemi, studium příčin a následků jejich konfliktů či kooperace.

I v tomto případě si dovoluji zájemce o podrobnější informace odkázat na příslušnou odbornou literaturu.

3.1.1 Geologie

Geologie je (doslovně přeloženo) věda o Zemi (z řec. géo = Země, logos = slovo) a zkoumá vlastnosti zemské kůry a interakce mezi ní a okolím. Zabývá se dále složením, stavbou a historickým vývojem Země a studuje rovněž pochody, které probíhají uvnitř naší planety i na jejím povrchu. Jedná se jak o vědu *deskriptivní* (popisnou), tak i *analytickou* (poskytuje výklad dějů) a *historickou*. Nezanedbatelná je i její charakteristika jako vědy *časoprostorové*, protože hodnotí jevy v jejich časových i prostorových souvislostech. Geologie je velice široká a dělí se proto na podobory [70]:

- dynamická geologie,
- endogenní geologie,
- exogenní geologie,
- strukturní geologie,
- tektonická geologie,
- historická geologie,
- sedimentární geologie,
- ložisková geologie,
- regionální geologie,
- inženýrská geologie,
- hydrogeologie.

Velice úzce s ní souvisí další vědní disciplíny, jako je paleontologie, paleogeografie, mineralogie, petrografie, stratigrafie a další. Podrobnější přehled je možné získat například v [70] a v celé řadě odborných publikací.

3.2 Kartografie

Kartografie je vědní obor mající úzké vazby na geografii, geodézii, mapování, dálkový průzřem Země a geografické informační systémy [279]. Geografii jsme si již stručně vyložili. *Geodézie* je věda o měření Země a jejích částí. Velikost, tvar a tíhové pole Země studuje *vyšší geodézie*, vyměřováním zemského povrchu za účelem jeho zobrazování na mapách se zabývá *nižší geodézie* [36]. Mapováním rozumíme soubor činností, vykonávaných při tvorbě původních map na základě přímého měření v terénu. O zbývajících dvou disciplínách se zmíníme později.

Kartografie má za úkol vyjádřit graficky prostřednictvím *mapy* a *mapám příbuzných znázornění* (např. glóbů, plastických map, třírozměrných modelů apod.) zemský povrch a jeho blízké okolí, včetně objektů a jevů (a někdy i procesů) na něm se nacházejících.

Předmětem zkoumání kartografie jsou proto mapy (a mapám příbuzná znázornění) a způsoby vedoucí k jejich sestavení a využívání. Geodézie přitom poskytuje kartografům především podklady pro jejich stránku geometrickou, zatímco geografie poskytuje podklady především pro jejich stránku tematickou.

Kartografie naopak poskytuje výše zmíněným disciplínám velice účinný nástroj pro vizualizaci výsledků jejich zkoumání povrchu zemského – *mapy*.

Mezinárodní kartografická asociace (ICA) definuje kartografii takto [279]:

Kartografie je umění, věda, technologie vytváření map, včetně jejich studia jako vědeckých dokumentů a uměleckých prací.

nebo takto (upraveno podle [259] a [209]):

Kartografie je vědecký a technický obor zabývající se zobrazením Země, kosmu, kosmických těles a jejich částí, objektů, jevů a procesů na nich a jejich vztahů s

cílem sdělování těchto informací prostřednictvím kartografických děl.

Kartografie se v klasickém pojetí dělí na [279]:

- *nauka o mapách* – (označovaná také jako *všeobecná kartografie*) zahrnuje povšechné studium map, základní uživatelské úlohy, výklad mapové symboliky, způsoby třídění map, dokumentaci a také historii kartografie,
- *matematická kartografie* – na podkladě matematicky formulované teorie kartografického zobrazování referenční plochy Země (elipsoid, koule) do referenční plochy mapy (rovina) vymezuje a vysvětluje vlastnosti jednotlivých druhů zobrazení (tvar geografické sítě, průběh zkreslení délek, úhlů a ploch v obrazu mapy),
- *kartografická tvorba* – zabývá se vlastní kartografickou činností, tj. sestavováním mapového obrazu, kde klíčovými otázkami jsou výběr obsahových prvků mapy, návrh jejich grafického zobrazení pomocí jazyka mapy, generalizaci mapového obrazu a jeho výsledné zobrazení,
- *kartografická polygrafie a reprografie* – soubor technických úkonů potřebných pro polygrafické zpracování mapy, tj. vytištění jejího nákladu,
- *kartometrie a morfometrie* – měření na mapách a určování morfometrických charakteristik reliéfu; jedná se o opačný postup než je tvorba mapy, kdy naměřené veličiny určené z mapy jsou odhadem údajů platných v realitě,
- *kartografické metody výzkumu* – vědecká analýza a syntéza vyhodnocování kartografických informací obsažených v mapách, problematika jejich matematického a logického zpracování s ohledem na potřeby kartografie i uživatelských aplikací, zahrnující například otázky geografické podrobnosti, geometrické přesnosti, vhodnosti grafického obrazu mapových značek s ohledem na vlastnosti zobrazených objektů reality,
- *kartografická informatika* – nahrazení mapy ve smyslu konvenčního grafického obrazu simulačním matematicko-logickým modelem geografického prostoru, na kterém lze řešit například topologické úlohy aj.; výsledkem jsou datové báze geografických informačních systémů (GIS), vymezení, algoritmizace a počítačové zabezpečení úloh na těchto systémech.

Jiné dělení je dle přívlasků [279]:

- *Teoretická kartografie* tvoří nadstavbu nad kartografií praktickou. Zabývá se především obecnými teoretickými i metodologickými otázkami kartografie (např. problematikou generalizace, teorie jazyka mapy, algoritmizací úloh apod.). Shromažďuje tedy poznatky a vyvíjí obecné metody, sloužící k navrhování, zhotovování a využívání map.
- *Praktická (užitá, aplikovaná) kartografie* zahrnuje vytváření výrobních postupů a konkrétní činnost při redigování, kartografickém zpracování a repro-

dukcí map, přičemž se opírá o poznatky a metody teoretické kartografie. Patří sem i mapovací, výpočetní, zobrazovací a polygrafické práce.

Jako poslední zmíníme dělení na [279]:

- *geografickou kartografií* – je zaměřená především na zpracování odvozených obecně-zeměpisných map malých měřítek a na tvorbu původních tematických map (např. viz [36]),
- *geodetickou kartografií* – zabývá se především tvorbou státních mapových děl všech měřítek (mapy katastrální, hospodářské, základní, topografické) a také digitálních kartografických datových bází celostátní povahy (např. ZABAGED, DMŮ-25) na základě terénních měření a leteckého snímkování.

3.2.1 Mapa, plán

Kartografická produkce představuje nesčíslné množství map, mapových souborů, atlasů a glóbbů. V geoinformatické a geoinformačních technologiích se budeme nejčastěji setkávat s *mapou*.

Mezinárodní kartografická asociace definovala mapu takto [279]:

Mapa je zmenšené zevšeobecněné zobrazení povrchu Země, ostatních nebeských těles nebo nebeské sféry, sestavené podle matematického zákona na rovině a vyjadřující pomocí smluvených znaků rozmístění a vlastnosti objektů vázaných na jmenované povrchy.

Česká asociace pro geoinformace používá následující definici [209]:

Mapa je zmenšený, generalizovaný, konvenční obraz Země, kosmu, kosmických těles a jejich částí převedený do roviny pomocí matematicky definovaných vztahů (kartografických zobrazení), ukazující prostřednictvím metod kartografického znázorňování polohu, stav a vztahy přírodních, sociálně-ekonomických a technických objektů reálného světa.

případně v [36] je uvedena definice:

Mapa je zmenšené, zevšeobecněné a vysvětlené znázornění objektů a jevů na Zemi nebo ve vesmíru, sestavené v rovině pomocí matematicky definovaných vztahů.

Podstatně jednodušší strukturou než mapa je *plán*. V kartografii se tímto pojmem označuje *zmenšený pravoúhlý průmět malé části zemského povrchu a s ním spojených objektů reálného světa do roviny* [279]. Pro plán je typické velké měřítko. Polohopisná kresba je sestavena z obrysových čar zájmových objektů. Průběh těchto čar je jen minimálně generalizovaný. Plány bývaly často zhotovovány v lokálním souřadnicovém systému, ale s rozšíváním užívání geografických infor-

mačních systémů rostou i požadavky na jejich zaměřování v celostátně používaném souřadnicovém systému.

Pro mapy a některá mapám podobná znázornění se používá souhrnné označení *kartografická díla*.

3.3 Geoinformatika

Geoinformatika je věda, zabývající se studiem vlastností, chování a vzájemných interakcí prostorových objektů, jevů a procesů *prostřednictvím jejich digitálních modelů* a s využitím informačních a geoinformačních technologií.

Geoinformatika přitom pracuje s modely, které jsou založeny na všech třech základních pohledech na reálný svět.

3.3.1 Modelování objektů reálného světa v geoinformatice

V tomto případě vycházíme z objektového náhledu na reálný svět. Geoinformatika zde umožňuje vytvářet modely reálného světa, jejichž ústředním stavebním kamenem je modelový obraz objektu reálného světa – *geoprvek* (angl. feature). Ten si můžeme definovat například takto (upraveno podle [151], [209] a [208]):

Geoprvek je modelový obraz lokalizovatelného objektu reálného světa, který je dále nedělitelný na jednotky stejné třídy a který je popisovaný geodaty.

Příkladem geoprveku může být budova rektorátu VŠB-TU Ostrava, kterou již nelze rozdělit na budovy, ale může být rozdělena na patra, místnosti apod. Jiným příkladem může být silnice E7, řeka Ostravice, porubský lesopark, Kamenolom Zbraslav, Čertovo jezero, uhelná sloj Prokop apod. Všimněte si, že vždy se jedná o konkrétní geoprvek – modelový obraz konkrétního objektu reálného světa.

Na každý geoprvek se odkazujeme jedinečným identifikátorem, například adresou, číslem parcely, unikátním kódem apod. Geoprvky mohou reprezentovat jak fyzické objekty reálného světa, tak i abstraktní objekty, jako jsou například volební obvody, statistické jednotky apod. Ačkoliv mohou být vnitřně složeny z více částí, mají jedinečnou reprezentaci.

Geoprvky seskupujeme na základě podobnosti vlastností do *tříd geoprvků*. Třidu geoprvků můžeme definovat takto:

Třída geoprvků je tvořena skupinou geoprvků se společnými znaky (vlastnostmi). Je modelovým obrazem třídy objektů reálného světa.

Příkladem třídy geoprvků může být budova (obecně jakákoliv budova), les, strom, jezero, zlom apod. Vždy se jedná obecně o označení třídy geoprvků, nikoliv o konkrétní geoprvek. Kterákoliv z těchto tříd geoprvků je modelovým obrazem odpovídající třídy objektů reálného světa.

Pojem geoprvek je možné pro jednoduchost výkladu používat místo pojmu třída geoprvků. Pouze tam, kde je to z hlediska správného porozumění textu potřebné, budeme používat explicitně pojem třída geoprvků.

A použijeme ještě jedno zjednodušení: nebude-li to na závalu srozumitelnosti textu, budeme v rámci geoinformatiky používat především pojem geoprvek a pouze tam, kde to bude z hlediska výkladu nezbytné, budeme rozlišovat pojmy objekt reálného světa a geoprvek.

3.3.2 Modelování jevů v geoinformatice

Pro modelování jevů reálného světa používá geoinformatika celou řadu různých tzv. *sítí* (angl. net), jejichž základním stavebním kamenem je zpravidla *buňka* (angl. cell), reprezentující vymezenou část prostoru reálného světa a nesoucí hodnoty sledovaných vlastností.

Sít lze definovat takto (upraveno podle [285] a [270]):

		Rozměrnost zobrazovaného jevu				
		0D	1D	2D	2.5D	3D
Rozměrnost buněk	0D	2D síť bodů	---	---	2.5D síť bodů	3D síť bodů
	1D	---	2Dsíť linií	---	2.5D síť (prostorových) linií	---
	2D	2D síť polygonů	---	2D síť polygonů	2.5D síť rovinných polygonů	---
	2.5D	---	---	---	2.5D síť prostorových polygonů	---
	3D	---	---	---	---	3D síť prostorových buněk

Tab. I.3.1 Možné kombinace rozměrnosti zobrazovaných jevů reálného světa, buněk použitých k jejich reprezentaci a rozměrnosti výsledné sítě buněk.

Síť je množina buněk v rovině nebo prostoru, které jsou obvykle navzájem rovnoměrně vzdálené.

V [297] je uvedena následující definice:

Síť je nazývána široká škála vzájemně propojených komponent.

a v [288]:

Síť je vzájemně propojený nebo vzájemně související řetěz, skupina nebo systém.

Pro potřeby dalšího výkladu budeme pracovat s následující definicí:

Síť je množina n -rozměrných buněk rozložených zpravidla rovnoměrně v m -rozměrném prostoru.

Buňku sítě lze definovat takto [209]:

Buňka je jednotkou diskrétního členění prostoru, která je jednoznačně lokalizovatelná a které lze samostatně přiřadit atributy.

Tyto buňky mohou vykazovat stejnou rozměrnost (dimenzionalitu) jako zobrazované jevy (tj. nula až třírozměrné), mohou nabývat různých velikostí a tvarů a mohou nést hodnoty různých vlastností (atributů). Při zobrazování jevů v geoinformačních systémech může navíc docházet k různým kombinacím rozměrnosti zobrazovaných jevů, sítí a buněk, jak je ukázáno v tab. I.3.1. U sítí přichází v úvahu nejčastěji rozměrnost 2D, 2.5D a 3D, proto v této tabulce uvažujeme pouze tyto případy.

Popišme si stručně jednotlivé varianty (první číslo znamená rozměrnost reprezentovaného jevu, druhé rozměrnost sítě a třetí rozměrnost buňky):

- $0-2-0$: bodový jev je reprezentován dvourozměrnou sítí bodů (například osídlení území),
- $2.5-2.5-0$: povrch je reprezentován dvaapůlrozměrnou sítí bodů (například nadmořská výška reprezentovaná body),
- $1-2-1$: jednorozměrný jev je reprezentován dvourozměrnou sítí linií (například trasy migrace v přírodě),
- $2.5-2.5-1$: povrch je reprezentován dvaapůlrozměrnou sítí linií, které mohou být i prostorové (například nadmořská výška reprezentovaná vrstevnicemi),
- $0-2-2$: bodový jev reprezentovaný dvourozměrnou sítí polygonů (například osídlení vztahované k jednotkám územního členění),
- $2-2-2$: dvourozměrný jev reprezentovaný dvourozměrnou sítí polygonů (například geologická stavba území),
- $2.5-2.5-2$: povrch reprezentovaný dvaapůlrozměrnou sítí rovinných polygonů (nadmořská výška reprezentovaná například čtvercovými ploškami s konstantní nadmořskou výškou),

- 2.5-2.5-2.5: povrch reprezentovaný dvaapůlrozměrnou sítí prostorových polygonů (nadmořská výška reprezentovaná například sítí trojúhelníkových plošek),
- 3-3-0: prostorový jev je reprezentovaný trojrozměrnou sítí bodů (například koncentrace znečišťujících příměsí ve vzduchu reprezentované body),
- 3-3-3: prostorový jev je reprezentovaný trojrozměrnou sítí prostorových buněk (například koncentrace znečišťujících příměsí ve vzduchu reprezentované prostorovými buňkami – voxely).

Toto jsou varianty, které se vyskytují nejčastěji, nicméně i jiné mohou být za určitých specifických podmínek užitečné.

3.3.3 Modelování procesů v geoinformatice

Modelování procesů zatím není v geoinformatice detailněji propracováno. Geoinformatika v této oblasti spíše spoléhá na spolupráci s jinými vědními disciplínami (matematické modelování procesů (například šíření znečišťujících látek v ovzduší nebo ve vodě), procesní modelování apod.). V současné době se intenzivně pracuje na propojování geoinformačních systémů a systémů pro modelování různých procesů tak, aby bylo možné přenášet mezi nimi data. Geoinformační systémy pak slouží pro přípravu dat pro modelování a následně pro vizualizaci výsledků modelování.

Nicméně pracuje se i na vytvoření podmínek pro modelování procesů přímo v geoinformačních systémech, a to jednak prostřednictvím integrace systémů pro modelování do systémů geoinformačních a jednak vývojem zcela nových nástrojů, implementujících nové modelovací funkce do geoinformačních systémů. V této souvislosti se mluví například o využití tzv. *buněčných automatů* (angl. cellular automata), *prostorových multi-agentových systémů* (angl. spatial multi-agent system) [214] apod.

3.3.4 Role geoinformatiky v lidské společnosti

Před geoinformatikou dnes stojí velký úkol: stát se z vědy určené pro úzký jasně vymezený okruh specialistů široce využívaným nástrojem každodenní potřeby širokého okruhu laických uživatelů. Přesněji: geoinformatici musí vyvinout širokou škálu nástrojů založených na teoretických poznatcích geoinformatiky a praktických možnostech geoinformačních technologií, které budou snadno použitelné bez nároků na hluboké znalosti uživatelů a bez nebezpečí jejich nechtěného nesprávného užití. Bude to úkol nelehký. Na cestě k jeho naplnění bylo již sice hodně vykonáno, ale větší část cesty je stále ještě před námi. Tato část je dokonce tak velká, že zatím nemáme šanci dohlédnout na její konec a udělat si tak představu, kam až tento

vývoj dojde. Spíš jsme zatím schopni dohlédnout jen do nejbližší budoucnosti – ale o tom se blíže zmíníme později v části II Základy geoinformatiky.

I když ... jistá (možná poněkud futuristická) představa o budoucnosti této vědy by tu byla: geoinformatika a geoinformační technologie budou stále více ovlivňovat život lidí, dokonce ještě více, než je tomu v případě informačních a komunikačních technologií. Schopnost plnohodnotné práce s prostorem a časem, s prostorovými a časovými aspekty života lidí, se stane důležitým (a svým způsobem až určujícím) faktorem dalšího rozvoje lidské civilizace. V důsledku toho se geoinformační technologie stanou zcela běžnou součástí všedního života člověka. Již nyní můžeme pozorovat náznaky této budoucnosti v některých (dříve geoinformatikou nedotčených) oblastech, jako je například silniční doprava a v ní postupně uplatňované *inteligentní dopravní systémy* (ITS; z angl. Intelligent Transport Systems). Přínosem geoinformačních technologií pro inteligentní dopravní systémy se zabývá např. [213].

Část II

Základy geoinformatiky

Kapitola 1

Geoinformatika a geoinformační technologie

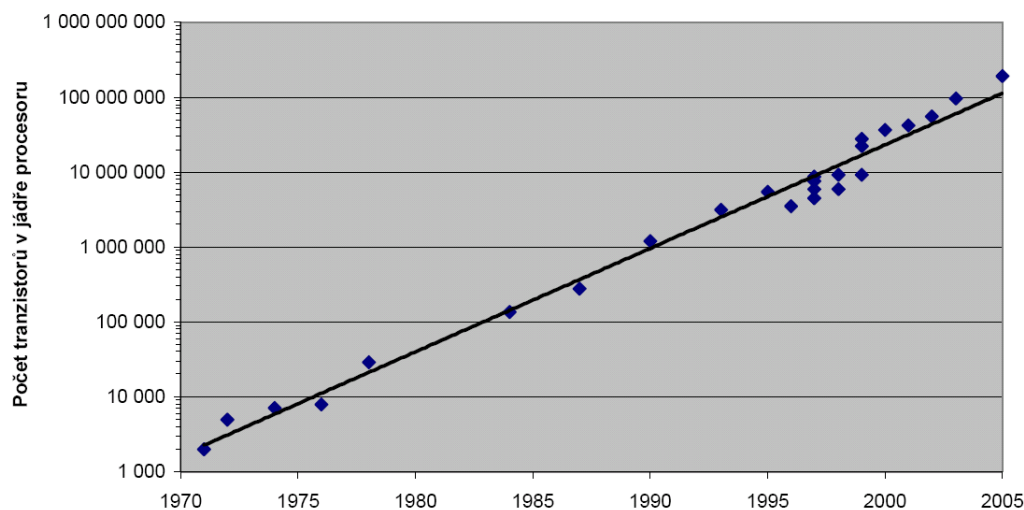
*Geoinformatika – věda o
prostorových aspektech
reálného světa*

Žijeme v informační společnosti a nacházíme se na prahu společnosti znalostní. Objemy získávaných, shromažďovaných, ukládaných, analyzovaných a vizualizovaných dat, informací a znalostí o reálném světě, v němž se pohybujeme, prudce narůstají. Ač jsou tato data ze své povahy většinou prostorová (stejně jako reálný svět, který popisují), dlouhou dobu byla při jejich zpracovávání právě prostorová dimenze opomíjena. Vedla k tomu s největší pravděpodobností obtížnost získávání a aktualizace údajů o poloze a z toho vyplývající nemožnost použití vhodných postupů prostorových analýz [210]. V posledním desetiletí se daří tento nedostatek řešit jednak díky mohutnému rozvoji budování různých bází geografických dat, které slouží jako lokalizační základ pro navazující data uložená v klasických databázích a jednak díky vývoji zcela nové technologie, umožňující zjišťovat aktuální polohu objektů reálného světa kdykoliv a prakticky kdekoliv na povrchu zemském a v přilehlém prostoru. Touto technologií jsou *družicové navigační a polohové systémy*.

Zpracováváním dat zohledňujícím jejich prostorové aspekty se zabývá samostatná vědní disciplína – *geoinformatika*, jejíž poznatky se promítají v první řadě do různých *geoinformačních technologií*.

V posledním desetiletí dochází také k bouřlivému rozvoji informačních a komunikačních technologií (zkr. ICT, z angl. Information and Communication Technologies) doprovázenému jejich vzájemnou integrací. Vzniká tak zcela nová

Moorův zákon



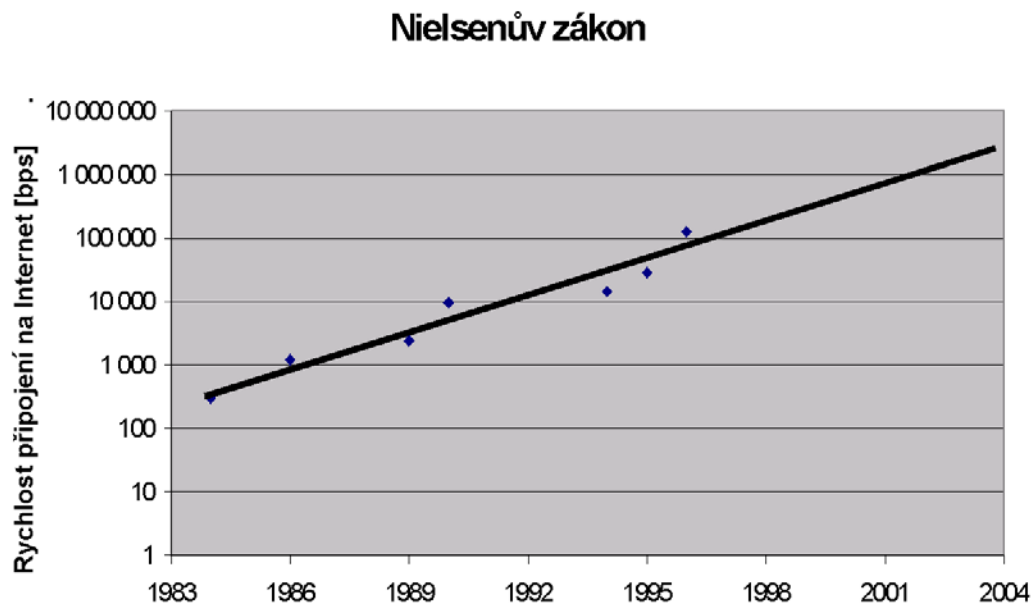
Obr. II.1.1 Moorův zákon byl zformulován na počátku 60. let minulého století, platí již více než 45 let a předpokládá se, že ještě minimálně 20 let platit bude (upraveno podle [116], [131], [242]).

skupina technologií, označovaná často názvem *telematika* (z angl. *telematics* – *telecommunication and informatics*). Vezmeme-li k tomu všemu v úvahu ještě neustále rostoucí výkon výpočetní techniky (viz tzv. Moorův zákon říkající, že možnosti výpočetní techniky se zdvojnásobují každých 18 měsíců [174], viz. obr. II.1.1), rostoucí přenosové rychlosti na Internetu (viz tzv. Nielsenův zákon říkající, že rychlost připojení koncových uživatelů se zvyšuje každý rok o 50 % [183], viz. obr. II.1.2) a rychle postupující miniaturizaci elektronických součástek, stojíme tváří v tvář zcela nové výzvě – integrovat výše zmíněnou telematiku s technologiemi geoinformačními a vytvořit tak novou třídu tzv. *mobilních geoinformačních technologií*, které budou mít možnosti dříve netušené a výrazně promluví do rozvoje naší civilizace.

Než se ale pustíme do výkladu geoinformatiky, podívejme se nejprve na jeden ze zdrojů poznatků, na nichž staví geoinformatika – na informatiku.

1.1 Informatika

Informatika dnes představuje dobře zavedený a široce akceptovaný vědní obor, který je podvědomě spojován s počítači a vším, co s nimi souvisí. Jednoduchá a velice výstižná definice informatiky může vypadat například takto [252]:



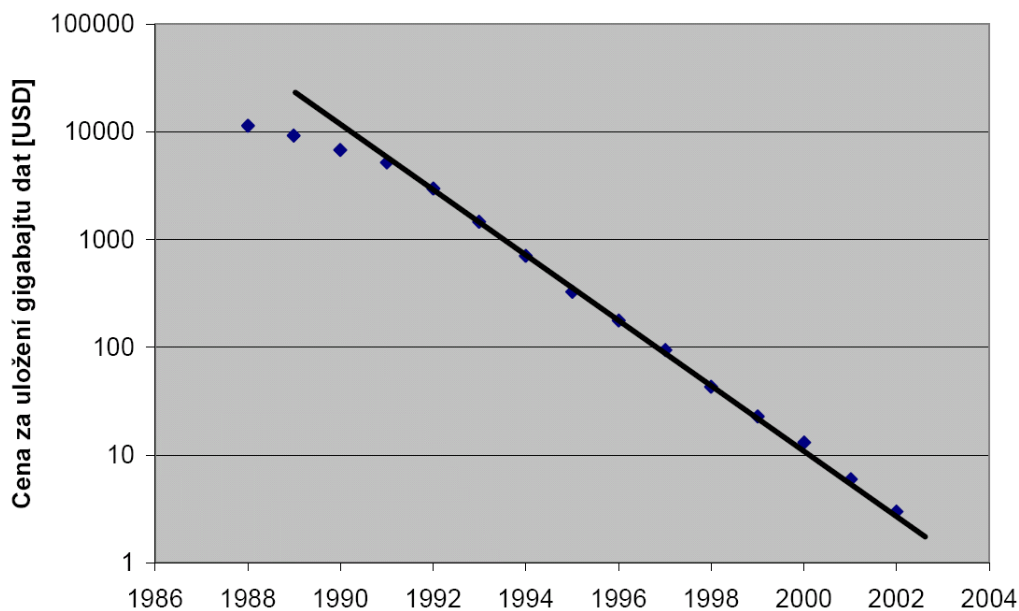
Obr. II.1.2 Nielsenův zákon (upraveno podle [183]).

Informatika je vědní disciplína zabývající se systematickým a automatickým zpracováváním dat a informací pomocí výpočetní techniky.

Systematickým zpracováváním se myslí účelné řešení problémů dle formálně popsaných postupů – algoritmů, sloužících jako základ počítačových programů.

*Automatickým zpracováváním se míní transformace vstupních dat na výstupní informace počítačem dle předem zadaného algoritmu. Fundamentálním základem informatiky je teorie informace, formulovaná Shanonem v roce 1948 jako matematická teorie. Tato teorie se zabývá otázkami týkajícími se optimalizace ukládání a přenosu informací [252]. Shannon definoval tzv. *metrickou informaci*, kterou lze *kvantifikovat*. Jeho přístup je úzce spojen s pojmem *entropie*. Jednoduše řečeno, „*míra informací poskytovaných systému je měřitelná schopností systému využít těchto informací pro snížení své vnitřní neorganizovanosti, tj. pro zmenšení své entropie*“ [276].*

Od té doby se informatika rozvinula do široce akceptované vědní disciplíny, která svými teoretickými poznatky a jejich praktickými aplikacemi zasáhla do běžného života prakticky každého člověka ve vyspělých státech světa. Počítače se staly základem moderní informační a komunikační společnosti. Využívání informačních a komunikačních technologií je dnes přirozenou součástí gramotnosti lidské civilizace, stejně jako čtení, psaní a počítání.

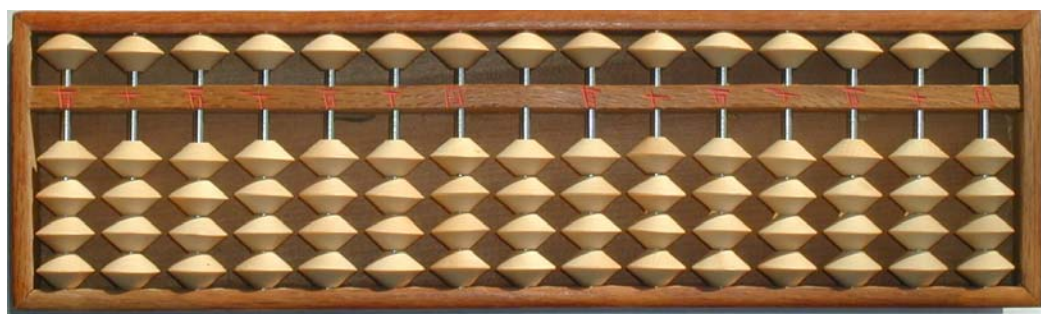


Obr. II.1.3 Vývoj nákladů spojených s ukládáním dat, vyjádřených v amerických dolarech za 1 GB dat [242].

1.1.1 Stručná historie informatiky

Historii informatiky (vezmeme-li v úvahu i jiné než elektronické výpočetní pomůcky) lze sledovat od doby antické, kdy již ve starověkém Řecku byly vyvíjeny postupy řešení komplexních problémů (algoritmy) a technické pomůcky pro usnadnění výpočtů. K neznámějším technickým pomůckám, které se postupem času vyvíjely a posléze i používaly po celém světě, patřil *abakus* (obr. II.1.4).

Hlavní mezníky vývoje informatiky jsou shrnuty v tab. II.1.1.



Obr. II.1.4 Japonský Abakus – Soroban [155].

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	Námořní a říční navigace, optimalizace letecké dopravy
Osobní navigační systémy pro nevidomé	Analýza rozložení kriminality
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	Monitorování intenzity dopravy a stanovování poplatků za užití komunikací na základě hustoty dopravy
Programy pro optimalizaci dopravy zboží	Modelování přírodních katastrof a jejich následků v reálném čase - svaňových 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 rozmisťování 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
Monitorovací systémy pro signalizaci povodňových stavů a jiných živelných pohrom	Epidemiologické analýzy

Tab. II.1.1 Hlavní mezníky vývoje informatiky (upraveno dle [252]).

1.1.2 Rozdělení informatiky

Rychlý rozvoj informatiky v posledních desetiletích vedl k vyčlenění čtyř základních oblastí [252]:

- *teoretická informatika* – zabývá se teoretickým výzkumem v oblasti počítačů (teorie automatů), počítačových jazyků (teorie jazyků) a v oblasti algoritmů (teorie výpočtů),
- *praktická informatika* – vývoj metod pro psaní a vykonávání programů (např. programovací jazyky a překladače, operační systémy, databázové systémy, vývojové nástroje pro vývojáře a uživatele apod.),
- *technická informatika* – návrh integrovaných obvodů, počítačů, periférií, roz-

hraní apod.,

- *aplikovaná informatika* – zabývá se využíváním metod informatiky v jiných vědních oborech.

První tři oblasti představují jádro informatiky. Čtvrtá oblast se zabývá přenosem poznatků do jiných vědních oblastí a koneckonců i do našeho všedního života.

Jednou z oblastí, které informatika nepokrývá, je práce s prostorem, s prostorovými aspekty objektů reálného světa. Tato oblast byla po dlouhou dobu doménou jiných vědních disciplín, jako je geografie, geologie, kartografie apod., které existují mnohem delší dobu než informatika a dlouhodobě se proto zabývají problémy spojenými s reprezentací prostoru, prostorovými analýzami, vizualizací, předáváním prostorových dat a informací apod. Jak již bylo uvedeno, integrací teoretických poznatků spojených s prací s prostorovými daty a informacemi z různých oblastí a disciplín se postupně vyvinula nová vědní disciplína – *geoinformatika*.

1.2 Geoinformatika

O geoinformatice můžeme říct, že se jedná o samostatnou vědeckou i technickou disciplínu zabývající se zpracováváním prostorových dat (tzv. *geodat*) a získáváním prostorových informací (tzv. *geoinformací*). Definovat si ji můžeme takto (upraveno podle [209]):

Geoinformatika (angl. *geoinformatics*) je vědecký a technický interdisciplinární obor, zabývající se zpracováním (v nejširším slova smyslu) a využíváním geodat a geoinformací pro potřeby rozhodování, plánování a správy zdrojů.

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 ve frankofonní části Kanady pro označení „rychle se měnícího a expandujícího světa správy informací o území“ [187]. Tento termín byl v krátké době poměrně široce akceptován i na oficiálních úrovních (mezinárodní organizace pro standardizaci ISO zřídila technickou komisi s názvem Geografická informace, geomatika; česká normotvorná organizace ČNI zřídila technickou normalizační komisi s obdobným názvem; na různých vysokých školách ve světě vznikly celé katedry geomatiky). 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 (viz [209]).

V [67] je geomatika charakterizována jako *rozvíjející se disciplína zabývající se*

získáváním, transformací, správou a distribucí prostorově vztažených dat. Je výsledkem propojení mnoha starších a dříve nezávislých disciplín, zahrnujících geodézii, fotogrammetrii, správu území, kartografii a v poslední době i geoinformační vědu, dálkový průzkum Země, družicové polohové systémy. Geomatika zasahuje široký okruh lidí, včetně geodetů a měřičů, geografů, plánovačů, krajinářů, informatiků i lidí z oblasti geověd. Hlavním produktem geomatiky jsou prostorové informace pro podporu rozhodování. Kromě toho se zabývá i procesem implementace geoinformačních systémů v organizacích různé velikosti a dále i sociálními, ekonomickými a právními dopady geoinformačních technologií.

Pojem *geoinformační věda* (angl. geoinformation science – zkr. GIS) vznikl pravděpodobně ze snahy dát nový obsah až příliš často užívané zkratce GIS (ve významu geografický informační systém), která postupně získávala význam mnohem obecnější. Geoinformační vědou je zpravidla míněno kompletní teoretické zázemí geografických informačních systémů, včetně ekonomiky, psychologie apod.

Pro potřeby této knihy budeme nadále považovat oba pojmy za *synonymum* pojmu geoinformatika.

Pro zájemce jsou dále uvedeny další možné výklady některých z výše uvedených pojmů, tak jak byly publikovány v literatuře:

„Geoinformatika (angl. geoinformatics, geomatics, geographic information science) je zaměřena na vývoj a aplikaci metod řešení specifických problémů v geovědách – se zvláštním důrazem na geografickou polohu objektů.“ [252]

„Geomatika . . . je věda a technologie získávání a správy informací o našem světě a jeho prostředí.“ [187]

„Geoinformatika je:

- *specifická informační technologie, kde zpracovávaná data jsou plně nebo částečně prostorová,*
- *nová interdisciplinární věda, založená na spolupráci širokého spektra vědců z oblasti informatiky počínaje a oblastí geověd konče (geografie, geologie, měřictví, kartografie atd.).“ [71].*

„Pojem geomatika se vztahuje k vědě a technologii zapojené do měření, analyzování a zachovávání všeho prostorového o Zemi.“ [188]

„Inženýrská geomatika je moderní disciplínou integrující získávání, modelování, analýzu a správu prostorových dat. Vycházejíc z vědeckých základů geodézie užívá pozemní, námořní, letecké a družicové senzory pro získávání prostorových i jiných dat. Tato data jsou využívána v široké škále aplikací, jako je určování polohy a navigace, digitální mapování s využitím fotogrammetrie a jiných distančních technik, katastrálního a hydrografického měření a také gravitačního pole a určování

oběžných drah družic. Inženýrská geomatika zahrnuje proces transformace prostorových dat z různých zdrojů do společného informačního systému, jako je GIS, s dobře definovanými charakteristikami přesnosti.“ [289]

„Geomatika je nová profese zahrnující aktivity předtím známé jako měřictví, mapování, fotogrammetrie a geografické informační systémy (GIS). Geo naznačuje vztah k Zemi a matics znamená praktické aplikace informací a matematiky. Geomatika zahrnuje měření, digitální mapování, dálkový průzkum Země, prostorové analýzy, družicové určování polohy a skládání geografických informací o geoprvcích nacházejících se na povrchu nebo blízko pod povrchem Země.“ [72]

„Geomatika je věda a technologie získávání, analyzování, interpretování, distribuce a využívání geografických informací. Geomatika zahrnuje širokou škálu disciplín, které mohou být dány dohromady, aby vytvořily detailní, avšak srozumitelný obrázek fyzického světa a našeho místa v něm.“ [73]

„Geomatiku lze shrnout jako ty disciplíny, které pracují se sběrem, integrací a správou dat, zabývají se geografíí Země a následnou analýzou a prezentací těchto informací pro podporu rozhodování, plánování a správy zdrojů.“ [294]

„Nová definice GIS:

- Geografická komponenta: jakákoliv komponenta programového systému, jejíž proces je závislý na geografické povaze zpracovávaných dat.*
- Geografický informační systém: jakýkoliv informační systém obsahující jednu nebo více geografických komponent.“ [83]*

„Geoinformační technologie jsou technologie pro sběr a zpracování geoinformací. Patří k nim GPS, DPZ a GIS.“

„Geoinformační věda je vědeckým základem geografických informačních systémů. Termíny geomatika a geoinformatika mají obdobný význam“ [81].

„Geomatika je zastřešující věda, čerpající z následujících disciplín a oblastí:

- disciplíny, které vyvinuly koncepty práce s prostorem, jako jsou kognitivní vědy, geografie, lingvistiky, psychologie,*
- disciplíny, které vyvinuly praktické nástroje pro získávání a zpracování prostorových dat: kartografie, geodézie, fotogrammetrie, dálkový průzkum Země, měřictví,*

- *disciplíny poskytující formalismus a teorie, které jsou základem pro naši práci s prostorem a její automatizaci: informatika, geometrie, umělá inteligence, semiologie, statistika,*
- *oblasti významně využívající automatizovaných prostorových informačních systémů: archeologie, stavebnictví, lesnictví, geotechnika, územní plánování, krajinářství,*
- *další oblasti jako je: právo a ekonomika“ [151].*

1.2.1 Počátky historie práce s prostorovými daty

Dnešní geoinformatika se vyvinula z odvěké potřeby člověka zaznamenávat si informace o prostředí (prostoru), v němž se pohybuje, tak aby předešel jejich ztrátě (zapomnění) a případně je měl možnost i předávat dalším lidem. Odpradávná se vyvíjely dva základní způsoby záznamu těchto informací:

- textový,
- grafický.

Oba existovaly dlouhou dobu relativně nezávisle na sobě. Historicky jako první se objevuje záznam grafický v podobě nástěnných maleb pravěkého člověka, zachycujících nejen lovená zvířata jako taková, ale i místo, kde byla ulovena. Teprve později se objevují i „psané“ texty. Z prvních grafických záznamů se postupem času vyvinula věda, zabývající se systematickým grafickým zobrazením povrchu zemského v podobě map – kartografie. První mapy se objevily ve starověkém Egyptě za vlády faraóna Ramsese II (1292-1225 př. n.l.) a znázorňovaly polohu zlatých dolů.

Nejstarší dnes známé textové záznamy pocházejí ze starověkého Babylónu. Velkého rozkvětu dosáhlo systematické textové zaznamenávání informací v Římské říši, kde vznikla celá řada různých registrů, mimo jiné první evidence nemovitostí – katastr [13].

1.2.2 Rozdělení geoinformatiky

Zatímco informatika se dnes běžně dělí do několika oblastí, v případě geoinformatiky takovéto dělení zatím zavedeno nebylo. Nicméně lze předpokládat, že v blízké budoucnosti dojde i zde k jisté stratifikaci, která by mohla vypadat stejně jako v případě již zmíněné informatiky:

- *teoretická geoinformatika* – zabývající se prostorovými datovými strukturami (včetně dimenze časové), prostorovým modelováním, prostorovým indexováním, algoritmy pro řešení prostorových úloh, prostorovou analýzou geodat, prostorovými dotazovacími jazyky apod.,



Obr. II.1.5 Ukázka mobilního telefonu (přesněji počítače třídy palmtop se zabudovaným modulem pro přenos dat prostřednictvím GSM), připojeným přijímačem GPS a spuštěným programem pro mobilní GIS.

- *praktická geoinformatika* – zabývající se tvorbou prostorových databází, zobrazováním reálného světa v geoinformačních systémech, tvorbou standardů pro geodata apod.,
- *technické geoinformatika* – zabývající se vývojem geoinformačních technologií určených ke sběru, zpracování a vizualizaci geodat a geoinformací (snímače DPZ, radar, lidar, digitální fotogrammetrie apod.),
- *aplikovaná geoinformatika* – zabývající se využíváním poznatků geoinformatiky v jiných vědách, jako je využití v oblasti životního prostředí, zemědělství a lesnictví, dopravy, záchranných služeb, ekonomiky, marketingu, sociologie, astronomie apod.

Čas ukáže, nakolik je toto rozdělení správné, výstižné a prakticky použitelné.

1.3 Geoinformační technologie

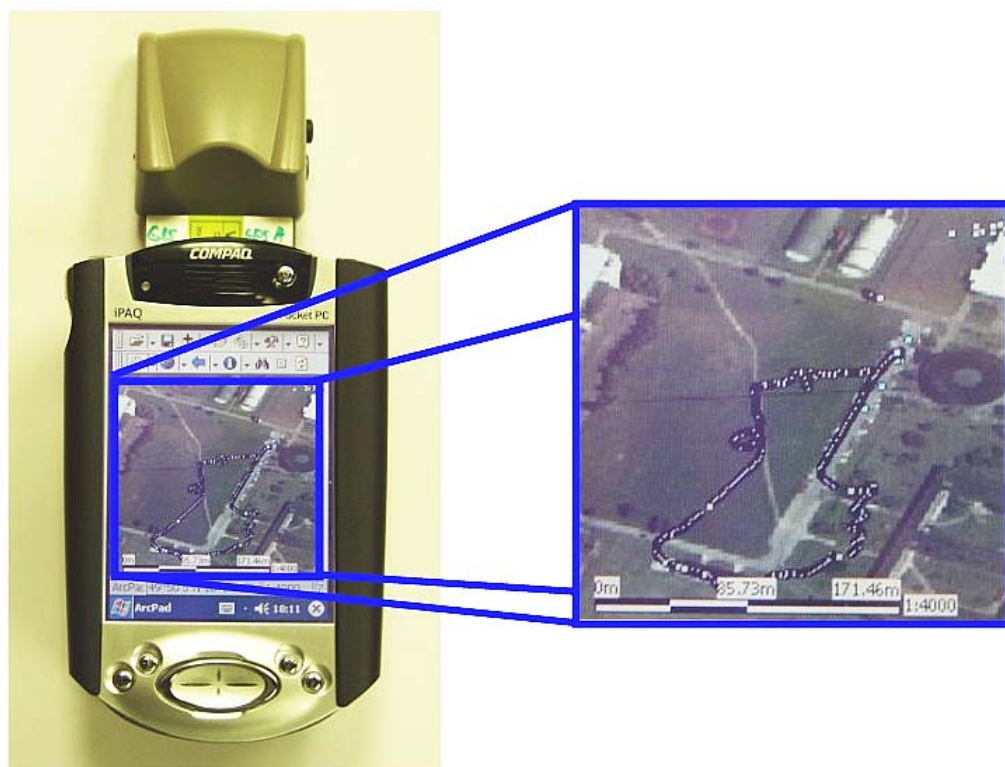
Význam pojmu *geoinformační technologie* si můžeme definovat takto (upraveno podle [210]):

Geoinformační technologie jsou specifické informační technologie určené pro zpracovávání geodat a geoinformací, jejich získáváním počínaje

a vizualizací konče.

Příkladem geoinformačních technologií mohou být geografické informační systémy, digitální modely reliéfu, dálkový průzkum Země, prostorové databáze, digitální fotogrammetrie, družicové polohové systémy, prostorové značkovací jazyky (např. Geographic Markup Language - GML, resp. verze zahrnující i problém času - TGML), geoweb, počítačová kartografie, geostatistika a další.

V souvislosti s geoinformačními technologiemi budeme používat i termín *geoinformační systém*. Tímto pojmem budeme označovat jakýkoliv počítačový informační systém, určený ke zpracovávání geodat v rámci dané technologie. Příkladem může být vlastní geografický informační systém, informační systém pro práci s digitálními modely reliéfu, informační systém pro práci s daty z dálkového průzkumu Země apod.



Obr. II.1.6 Ukázka počítače třídy palmtop s vloženým přijímačem GPS, vybaveného komunikačním rozhraním Bluetooth umožňujícím bezdrátové napojení na mobilní telefon, který umožňuje on-line přenos dat. Na počítači je spuštěno programové vybavení pro mobilní GIS a na detailu obrazovky je vidět záznam trasy v terénu.

1.4 Mobilní geoinformační technologie

Definice mobilních geoinformačních technologií (MGIT) zatím není ustálená. Jedna z mála definic byla uvedena v [210]:

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

Příkladem mohou být různé mobilní jednotky vzniklé například kombinací mobilního telefonu, přenosného počítače třídy palmtop, Internetu, programového vybavení pro GIS a přijímače GPS, která může postupně vyústit až v jejich plnou integraci. Již dnes někteří výrobci nabízejí mobilní telefony v kombinaci s přijímačem GPS, mobilní telefony vybavené grafickou obrazovkou a schopné pracovat v prostředí Internetu, mobilní telefony vzniklé integrací s počítačem třídy palmtop apod. Některé z těchto zařízení jsou ukázány na obr. II.1.5 a II.1.6.

Kapitola 2

Historie, současnost a budoucnost geoinformatiky

V odstavci II.1.2.1 byl poskytnut stručný přehled počátků historie geoinformatiky od dob antických. V této kapitole se zaměříme podrobněji na etapu rozvoje geoinformatiky od doby, kdy začala být komerčně dostupná výpočetní technika.

2.1 Historie geoinformatiky po nástupu počítačů

Počátky historie geoinformatiky (omezíme-li se tedy pouze na digitální zpracování dat) lze položit někde do období konce 50. a začátku 60. let minulého století, kdy se poprvé objevuje komerčně dostupná a dostatečně výkonná výpočetní technika, nastupují kosmické technologie, zvláště umělé družice Země, které se postupně stávají masivními zdroji dat o Zemi – a hlavně roste zájem o komplexní zpracování velkých objemů geodat, získávaných z různých zdrojů, pro potřeby správy, plánování a rozhodování ve vztahu k přírodním zdrojům, ale nejen k nim. Výsledkem byl vznik prvních účelových systémů pro zpracování geodat, jejichž možnosti byly z dnešního pohledu velice omezené, nicméně ve své době převratné a každopádně dostatečné na to, aby tyto systémy prokázaly svoji životaschopnost a praktickou využitelnost. Od té doby zahájily různé skupiny vědců výzkum v oblasti zpracovávání geodat s využitím informačních technologií. Postupně začaly vznikat první geografické informační systémy (v roce 1966 byl jako první implementován Kanadský geografický informační systém [156]), které však byly dlouhou dobu záležitostí jen malých, úzce vymezených skupin uživatelů. Bylo to dáno především tehdy dostupnou výpočetní technikou – velkými sálovými počítači.

K významnému zlomu ve vývoji došlo až v 80. letech minulého století, po ná-

stupu minipočítačů a zvláště osobních počítačů IBM-PC, kdy se začaly objevovat první komerčně dostupné programové balíky pro tvorbu aplikací GIS, využitelné širokým okruhem odborníků. Asi nejznámějším je programový balík PC ARC/INFO firmy ESRI. Od té doby nastává rychlý rozvoj využívání geografických informačních systémů a nastupuje i široké zpřístupňování geoinformačních technologií a s tím související tlak na jejich další rozvoj.

V posledních letech se díky rozvoji Internetu, především webových technologií, dále telematiky a také díky miniaturizaci elektronických systémů posouvají geoinformační technologie ještě blíže k uživateli, do různých komunikátorů, mobilních telefonů, digitálních osobních asistentů (angl. PDA – Personal Digital Assistant), palmtopů apod. Geodata a geoinformace se stávají dostupnými v reálném čase, kdykoliv a kdekoliv. To však klade nové nároky na procesy vedoucí k jejich získávání, aktualizaci, ukládání, analýze, prezentaci . . .

S tímto vývojem samozřejmě musí jít ruku v ruce i nezbytný rozvoj teoretického zázemí geoinformačních technologií – a tím je právě *geoinformatika*. K nejnovějším směrům jejího rozvoje patří mimo jiné časoprostorové indexování, časoprostorové datové struktury, ontologie, časoprostorové dotazování, časoprostorové značkovací jazyky, problematika interoperability a standardů, využívání paralelních počítačů, nejnovějších poznatků z oblasti umělé inteligence apod.

Geoinformatika a geoinformační technologie byly zprvu využívány především v oblasti geověd (především geologie, geografie, ekologie, správy přírodních zdrojů, oceánografie apod.) a snad především proto byla dlouho dobu vnímána některými autory jako součást těchto geověd (nejčastěji byla zařazována do geologie nebo geografie). Nicméně je zřejmé, že geoinformatika si dnes již vydobyla zcela samostatnou pozici jakožto vědní disciplína zabývající se zpracováváním (v tom nejširším možném slova smyslu - viz níže uvedená definice geoinformatiky) prostorových dat, ať už pocházejí odkudkoliv. Teoretických výsledků geoinformatiky dnes využívají nejen geovědy. Můžeme se s nimi setkat i v jiných oblastech lidské činnosti, jako je zemědělství a lesnictví, určování polohy a navigace, doprava všeho druhu, záchranné služby, represivní složky, kriminalistika, inteligentní dopravní systémy, bankovníctví, ekonomika, marketing, sociologie, fyzika, astronomie, makromolekulární chemie, genetika, lékařství apod. Zkrátka všude tam, kde si lidé začínají stále více uvědomovat potřebu studia struktur, systémů a procesů v jejich prostorových a případně i časových dimenzích a souvislostech.

2.2 Současnost geoinformatiky a geoinformačních technologií

Geoinformatika je v současné době široce akceptovanou samostatnou vědní disciplínou. Její poznatky se promítají do celé řady oblastí lidských činností (viz tab.

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	Námořní a říční navigace, optimalizace letecké dopravy
Osobní navigační systémy pro nevidomé	Analýza rozložení kriminality
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	Monitorování intenzity dopravy a stanovování poplatků za užití komunikací na základě hustoty dopravy
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 rozmisťování 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
Monitorovací systémy pro signalizaci povodňových stavů a jiných živelných pohrom	Epidemiologické analýzy

Tab. II.2.1 Nové produkty a služby v oblasti geografických informací [261].

II.2.1).

S aplikacemi geoinformačních technologií se můžeme setkat například v následujících oblastech:

- maloobchod,
- inženýrské sítě,
- životní prostředí,
- veřejná správa,
- péče o zdraví obyvatelstva,
- doprava,
- aplikace ve sféře financí,

- telekomunikace,
- správa zdrojů,
- územní plánování,
- záchranné služby,
- archeologie,
- vojenství,
- geomarketing,
- geotechnika,
- a další.

V současné době je výzkum a vývoj v oblasti geoinformatiky zaměřen především na [252]:

- získávání digitálních geodat v terénu i v laboratorních podmínkách,
- globální polohové systémy a navigační systémy,
- analýza a hodnocení dat DPZ,
- databáze, databáze metadat, metod a modelů,
- geografické informační systémy, informační systémy o životním prostředí,
- vývoj otevřených, interoperabilních systémů,
- zlepšování použitelnosti programového vybavení pro oblast geoinformatiky,
- multimediální aplikace v geovědách,
- systémy pro digitální kartografi,
- vývoj v oblasti 3D vizualizace a virtuální reality,
- systémy pro podporu rozhodování,
- numerické simulační modely a prognózní modely pro geodata,
- zpracování geodat pro podporu lokálního, regionálního a národního plánování,
- zpracování geodat pro podporu územního plánování a studií vhodnosti klimatu,
- apod.

2.3 Trendy vývoje geoinformatiky a geoinformačních technologií

Vývoj v oblasti využívání geodat, geoinformací a geoinformačních technologií v současné době nejvíce ovlivňují následující faktory [210]:

- *Neustálý rozvoj dopravy*, který má za následek stále vyšší *mobilitu lidí*. Člověk se tak častěji dostává do situace, kdy se nachází v neznámé oblasti a je závislý na přísunu aktuálních geoinformací o prostoru, ve kterém se pohybuje. Potřebuje nalézt nejbližší nebo konkrétní hotel, cestu na nádraží, do kongresového centra, informace o pamětihodnostech apod. Jinou stránkou rozvoje dopravy je rostoucí zatížení komunikací, vedoucí ke komplikacím v dopravě – dopravním zácpám, haváriím apod. Zde roste poptávka jednak po účinnějších nástrojích pro řízení dopravy a jednak po efektivnějších informačních a navigačních systémech pro řidiče, schopných pružně reagovat na aktuální situaci a případně i predikovat její nejbližší vývoj.
- *Informační technologie umožňují sbírat, zpracovávat a zprostředkovávat informace způsoby, které nebyly dříve možné*. Hodnota informací je ovlivňována mimo jiné i jejich významem z pohledu zkvalitňování přijímaných rozhodnutí. Manažeři ve veřejném i soukromém sektoru vyžadují pro svá rozhodování stále více informací. Jakmile se jakákoliv z jejich rozhodnutí vztahují k prostoru, stávají se pro ně geoinformace nepostradatelnými.
- *Rozvoj mobilních komunikací*, který dnes umožňuje realizovat datové přenosy nezávisle na pevném datovém spoji, kdykoliv a téměř kdekoliv.
- *Rostoucí dostupnost geodat*, a to jak co do rozsahu a obsahu, tak i co do kvality a ceny.
- *Možnost určování polohy prakticky kdykoliv a téměř kdekoliv*, jednak pomocí systému GPS, který má celosvětové pokrytí, ale neumožňuje zatím určování polohy v místech bez přímé viditelnosti oblohy (např. budovy, garáže, podzemní prostory apod.) a jednak pomocí mobilních telefonů, které mají sice menší pokrytí, ale zato umožňují určování polohy relativně přesně prakticky kdekoliv, kde je dostupný signál (avšak pouze polohy horizontální).
- *Miniaturizace rozměrů elektronických zařízení* při současném růstu výkonnosti, což umožňuje vyvíjet aplikace skutečně mobilní.
- *Budování infrastruktur geodat*, které umožňují získávat operativně informace o existujících datových sadách, jejich dostupnosti apod.

Působení všech těchto faktorů vede v konečném důsledku k tomu, že geoinformační technologie začínají být využívány širokou laickou veřejností. Mění se z technologií určených jen pro úzkou skupinu odborníků v technologie pro všechny. S tímto generálním trendem je však spojena celá řada problémů, k nimž patří především tyto:

- Laická veřejnost není vybavena speciálními odbornými znalostmi; očekává, že zakoupené zařízení bude pracovat správně bez jejího většího přičinění.
- Laická veřejnost bude kupovat zařízení různých dodavatelů, při výběru se bude řídit více cenovými a užitnými hledisky, než problémy spojenými s kompatibilitou výrobků různých dodavatelů a služeb různých poskytovatelů.

Geoinformatika proto musí odpovědět na tuto výzvu a nalézt takové nástroje, které geoinformačními technologiím umožní požadavkům laických uživatelů co nejlépe vyhovět.

Současnost a budoucnost geoinformatiky můžeme vysvětlit na jednoduché paralele: Před sto lety, kdy se začaly postupně šířit automobily, musel každý řidič své auto velice dobře znát, aby byl schopen kdykoliv odstranit poruchy, provázející užívání auta. Znamenalo to, že musel dobře rozumět funkci motoru, palivového systému, brzd apod. Auto byla naštěstí velice jednoduchá, takže to bylo pro řidiče zvládnutelné. Dnešní auta jsou s těmito veterány málo srovnatelná. Jsou mnohem komplikovanější, v každém je hned několik počítačů, různých elektronických systémů apod. Dnešní řidič zná jen několik standardních úkonů, souvisejících s provozem auta, jako je doplnění paliva, dofoukání kol, řízení auta a případně reagování (zpravidla jízdou do servisu) na různé kontrolky, které ho informují o případných poruchách vozidla. Konstrukce aut je natolik vyspělá, že řidič je osvobozen od potřeby hlubokých znalostí palubních systémů i mechanických zařízení. Ke správnému užití auta stačí umět ho řídit, dodržovat některé obecné principy (např. respektovat povolené zatížení vozidla) a řídit se pravidly silničního provozu. Nic víc.

Dnešní geoinformační technologie jsou na úrovni veteránů z počátku minulého století. Je možné si je pořídit, fungují, ale pro jejich správné používání je nezbytné uživatele vybavit poměrně značným rozsahem znalostí. A pokud chce uživatel zkombinovat několik výrobků různých výrobců, např. malý počítač + přijímač GPS + program pro GIS + digitální mapu, je to pro laika mnohdy až neřešitelný úkol. Cílem rozvoje geoinformatiky v příštím desetiletí je posunout geoinformační technologie na úroveň dnešních aut, tj. aby to byly nástroje snadno intuitivně použitelné i bez hlubokých teoretických znalostí a aby k jejich správnému užití stačilo dodržovat jen určité obecné principy.

Je to úkol velice náročný, ale vzhledem k rychlosti a intenzitě pronikání mobilních geoinformačních technologií do každodenního života stále většího okruhu lidí je jeho rychlé splnění naší povinností.

2.3.1 Dlouhodobý trend – budování geoinformačních infrastruktur

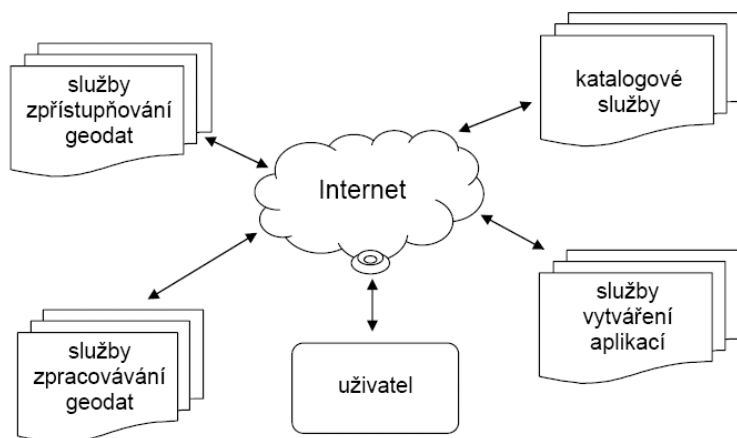
Jedním z možných řešení této situace by mohl být všeobecně akceptovaný systém norem a standardů, umožňujících dosažení široké interoperability dodávaných výrobků i poskytovaných služeb.

V posledním desetiletí vznikla celá řada iniciativ jdoucích právě tímto směrem. Patří k nim jednak oficiální standardizační aktivity, vyvíjené různými normotvornými orgány. K nejznámějším z nich patří americká komise Federal Geographic Data Committee (FGDC), evropská komise CEN a mezinárodní organizace ISO. Vedle těchto oficiálních iniciativ vznikají i různá firemní konsorcia, zaměřená na vývoj de facto standardů akceptovaných výrobcí informačních a geoinformačních technologií. K nejznámějším patří Object Management Group (OMG), která se zabývá standardizací v oblasti objektových technologií obecně a dále Open Geospatial Consortium (OGC) zaměřené na vývoj standardů právě pro oblast geoinformačních technologií. V případě OGC je také důležité, že vedle definování standardů má toto konsorcium zavedenu i metodiku ověřování shody konkrétních produktů s publikovanými standardy. Druhým významným faktorem je, že OGC se zabývá i definováním standardů na úrovni poskytovaných služeb, takže je perspektivně možné kombinovat v jediném systému služby poskytované různými organizacemi. Standardizaci na úrovni používaných internetových technologií se věnují konsorcia W3C, OASIS a jiné.

Jedním z možných vyústění standardizačních aktivit je dosažení stavu, kdy uživatel nebude vlastnit žádná (nebo téměř žádná) data ani specializované aplikace. Obé si bude pronajímat na dobu provedení požadovaného zpracování. Bude tak moci kombinovat data z různých zdrojů a služby různých poskytovatelů a platit poplatky jen za skutečně poskytnuté služby (viz obr. II.2.1). Výhodou bude i skutečnost, že za kvalitu poskytovaných dat a služeb budou plně zodpovídat jednotliví poskytovatelé. Poskytovaná data budou existovat jen v jediné verzi, spravované právě poskytovatelem a uživatel tak bude mít garantováno, že vždy bude mít k dispozici data aktuální. Obdobně je tomu i s poskytovanými službami. Odpadne tak nutnost neustálých aktualizací dat i programů. Například Open Geospatial Consortium vyhlásilo tzv. „OGC Interoperability Program“ [185], zaměřený na vývoj, testování, demonstrování a prosazování používání rozhraní a protokolů, umožňujících interoperabilní zpracování geodat a geoinformací. K již přijatým standardům patří mimo jiné OpenGIS®Coordinate Transformation Services Specification, OpenGIS®Geography Markup Language (GML 2.1), OpenGIS®Web Feature Server Specification, OpenGIS®Web Map Server Interface Specification atd. A celá řada dalších je právě zpracovávána, resp. plánována (podrobněji a aktuálněji viz [185]).

Obecná koncepce distribuovaného poskytování dat, služeb i aplikací je znázorněna na obr. II.2.1. Podrobněji je tato koncepce probrána v odst. V.7.

Než ale dosáhneme plné interoperability, budeme muset překonat ještě nejednu překážku. Do té doby budou naše cíle sice skromnější, ale neméně zajímavé.



Obr. II.2.1 Koncepce distribuovaného poskytování, dat, služeb i aplikací [210].

2.3.2 Krátkodobý výhled

V krátkodobém horizontu můžeme sledovat, resp. očekávat především vývoj v oblasti geoinformačních technologií. Jedná se především o bouřlivý nástup [210]:

- *nových technologií pro pořizování geodat* – např. lidar, digitální fotogrammetrie, družice s vysokým prostorovým, časovým i spektrálním rozlišením,
- *geoinformací a geoinformačních technologií v prostředí Internetu* – např. geoweb,
- *geoinformací a geoinformačních technologií v oblasti mobilních komunikačních prostředků* – např. LBS,
- *geoinformačních technologií využívajících mobilní komunikační prostředky* – např. mobilní geoinformační technologie.

A bylo by možné uvést ještě další oblasti. Nicméně soustředme se na tyto čtyři příklady.

2.3.3 Nové technologie pro pořizování geodat

Za posledních několik let se na scéně objevila celá řada nových technologií, umožňujících získávat geodata a geoinformace lépe, rychleji, efektivněji a kvalitněji. K těmto technologiím patří:

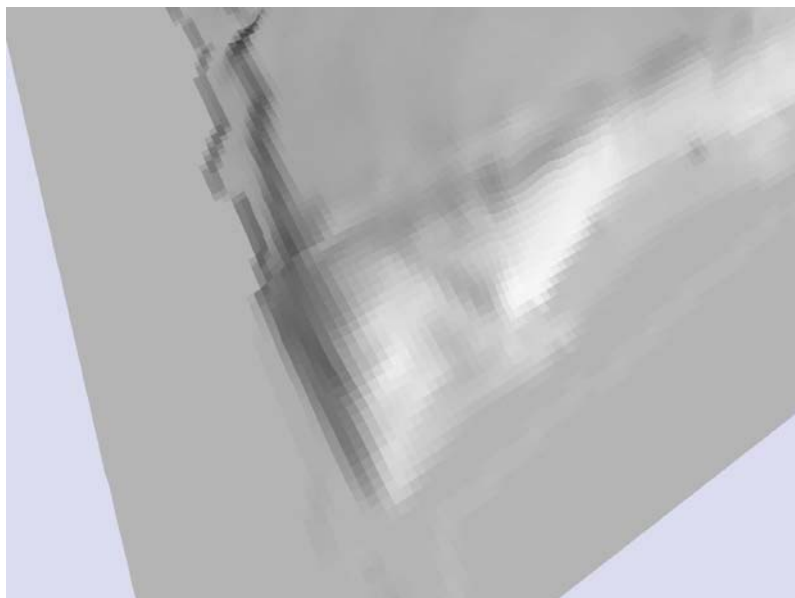
- **Digitální fotogrammetrie** – i když mluvíme o digitální fotogrammetrii, je pravdou, že celý proces fotogrammetrie stále ještě není plně digitalizovaný,



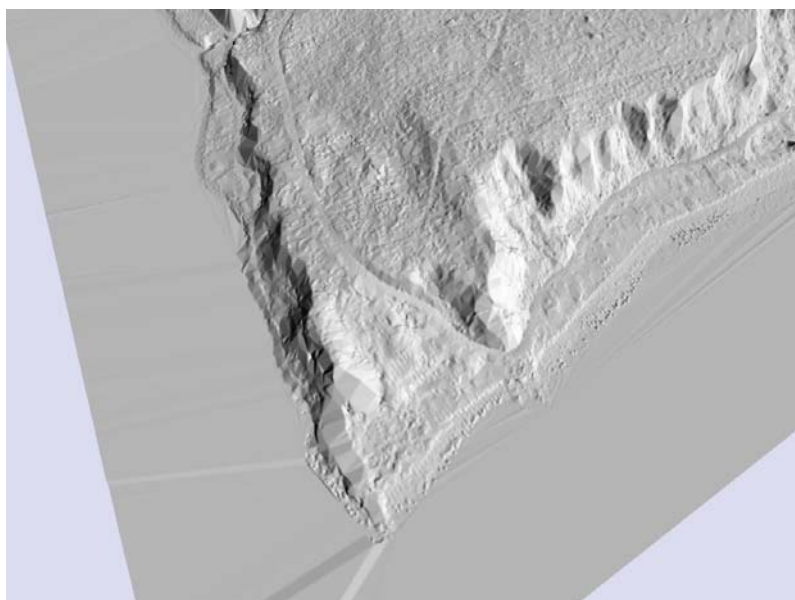
Obr. II.2.2 Digitální fotogrammetrická stanice.

letecké snímky se doposud pořizují jako analogové a teprve následně se skenují. Avšak zbylá část zpracování je dnes plně digitalizována (obr. II.2.2) a i proces automatizace vyhodnocování leteckých snímků výrazně pokročil. Dnes se hledají cesty jak automaticky rozpoznávat zájmové objekty na snímcích (např. budovy), jak automaticky generovat digitální model reliéfu studované oblasti apod. Dobře je zvládnutý rovněž proces předávání dat do GIS a v mnoha případech již došlo až k integraci digitální fotogrammetrie, dálkového průzkumu Země a geografických informačních systémů.

- **Lidar** (z angl. *LI*ght *D*etection *A*nd *R*anging) – nově vyvíjený způsob snímání povrchu zemského, založený na vyhodnocování odrazů laserového paprsku od něj a od objektů na něm se nacházejících, včetně vegetačního krytu. Vývoj těchto zařízení stále ještě probíhá. Některé firmy sice již nabízejí tuto službu i komerčně, ale ceny jsou zatím tak vysoké, že se využití této techniky stále ještě omezuje jen na velice speciální případy. Jakmile bude tato technologie komerčně dostupná za přijatelnou cenu, umožní například velice rychlou tvorbu 3D modelů zástavby, modelů krajiny včetně vegetace apod. Přesnost a rozlišení těchto měření jsou taková, že umožňují tvorbu velice



Obr. II.2.3 *Digitální model reliéfu (grid o straně buňky 10 m) odvozený z vrstevnic z mapy v měřítku 1: 24 000 [197].*



Obr. II.2.4 *Tatáž oblast jako na obr. II.2.3, tentokrát nasnímaná zařízením lidar. Na obrázku jsou dobře patrné detaily reliéfu terénu, zachycené i přes vegetační kryt (viz obr. II.2.5) [197].*



Obr. II.2.5 Letecký snímek oblasti z obr. II.2.4 a II.2.5 [197].

přesných modelů reliéfu. Na obr. II.2.3 a II.2.4 můžeme vidět srovnání reliéfu získaného zařízením lidar s reliéfem odvozeným z vrstevnic z mapy v měřítku 1:24 000 [197]. Na obr. II.2.5 je zachyceno stejné území na leteckém snímku. Ze srovnání prvních dvou obrázků je patrné, že i přes vegetační kryt je možné získávat velice detailní informace o reliéfu terénu. Na obr. II.2.6 je ukázka snímku pořízeného zařízením lidar v okolí řeky Váh na Slovensku. Pro srovnání je uveden i letecký snímek stejné oblasti. Z obou obrázků je patrné, že snímek lidar poskytuje daleko detailnější informace o území. Ze snímku jsou například dobře patrné dřívější průběhy koryta řeky Váh.

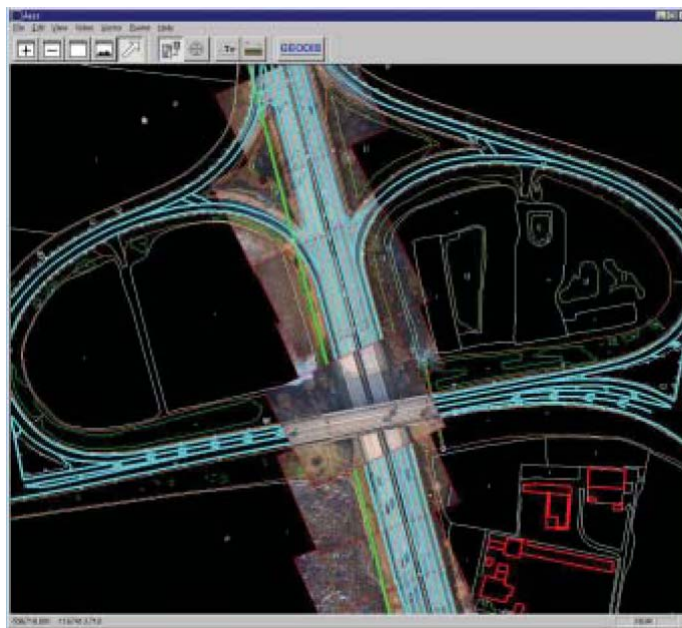
- **Videometrie** – zcela nová technologie, využívající možností digitálních videokamer. Kamerou umístěnou na letadle je nasnímán pás území pod letadlem. Pořízený videozáznam je možné zpracovávat běžnými metodami digitálního videa do formy různých výstupů, prezentací, dokumentací skutečného stavu krajiny a objektů v ní se nacházejících. Současně s videozáznamem se pořizuje i záznam aktuální polohy letadla pomocí přijímače GPS včetně času a jsou generovány synchronizační pulsy, zaznamenávané do videozáznamu. Po letu je k jednotlivým časovým údajům dopočítána aktuální poloha letadla. Díky tomu je pak možné propojit videozáznam s digitální mapou snímané oblasti. Z videosekvence je navíc možné vyjmout jednotlivé snímky a ty umístit přímo do digitální mapy (viz obr. II.2.7) [68]. Ještě mnohem dál jdou autoři projektu VideoGIS [176], jejichž cílem je vytvoření datové struktury pro

obrázek 12

Obr. II.2.6 Srovnání leteckého snímku a snímku lidar (snímky publikovány se souhlasem firmy Geodis Brno, s.r.o.).

ukládání videozáznamů, která jim umožní procházet prostřednictvím mapy nasnímané oblasti.

- **Radar** – svého času byl radar umístěný na družicových a leteckých nosičích považován za velice slibnou technologii, která měla umožnit například tvorbu velice přesných digitálních modelů reliéfu rozsáhlých oblastí (obr. II.2.8). I když radarové snímky toto očekávání nenaplnily v plném rozsahu, je v současné době možné z těchto snímků vyhodnocovat například změny reliéfu vlivem zemětřesení (obr. II.2.10) nebo eroze půdy, rozsahy zaplavených oblastí apod. Radarová data jsou běžně komerčně dostupná a producenti programového vybavení pro DPZ nabízejí i moduly zaměřené na jejich vyhodnocování. Problémem však je, že vlastní zpracování radarových dat je velice náročné, závislé na znalosti celé řady faktorů, které snímání záznamu ovlivňují. Nespornou výhodou však je nezávislost na počasí v oblasti snímání.
- **Družice s vysokým prostorovým, spektrálním i časovým rozlišením** – první komerční družicí této třídy je IKONOS 1, který poskytuje snímky s



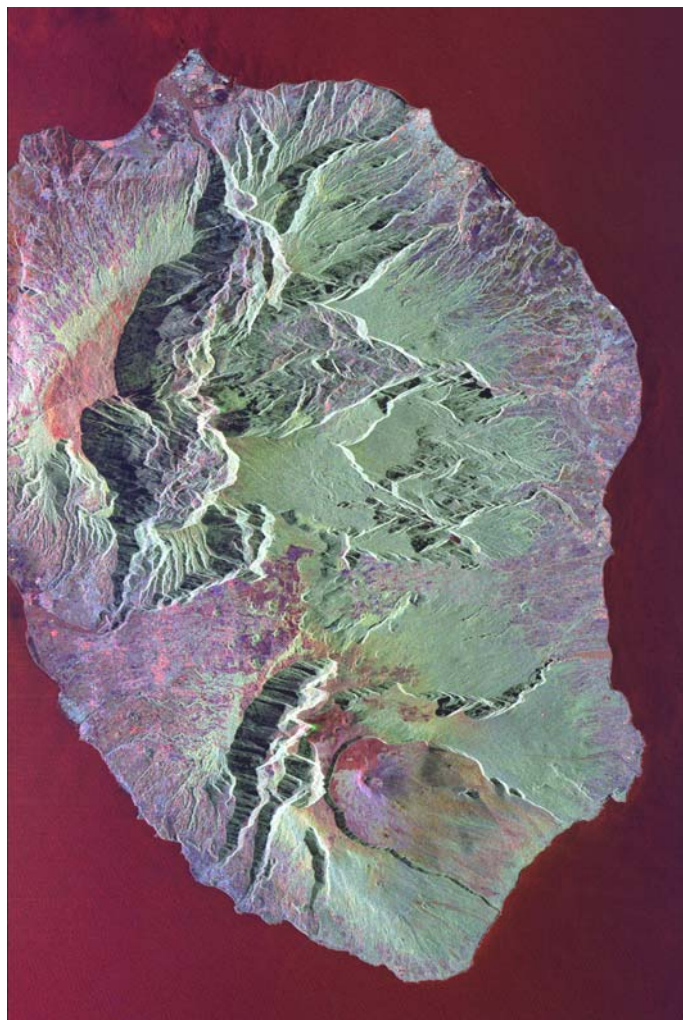
Obr. II.2.7 Ukázka výstupů videometrie (převzato z [68]).

prostorovým rozlišením 1 m v panchromatickém a 5 m v multispektrálním provedení. Další úspěšnou družicí je nedávno vypuštěný QuickBird, který má prostorové rozlišení špičkově až 61 cm pro panchromatické a 244 cm pro multispektrální snímky (viz obr. II.2.9). Rovněž spektrální rozlišení družic se zvyšuje a proto se začíná mluvit i o hyperspektrálních snímcích, kde je záznam tvořen sérií záznamů velice úzkých spektrálních pásem. Značného pokroku bylo dosaženo i v oblasti časového rozlišení, např. výše zmíněná družice QuickBird je schopna opakovaně nasnímat stejné území co 1 až co 3.5 dne. Toto může být zajímavé při velkých živelných pohromách.

A bylo by možné uvést ještě další příklady. Společným jmenovatelem všech těchto technologií je rostoucí dostupnost geodat za přijatelnou cenu, v dobré kvalitě a s vynikajícím prostorovým, časovým a případně i spektrálním rozlišením. Díky tomu roste využitelnost geodat v běžném životě, stále častěji se objevují aplikace určené nikoliv pro úzce vymezenou skupinu specialistů, nýbrž pro běžné uživatele z řad obyvatelstva.

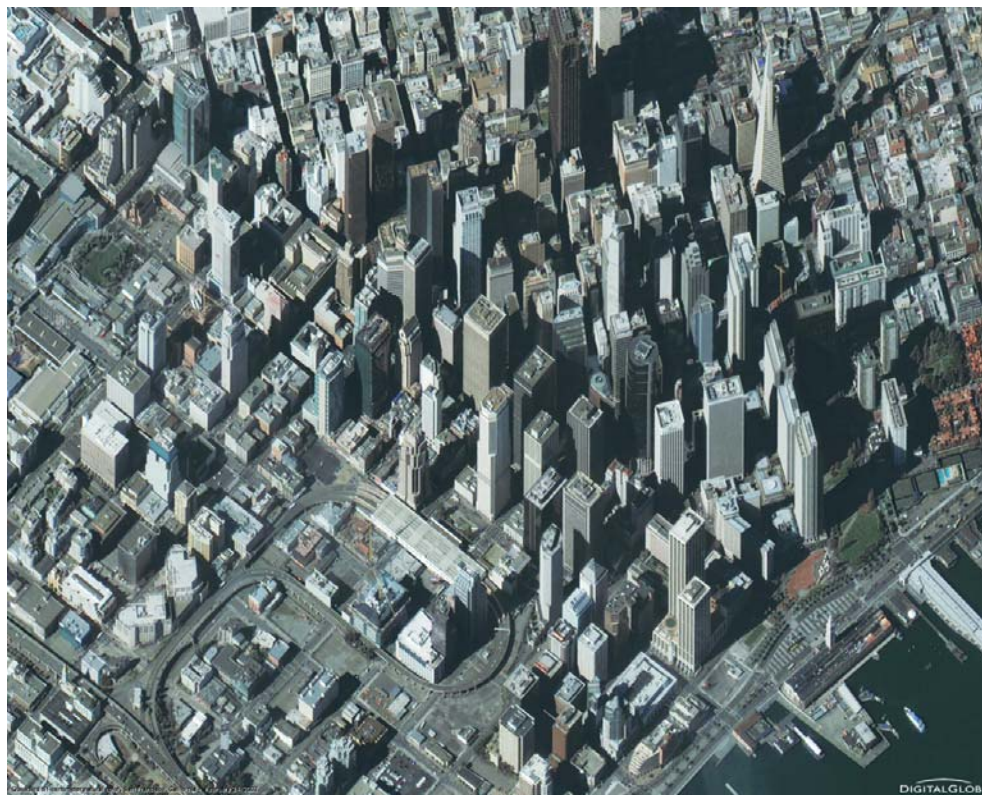
2.3.4 Geoweb

Rozvoj služby WWW (World Wide Web) přinesl především možnost zpřístupnění informací velkému počtu potenciálních uživatelů. Geoinformatika a geoinformační technologie nemohly zůstat stát mimo hlavní proud informační dálnice, vedoucí



Obr. II.2.8 Ukázka dat pořízených radarem umístěným na umělé družici Země. Obrázek zachycuje reliéf terénu sopečného ostrova Reunion Island, nacházejícího se 700 km na východ od Madagaskaru. Původní data byla pořízena 5.10.1994 z paluby raketoplánu Endeavour [221].

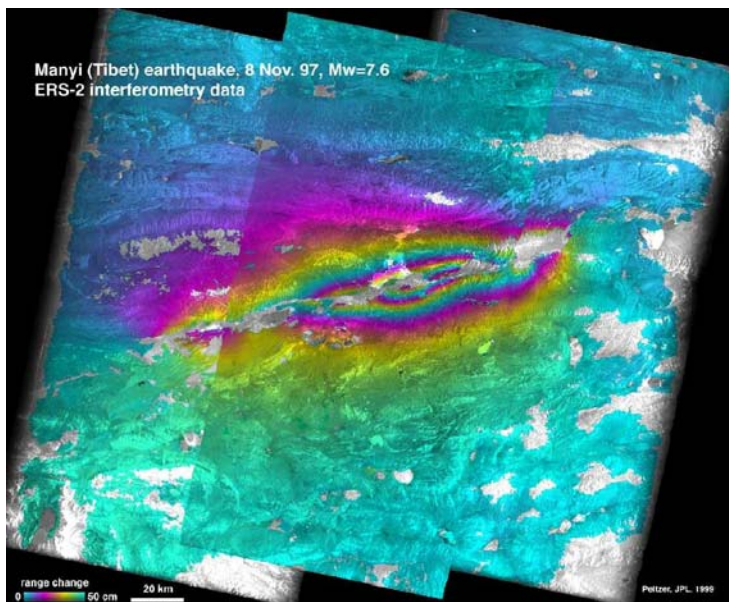
přes Internet a především službu WWW (která se konec konců využívá i v prostředí intranetu). Proto byly vyvinuty technologie a postupy, které umožňují zpřístupnění geodat v prostředí webu. Celá tato oblast je označována jako geoweb. Zpřístupnění a analýza geodat prostřednictvím webu minimalizuje náklady na vybavení počítačů koncových uživatelů a umožňuje tak rozšířit jednoduchým způsobem počty těchto uživatelů. Často zmiňované mapové servery jsou jednou ze součástí geowebu. Mapové servery předzpracovávají geodata pro publikování v prostředí webu. Technologická základna pro budování prezentací geodat v prostředí webu je dnes velmi bohatá. Na obr. II.2.11 je uvedena ukázka aplikace ArcExplorer, umožňující vy-



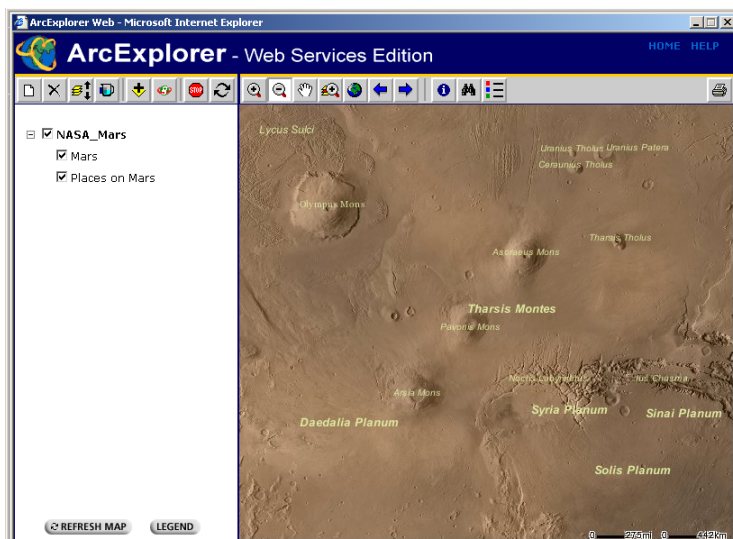
Obr. II.2.9 Snímek města San Francisco v Kalifornii, pořízený 24. února 2002 družicí QuickBird. Snímek byl pořízen jako šikmý s vychýlením 42 stupňů od nadiru, v pravých barvách, s prostorovým rozlišením 61 cm. (Snímek publikován s laskavým svolením společnosti DigitalGlobe (www.digitalglobe.com) [198], [229]).

tváření map z dat publikovaných na Internetu prostřednictvím mapového serveru ArcIMS a jejich vizualizaci. Oba programy vyvinula firma ESRI. Na obr. II.2.12 je ukázka obdobné aplikace GeoMedia Web Map firmy Intergraph.

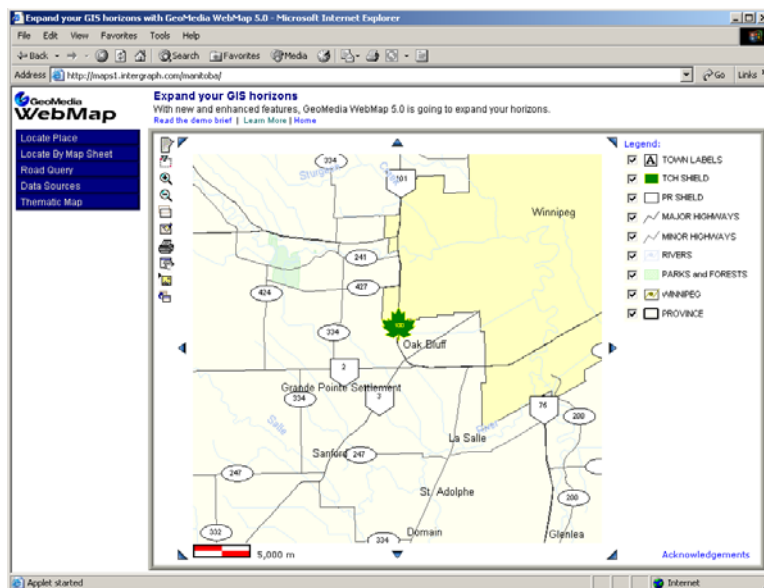
Zatím méně rozsáhlé možnosti se dnes nabízejí v oblasti analyzování prostorových dat v prostředí webu. Určité nedostatky a omezení dnes existují v oblasti integrace těchto prezentací s vybudovanými aplikacemi GIS a metainformačními systémy. I v této oblasti však probíhá bouřlivý vývoj zaměřený na vybudování systému standardů, umožňujících integraci různých aplikací [210]. Jedná se například o standardy již zmíněného konsorcia OpenGIS WMF (angl. Web Map Feature), WFS (angl. Web Feature Specification), GML (angl. Geography Markup Language) a další.



Obr. II.2.10 Ukázka interpretace dat pořízených radarem umístěným na umělé družici Země. Obrázek zachycuje výsledky interferometrického vyhodnocení změn reliéfu v oblasti Manyi v Tibetu, ke kterým došlo v důsledku zemětřesení 8.11.1995. (Jedna úplná posloupnost barevné škály reprezentuje výškovou změnu 50 cm) [191].



Obr. II.2.11 Ukázka prostředí programu ArcExplorer, určeného k prohlížení map na Internetu. (Ukázka prohlížení mapy Marsu [5]).



Obr. II.2.12 Ukázka prostředí programu GeoMedia Web Map, určeného k prohlížení map na Internetu. (Ukázka prohlížení mapy státu Manitoba [69]).

2.3.5 Služby založené na znalosti polohy uživatele

Služby založené na znalosti polohy uživatele (angl. Location Based Services – LBS) vycházejí z jednoduchého principu: pomocí prostředků komunikační sítě mobilního operátora je možné určovat polohu mobilních telefonů s přesností řádově až na první desítky metrů. Při tak přesné znalosti polohy mobilního telefonu můžeme uživateli nabídnout celou řadu služeb, které mohou v určitých situacích výrazně usnadnit orientaci v neznámém prostředí.



Obr. II.2.13 Ukázka aplikace LBS – nalezení nejkratší trasy v silniční síti. Vlevo a uprostřed zadávání výchozího a cílového bodu, vpravo zobrazení nalezené trasy v silniční síti (převzato z [170]).

Příkladem mohou být služby poskytované některými mobilními operátory, které umožňují, aby se uživatel dotázal například na nejbližší hotel nebo nejkratší trasu v silniční síti a systém v tom nejjednodušším případě odpoví zasláním SMS zprávy s požadovanou informací, v lepším případě i graficky znázorní výsek mapy s vyznačenou trasou (viz obr. II.2.13). To vše vyžaduje, aby uživatel měl k dispozici vhodný telefon a předplacenou tuto službu. V okamžiku, kdy bude do mobilního telefonu integrován malý počítač s grafickou obrazovkou a přijímač GPS, výrazně se rozšíří možnosti poskytovaných služeb. Ale to se již dostaneme k jiné třídě aplikací, které je věnován následující odstavec.



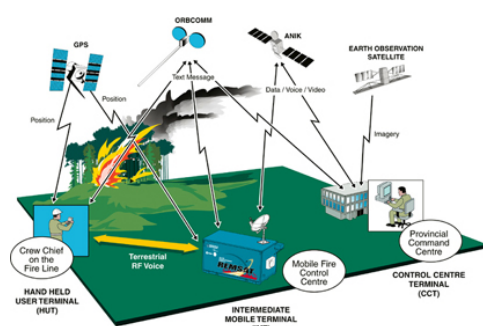
Obr. II.2.14 Ukázka mobilního velitelského stanoviště s kontejnerem systému REMSAT [218].

2.3.6 Mobilní geoinformační technologie

Jak již bylo uvedeno v úvodu, jsme dnes svědky bouřlivého rozvoje moderních informačních a komunikačních technologií, které umožňují uživateli, aby se odpoutal od své židle a svého počítače, opustil svoji kancelář a přitom neztratil kontakt se svým geografickým informačním systémem. Rozvíjí se moderní telematika, družicové systémy určování polohy, moderní metody získávání geodat (viz výše). Lidé si díky tomu stále naléhavěji uvědomují prostorovou dimenzi zpracovávaných dat a informací, prostorovou dimenzi svého jednání a rozhodování, prostorovou dimenzi svého bytí na planetě Zemi. Díky tomu vzrůstá jejich zájem o technologie, umožňující vhodným způsobem „uchopit“ tuto prostorovou dimenzi a odpovídajícím způsobem s ní pracovat prakticky kdykoliv a kdekoliv. V tom jim mohou být nápomocny právě moderní mobilní geoinformační technologie.

V principu se jedná o integraci následujících komponentních technologií:

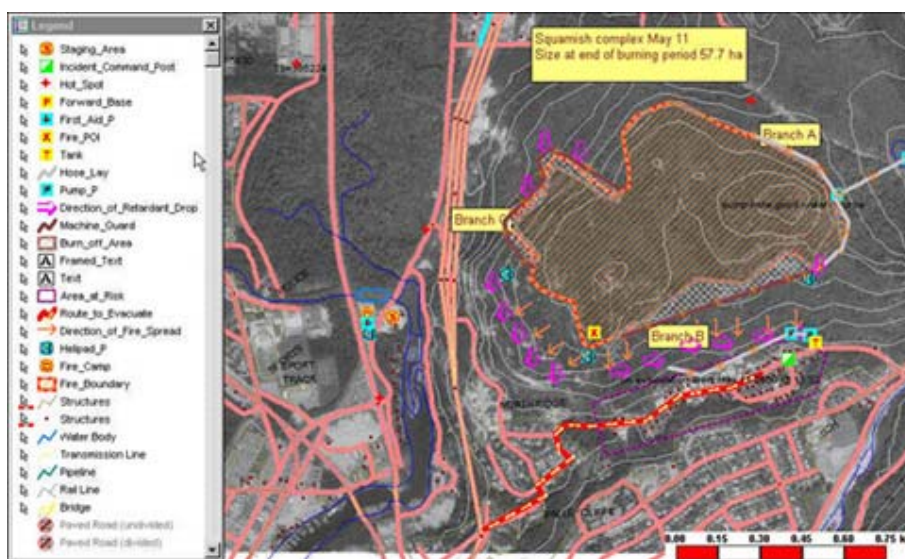
- mobilní telefon,



(a)



(b)



(c)

Obr. II.2.15 Systém REMSAT: a – celková koncepce, b – vybavení hasičů v terénu, c – ukázka aktuálního družicového snímku se zakreslenou situací (komunikace, rozmístění jednotek, oblast požáru) [218].

- malý přenosný počítač (palmtop),
- přijímač GPS,
- programové vybavení pro GIS,
- geodata.

Jedním ze sektorů, kde se v poměrně blízké budoucnosti očekává nejbouřlivější vývoj, z větší části právě díky mobilním geoinformačním technologiím, je oblast volného času. Segment trhu pokrývající tuto oblast brzy přinese širokou škálu no-



Obr. II.2.16 Model vrtulníku osazený digitální kamerou s on-line přenosem obrazu na zem.

vých produktů a služeb, vycházejících ze skutečnosti, že není problém kdykoliv a kdekoliv určit polohu zákazníka, být s ním v trvalém spojení, poskytnout mu terminál velikosti mobilního telefonu, v reálném čase ho zásobovat potřebnými geodaty, pomáhat mu při orientaci v neznámém prostředí a v případě, že se dostane do nesnáží, vyrozumět o tom záchranné služby spolu s udáním jeho přesné polohy. První prototypy těchto služeb již existují: jedná se o dříve zmíněné služby založené na znalosti polohy uživatele.

Jinou oblastí, která je velice perspektivní z hlediska využívání mobilních geoinformačních technologií, jsou záchranné služby. Mobilní geoinformační technologie mohou výrazně přispět k vyšší rychlosti a kvalitě zvládnutí krizových situací, ale i k větší bezpečnosti zasahujících jednotek i jednotlivců. Záchranné služby přitom budou s největší pravděpodobností využívat komplexní systémy, založené jednak na klasických geoinformačních technologiích (GIS, geodatabáze, dálkový průzkum Země, družicová komunikace apod.) a jednak na mobilních geoinformačních technologiích. Příkladem může být projekt REMSAT (angl. Real-Time Emergency Management via Satellite) [56], zaměřený na vývoj mobilního velitelského stanoviště, které bude schopné zajistit jednotkám zasahujícím v rozsáhlé oblasti (například při lesních požárech, povodních nebo velkých průmyslových haváriích apod.) při-

sun potřebných informací (včetně aktuálních družicových snímků) a komunikaci s centrálním dispečinkem na straně jedné a se zasahujícími jednotkami v terénu na straně druhé, včetně průběžného sledování jejich aktuální polohy (obr. II.2.14 a II.2.15).

Na obr. II.2.16 je ukázka jiného využití mobilních geoinformačních technologií v oblasti záchranných služeb, ale i mapování apod. Model vrtulníku je osazen digitální kamerou s on-line přenosem obrazového signálu na zem. Dále bude vybaven i digitálním fotoaparát a přijímačem GPS. Bude ho možné využít pro pozorování jinak nepřístupných nebo nebezpečných oblastí s možností vedení po předem dané trase a snímkování zadaných míst.

Další oblastí, kde se mobilní geoinformační technologie začínají rovněž v masovém měřítku šířit, je povrchová těžba nerostných surovin. MGIT se zde využívají jednak ke sledování pohybu těžké techniky (bagry, dumpery, rypadla, vrtné stroje), jednak k optimalizaci přepravy skrývky a vytěžené suroviny velkobjemovými dumpery a jednak i k prevenci kolizních situací při pohybu velkých dopravních prostředků (obr. II.2.17).



(a)



(b)

Obr. II.2.17 Ukázka zařízení pro předcházení kolizím při přepravě materiálu na povrchovém dole velkobjemovými dumpery. Na levém obrázku je ukázka obrazovky zařízení signalizujícího přiblížení k jinému dumperu [182]. Vpravo je ukázka nehody způsobené nepozorností řidiče a nevyužíváním tohoto zařízení.

2.3.7 Obecnější pohled

O uvědomování si rostoucího významu geoinformací, geoinformačních technologií a geoinformatiky na národní i mezinárodní úrovni svědčí celá řada přijatých (a postupně realizovaných) dokumentů a programů. Jmenujme alespoň některé příklady:

1. materiál nazvaný „Národní geoinformační infrastruktura ČR“,
2. rámcové programy Evropské unie,
3. iniciativa Evropské unie označovaná zkratkou INSPIRE,
4. další mezinárodní iniciativy.

Ad 1) Materiál „Národní geoinformační infrastruktura ČR“ (NGII) [180] vypracovalo sdružení Nemoforum za významného přispění České asociace pro geoinformace a následně ho dne 6.9.2001 schválila Rada vlády pro státní informační politiku jako podklad pro aktualizaci Akčního plánu realizace státní informační politiky. Hlavní okruhy národní geoinformační infrastruktury jsou v tomto materiálu definovány takto:

- existence Programu rozvoje NGII a jeho všeobecné přijetí orgány veřejné správy a profesní samosprávy,
- vytváření NGII ve vazbě na související evropské a světové iniciativy,
- koordinace a spolupráce subjektů působících v oblasti geomatiky a geoinformatiky,
- technické podmínky pro zpracovávání a zpřístupňování geodat a geoinformací,
- organizační, legislativní, finanční a další podmínky pro dostupnost geodat a geoinformací,
- základní datové fondy (datové báze) geodat,
- informovanost o dostupných datových fondech geodat, jejich zdrojových místech a podmínkách dostupnosti,
- standardní přenosové formáty geodat a jejich souborů, standardní popis datových fondů, terminologie v oblasti geomatiky a geoinformatiky,
- kvalifikace odborných pracovníků z oblasti geomatiky a geoinformatiky,
- znalostní úroveň uživatelů z široké veřejnosti umožňující využití nových možností a dostupnosti geodat a geoinformací.

Pro každý z výše uvedených hlavních okruhů jsou v materiálu dále specifikovány konkrétní cíle, kterých je potřebné dosáhnout a projekty nebo opatření, která vedou k jejich zabezpečení.

Ad 2) Jedním ze základních prioritních směrů výzkumu v rámci šestého (ale i rozvíjejícího se sedmého) rámcového programu Evropské unie jsou i technologie pro informační společnost (angl. Information Society Technologies – IST) a v rámci nich jsou vnímány jako neopomenutelné i geoinformační technologie. Tato skutečnost se promítla například i do CPA 3 (angl. Cross-Programme Action 3), nazvané „Využívání geoinformací“, kde byly v rámci 6. výzvy pro podávání projektů definovány tyto konkrétní priority [124]:

- Vývoj a ověřování geoinformačních technologií, včetně dynamického prostředí, interaktivní 3D-4D vizualizace, kombinace a analýza geoinformací, realistické vizualizace.
- Techniky pro poskytování datových služeb a programových komponent založených na standardizovaném rozhraní, které může být znovu použito a integrováno do budoucích aplikací.
- Návrhy, vývoj, ověřování a demonstrace LBS a mobilních služeb používajících geoinformace, včetně GPS a DPZ, pevných i mobilních komunikačních technologií, pokročilých snímačů, velkých databází, inteligentních agentů a bohatého multimediálního obsahu.
- Experimentování s novými obchodními modely produkce, distribuce a používání prostorových dat v masových obchodních aplikacích.
- Zlepšování přístupnosti, použitelnosti a využitelnosti geoinformací se zaměřením na interoperabilitu metadat, standardy, sémantické a ontologické problémy s kompatibilitou.
- Podpora vytváření evropské prostorové datové infrastruktury a společného prostorového referenčního systému, příspěvek ke globálním iniciativám jako je Global Monitoring for Environment and Security (GMES; [80]), Geographic Information Network in Europe (GINIE; [77]), The Infrastructure for Spatial Information in Europe (INSPIRE; [114] – viz dále), ve spojení s existujícími národními a mezinárodními aktivitami se zapojením národních mapovacích služeb a dalších.

Ad 3) K výzhamným evropským iniciativám patří výše zmíněná směrnice EP a EK známá pod zkratkou INSPIRE [115], [104]. Cílem této směrnice je poskytnout větší množství kvalitních prostorových dat v první řadě pro oblast životního prostředí, později s možností rozšíření i na jiné oblasti (zemědělství, doprava, energetika apod.). Jak se píše v důvodové zprávě, „navrhovaná směrnice vytváří právní rámec pro vybudování a provozování evropské prostorové informační infrastruktury, která bude sloužit pro účely přípravy, uplatňování, sledování a hodnocení politik Společenství na všech úrovních a pro poskytování veřejných informací“ [115]. Přijetí této směrnice by mohlo významným způsobem napomoci dalšímu rozšiřování aplikací geoinformačních technologií nejen v oblasti veřejné správy a životního prostředí, ale obecně v různých oblastech života obyvatel Evropské unie.

Ad 4) Z dalších mezinárodních iniciativ, zabývajících se napomáhání rozšiřování bezproblémového využívání geodat a geoinformací, lze jmenovat alespoň následující:

- Global Spatial Data Infrastructure (GSDI; [89]) – mezinárodní iniciativa zabývající se budováním globální infrastruktury pro prostorová data,
- Open Geospatial Consortium (OGC; [186]) – bylo ustaveno v roce 1994 jako neziskové mezinárodní sdružení firem, organizací, institucí a univerzit (celkem má dnes více než 230 členů) zaměřené na vývoj specifikací rozhraní pro prostorová data, které budou volně přístupné pro globální užití; nosným programem je v současné době OGC Interoperability program [186],
- International Organization for Standardization (ISO; [120]) – mezinárodní organizace zabývající se mimo jiné i tvorbou mezinárodních norem pro oblast geoinformací, geoinformatiky i geoinformačních technologií.

Význam přikládáný geoinformatice a geoinformačním technologiím pro blízkou budoucnost lze dokumentovat i konkrétními příklady a čísly. Například v oblasti informačních jednotek pro auta se pro rok 2003 odhaduje celosvětový trh na 3 – 5 mld. USD [298]. Jiným příkladem může být Evropskou unií budovaný družicový navigační systém GALILEO. Některé studie uvádějí, že v průběhu deseti let vygeneruje tento systém obrát v oblasti výrobků, služeb, nových produktů a technologií ve výši 190 miliard USD [263], tj. téměř 20 miliard EUR ročně [65]. Dalším zajímavým příkladem je iniciativa administrativy prezidenta USA George W. Bushe, [240] zaměřená na tvorbu nových pracovních příležitostí. Jednou ze tří oblastí, které administrativa označila za nejperspektivnější z hlediska tvorby nových pracovních míst v příštím desetiletí byla právě oblast geoinformačních technologií! Některé prameny uvádějí, že zatímco v roce 2004 dosáhne objem trhu v této oblasti v celosvětovém objemu 5 mld. USD, již pro rok následující se očekává nárůst na 25-30 mld. USD [140].

Kapitola 3

Data, informace, znalosti, geodata, geoinformace

Tato kapitola je věnována výkladu základních pojmů, se kterými budeme v dalším textu pracovat. Některé z nich jsou všeobecně známé a hojně používané i v denním životě, jiné však zatím do širokého povědomí nevstoupily.

3.1 Údaje, data, informace, znalosti

Dříve než se začneme zabývat novými pojmy, jako jsou například prostorová data, bude vhodné si vyjasnit mnohem běžnější pojmy údaj, data a informace. V dalším textu se budeme držet především výkladu, který byl zařazen do Výkladového slovníku CAGI pro oblast geoinformatiky [209].

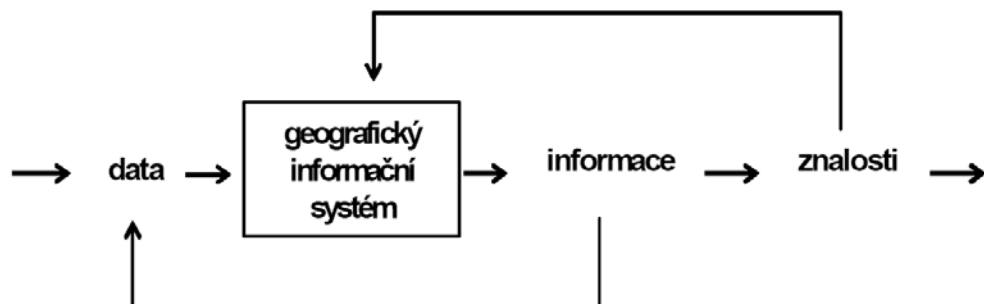
Údaj je z hlediska popisu reálného světa v informačních systémech pravděpodobně nejobecnějším pojmem. Je zde definován takto:

Údaj je základní jednotkou informačního obrazu (popisu) objektu reálného světa, zaznamenanou zpravidla v *neformalizované* podobě.

Data jsou definována jako **reprezentace skutečností, pojmů nebo instrukcí (návodů, pokynů) ve *formalizované* podobě vhodné pro komunikaci, interpretaci a zpracování lidmi nebo automatickými prostředky.**

Obdobně *informace* jsou zde definovány jako **smysluplná interpretace dat a vztahů mezi nimi.**

Vidíme, že údaje jsou považovány za obecnější pojem, data představují podmnožinu údajů, pro kterou je charakteristický formalizovaný zápis umožňující počítačové zpracování.



Obr. II.3.1 *Data, informace, znalosti, jejich vzájemný vztah a vztah k informačnímu systému [208].*

Případně lze vztah mezi daty a informacemi definovat i tak, jak je uvedeno v ČSN 36 9001 [37]:

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

Význam datům přiřazujeme na základě svých znalostí. A naopak – na základě získaných informací tyto své znalosti zpřesňujeme, resp. získáváme nové.

O informacích je možné mluvit ve dvou významových rovinách. Buďto je to ve významu zprávy, která přináší příjemci něco nového nebo za informaci považujeme jakýkoliv údaj poskytnutý příjemci [276]. I když první přístup je z hlediska teoretického správnější, v praxi běžně převládá přístup druhý. Je to dáno tím, že je obvykle problematické definovat, do jaké míry je skutečně obsah sdělení pro příjemce novinkou.

Vztah mezi daty, informacemi a znalostmi v geoinformačních systémech je znázorněn na obr. II.3.1.

Obecně to, co vkládáme do geoinformačního systému a co pomocí tohoto systému zpracováváme, bude dále označováno pojmem *data* (viz např. [276]). Výsledky zpracování těchto dat 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. A dále platí, že výstupní informace odvozujeme v geoinformačním systému ze vstupních dat na základě dosavadních znalostí. Při další práci se získanými informacemi může zpracovatel odvodit nové znalosti, které mohou být opět promítnuty do geoinformačního systému a ovlivnit tak získávání nových informací ze vstupních dat.

Příklad: Máme k dispozici dvě databáze. V jedné máme uložena data o průměrných ročních teplotách pro různá místa na povrchu zemském, v druhé data o rozložení typické flóry a fauny v různých oblastech Země.

Zpracováním těchto dat s využitím znalostí o prostorové interpolaci 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. Nyní můžeme zjistit předpokládanou roční průměrnou teplotu prakticky pro kterékoliv místo na Zemi. Jejich společnou interpretací (založenou na využití 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: víme, že mezi průměrnou roční teplotou v daném místě a výskytem typické flóry a fauny existuje silná závislost. Na základě hodnoty průměrné roční teploty v daném místě nyní můžeme usuzovat na výskyt typické flóry a fauny v téže oblasti.

V souvislosti s daty se dnes hojně používá i pojem *metadata*. V [209] jsou metadata definována jako *data o datech nebo datových sadách*. Je to definice velice zjednodušená, ale dobře vystihující podstatu problému. Obsáhlejší definice může vypadat takto [258]:

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 data, která potřebuje uživatel k tomu, aby byl schopen požadovaná data (nebo datovou sadu) *nalézt, získat a použít* odpovídajícím způsobem, tj. aby se předešlo 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 dat 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.

Metainformace (resp. metadata o informacích) budou blíže popisovat příslušné informace: kvalitu dat, použitých pro jejich získání, kvalitu procesů, vedoucích k jejich získání, použité algoritmy apod. tak, aby uživatel těchto informací mohl získat představu o tom, jak s nimi lze nakládat, na co lze z těchto informací usuzovat, jaké znalosti je možné z nich odvodit.

Metaznalosti (resp. metadata o znalostech) budou obdobně blíže popisovat vlastní znalosti, kvalitu informací, použitých pro jejich odvození, kvalitu procesů, vedoucích k jejich odvození, použité algoritmy apod., tak aby uživatel – osvojitel těchto znalostí mohl získat představu o tom, jak s nimi lze nakládat.

3.2 Prostorová data

Jak již bylo zmíněno v definici geoinformačních technologií, tyto pracují se zvláštním typem dat, a to daty prostorovými. Definice pojmu prostorová data existuje celá řada, např. v [161] je uvedena tato:

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 polohy 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, poloha míst, k nimž se vztahují, 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 uvažované úrovni rozlišení lokalizace dat (tj. 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 poloze v prostoru, ale i na jejich úrovni rozlišení a požadavcích konkrétní aplikace. Ale je také zřejmé, že pokud data neobsahují *žádný* (byť i nepřímý) údaj o poloze a poloha 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 *prostorová reference* (angl. georeference). V ideálním případě jsou touto prostorovou referencí přímo souřadnice (v prostoru, na mapě), ale většinou se jedná o údaj, který určuje polohu 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. geodata). 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.

Z norské studie Kvantif [13], ale i z dalších studií vyplývá, že 50 až 80 % dat zpracovávaných veřejnou správou resp. jí přijímaných rozhodnutí je prostorové povahy. Dále z těchto průzkumů vyplývá, že hlavní uživatelé geodat, jako je stavitelství, veřejná správa, zemědělství, lesnictví a další správci přírodních zdrojů, telekomunikace, doprava, rozvodné sítě, atd. vynakládají na geodata 1.5 až 2 % svých rozpočtových prostředků. Celkově vynakládají průmyslově vyspělé země na geodata průměrně 0.5 % hrubého národního produktu ročně a rozvojové země 0.1 % [13].

Geodata mohou být rozdělena do dvou základních skupin [260]:

- *základní geodata* (v širším slova smyslu), která jsou nezbytná pro většinu aplikací geoinformačních technologií,
- *aplikačně závislá geodata*, která jsou specifická pro konkrétní aplikaci.

3.2.1 Základní geodata

Základní geodata se dnes vymezují dvěma způsoby:

- jako tzv. *referenční geodata* (angl. reference data; např. [215]),
- jako tzv. *geodata společného základu* (angl. core data; např. [44]).

Referenční geodata

V rámci projektu ETeMII (viz [52]) bylo konstatováno, že koncept *referenčních geodat* vychází ze dvou základních myšlenek [53]:

- jedná se o sérii datových sad, které používá každý uživatel geodat a geoinformačních technologií pro prostorové referencování svých vlastních geodat,
- tyto datové sady poskytují obecné prostorové propojení mezi různými aplikacemi a poskytují tak vhodný nástroj pro sdílení znalostí a informací mezi lidmi.

V [215] autoři dále zdůraznili, že referenční geodata jsou užívána jako společný základ, umožňující referencovat tematická (resp. aplikačně závislá) geodata.

Referenční geodata musí splňovat následující funkční požadavky:

- umožňovat *jednoznačnou lokalizaci* informací uživatele,
- umožňovat bezproblémové spojování (integraci) geodat z různých zdrojů a od různých poskytovatelů,
- poskytovat kontext, který umožní jiným uživatelům lépe porozumět prezentovaným informacím.

Měla by se skládat z následujících komponent [215]:

- geodetická referenční geodata,
- administrativně-správní jednotky,
- parcely a budovy (hranice vlastnických jednotek),
- adresy,
- vybraná topografická témata (vodstvo, doprava, výškopis),
- ortofotosnímky,
- geografické názvy.

V podmínkách České republiky mohou být příkladem referenčních geodat data ZABAGED (Základní báze geografických dat) poskytovaná Českým úřadem zeměměřičkým a katastrálním (ČÚZK) nebo data DMU-25 (Digitální model území 1:25 000) poskytovaná Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem (VGHMÚř). Nicméně jejich struktura neodpovídá výše uvedeným požadavkům v plném rozsahu.

Měřítko (resp. prostorové rozlišení) je závislé na úrovni použití referenčních geodat. V tab. II.3.1 jsou uvedeny rozsahy prostorového rozlišení a rozsahy měřítek tak, jak byly navrženy v [215].

Pro jednotlivé úrovně měřítek jsou v [215] uvedeny i předpokládané doby potřebné pro jejich pořízení:

- 3 roky pro malá měřítka a k těmto datům vztažená metadata,
- 6 roků pro střední měřítka a k těmto datům vztažená metadata,
- 10 roků pro velká měřítka a k těmto datům vztažená metadata.

Geografická úroveň	Rozsah prostorového rozlišení	Úroveň měřítka	Rozsah měřítek
evropská	> 100 m	malá měřítka	< 1:250.000
národní	~ 25 m	střední měřítka	1:100.000 ~ 1:250.000
regionální	~ 10 m	střední měřítka	1:25.000 ~ 1:50.000
lokální	< 2.5 m	velká měřítka	> 1:25.000

Tab. II.3.1 Rozsahy prostorového rozlišení a rozsahy měřítek pro jednotlivé úrovně referenčních geodat [215].

Geodata společného základu

V případě geodat společného základu se uplatňuje jiný konceptuální přístup. Jádro, které je srdcem, centrální částí, fundamentální částí, může být také považováno za společný denominátor všech datových sad geodat, vzhledem k tomu, že je používáno většinou aplikací. Je zřejmé, že takovýto přístup se do značné míry blíží pojetí referenčních dat.

Geodata společného základu je míněna „sada geodat nezbytných pro optimální užívání většiny aplikací geoinformačních technologií, tj. geodat která představují dostatečnou (prostorovou) referenci pro většinu prostorově vztahovaných dat“ [44]. Základní geodata tak mohou zahrnovat daleko nižší počet geoprvků nezbytných pro prezentaci daného tématu.

Tato geodata by měla být volně sdílena všemi uživateli, aby byl zajištěn společný lokalizační základ pro všechny aplikace a byly minimalizovány náklady spojené s tvorbou a údržbou základních geodat.

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

3.2.2 Aplikačně závislá geodata

Aplikačně závislá geodata pokrývají všechny ostatní oblasti geodat, 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.

3.2.3 Geografická data

Geografická data jsou definována různými způsoby. V [209] je uvedena následující definice:

Geografická data jsou data vztahující se k předmětu geografie.

V [26] je uvedena definice poněkud odlišná:

Geografická data jsou data týkající se fenoménů přímo nebo nepřímo svázaných s místy vztahujícími se k povrchu Země.¹⁾

Tato definice je velice blízká definici geodat, jak byla uvedena výše. V dalším textu se budeme v případě geografických dat držet první z uvedených definic a v případě, že budeme mluvit obecně o datech, vztahujících se k Zemi, budeme upřednostňovat pojem geodata.

3.3 Význam geodat a geoinformací

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 [260]. Správní orgány nejrůznějších úrovní a stupňů používají geodata 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 geodata pro sledování a řízení těchto sítí. Obchodníci používají geodata spolu s ekonomickými daty pro určování optimálních zásobovacích tras, vyhledávání potenciálních trhů, geomarketing apod. Správci dopravní infrastruktury používají geodata 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 geodata používána při odhadu výnosů a návrhu strategií řízení. V sektoru služeb geodata využívají například poradenské firmy při návrzích na zvýšení efektivnosti obchodní činnosti, nebo poskytování služeb pro dopravu, turistiku apod. Při statistických šetřeních jsou geodata využívána při analýzách prostorově závislých společenských jevů, jako jsou kriminalita, zdravotní stav, kvalita bydlení, věkové, profesní i jiné složení populace apod. Geodata 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.

¹⁾Odlišnost těchto dvou definic odráží pravděpodobně odlišnost chápání pojmu geografie u nás a ve světě. U nás se klade rovnítko mezi pojmy geografie a zeměpis, zatímco ve světě je pod pojmem geografie myšleno vše, co se vztahuje k Zemi. Odsud asi pramení celá řada terminologických nepochopení.

Geoinformační systémy dovolují nejenom to, aby byla všechna geodata 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.).

Okruh lidí a institucí zainteresovaných na sběru a zpracování geodat rychle narůstá a stejně tak 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. a rozrůstá se i trh s prostředky pro analýzu a vizualizaci těchto dat.

Geodata a s nimi spojené služby budou v krátké době jedním z určujících faktorů rozvoje zemské civilizace.

Kapitola 4

Prostor, různé koncepce prostoru

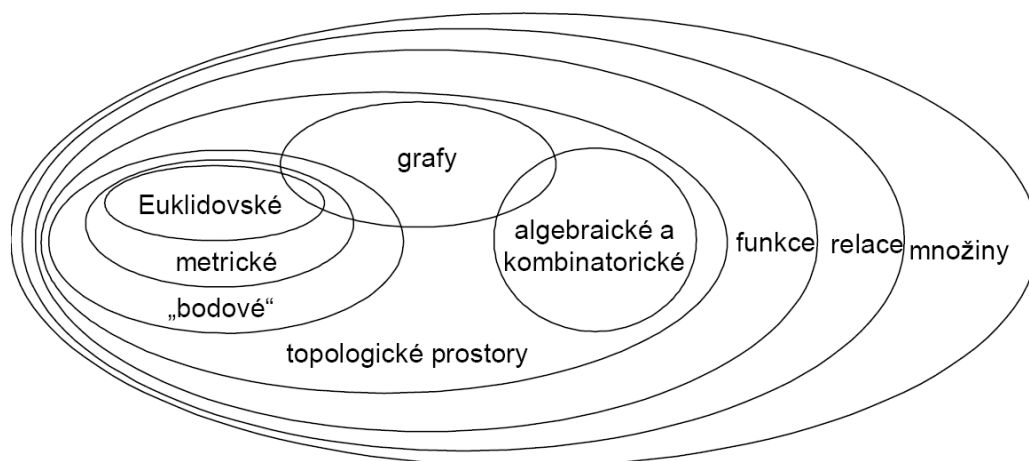
Definovat pojem prostor je velice obtížné. Samo pojetí prostoru je velice široké, sahá na jedné straně od reálného fyzikálního prostoru (tedy prostoru, který známe ze svých každodenních zkušeností) až po abstraktní prostor na straně druhé. Ten je běžně definován jako množina prvků, která má některé výrazné 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. V tomto případě budeme pracovat v tzv. *topologickém prostoru* a budeme využívat nástrojů *teorie grafů* – viz odst. II.4.2.4.

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 formalizace nezbytná [141].

4.1 Historie vývoje pojetí prostoru

Náročnost pochopení pojmu prostor lze velice dobře dokumentovat stručnou historií vývoje pojetí prostoru, tak jak je zachycena v tab. II.4.1 [64].

Z hlediska geoinformatiky je velice významnou právě posledně zmíněná myšlenka v tab. II.4.1: dualita pojetí prostoru jako kontinuálního pole resp. množiny diskretních objektů. V praxi to znamená, že se na prostor díváme buďto jako na *spojitý prostor*, v němž je definována (nekonečná) množina míst (nebo též množina bodů), ke kterým se vztahují hodnoty sledovaných (negeometrických) vlastností tohoto



Obr. II.4.1 Hierarchické členění matematických prostorů [3].

prostoru nebo jako na diskretní prostor, tvořený (konečnou) množinou objektů reálného světa, které mají explicitně vyjádřenu svoji polohu v prostoru, geometrické vlastnosti, topologické vztahy a teprve k těmto objektům reálného světa jsou vztaženy negeometrické vlastnosti.

Dualita našeho pojetí prostoru má fundamentální dopad na geoinformatiku a na prostorové modelování a analýzu obecně. To se odráží mimo jiné v reprezentaci prostoru v geoinformačních systémech, kde se běžně používají dva základní přístupy

427-347 př. n. l.	Platon uvádí, že vše může být redukováno na jednotlivé částice – tělesa pohybující se v prostoru.
384-322 př. n. l.	Aristoteles definuje prostor jako systém vztahů mezi materiálními objekty. To znamená, že poloha v prostoru je vlastností objektů. Všechny objekty jsou lokalizovány v prostoru, což je podmínkou jejich existence. Prostor je konečný.
450-380 př. n. l.	Euklides uvádí, že prostor je invariantní a skládá se ze vztahů mezi objekty.
1564-1642	Galileo uvádí, že prostor může být prázdný.
1596-1650	Descartes naproti tomu uvádí, že prostor není nikdy prázdný (díky svému těsnému vztahu k objektům). A dále uvádí, že jedinou věcí, kterou můžeme s určitostí vědět o objektech, jsou jejich geometrické vlastnosti. Hlavním atributem jakéhokoliv objektu je, že se nachází v prostoru.
1642-1727	Pro Newtona jsou prostor (a čas) určitým pozadím, na němž může být měřena dynamika fyzických objektů.
1879-1955	Einstein zavedl relativitu prostoru (a času).
současnost	Conlelis zavedla koncepci duality pole/objekt.

Tab. II.4.1 Nástin historie vývoje pojetí prostoru [64].

[64]:

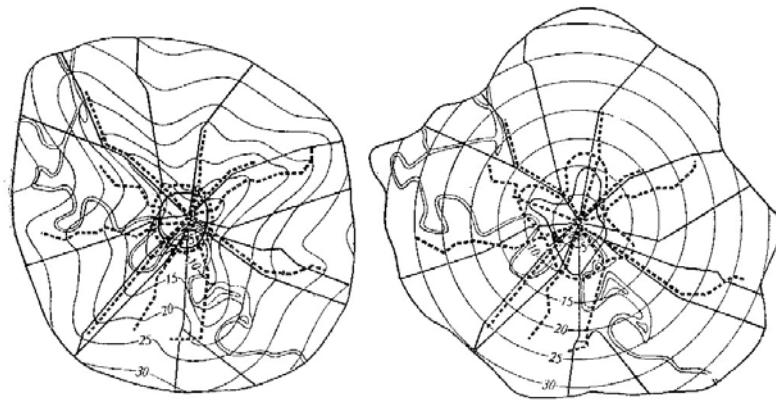
- prostor je definován jako *množina míst*, jimž jsou přiřazeny negeometrické vlastnosti (tj. pojetí „kontinuální“ – pole), nebo
- je prostor definován jako *množina objektů* (tj. pojetí diskrétní – objekty) majících prostorové vlastnosti (jako je tvar, poloha, topologie apod.) i negeometrické vlastnosti.

Bližší se s těmito dvěma základními přístupy seznámíme v kap. III.4 věnované datovým modelům používaným v geoinformatice.

Dualita může být samozřejmě rozšířena i na pojetí času (časového prostoru). Tomuto problému se budeme blíže věnovat v kap. II.8 a II.9.

4.2 Matematické prostory

Na obr. II.4.1 je schematicky znázorněno hierarchické členění matematických prostorů, tak jak je uvedeno v práci [3]. Na nejnižší úrovni je zde položeno pojetí prostorů jako množin objektů, které jsou bez jakékoliv vnitřní struktury. Uvnitř těchto množin je možné definovat pouze jednoduché vztahy typu členství.



Obr. II.4.2 Mapa izochron (vlevo původní mapa, znázorňující časovou dostupnost terénu z centra; vpravo tatáž mapa transformovaná tak, aby izochrony byly reprezentované soustřednými kružnicemi (kruhová anamorfóza; převzato z [277]).

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. II.4.1 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, je definováno *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. II.4.2.5). *Euklidovský prostor*, stojící na špici naší hierarchie, zavádí poslední důležitou vlastnost, a tou je *směr*.

Koncepce prostoru v geoinformačních systémech není jednoduchá a plně využívá oné výše naznačené šíře. Tyto systémy 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 geoinformačních systémů 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. Takové geoinformační systémy se obvykle označují jako 2.5D. Jen malá část z nich je schopná pracovat s geoprvkem zadanými všemi třemi souřadnicemi. Jedná se o „pravé“ třírozměrné (3D) systémy. Nicméně ani tyto geoinformační 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 geoinformačních 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 izoliny času, potřebného na cestování z výchozího bodu do daného místa (viz obr. II.4.2). 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.

Jiným příkladem mohou být analýzy typu „Najdi v síti silnic nejkratší 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“, kde, jak uvidíme dále, neexistuje žádný souřadnicový systém a neměří se zde vzdálenosti (jsou-li zapotřebí, zadávají se jako parametry – viz ohodnocené grafy dále).

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

Výše uvedené skutečnosti lze shrnout následovně:

Geoinformační 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 prováděny 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 geoinformační systémy mají takovéto transformace zabudované v potřebném rozsahu. Příkladem může být výše uvedená mapa izochron. Ne každý geoinformační systém má k dispozici potřebné nástroje pro provedení takovéto kruhové anamorfózy.

4.2.1 Množiny

Pojetí prostoru na této úrovni je obvykle obtížně pochopitelné. V tomto případě samozřejmě nemluvíme o žádných souřadnicích a vzdálenostech, nýbrž jen o příslušnosti k určité množině objektů. Než si budeme moci vyložit více, musíme se nejprve seznámit alespoň se základy *teorie množin*.

Základy teorie množin

Množinou A budeme rozumět sadu dobře definovaných konkrétních objektů a_i , které z našeho pohledu tvoří určitý celek; tyto objekty budeme označovat jako prvky této množiny [252]. Symbolicky můžeme tento vztah zapsat například takto:

$$a_i \in A$$

tj. „ a_i je prvkem množiny A “. Pokud prvek b do dané množiny nepatří, napíšeme

$$b_i \notin A$$

tj. „ b_i není prvkem množiny A “.

Množina může být definována dvěma způsoby:

- explicitně,

- implicitně.

Explicitní definicí množiny budeme rozumět uvedení úplného výčtu všech prvků množiny. Matematický zápis vypadá takto:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\} = \{a_i\}$$

kde $i = 1$ až n .

Explicitně lze definovat pouze *konečné množiny* (tj. množiny s konečným počtem prvků).

Implicitní definicí množiny budeme rozumět zápis určité charakteristické vlastnosti nebo podmínky, které vyhovují všechny prvky patřící do dané množiny. Například množina B je tvořena všemi přirozenými čísly většími než nula. Matematický zápis vypadá v tomto případě takto:

$$B = \{b | b \in Z, \wedge b > 0\}$$

kde Z je množina všech přirozených čísel.

Tento zápis umožňuje definovat i *nekonečné množiny* (množiny s nekonečným počtem prvků).

Příkladem explicitní definice množiny může být množina všech krajských měst:

Krajská_Města = Praha, České Budějovice, Plzeň, Karlovy Vary, Liberec, Ústí n. Labem, Hradec Králové, Pardubice, Olomouc, Ostrava, Zlín, Brno, Jihlava

Příkladem implicitního zápisu množiny může být množina všech měst české republiky:

Města_ČR = {město | město leží v ČR}

nebo množina měst České republiky, která mají více než 10.000 obyvatel:

Velká_Města_ČR = {město | město leží v ČR \wedge město > 10.000}

Prvkem množiny může být i jiná množina, a dokonce i prázdná množina (viz dále). Např. zápis:

$$A = \{a_1, a_2, \{b_1, b_2\}, \emptyset\}$$

znamená, že množina A má celkem čtyři prvky: prvky a_1 a a_2 , dvouprvkovou množinu b_1, b_2 a prázdnou množinu \emptyset .

Počet všech prvků množiny A nazýváme *kardinalitou množiny A* a matematicky ji zapisujeme symbolem $|A|$.

Zaveďme si dále označení (x,y) pro tzv. *uspořádanou dvojici prvků x a y* [?]. V tomto případě tedy záleží na pořadí prvků x a y . Podobně lze definovat obecně uspořádanou n -tici prvků x_1, x_2, \dots, x_n , kterou označíme (x_1, x_2, \dots, x_n) .

Vztahy mezi množinami

Mezi množinami lze definovat následující vztahy:

- *Ekvivalence*: pro každý prvek množiny A platí, že je současně prvkem množiny B a naopak. Matematický zápis:

$$A = B \Leftrightarrow \forall x \in A \text{ platí, že } x \in B \text{ a naopak}$$

- *Podmnožina*: množina A je podmnožinou množiny B , pokud pro každý prvek x množiny A platí, že je současně prvkem množiny B ; naopak to ale platit nemusí. Pokud navíc ještě platí, že $A \neq B$, mluvíme o *pravé podmnožině*.

$$A \subseteq B \Leftrightarrow (x \in A \Rightarrow x \in B) \forall x \in A$$

$$A \subset B \Leftrightarrow A \subseteq B \wedge A \neq B \text{ (pravá podmnožina)}$$

- *Tranzitivnost*: je-li A podmnožinou B a B je podmnožinou C , je i A podmnožinou C . Matematický zápis:

$$A \subseteq B \wedge B \subseteq C \Rightarrow A \subseteq C$$

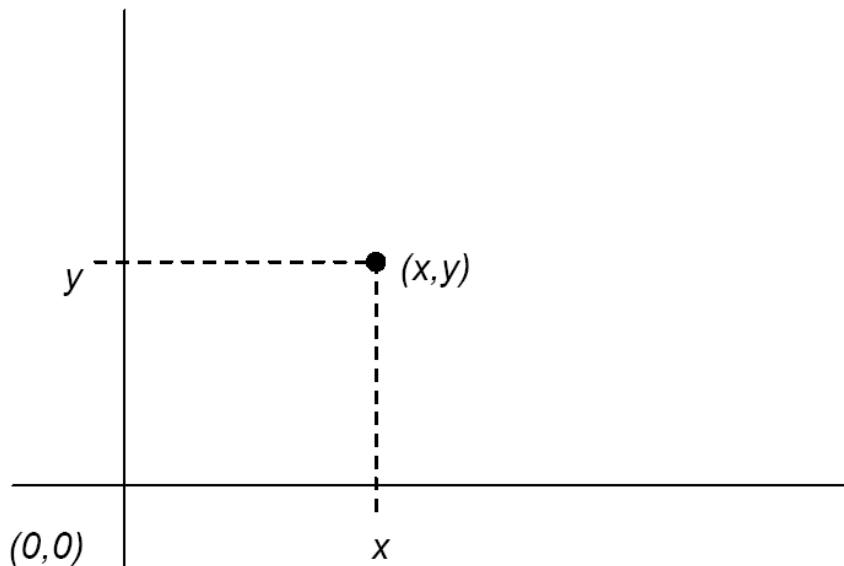
Speciální případy množin

Uvedeme si tři nejběžnější případy speciálních množin:

- *Prázdná množina* je množina, která nemá žádný prvek. Je jediná a je podmnožinou všech množin (tedy i sebe sama). Matematický zápis:

$$\emptyset = \{\}$$

- *Potenční množina* množiny A je množina, obsahující všechny podmnožiny množiny A . Matematický zápis:



Obr. II.4.3 Geometrická interpretace kartézského součinu [?].

$$P(A) = \{X | X \subseteq A\}$$

- *Kartézský součin* $A \times B$ je množina všech uspořádaných dvojic (x,y) pro které platí, že $x \in A$ a $y \in B$. Matematický zápis:

$$A \times B = \{(x,y) | x \in A \wedge y \in B\}$$

Obecným případem je kartézský součin libovolného počtu různých množin, např. $A \times B \times C$. Zvláštním případem je kartézský součin definovaný nad stejnou množinou, např. $A \times A \times A$, který je možné zapsat i ve tvaru A^3 a který se také někdy nazývá *kartézská mocnina* [41].

Název kartézský součin pochází z geometrické interpretace: když $X = Y = R$, potom $X \times Y = R^2$ můžeme interpretovat jako všechny body roviny, a v tomto případě x a y jsou (kartézské) souřadnice bodu (x,y) roviny (viz obr. II.4.3) [?]. Obdobně lze definovat i třírozměrný prostor jako kartézskou mocninu R^3 .

Množinové operace

Nad množinami lze definovat následující množinové operace:

- *Průnik*:

$$A \cap B = \{x | x \in A \wedge x \in B\}$$

Mezi množinami A a B neexistuje průnik (jsou *disjunktní*), pokud

$$A \cap B = \emptyset$$

- *Sjednocení:*

$$A \cup B = \{x | x \in A \vee x \in B\}$$

- *Rozdíl:*

$$A \setminus B = \{x | x \in A \wedge x \notin B\}$$

- *Doplněk* (zvláštní případ rozdílu, kdy množina B je podmnožinou množiny A):

$$B' = A \setminus B = \{x | x \in A \wedge x \notin B \wedge B \subseteq A\}$$

Některé zákony aplikovatelné na množinové operace

Na množinové operace lze aplikovat mimo jiné i následující zákony:

- *Zákon komutativní:*

$$A \cap B = B \cap A$$

$$A \cup B = B \cup A$$

- *Zákon asociativní:*

$$(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$$

$$(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$$

- *Zákon distributivní:*

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$$

Prostor množin

V tomto případě je prostor, v němž se můžeme pohybovat, dán prvky resp. podmnožinami dané množiny, resp. množinami jako takovými. Polohu geopravku vyjadřujeme buďto příslušností do dané množiny, nebo ztotožněním s prvkem dané množiny.

Příklad: Mějme množinu všech měst České republiky a dále podmnožiny hlavních měst, krajských měst, okresních měst, měst nad 10.000 obyvatel apod. Tato množina a její podmnožiny představují prostor měst České republiky. Pokud tedy budeme chtít pracovat s městy, provádět s nimi různé analýzy apod., budeme se vždy pohybovat jen v rámci tohoto prostoru.

4.2.2 Relace

Opět si nejprve uvedeme základní informace o relacích.

Co je to relace

Relace R je množina uspořádaných dvojic. Jsou-li A a B množiny, nazývá se libovolná podmnožina kartézského součinu $A \times B$ relací R mezi A a B [?]. Relace je matematickým vyjádřením vztahu mezi množinami A a B .

Podmnožinu [252]

$$R \subseteq A \times B$$

kartézského součinu dvou množin $A \times B$ nazýváme *binární relací* R mezi množinami A a B . Náleží-li tedy uspořádaná dvojice (a, b) relaci R , tj.:

$$(a, b) \in R$$

říkáme také, že a a b jsou v relaci R . Zapisujeme ji také ve tvaru

$$aRb$$

Relace může být obecně podmnožinou kartézského součinu n množin. Číslo n v tom případě nazýváme *aritou* relace R [41]. V případě binární relace je arita rovna dvěma.

Příklad: „<“ je binární relací v R^2 : $(x,y) \in „<“$ nebo také $x < y$ [252]

Příkladem může být také ternární relace (tj. relace mezi třemi množinami) „vzdálenost mezi městy“, definovaná na kartézském součinu $Město \times Město \times R^{+1}$), jehož podmnožinou může být tabulka zaznamenávající vzdálenosti mezi městy, tak jak ji známe například z autoatlasu (viz. tab. II.4.2).

Binární relace na množině je relace, která je podmnožinou druhé kartézské mocniny této množiny. Je-li například A množinou všech lidí, lze vztah mezi rodiči a dětmi popsat pomocí relace $R \subset A^2$. Prvky této relace budou všechny uspořádané dvojice (x, y) , kde x a y jsou lidé a y je potomkem x .

Příkladem mohou být binární relace „příbuzenské vztahy“ definované na kartézském součinu $Člověk \times Člověk$, jako jsou „být matkou“, „být otcem“, „být synem“ apod.

Vlastnosti relací

Relace mohou mít celou řadu vlastností. Patří k nim [252], [41]:

- *Reflexivnost:*

¹⁾ R^+ znamená množinu všech kladných reálných čísel (vzdálenost mezi dvěma městy nemůže být záporná).

Ostrava					
Olomouc	100				
Zlín	120	50			
Brno	160	60	50		
Jihlava	200	60	110	40	
	Ostrava	Olomouc	Zlín	Brno	Jihlava

Tab. II.4.2 Tabulka jízdních vzdáleností měst jako podmnožina kartézského součinu $Město \times Město \times R^+$.

$$aRa \quad \forall a \in A$$

např. „ \leq “ je reflexivní.

- *Symetrie*:

$$aRb \leftrightarrow bRa \quad \forall a, b \in A$$

např. „ $=$ “ je symetrické.

- *Antisymetrie*:

$$aRb \wedge bRa \rightarrow a = b \quad \forall a, b \in A$$

např. „ \leq “ je antisymetrické.

- *Tranzitivnost*:

$$aRb \wedge bRc \rightarrow aRc \quad \forall a, b, c \in A$$

např. „ $<$ “ je tranzitivní. S ohledem na výskyt těchto vlastností pak můžeme rozlišovat některé speciální typy relací. Například relace R je **ekvivalencí**, když je reflexivní, symetrická a tranzitivní. Pojem ekvivalence je střešový pro všechny pojmy vyjadřující stejnost, podobnost, izomorfismus apod. [?].

Řekněme, že R je relací ekvivalence na množině A a a je libovolný prvek množiny A . Označme symbolem $R[a]$ množinu všech prvků b , které jsou ekvivalentní s a . $R[a]$ označuje množinu

$$R[a] = \{b | aRb\}$$

$R[a]$ se nazývá *třída ekvivalence* R určená prvkem a .

To znamená, že v rámci množiny lze definovat *třídy ekvivalence* nebo též *ekvivalenční třídy* (angl. class separations). Ekvivalenční třídy jsou vzájemně disjunktní a jejich sjednocením je celá množina A . Takovouto soustavu podmnožin nazýváme *rozkladem množiny* A na třídy ekvivalence R .

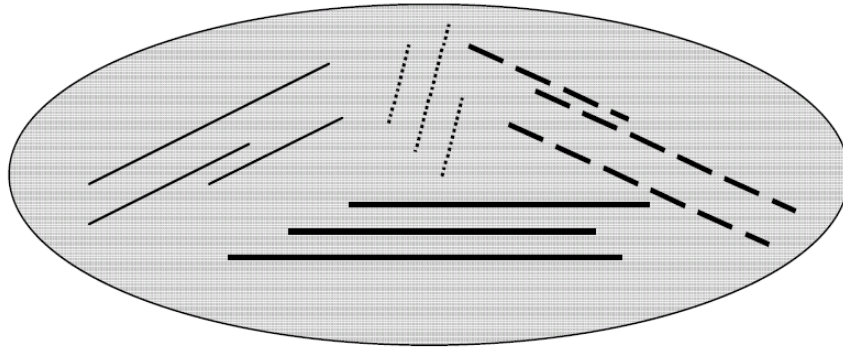
Pro každou ekvivalenci R na A platí [?]:

1. $R[a]$ je neprázdná množina pro každý prvek $a \in A$,

2. pro každé dva prvky a, b z množiny A platí buď že $R[a] = R[b]$ nebo $R[a] \cap R[b] = \emptyset$,
3. třídy ekvivalence jednoznačně popisují relaci R .

Příkladem ekvivalence na množině lidí je relace „mít stejnou krevní skupinu“ [41].

Příklad: „paralelní“ je relací ekvivalence na množině všech přímek v jedné rovině; tato ekvivalence je definována vlastností „rovnoběžnost“ a jejím výsledkem je rozklad množiny přímek na třídy rovnoběžných přímek (obr. II.4.4) [252].



Obr. II.4.4 Ukázka tříd ekvivalence – tříd rovnoběžných přímek – definovaných v rámci množiny všech přímek.

Relace R je *uspořádáním*, když je reflexivní, antisymetrická a transitivní. Jedná se o relaci „ \leq “. Tato relace je důležitá pro třídění dat dle velikosti.

Prostor relací

Prostor relací nás v tomto případě neomezuje na určitou množinu objektů, nýbrž na existující vztahy (relace) mezi množinami. Prostor, v němž se můžeme v tomto případě pohybovat, je tedy dán všemi relacemi (tj. podmnožinami kartézského součinu), které umožňují vyjádřit vztah mezi dvěma (nebo i více) danými množinami.

Příklad: S prostorem relací pracují například relační databázové systémy.

4.2.3 Funkce

Funkce je speciálním případem *zobrazení* do množiny čísel. Funkce je obecný pojem, ale v tomto textu budeme pod ním rozumět *reálné funkce*, které jsou zobrazením do množiny *reálných čísel*.

Zobrazení

Zobrazením budeme chápat předpis f , který každému prvku dané množiny A přiřazuje *právě jeden* prvek dané množiny B . Můžeme také říct, že zobrazení f zobrazuje množinu A do množiny B . Matematický zápis:

$$f : A \rightarrow B$$

Množinu A nazýváme *definičním oborem* a množinu B *oborem hodnot* zobrazení f . Prvek b množiny B , který je zobrazením f přiřazen prvku a z množiny A , označujeme $f(a)$ a nazýváme ho *obrazem prvku a* v zobrazení f .

Zobrazení $f : A \rightarrow B$ můžeme definovat také jako relaci

$$f \subseteq A \times B$$

která splňuje dodatečnou podmínku, že pro každý prvek $a \in A$ existuje právě jeden prvek $b \in B$ takový, že

$$(a, b) \in f$$

resp.

$$afb.$$

Prostor funkcí

Prostor, v němž se můžeme v tomto případě pohybovat, je dán všemi funkcemi resp. zobrazeními, které umožňují zobrazování prvků jedné dané množiny na prvky druhé dané množiny.

Například v prostoru tvořeném všemi kartografickými zobrazeními, která umožňují zobrazit množinu bodů, reprezentujících zemský povrch, na množinu bodů, reprezentujících rovinu mapy, můžeme vybírat to, které odpovídá našim aktuálním požadavkům.

4.2.4 Topologický prostor. Grafy

Topologie je matematická disciplína, která studuje vzájemné prostorové vztahy geometrických objektů. V [92] se uvádí, že se topologie „zabývá spojitostí v nejširším slova smyslu“, resp. že „topologie je prostředek pro vyjádření spojitosti“.

Pro topologii je typické, že nepracuje se souřadnicemi těchto objektů. Někdy se jí také říká „geometrie bez souřadnic“ (angl. rubber sheet geometry) [93]. Studuje prostorové vztahy objektů, které mohou být definované nezávisle na souřadnicovém systému. Pracuje tedy s tzv. *topologickým prostorem*. V oblasti geoinformatiky se pojmem topologie označují zpravidla přímo prostorové vztahy geoprvků.

Pro geoinformatiku má topologie jako matematická disciplína zvláštní význam: s její pomocí mohou být daleko snáze analyzovány a vizualizovány různé typy systémů, jako jsou obecné prostorové datové struktury a vztahy, komplexní ekologické podmínky, dopravní sítě apod. [252]. V geoinformatice standardně pracujeme jen s topologií nejvýše dvourozměrných geoprvků, reprezentovaných body, liniemi a polygony. Řešení topologie třírozměrných geoprvků je stále ještě příliš obtížné na to, aby bylo zvládnutelné v rozumném čase i při použití dnešních relativně výkonných počítačů.

V každém moderním geoinformačním systému je znalost topologie zaznamenaných geoprvků nezbytným předpokladem pro úspěšné zvládnání požadavků uživatelů. Např. má-li geoinformační systém poskytnout odpověď na otázku „Které parcely leží v okolí silnice XY v obci Z_i“ 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 nezbytná.

bod leží	<ul style="list-style-type: none"> ▪ na koncovém bodu linie (uzlu) – koincidence ▪ na hranici polygonu ▪ uvnitř polygonu ▪ vně polygonu
linie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ nekříží sebe sama ▪ dotýká se polygonu ▪ protíná polygon
polygon je	<ul style="list-style-type: none"> ▪ jednoduchý / komplexní
dva polygony	<ul style="list-style-type: none"> ▪ se dotýkají ▪ se protínají (překrývají) ▪ jsou disjunktní

Tab. II.4.3 Příklady prostorových vztahů geoprvků [64].

Prostorové vztahy geoprvků

Příklady *prostorových vztahů* geoprvků jsou uvedeny v tab. II.4.3. V zásadě se řeší vzájemné prostorové vztahy bodů, přímků a polygonů. Ty mohou být velice komplikované. Například v [266] je uvedeno celkem 26 topologických vztahů, do nichž mohou body, linie a polygony vstupovat a které jsou postihnutelné v ArcGIS firmy ESRI, a v [?] je uvedeno dokonce 52 topologických vztahů, definovaných v normě ISO 19125.

Tyto vztahy se vyhodnocují pomocí *topologických operací*, které pracují v topologickém prostoru a nevyžadují znalost souřadnic geoprvků. Vedle zjišťování výše uvedených prostorových vztahů se jedná například i o zjišťování konektivity, sousednosti, souvislosti apod.

Pro ilustraci lze uvést i příklady netopologických operací [64]:

- měření/počítání vzdáleností,
- azimut z jednoho bodu k druhému,
- plocha polygonu,
- apod.

Pro tyto operace je typické, že se opírají o znalost souřadnic geoprvků a nepracují proto v topologickém prostoru, nýbrž zpravidla v prostoru Euklidovském.

Graf

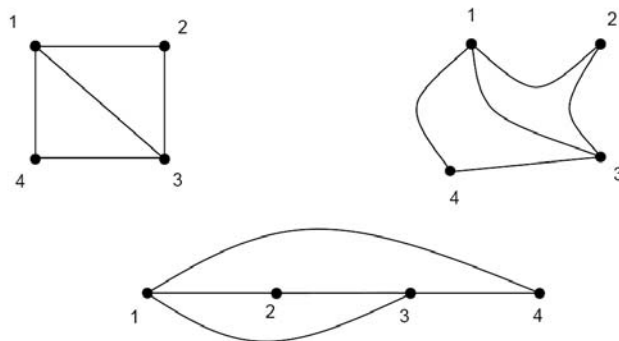
Prostorové vztahy geoprvků jsou často studovány s pomocí *teorie grafů* [286], [145], [252], [41].

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 spojníc. 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 mezi nimi. Například grafy na obr. II.4.5, ač vypadají různě, vyjadřují zcela totožnou informaci. O takových grafech se říká, že jsou *homomorfní*.

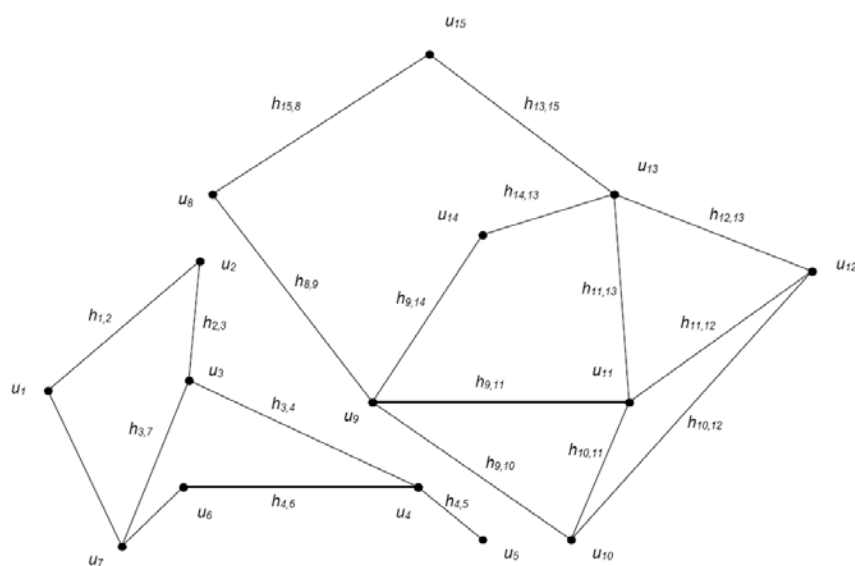
Množinu všech uzlů obvykle označujeme symbolem U

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

kde



Obr. II.4.5 Příklad homomorfních grafů.



Obr. II.4.6 Příklad grafu [208].

u_i – i -tý uzel (viz. obr. II.4.6).

Množinu všech hran označujeme symbolem H

$$H = \{h_{ij}\}$$

kde

h_{ij} – hrana spojující uzly u_i a u_j (viz. obr. II.4.6)

Pokud $i = j$, pak tuto hranu nazýváme *smyčkou*. Při studiu topologie v geoinformačních systémech nebudeme pracovat se smyčkami.

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 podmnožinu množiny všech možných hran, které mohou v grafu existovat.

Dva *uzly* jsou *přilehlé*, jsou-li koncovými uzly jedné hrany. Říkáme o nich, že jsou *incidentní* s touto hranou, resp. že tato hrana je incidentní s těmito uzly.

Graf, v němž jsou všechny dvojice uzlů přilehlé, se nazývá *grafem úplným*.

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

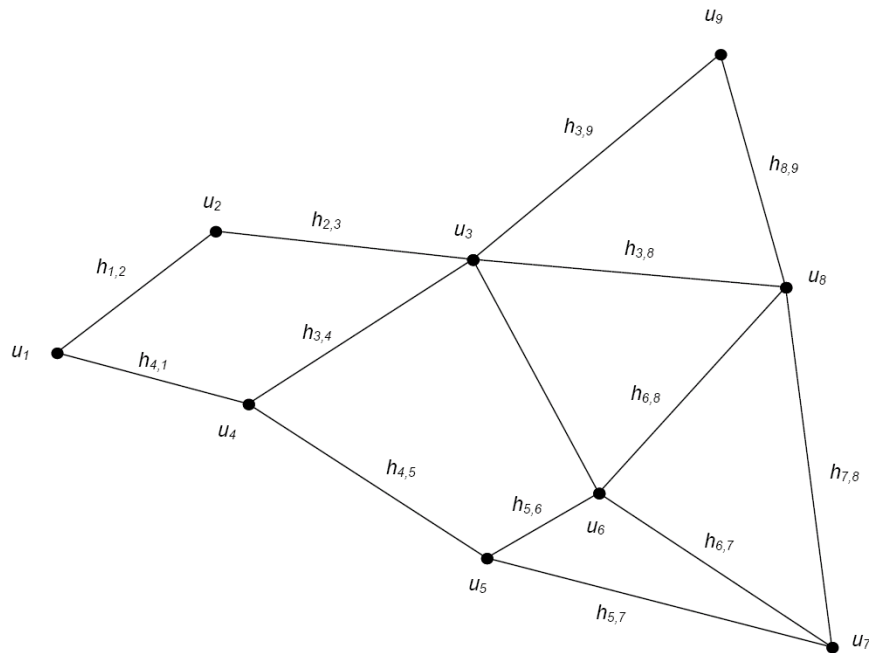
Pokud hranám přisoudíme jednoznačný směr, označujeme je jako *orientované hrany* a graf jako *orientovaný graf*. Při řešení problémů topologie budeme pracovat výhradně s orientovanými grafy. Proto v dalším výkladu budeme pod pojmem graf rozumět automaticky graf orientovaný.

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.

Sledem označujeme posloupnost vrcholů a hran pro níž platí, že následující hrana začíná v uzlu, v němž končí hrana jí v této posloupnosti předcházející. Pokud je v posloupnosti hran a uzlů respektována orientace hran (hrany jsou orientovány pouze ve směru sledu), říkáme, že tento *sled* je *orientovaný*. V případě *neorientovaného sledu* na orientaci hran nezáleží.

Příklad: V grafu silniční sítě s jednosměrnými ulicemi se smí auto



Obr. II.4.7 Ukázka souvislého grafu [208].

pohybovat jen podle orientovaných sledů, zatímco chodci se mohou pohybovat i podle neorientovaných sledů.

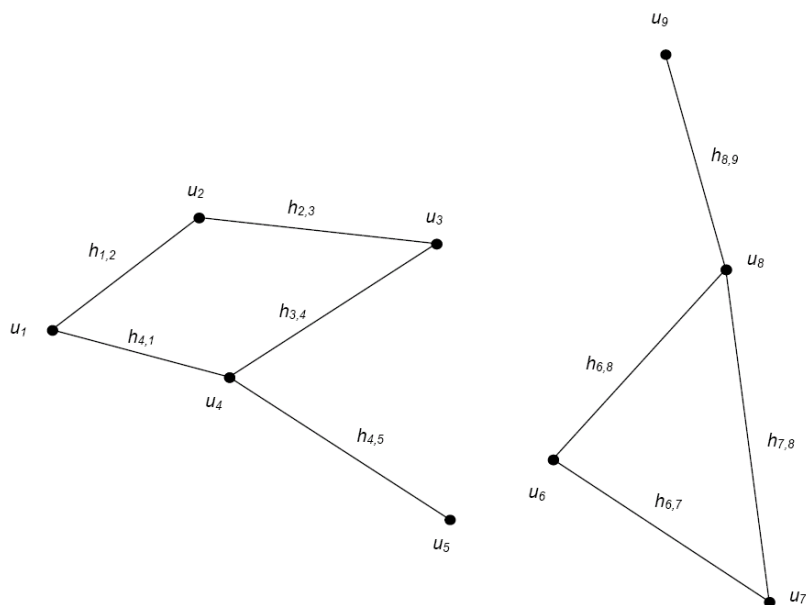
Sled, v němž se žádná hrana neopakuje nazýváme *tahem*. I tah může být orientovaný resp. neorientovaný. Pokud se navíc ve sledu neopakuje ani žádný uzel, nazýváme ho *cestou*. I ta může být orientovaná resp. neorientovaná. Neorientované cestě se někdy říká *řetěz*.

Sled, který má alespoň jednu hranu a jehož počáteční a koncový uzel jsou totožné, nazýváme *uzavřeným sledem*. Obdobně je definován i *uzavřený tah*.

Uzavřená cesta je uzavřený sled, v němž se neopakují uzly (kromě počátečního/koncového) ani hrany. V případě neorientované uzavřené cesty hovoříme o *kružnici*, v případě orientované uzavřené cesty o *cyklu*.

Uzel u_j je *(ne)orientovaně dostupný* z uzlu u_i , jestliže existuje *(ne)orientovaný sled* vedoucí z uzlu u_i do uzlu u_j . Na obr. II.4.8 je uzel 5 neorientovaně dostupný z uzlu 1, naopak není dostupný z uzlů 6, 7, 8 a 9.

V ohodnocených grafech se běžně sčítá ohodnocení uzlů nebo hran podél sledu, přičemž ohodnocení opakujících se uzlů resp. hran se započítává tolikrát, kolikrát se opakují. Je-li například ohodnocením hran délka úseků silnice reprezentovaných jednotlivými hranami nebo doba jízdy v těchto úsecích, má součet ohodnocení reálný význam. Bez ohledu na to, jaké veličiny ohodnocení reprezentuje, se pro

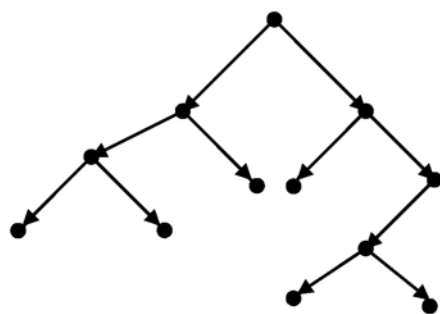


Obr. II.4.8 Ukázka nesouvislého grafu [208].

součet ohodnocení hran vžil termín *délka sledu*. V tomto smyslu se také hovoří o nejkratším nebo nejdelším sledu. Jejich hledání patří k nejčastěji aplikovaným úlohám teorie grafů.

Graf, mezi jehož všemi dvojicemi uzlů existuje alespoň jeden řetěz, označujeme jako *souvislý graf* (obr. II.4.7). Na obr. II.4.8 je ukázka nesouvislého grafu. Například mezi uzly u_5 a u_9 neexistuje žádný řetěz.

Strom je souvislý graf, neobsahující cykly.



Obr. II.4.9 Ukázka kořenového stromu.

Kořenový strom je strom, který má právě jeden uzel, nemající žádný předešlý uzel; tento uzel je nazýván *kořen grafu*. Všechny ostatní uzly mají právě jeden

předcházející uzel (*rodič*). Uzel, který nemá žádný následující (*dceřinný*) uzel, se nazývá *list*. Všechny uzly kořenového stromu jsou z kořene orientovaně dostupné. Kořenový strom se obvykle zakresluje tak, že kořen grafu stojí nejvýše (obr. II.4.9).

Kořenový strom je nazýván *binárním kořenovým stromem*, jestliže každý uzel má nejvýše dva následující (dceřiné) uzly. (Binární stromy hrají velice důležitou roli při zpracovávání dotazů [252].)

V mnohých aplikacích geoinformačních systémů 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 nejméně jeden uzel, do kterého nevstupuje žádná hrana a který nazýváme *vstupem do sítě*, a nejméně jeden uzel, z něhož nevystupuje žádná hrana a který nazýváme *výstupem ze sítě*.

Příkladem takové sítě může být vodovodní síť, plynovodní síť, síť rozvodu elektrické energie apod.

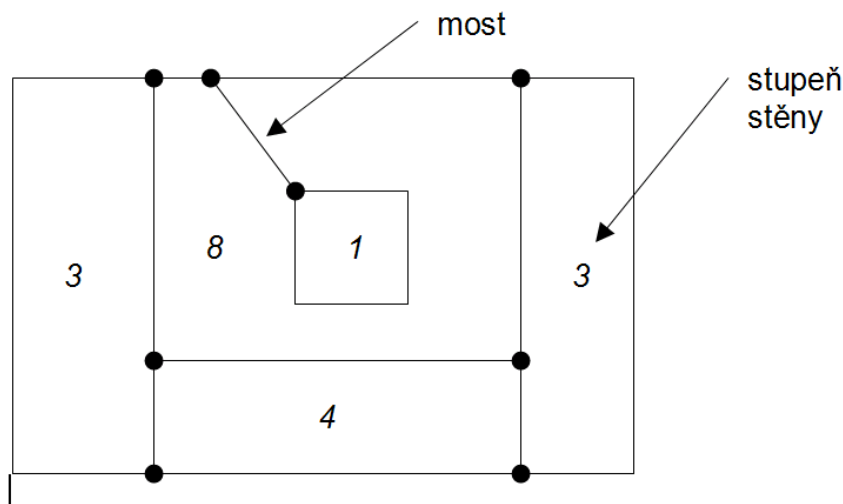
Topologický rovinný graf

Nakreslením grafu v rovině označujeme přiřazení bodů kreslicí roviny vrcholům grafu a jednoduchých křivek hranám grafu. Křivky přitom musí splnit tu podmínku, že nesmí obsahovat obraz žádného uzlu jako svůj vnitřní bod, tzn. že musí začínat a končit v uzlu a žádným dalším uzlem neprocházet. Křivky jako obrazy hran grafu mohou mít libovolný tvar a mohou se i libovolně křížit [41].

Naproti tomu *rovinné nakreslení* je takové nakreslení, v němž se křivky jako obrazy hran smí stýkat pouze v uzlech (*nesmí se tedy křížit*). Graf, ke kterému existuje rovinné nakreslení, označujeme jako *rovinný*. V případě studia vzájemných prostorových vztahů geoprvků (topologie) pracujeme výhradně s rovinnými grafy. Vlastnosti rovinného grafu se obecně netýkají jeho konkrétního nakreslení. Pokud však k vlastnostem rovinného grafu bereme v úvahu i vlastnosti jeho konkrétního rovinného nakreslení, mluvíme o tzv. *topologickém rovinném grafu* [41].

Stěna topologického rovinného grafu je část roviny ohraničená křivkami, které jsou obrazy hran grafu v jeho rovinném nakreslení. Jedna ze stěn je vždy neomezená, reprezentuje okolí grafu, ostatní jsou omezené. Dvě stěny nazýváme *sousedními*, pokud je společná část jejich hranice tvořena jednou nebo několika křivkami, které jsou obrazy hran grafu.

Stěna je incidentní s hranou, jestliže křivka reprezentující hranu tvoří alespoň část hranice (nebo i celou hranici) stěny. *Stupeň stěny* definujeme jako počet hran, s nimiž je stěna incidentní, přičemž každou hranu, která je *mostem*, počítáme dvakrát (viz obr. II.4.10) [41].



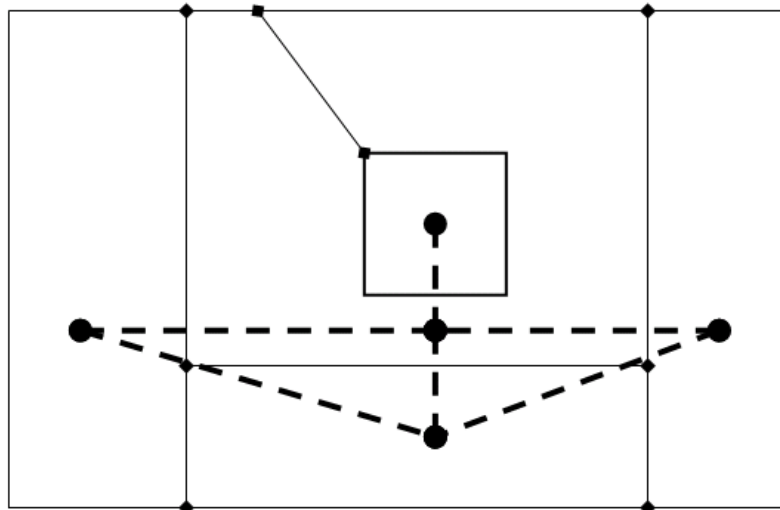
Obr. II.4.10 Stěna, most, stupeň stěny.

Duální graf vznikne tak, že každou stěnu v topologickém rovinném grafu nahradíme uzlem a uzly reprezentující sousední stěny spojíme hranami (obr. II.4.11).

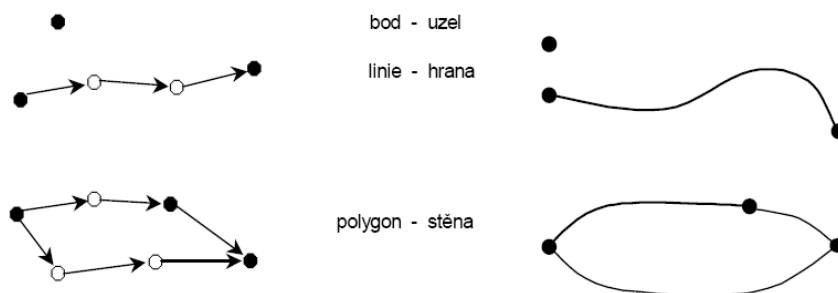
Využití grafů v geoinformačních systémech

Dnešní geoinformační systémy pracují většinou jen se dvěma souřadnicemi x a y . Jsou tedy dvojrozměrné a pracují také s dvojrozměrnou topologií. Základními geometrickými prvky a jejich reprezentacemi v grafech v tomto případě jsou (viz obr. II.4.12):

- *bod* (0D objekt); při studiu topologie se modeluje jako *uzel grafu*,
- *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. node), mezilehlé body jako *vrcholy* (angl. vertex). Jednotlivé linie se smí stýkat a protínat jen v uzlech; při studiu topologie se linie modelují čarami (*hranami grafu*) spojujícími počáteční a koncové uzly linií (reprezentované *uzly grafu*),
- *polygon* (plocha - 2D objekt) – je to uzavřená posloupnost orientovaných linií, které tvoří hranici polygonu. V geoinformatice se většinou pod pojmem po-



Obr. II.4.11 Duální graf (znázorněn tučnou přerušovanou čarou).



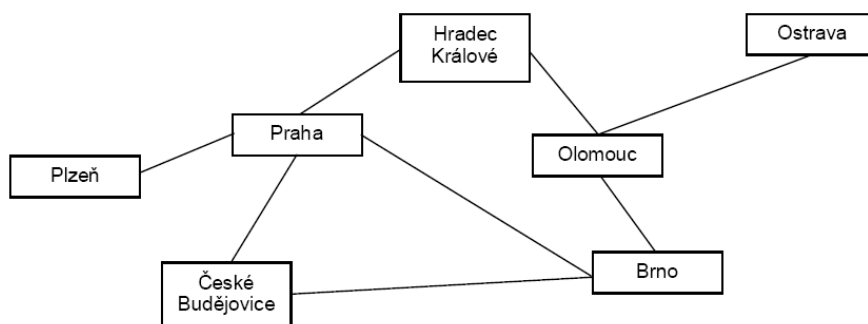
Obr. II.4.12 Základní topologické prvky [208]. Vlevo jsou znázorněny možné geometrické reprezentace geoprvků a vpravo jejich odpovídající topologické reprezentace.

lygon rozumí vlastní plocha jím ohraničená; při studiu topologie se modelují uzavřenou posloupností uzlů a hran grafu, resp. tzv. *stěnou*.

Pokud bychom brali v úvahu případ, že geoinformační systém pracuje se třemi souřadnicemi, pak se situace značně zkomplikuje, 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 geoinformační systém pracující s trojrozměrnou

topologií.

Kromě řešení problémů spojených se vzájemnými prostorovými vztahy geoprvků lze pomocí teorie grafů řešit i celou řadu dalších úloh, které mají být zpracovány pomocí geoinformačních systémů. 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 sítí apod.



Obr. II.4.13 Graf konektivity [208].

Topologii geoprvků, které jsou reprezentované liniemi (silnice, řeky, železnice, rozvodné sítě, ...), lze znázornit *grafem konektivity* (obr. II.4.13). 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.

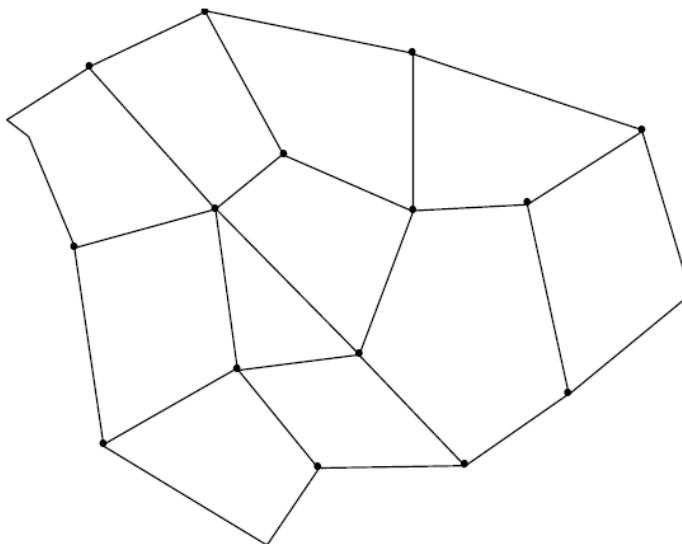
Topologie plošných geoprvků může být modelována grafy *incidence* a *přilehlosti*.

Graf incidence (obr. II.4.14) je topologicky homomorfní s mapou liniových geoprvků reprezentujících hranice plošných geoprvků. Hrany grafu reprezentují hranice mezi sousedními polygony, uzly grafu místa styku tří a více polygonů.

Z grafu incidence můžeme snadno zjistit řadu informací, jako jsou například sousední polygony zadaného polygonu, nebo které linie tvoří hranici daného polygonu apod.

Graf přilehlosti (obr. II.4.15) zkonstruujeme jako duální graf ke grafu incidence.

Graf přilehlosti lze opět využít pro nalezení sousedních polygonů zadaného polygonu, ale lze jej využít i pro náročnější analýzy, jako je například studium průchodnosti terénu (obr. II.4.16). Jednotlivé uzly (reprezentující polygony) jsou ohodnoceny jako průchodné nebo neprůchodné a analýzou grafu se pak vyhledávají např. nepřístupné oblasti nebo vhodné trasy pro přesun techniky.



Obr. II.4.14 Graf incidence [208].

Topologie převádí pomocí grafů prostorové 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 geoprvků představuje úzký profil. Topologie tak poskytuje silný nástroj pro manipulaci s fakty o prostorovém uspořádání geoprvků.

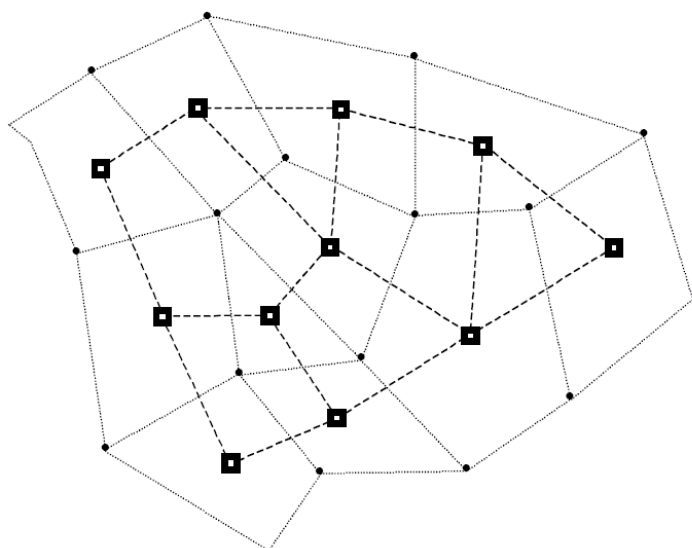
4.2.5 Metrické prostory

V odst. II.4.2 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 pro měření vzdáleností (tzv. *metriky*).

Metrika musí obecně splňovat následující podmínky:

- $d(A,B) \geq 0$ a $d(A,B) = 0$ tehdy a jen tehdy, je-li $A = B$,
- $d(A,B) = d(B,A)$ (podmínka symetrie),
- $d(A,B) \leq d(A,C) + d(C,B)$ (podmínka trojúhelníkové nerovnosti).

Množina M s takovou metrikou d je nazývána *metrický prostor*, který označujeme (M,d) . Prvky množiny M nazýváme body a její podmnožiny bodovými podmnožinami. Metrika je v podstatě zobecněním pojmu vzdálenost, a proto také číslo $d(A,B)$ nazýváme vzdáleností bodů A a B . Na téže množině bodů M můžeme



Obr. II.4.15 Graf přílehlosti [208].

definovat různé metriky; jestliže metriky d a e jsou různé, pak ovšem i metrické prostory (M, d) a (M, e) jsou různé [4].

V prostředí geoinformačních systémů se nejčastěji používají dvě metriky:

- *Euklidovská*, určená pro měření vzdáleností v prostorech s kontinuálními souřadnicovými systémy,
- *Manhattanovská*, určená pro měření vzdáleností v prostorech s diskretními souřadnicovými systémy a v prostorech, kde je možné se pohybovat pouze podél dvou navzájem kolmých sítí rovnoběžek.

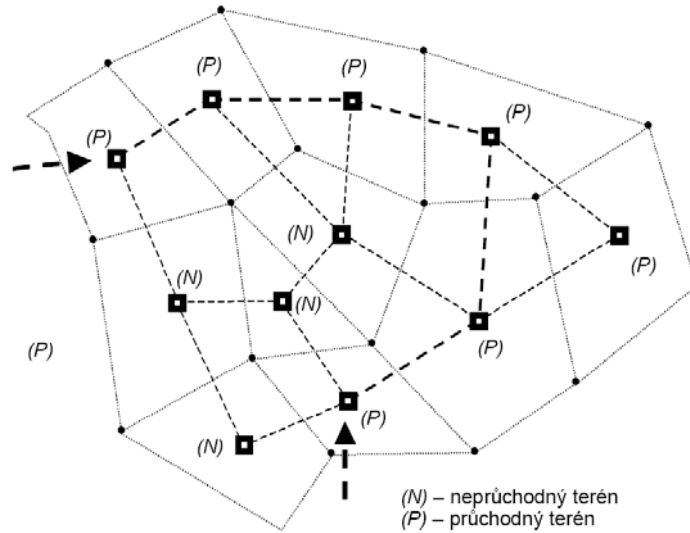
Euklidovská metrika (též Euklidovská vzdálenost) je definovaná vztahem

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

Jiný způsob měření vzdáleností byl navržen pro město Manhattan. Toto město je známé svojí téměř důsledně pravoúhlou sítí ulic. Z pohledu taxikáře je možné vzdálenosti v tomto Manhattanovském prostoru měřit pomocí *Manhattanovské metriky* definované vztahem [156]

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$$

Tato metrika je vhodná pro měření vzdáleností v oblastech s hustou pravidelnou zástavbou (např. i některé čtvrti našich měst), avšak je použitelná jen v případě, že



Obr. II.4.16 Analýza průchodnosti terénu [208].

osy souřadnicového systému jsou rovnoběžné s ulicemi. Použití takovéto speciální metriky může mít velký vliv na provádění některých typů prostorových analýz. Dále je použitelná pro práci nad rastry.

Ne ve všech prostorech, se kterými geoinformační systémy při prostorových analýzách pracují, jsou podmínky pro metrické prostory splněny. Vrátime-li se opět k našemu příkladu s analýzou časové dostupnosti z odstavce I-4.2, 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.

4.2.6 Euklidovský prostor

Euklidovský prostor (angl. Euclidean space) je matematickou abstrakcí a rozšířením „běžného“, zpravidla třírozměrného prostoru, v němž se odehrává náš každodenní život [181]. Jako první se jím zabýval Euclides cca 300 let před naším letopočtem. Sestavil systém postulátů a definic, z nichž byly odvozeny teoremy geometrie, které byly používány od nepaměti měřiči, konstruktéry, stavaři.

V 17. století zavedl Descartes (1596-1650) do Euklidovského prostoru pravoúhlý souřadnicový systém (říkáme mu *kartézský souřadnicový systém* – angl. Cartesian coordinate system) a umožnil tak propojení geometrie s aritmetikou a algebrou. Tím otevřel i cestu ke zobecnění Euklidovského prostoru i na více než třírozměrné případy.

N -rozměrný kartézský souřadnicový systém v n -rozměrném Euklidovském prostoru E^n se skládá z n navzájem kolmých souřadnicových os, které se protínají ve společném počátku a používají stejné měrné jednotky.

Každá uspořádaná n -tice reálných čísel (x_1, x_2, \dots, x_n) , kde $x_i \in R$, definuje právě jeden bod v tomto souřadnicovém systému (a tím i v Euklidovském prostoru).

V Euklidovském prostoru je definována metrika pro měření vzdáleností. Je to tedy prostor metrický.

Euklidovský prostor lze také definovat jako množinu bodů M reprezentujících n -tice vzniklé kartézským součinem (přesněji kartézskou mocninou definovanou nad množinou reálných čísel R). N -tice se pak označují jako souřadnice bodů množiny M .

Náš reálný svět popisujeme jako třírozměrný Euklidovský prostor (E^3), nicméně pro potřeby zobrazování v geoinformačních systémech ho zpravidla převádíme na prostor dvourozměrný E^2 . Využíváme k tomu celou řadu postupů, které se nazývají *kartografická zobrazení* (viz dále).

Kapitola 5

Určování polohy v prostoru

Dříve než můžeme začít s geoprvkou pracovat, musíme jednoznačně určit jejich polohu v prostoru. Určováním polohy v daném prostoru rozumíme vytvoření relace mezi geoprvkem, jehož polohu určujeme a prvkem množiny M , která obsahuje všechny body tohoto prostoru. Pomocí této relace můžeme určovat polohu prakticky v jakémkoliv prostoru (viz kap. 4), avšak z pohledu geoinformačních systémů nás bude zajímat především určování polohy v prostoru Euklidovském a případně topologickém.

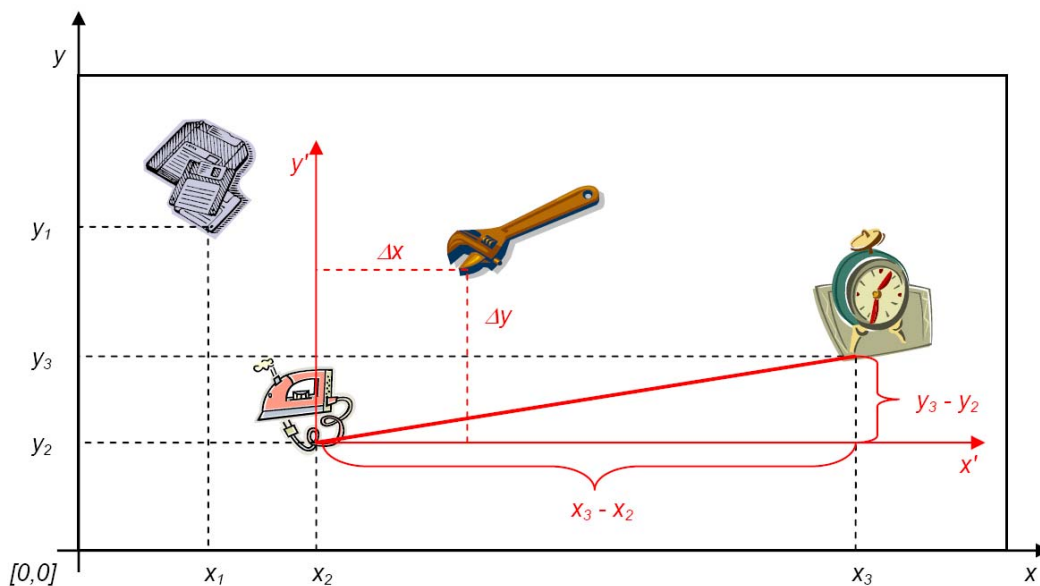
K tomuto účelu můžeme použít celou řadu různých tzv. *prostorových referenčních systémů*, popisujících polohu geoprvků různými způsoby, s různou přesností a s různým rozlišením.

V literatuře se objevují v této souvislosti dva pojmy [189]:

- *prostorový referenční systém* (angl. Spatial Reference System) jako koncept, zahrnující základní teorii a standardy a
- *prostorový referenční rámec* (angl. Spatial Reference Frame) jako praktickou realizaci prostorového referenčního systému prostřednictvím pozorování a sady souřadnic pozorovacích stanic.

Jejich význam si nejlépe ukážeme na následujícím příkladu.

Příklad: Řekněme, že se rozhodneme pro určování polohy na našem stole používat prostorový referenční systém (v tomto případě dvourozměrný kartézský souřadnicový systém), mající počátek v jednom z rohů a dvě souřadnicové osy x a y , z nichž první je rovnoběžná s kratší stranou stolu a druhá s delší stranou stolu. Vzdálenosti podél obou os se budou odečítat v milimetrech. Při praktické realizaci tohoto prostorového referenčního systému zjistíme, že může být zaveden čtyřmi různými způsoby. Rozhodneme proto, že:



Obr. II.5.1 Prostorový referenční rámec na pracovním stole.

- počátek bude v rohu, který se nachází na levé straně a blíže k židli,
- osa x bude definována delší hranou běžící podél židle, s orientací zleva doprava,
- osa y bude na ni kolmá, bude definována kratší hranou stolu, s orientací směrem od židle k vzdálenější hraně stolu,
- a pro případ, že nebude počátek našeho souřadnicového systému přístupný (například na roh stolu postavíme tiskárnu) si definujeme ještě několik pomocných bodů, které nám umožní určovat polohu jiných bodů i v této situaci.

Výsledek vidíme na obr. II.5.1. Obdobně se postupuje i v případě reálných souřadnicových systémů. Například při geodetickém zaměřování nikdy nezačínáme měřit souřadnice bodů od počátku, nýbrž vycházíme ze sítě pomocných bodů o známých souřadnicích (tzv. bodových polí).

V dalším textu budeme užívat především první z obou termínů, pouze v případě, že bude vhodné zdůraznit, že hovoříme přímo o konkrétní realizaci prostorového referenčního systému, použijeme termín rámec.

Prostorové referenční systémy můžeme rozdělit (klasifikovat) dle následujících kritérií:

1. způsob určování polohy (přímý/nepřímý),

2. prostorový rozsah (globální/lokální),
3. spojitost (kontinuální/diskrétní),
4. závislost určování polohy na jiných geoprvcích (absolutní/relativní),
5. k čemu se vztahují (k Zemi/k rovině/k linii),
6. v jakém směru určují polohu (horizontální/vertikální).

Ad 1, Způsob určování polohy: Polohu geoprvcu je možné určovat v zásadě dvěma způsoby:

- přímo pomocí souřadnic,
- nepřímou pomocí geokódů.

Přímé určování polohy znamená, že polohu geoprvcu vyjádříme pomocí vhodného *souřadnicového systému* (prostorovým referenčním systémem je v tomto případě souřadnicový systém). V [34] je uvedena následující definice souřadnicového systému:

Souřadnicový systém je systém určený údaji o referenční ploše, orientaci sítě na ní, jejím měřítku, referenčním bodu a užitém kartografickém zobrazení.

Souřadnicový systém musí splňovat tři základní podmínky [252]:

1. Prostorová reference musí být jednoznačná, to znamená, že dva geoprvky se stejnou prostorovou referencí (polohou) musí být identické. Různé prostorové reference proto musí definovat různé geoprvky.
2. Prostorová reference musí být kvantifikovatelná, musí být vyjádřitelná prostřednictvím metrické stupnice.
3. Musí být definovaná *metrika* umožňující měření vzdálenosti $d(A,B)$ mezi dvojicí bodů A a B (viz odst. 4.2.5).

Příklady: Polohový popis „je blízko čeho“ není jednoznačnou prostorovou referencí: z dvojice výrazů „A je blízko B“ a „C je blízko B“ není možné jednoznačně vyvodit, že A a C představují totožný geoprvek [252]. Jízdní čas „do kopce“ je zpravidla odlišný od jízdního času „z kopce“. Čas tedy nemůže být použit jako souřadnicový systém.

Nepřímé určování polohy znamená, že polohu geoprvcu vyjádříme odkazem na jiný geoprvek, jehož poloha je určena přímo (tedy vyjádřena souřadnicemi). Takovýto odkaz na jiný geoprvek označujeme pojmem *geokód* (angl. geocode). Příkladem geokódu může být poštovní doručovací adresa, která umožňuje vztáhnout ke

konkrétnímu obytnému domu nebo sídlu firmy či úřadu, jehož poloha je zachycena například na katastrální mapě (a tedy vyjádřena v souřadnicovém systému) celou řadu dalších informací, jejichž součástí je adresa. Příkladem mohou být údaje z evidence obyvatelstva (téměř každý obyvatel má uvedenu adresu trvalého bydliště), z evidence ekonomických subjektů, z evidencí integrovaného záchranného systému, kde jsou vedeny informace o požárech, výjezdech sanitek, zásazích policie apod. Většina těchto informací rovněž obsahuje adresu místa, kde k zásahu došlo. Lze říct, že v denním životě s nepřímým určováním polohy setkáváme daleko běžněji, než s určováním přímým.

Ad 2, Prostorový rozsah: Prostorový referenční systém může pokrývat stejně tak rozsáhlé oblasti (až celou Zemi, případně i Sluneční soustavu, naši Galaxii apod.) jako oblasti velice malé (například jeden dům, jednu zastávku autobusu, jednu stavbu). Prostorové referenční systémy proto z tohoto pohledu dělíme na dvě základní skupiny:

- globální,
- lokální.

Globální prostorový referenční systém je zpravidla zaveden pro určování polohy v rozsáhlém areálu, nejčastěji na úrovni celého státu, resp. celého povrchu Země a zpravidla je vázán na konkrétní kartografické zobrazení.

Naproti tomu *lokální prostorový referenční systém* je zpravidla definován jen pro velice malá území, jako je jedna stavba, území jedné továrny apod. a zpravidla bez jakékoliv vazby na globální prostorový referenční systém.

Ad 3, Spojitost: Tato vlastnost popisuje, jak se může měnit určovaná poloha. V úvahu přichází dvě možnosti:

- poloha se může v daném prostorovém referenčním systému měnit plynule a spojitě, bez náhlých skoků – v tom případě mluvíme o *kontinuálním prostorovém referenčním systému*,
- nebo se může měnit pouze skokově, nespojitě – a v tom případě mluvíme o *diskrétním prostorovém referenčním systému*.

Ad 4, Závislost určování polohy na jiných geoprvcích: Prostorový referenční systém může být obecně buďto zcela nezávislý na jakýchkoliv objektech reálného světa (snad s výjimkou Země, mluvíme-li o geodatech a geoprvcích) nebo naopak může být na konkrétních objektech reálného světa závislý. Proto zde rozlišujeme dvě základní kategorie prostorových referenčních systémů:

- absolutní,
- relativní.

Absolutní prostorové referenční systémy mají jednoznačně definovaný počátek, směr a orientaci souřadnicových os a vztah k zemskému tělesu a zpravidla jsou definované v rámci konkrétního kartografického zobrazení. Poloha geoprvků se určí jako vzdálenost podél souřadnicových os od společného počátku. V rámci absolutního prostorového referenčního systému je pak možné provádět mimo jiné i výpočty vzdáleností mezi dvojicemi geoprvků apod.

Relativní prostorové referenční systémy lze charakterizovat přesně opačně: nemají jednoznačně definovaný počátek ani směr a orientaci os a nemají ani definovaný vztah k zemskému tělesu a není s nimi spojeno jakékoliv kartografické zobrazení. Při určování polohy geoprvků vycházejí z polohy jiného, v území dobře a jednoznačně identifikovatelného geoprvků, který je zvolen jako lokální počátek. Ve vztahu k tomuto geoprvků jsou definovány směry a orientace lokálních souřadnicových os a odměřením vzdáleností podél těchto os se určí relativní poloha určovaného geoprvků ve vztahu ke známému geoprvků. V takovém prostorovém referenčním systému zpravidla nelze počítat vzdálenosti geoprvků (snad jen s výjimkou situace, kdy je pro určení polohy dvou geoprvků použit stejný počátek a stejné směry a orientace souřadnicových os).

Ad 5, K čemu se vztahují: Prostorové referenční systémy se mohou vztahovat obecně k:

- Zemi,
- rovině,
- linii.

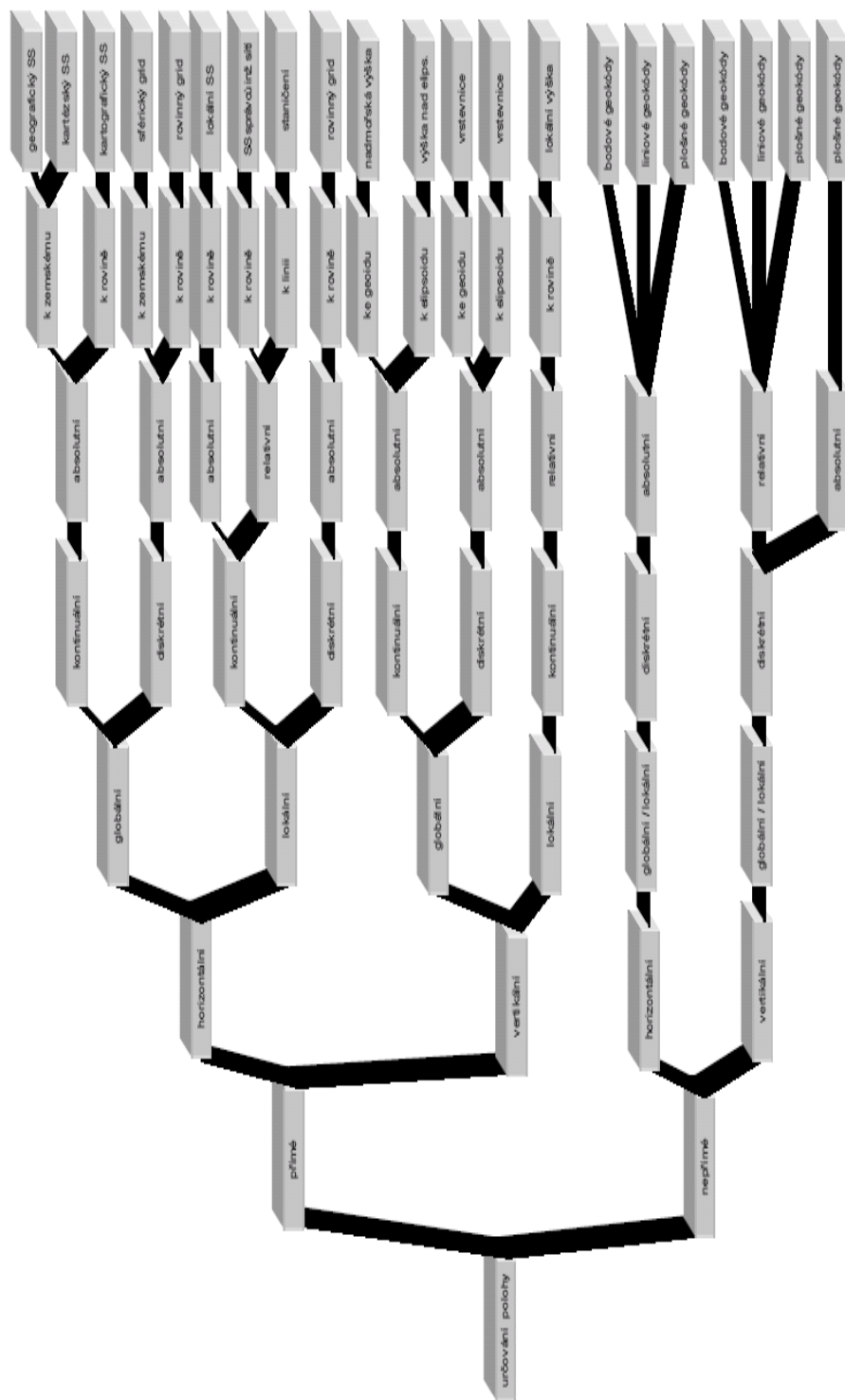
Prostorové referenční systémy vztahující se k Zemi jsou koncipované tak, aby umožňovaly určovat polohu kdekoli na zemském povrchu, případně i kdekoli v zemském tělese a jeho přilehlém okolí. Často jsou definovány v rámci konkrétního kartografického zobrazení.

Prostorové referenční systémy vztahující se k rovině jsou zpravidla definovány v rámci konkrétního kartografického zobrazení a většinou jsou výsledkem zobrazení povrchu zemského do roviny.

Prostorové referenční systémy vztahující se k linii nejsou obvykle vázány na žádné kartografické zobrazení a jsou založeny na odměřování vzdáleností podél zadané linie.

Ad 6, V jakém směru určují polohu: prostorové referenční systémy mohou umožňovat určování polohy ve dvou základních směrech:

- horizontálním,
- vertikálním.



Obr. II.5.2 Prostorové referenční systémy (upraveno podle [208]).

Prostorové referenční systémy pro určování polohy v horizontálním směru jsou využívané běžněji. Platí to i pro geoinformační systémy, které dodnes pracují převážně s dvourozměrným prostorem. Tyto prostorové referenční systémy umožňují určovat polohu geoprvků kdekoliv na zemském povrchu.

Prostorové referenční systémy pro určování polohy ve vertikálním směru se používají méně často. V prostředí geoinformačních systémů se používají zpravidla jen v případě, že pracujeme s digitálními modely reliéfu. Umožňují určit, v jaké nadmořské výšce (případně jak hluboko pod povrchem) se geoprvek nachází.

Na základě zhodnocení výše uvedených vlastností můžeme pro prostorové referenční systémy běžně používané v geoinformatice zavést jednoduchou klasifikaci, znázorněnou na obr. II.5.2. Z tohoto obrázku je patrné, že ne všechny kombinace klasifikačních kritérií se musí v této klasifikaci uplatnit. V dalším textu se zaměříme na jednotlivé třídy prostorových referenčních systémů, představované listy tohoto stromu.

Kapitola 6

Přímé určování polohy

V této kapitole se podíváme na část klasifikace věnovanou přímému určování polohy. V tomto případě se poloha geopravku vyjadřuje pomocí tzv. *souřadnicového referenčního systému* (prostorovým referenčním systémem je souřadnicový systém).

6.1 Základní pojmy pro přímé určování polohy

Dříve než se pustíme do výkladu problematiky přímého určování polohy, podívejme se nejprve na pojmy *datum*, *souřadnicový systém* a *souřadnicový referenční systém*.

6.1.1 Datum

Datum (angl. datum) je možné definovat takto [121]:

Datum definuje polohu počátku, měřítko a orientaci os souřadnicového systému.

Jiná definice byla formulována v rámci diskusí v technické normalizační komisi č. 122 Českého normalizačního institutu (TNK 122 Geografická informace / Geomatika):

Datum je dáno sadou parametrů, popisujících polohu středu a tvar elipsoidu, měřítko, směr a orientaci souřadnicových os, dále sadou transformačních vztahů a nakonec sadou bodů na Zemi, jejichž souřadnice jsou v daném souřadnicovém systému jednoznačně dány.

Je na místě upozornit na některá úskalí této definice. V první řadě z jiných materiálů vyplývá, že parametry elipsoidu nejsou v některých případech vyžadovány. A dále - poslední část definice se do jisté míry překrývá s pojmem prostorový referenční rámec.

Od dob Eratosthenových, který jako první určil velikost Země, byly definovány stovky různých datumů. Moderní datумы sahají od rovinných modelů, užívaných pro potřeby měřictví, až po komplexní modely, používané pro velké mezinárodní projekty a popisující kompletně velikost, tvar, orientaci, gravitační pole a úhlovou rychlost rotace Země. Vztažení souřadnic k chybnému datumu může mít za následek chybu určení polohy v řádu až stovek metrů a v extrémním případě i mnohem více. Různé státy či organizace používají různé datумы jako základ pro souřadnicové systémy používané pro určování polohy v geografických informačních systémech, přesných polohových systémech a navigačních systémech [38]. Diverzita dnes používaných datumů a technologický pokrok, který umožnil vývoj a konstrukci globálních polohových systémů s přesností lepší než jeden metr vyžaduje pečlivý výběr datumu a pečlivou konverzi mezi souřadnicemi vztahujícími se k různým datumům.

Typy datumů

Rozlišujeme následující typy datumů [38], [121]:

- geodetické datum (angl. geodetic datum),
- výškové datum (angl. vertical datum),
- technické datum, lokální datum (angl. engineering datum, local datum).

Geodetické datum vyjadřuje vztah souřadnicového systému k Zemi. Používá se jako základ pro dvoj- a trojrozměrné systémy [121]. Obvykle vyžaduje i definici elipsoidu.

Výškové datum popisuje vztah tíhově založených výšek k Zemi [121].

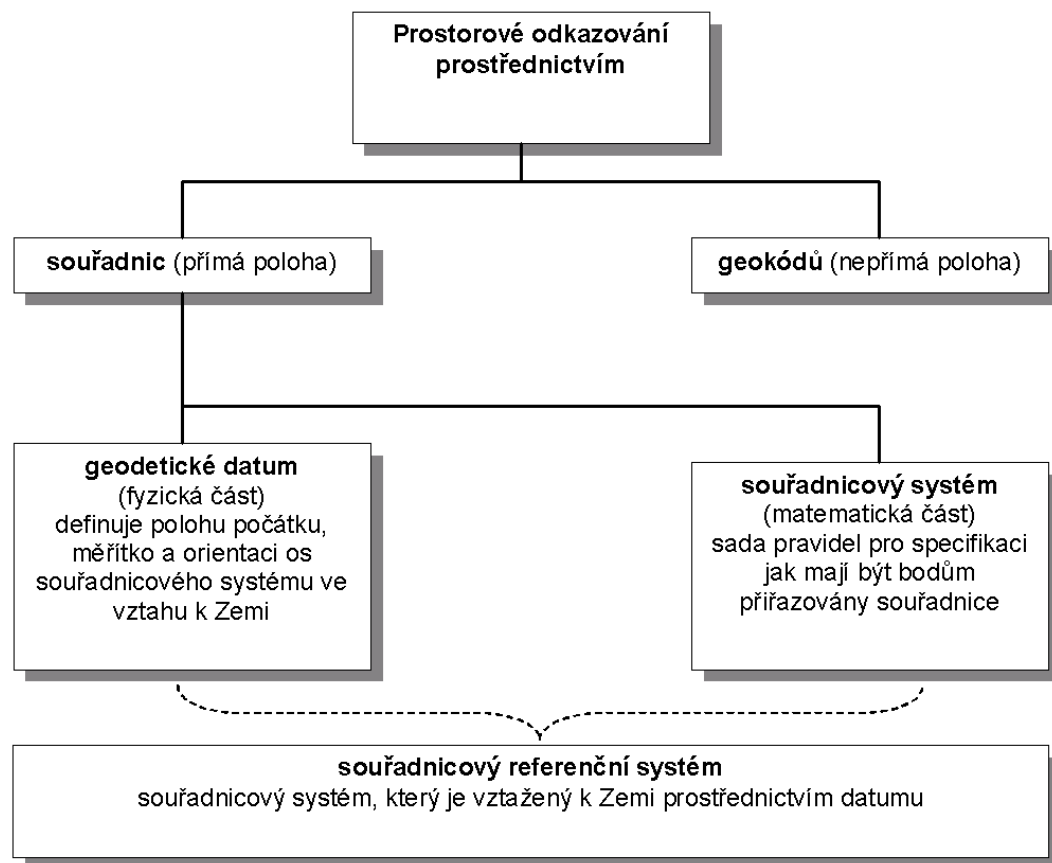
Technické datum nebo též **lokální datum** je takový, který nespadá ani do jedné z výše uvedených kategorií. Popisuje vztah souřadnicového systému k místní referenci [121].

6.1.2 Souřadnicový systém

Prostorové odkazování (angl. spatial referencing) *prostřednictvím souřadnic* má své základy v matematice a analytické geometrii [282]. Poloha je v zásadě popisována sadou souřadnic vztahujících se ke zvolenému souřadnicovému systému. Souřadnicový systém lze definovat například takto (upraveno dle [121]):

Souřadnicový systém je sada matematických pravidel pro specifikování způsobu, jakým jsou souřadnice přiřazovány k bodům v prostoru.

Zpravidla je definován svým počátkem, souřadnicovými osami a jednotkami, polohou a orientací os.



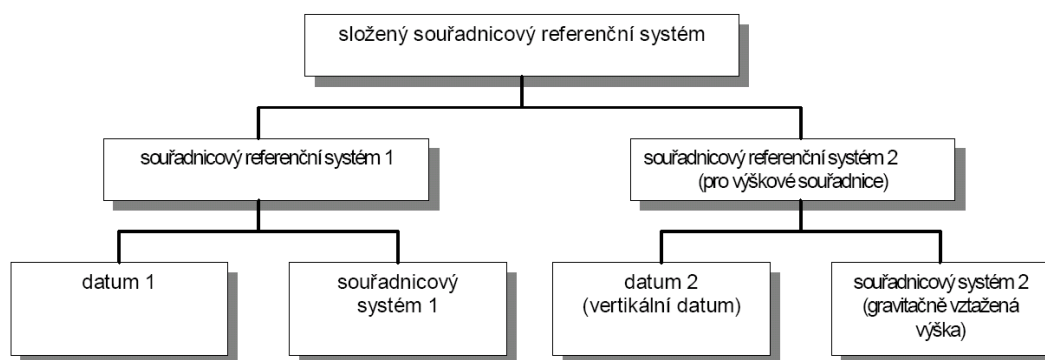
Obr. II.6.1 Konceptuální schéma souřadnicového referenčního systému (upraveno podle [112]).

6.1.3 Souřadnicový referenční systém

Pro potřeby popisu polohy geoprvků musí souřadnicový systém splňovat určitou podmínku – musí být vztažený k Zemi prostřednictvím *datumu*. Pak ho označujeme jako *souřadnicový referenční systém* (obr. II.6.1).

Pro mapování lze zvolit souřadnicový referenční systém různým způsobem. V důsledku toho může mít stejné místo na Zemi v různých mapách různé souřadnice. Pokud za této situace používáme pro práci různé datové sady pokrývající sice stejnou oblast, ale pocházející z různých zdrojů a pořízené v různých souřadnicových referenčních systémech, bude nezbytné je homogenizovat na bázi stejného souřadnicového referenčního systému.

Zvláštním případem souřadnicového referenčního systému je tzv. *složený souřadnicový referenční systém* (angl. compound coordinate reference system), popisující polohu prostřednictvím dvou nezávislých souřadnicových referenčních sys-



Obr. II.6.2 Konceptuální schéma složeného souřadnicového referenčního systému (upraveno dle [112] a [121]).

témů [112] (obr. II.6.2), z nichž jeden je představován dvoj- resp. trojrozměrným souřadnicovým systémem a druhý tíhově založeným výškovým systémem.

6.2 Souřadnicové systémy pro určování horizontální polohy

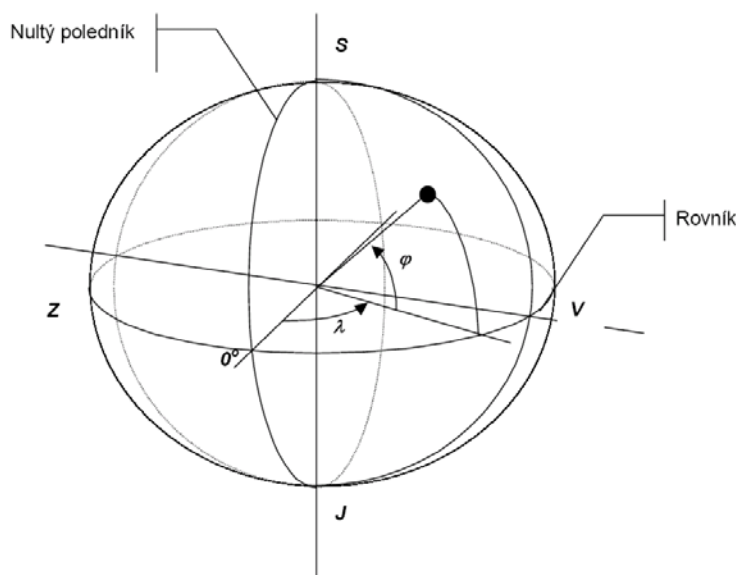
Souřadnicové systémy mohou být globální i lokální, kontinuální i diskrétní, jsou zpravidla absolutní a většinou vztážené k zemskému tělesu nebo k rovině. Podívejme se podrobněji na jednotlivé výsledné kategorie souřadnicových systémů, tak jak jsou uvedeny v posledním sloupci klasifikačního schématu z obr. II.5.2.

6.2.1 Geografický souřadnicový systém

globální – kontinuální – absolutní – vztážený k zemskému tělesu

Geografický souřadnicový systém (angl. geographic coordinate system) je v principu sférický s tím, že poloha bodu na zemském povrchu je v něm udávána pomocí zeměpisné šířky φ (angl. latitude) a zeměpisné délky λ (angl. longitude) (viz obr. II.6.3) a vektor vzdálenosti bodu od středu Země r není zadán explicitně, nýbrž jen implicitně – průběhem povrchu Země. (Jinými slovy se předpokládá, že bod vždy leží na povrchu zemském.) Zeměpisná délka se udává ve stupních, nula stupňů odpovídá nultému poledníku. Směrem na východ od nultého poledníku se udává východní délka (v rozsahu $0 - 180^\circ$), směrem na západ pak západní délka (opět

v rozsahu $0 - 180^\circ$). Zeměpisná šířka se udává rovněž ve stupních, nula stupňů odpovídá rovníku. Směrem na sever se udává severní šířka. 90° severní šířky odpovídá severnímu pólu. Obdobně je tomu i směrem na jih, 90° jižní šířky odpovídá jižnímu pólu¹⁾. Geografické souřadnice se někdy ještě doplňují nadmořskou výškou h , udávanou v metrech [156].



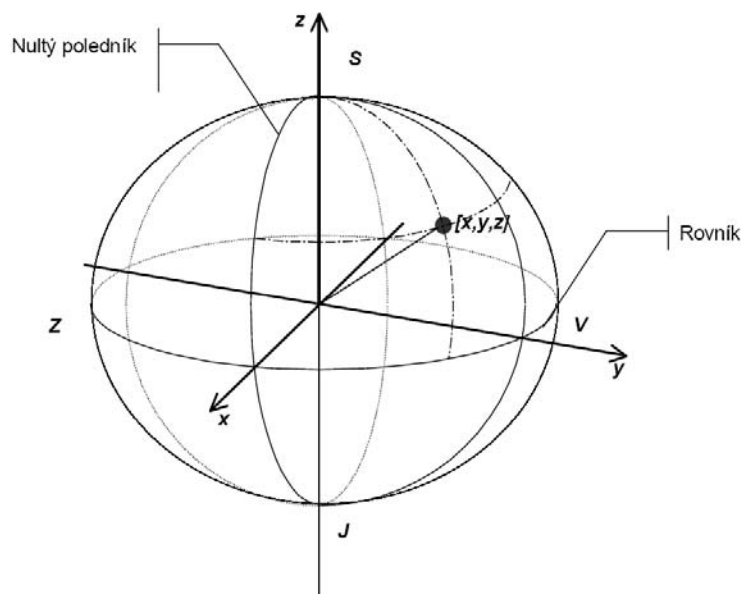
Obr. II.6.3 Geografický souřadnicový systém [208].

6.2.2 Geocentrický souřadnicový systém

globální – kontinuální – absolutní – vztažený k zemskému tělesu

Geocentrický souřadnicový systém (angl. Earth Fixed, Earth Centered coordinate system; ECEF) je kartézský souřadnicový systém (angl. Cartesian coordinate system) vztažený k Zemi. Má počátek v jejím středu a polohu bodu udává pomocí trojice souřadnic (x,y,z) (viz obr. II.6.4). 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 [156].

¹⁾V anglické literatuře můžeme vidět i jiný způsob zápisu. Jak šířka, tak i délka se uvádějí rovněž ve stupních, ale údaj je doplněn písmenem, označujícím směr. *N* znamená *sever* (z angl. North), *S* znamená *jih* (z angl. South), *E* znamená *východ* (z angl. East) a *W* znamená *západ* (z angl. West). Údaj 15E, 49N znamená 15 st. na východ a 49 stupňů na sever



Obr. II.6.4 Geocentrický souřadnicový systém [208].

Podstatnou odlišností obou výše zmiňovaných 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.

6.2.3 Souřadnicové systémy kartografických zobrazení

globální – kontinuální – absolutní – vztažené
k rovině

Souřadnicových systémů patřících do této skupiny je celá řada a souvisí se znázorňováním povrchu Země na mapách. V průběhu historie jich byla definována celá řada. Jsou těsně svázány s konkrétními tzv. *kartografickými zobrazeními*. Význam tohoto pojmu bude vysvětlen v následujícím odstavci.

Chceme-li určitou velkou část zemského povrchu (kde již nelze zanedbat jeho zakřivení) zobrazit do roviny mapy, musíme provést v zásadě následující kroky:

1. Zmenšit zobrazovanou oblast tak, aby se vešla na list papíru požadované velikosti.
2. Systematickým způsobem převést zakřivený povrch Země do roviny při zachování prostorových vztahů.

Postupu převodu křivého zemského povrchu do roviny se říká *kartografické zobrazení* (angl. cartographic projection) a v podstatě se jedná o složitou a vícestupňovou transformaci geografických souřadnic (φ, λ) do odpovídajících souřadnic na mapě (např. (x, y)). Matematicky lze tuto transformaci zapsat (zjednodušeně) ve tvaru:

$$\begin{aligned}x &= f_1(\varphi, \lambda) \\y &= f_2(\varphi, \lambda)\end{aligned}$$

a schematicky naznačit

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

Ve skutečnosti se obvykle jedná o daleko složitější postup, využívající celé řady mezikroků, pracujících s různými plochami, které umožňují postupně zjednodušovat tvar zemského tělesa tak, aby bylo nakonec možné zobrazit ho v rovině. K nejčastěji používaným plochám patří [96], [283]:

- topografická plocha,

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

Tab. II.6.4 Rozměry vybraných referenčních elipsoidů (délky poloos jsou zaokrouhleny na dvě desetinná místa) [143].

- geoid,
- referenční elipsoid,
- referenční koule,
- zobrazovací plocha,
- referenční rovina.

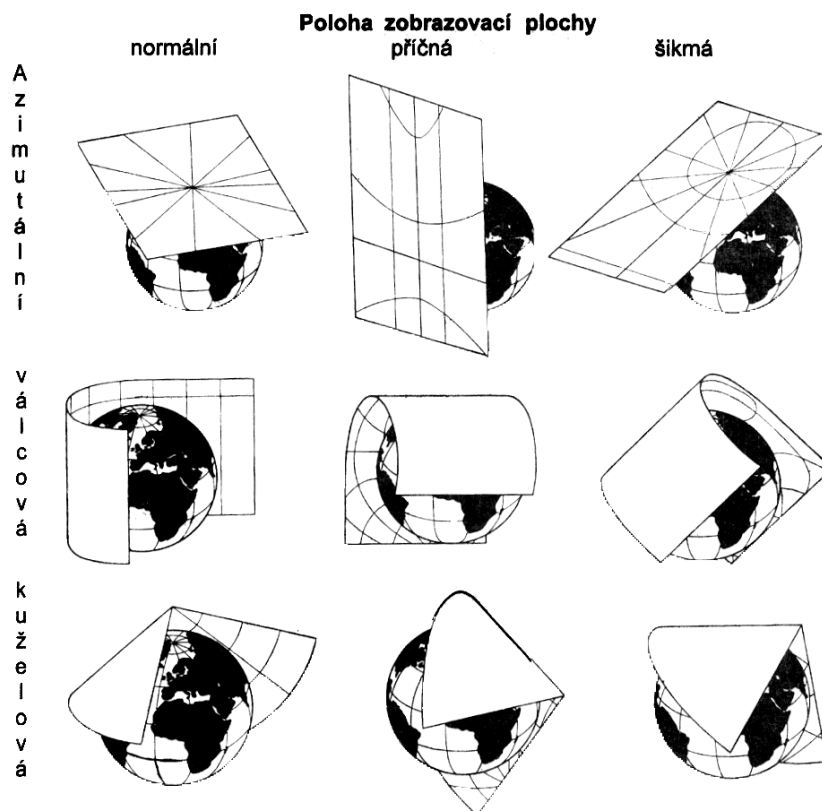
Topografická plocha. Vlastní povrch Země je velice složitý a členitý, než aby s ním bylo možné přímo pracovat. Proto se pro potřeby mapování a kartografie nahrazuje tzv. *topografickou plochou* (angl. topographic surface), která je spojitá a vyhlazuje mikrostrukturu reliéfu i jeho bezvýznamné, drobné tvary.

Geoid. Topografická plocha je stále ještě příliš mnohotvárná. Proto se obvykle nahrazuje jinou, fyzikálně definovatelnou plochou. Touto plochou je *geoid* (angl. geoid), definovaný jako souvislá plocha, která je kolmá k tížnicím Země a prochází zvoleným nulovým výškovým bodem klidné hladiny (označovaná též jako ekvipotenciální plocha tíhového pole Země). V místě oceánů je totožná s hladinou vody, v oblasti kontinentů je její průběh fiktivní. Jelikož je směr tížnic ovlivňován nepravidelným rozmístěním hmoty v zemské kůře, není povrch geoidu hladký, nýbrž mírně zvlněný, a to nejen v oblasti kontinentů, ale i oceánů [36].

Referenční elipsoid. I geoid má stále ještě příliš složitý průběh. Navíc jeho průběh nelze matematicky jednoduše popsat. Pro potřeby zobrazování povrchu zemského na mapě se proto nahrazuje ještě jednodušší plochou – *referenčním elipsoidem* (angl. referenc ellipsoid). Ten může nahrazovat geoid buďto globálně pro celou Zemi, nebo jen lokálně. V prvním případě hovoříme o *obecném zemském elipsoidu* [36], jehož střed je totožný se středem Země a jehož příkladem může být elipsoid světového geodetického systému WGS-84, který byl vypočten na základě družicových měření prováděných celosvětově a dlouhodobě pomocí družicových navigačních systémů. Povrch tohoto elipsoidu se ke geoidu přimyká natolik těsně, že maximální odchylky dosahují ± 60 m [36]. V druhém případě (a mnohem častěji) byl elipsoid volen tak, aby se ke geoidu přimyká co nejlépe jen v určité zájmové oblasti. V průběhu staletí zavedli kartografové celou řadu elipsoidů, vhodných pro různé účely a pro zobrazení různých částí povrchu zemského (viz tab. II.6.4).

Referenční koule. Výpočty na elipsoidu jsou poměrně složité. Proto se využívá skutečnosti, že referenční elipsoid má velice malé zploštění a lze ho v případě potřeby nahradit *koulí* (angl. sphere).

Přímé zobrazení koule do roviny je sice poměrně jednoduché, ale je vhodné jen pro malé oblasti. Ve větší vzdálenosti od tečného bodu se neobejde bez významných zkreslení. Proto se povrch koule obvykle promítá nejprve na tzv. *zobrazovací plochu*, která je rozvinutelná do roviny. Nejčastěji se jedná o *válec* (angl. cylindre) nebo *kužel* (angl. conus) a za určitých podmínek lze použít přímo i již zmíněnou *rovinu* (angl. plane). Jak rovina, tak i kužel a válec mohou vůči referenční kouli zaujímat polohu [96]:

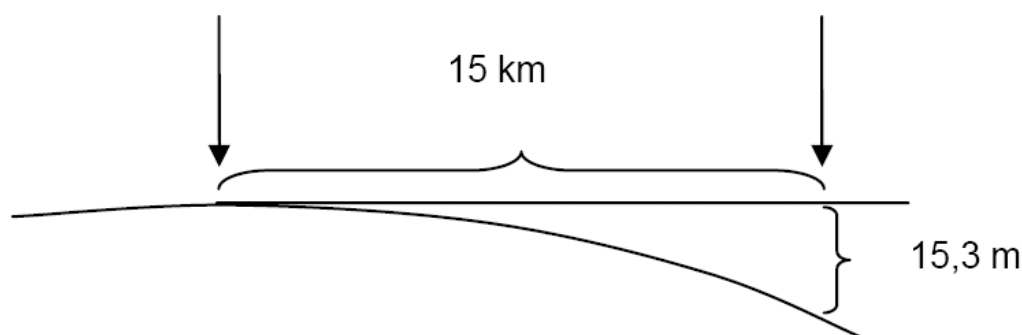


Obr. 2.2 Polohy zobrazovacích ploch

Obr. II.6.5 Polohy ploch rozvinutelných do roviny vůči referenční kouli [283].

- *poloha normální* (pólová; angl. polar) – osa kužele resp. válce je totožná s osou referenční plochy, resp. zobrazovací rovina se dotýká referenční plochy v zemském pólu – mluvíme o *zobrazení normálním, resp. pólovém*,
- *poloha příčná* (transverzální, rovníková, ekvatoriální; angl. transversal) – osa kužele resp. válce leží v rovině rovníku a prochází středem Země, resp. dotykový bod zobrazovací roviny je na rovníku; pak mluvíme o *zobrazení příčném*,
- *poloha obecná* (šikmá; oblique) – osa kužele resp. válce prochází středem Země, ale neleží ani v rovině rovníku, ani neprochází pólem; mluvíme o *zobrazení obecném (šikmém)*.

Referenční rovina (angl. reference plane). Poslední plochou je referenční rovina, která je přímo použitelná jen pro velice malé oblasti. V okruhu cca 10-15 km kolem středu (tečného bodu, v němž se rovina dotýká povrchu koule), tj. v oblasti o rozloze asi 700 km², je možné pro účely polohopisu považovat referenční plochu zemského povrchu za rovinu. Vodorovné úhly a délky jsou v tomto případě na zakřivené



Obr. II.6.6 Odchylka skutečného průběhu povrchu Země od roviny.

referenční ploše i na její tečné rovině prakticky stejné. S čím je však třeba počítat jsou výškové rozdíly způsobené zakřivením. Ve vzdálenosti 15 km od středu, tj. na hranici oblasti, činí odchylka skutečného průběhu povrchu koule (resp. elipsoidu) od horizontální roviny již 15.3 m (viz obr. II.6.6) [36].

Zpravidla je ale rovina výsledkem rozvinutí jedné ze zobrazovacích ploch – pláště válce nebo kužele – do roviny. Na této rovině je po té zaveden kartézský souřadnicový systém, který je přímo spojen s daným kartografickým zobrazením.

Kartografických zobrazení dnes existuje široká škála (podrobněji se lze s touto problematikou obeznámit v [160], [36], [96], [247] a dalších). O některých z nich, platných na našem území, se zmíníme na konci této kapitoly.

Různá kartografická zobrazení mají za následek tzv. *kartografická zkreslení* (angl. cartographic distortions nebo map distortions) zobrazované reality. K těmto zkreslením dochází proto, že vzor i jeho obraz jsou umístěny na plochách s odlišnou křivostí. Rozlišujeme především následující kartografická zkreslení [96]:

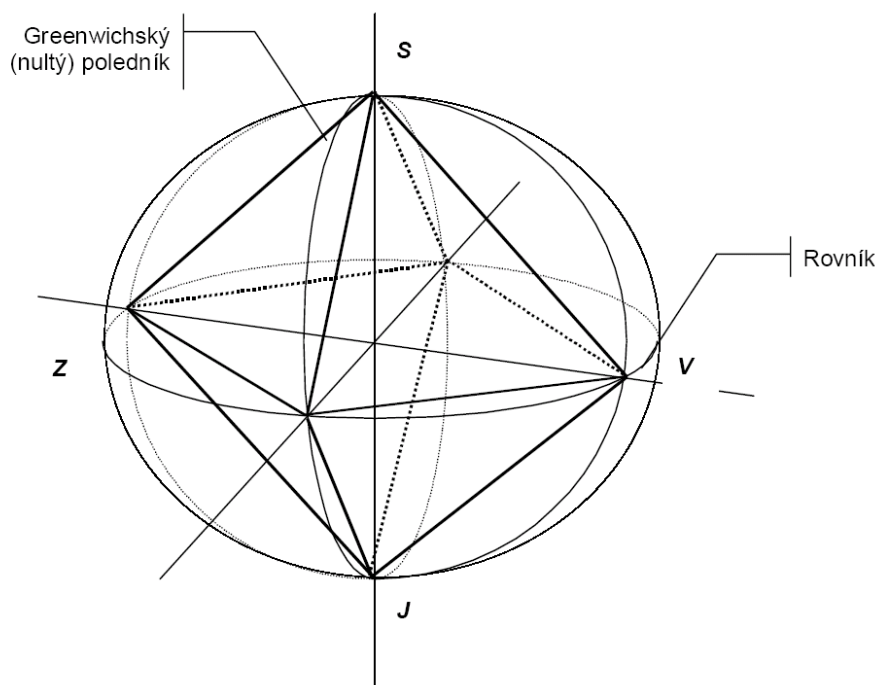
- *délkové* (angl. distance distortion) – kartografické zobrazení způsobuje zkreslení délek,
- *plošné* (angl. area distortion) – kartografické zobrazení způsobuje zkreslení ploch,
- *úhlové* (angl. angular distortion) – kartografické zobrazení způsobuje zkreslení úhlů.

Různá kartografická zobrazení se snaží vždy některé z těchto zkreslení eliminovat (s ohledem na účel, kterému mají výsledné mapy sloužit). Mluvíme potom mimo jiné o zobrazeních [96]:

- *ekvidistantních* (stejnodélných, délkojevných; angl. equidistant projection) –

eliminují zkreslení délek určité soustavy čar (tedy *zachovávají* délky ve směru poledníků nebo rovnoběžek),

- *ekvivalentních* (stejnoplochých, plochojevných; angl. equal-area nebo equivalent projection) – eliminují zkreslení ploch (tedy zachovávají plochy), zato mají za následek velká zkreslení úhlová,
- *konformních* (stejnoúhlých, úhlojevných; angl. conformal projection) – eliminují zkreslení úhlů (tedy zachovávají úhly), zato mají za následek vznik velkých zkreslení plošných,
- *kompensačních* (vyrovnávacích; angl. compensated projection) – která se podle hodnot plošného a úhlového zkreslení nacházejí někde mezi konformními a ekvivalentními zobrazeními, tj. snaží se obě zkreslení snížit na střední míru.



Obr. II.6.7 Sférický diskrétní souřadnicový systém – základní oktaedr [208].

Kartografická zobrazení se mohou také dělit podle používané zobrazovací plochy, pomocí které si můžeme představit vznik referenční plochy. Zde rozlišujeme mimo jiné [96]:

- *zobrazení na kulovou plochu* (angl. spherical projection),

- *jednoduchá zobrazení kuželová* (angl. conical projections), *válcová* (angl. cylindrical projections) a *azimutální* (angl. azimuthal nebo zenithal projections), tj. na plášť kužele či válce, které pak rozvineme do roviny, nebo přímo na rovinu,
- *nepravá zobrazení kuželová, válcová a azimutální – pseudokuželová* (angl. pseudoconical projection), *pseudocylindrická* (angl. pseudocylindrical projection), resp. *pseudoazimutální* (angl. pseudoazimuthal projection), v nichž jsou některé základní charakteristiky jednoduchých zobrazení vhodně upraveny,
- *mnohokuželová* (polykónická; angl. polyconical projections) *zobrazení*, v nichž se místo na jediný plášť kužele zobrazuje na nekonečný počet plášťů kuželů (na každý z nich se zobrazí vždy jen jedna dotyková křivka),
- *zobrazení po vymezených částech*.

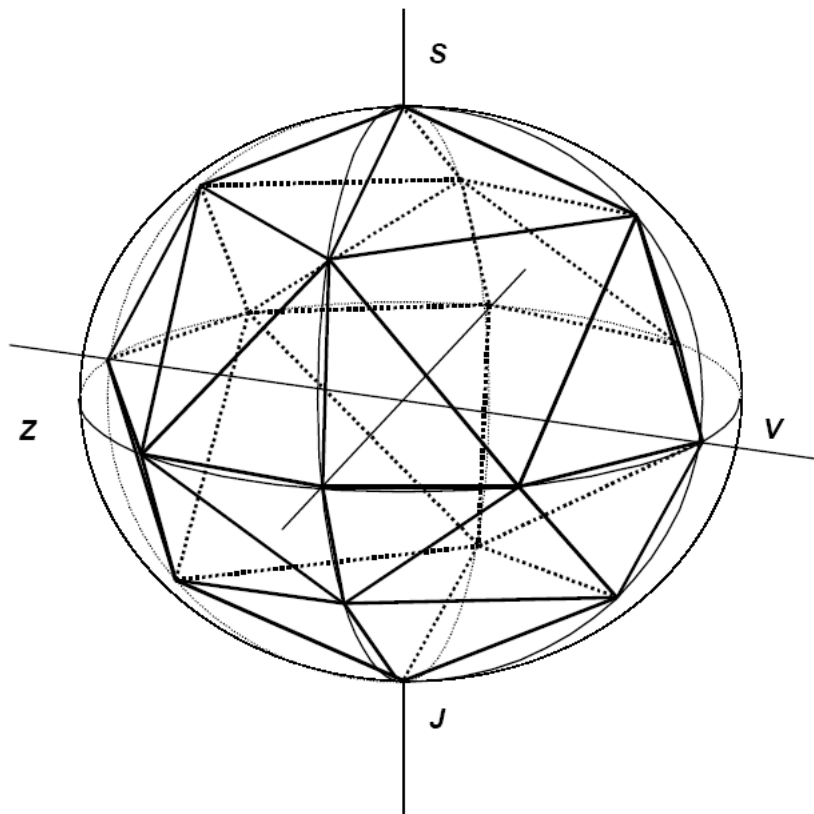
Toto je jen přehled základních pojmů z oblasti kartografických zobrazení. Jak již bylo uvedeno výše, podrobněji je možné se s problematikou kartografických zobrazení a jejich vlastností seznámit v celé řadě publikací, např. [160], [36], [96] a dalších.

Při práci s digitálními mapami je vždy nezbytné vědět, jaké kartografické zobrazení bylo použito pro jejich konstrukci, abychom věděli, jaké operace můžeme s mapami provádět a anebo zda je musíme nejprve transformovat do stejného kartografického zobrazení, a dále které geometrické informace a v jaké kvalitě můžeme z map získávat.

6.2.4 Sférický diskrétní souřadnicový systém

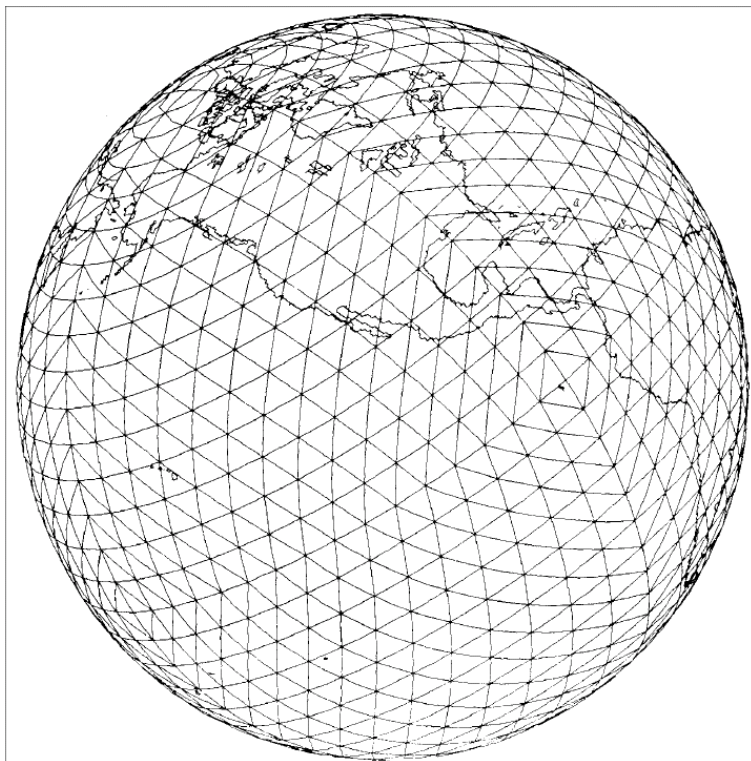
globální – diskrétní – absolutní – vztažený k zemskému tělesu

Sférický diskrétní souřadnicový systém je příkladem globálního diskrétního souřadnicového systému vztahujícího se k zemskému tělesu. Pokrývá celý povrch zeměkoule. Odvozuje se z oktaedru vepsaného do zeměkoule (viz obr. II.6.7), jehož trojúhelníkové strany jsou postupně rozdělovány na menší a menší trojúhelníky s tím, že nově vygenerované vrcholy jsou přimknuty k povrchu zemskému (viz obr. II.6.8 a obr. II.6.9). Výhodou tohoto prostorového referenčního systému je, že pokrývá povrch zemský sítí plošek přibližně stejné velikosti i tvaru a umožňuje na nich zavést jednoduché adresování v podobě hierarchického číslování trojúhelníků, jak je patrné z obr. II.6.10. Každý trojúhelník je přitom rozdělen na čtyři menší, střední dostává číslo 0, horní 1, levý 2 a pravý 3. Pokud například trojúhelník číslo 3 dále rozdělíme, pak střední trojúhelník bude mít číslo 30, horní 31, levý 32 a pravý 33 (čísla tedy přidáváme zprava). číslo 30 pak znamená, že menší trojúhelník vznikl



Obr. II.6.8 Sférický diskrétní souřadnicový systém – ukázka výsledku po prvním dělení [208].

dělením trojúhelníku číslo 3 a leží v jeho středu (trojúhelníček číslo 0).

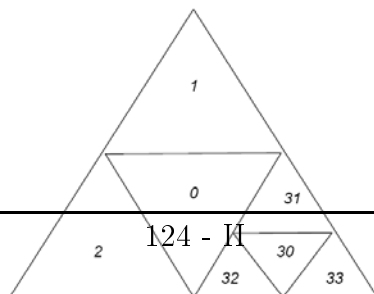


Obr. II.6.9 Sférický diskretní souřadnicový systém – ukázka výsledku po čtvrtém dělení [151].

6.2.5 Globální diskretní souřadnicový systém v rovině

globální – diskretní – absolutní – vztahený
k rovině

Globální diskretní souřadnicový systém v rovině se používá prakticky výhradně při práci s rastrovými daty. Je pro něj typické, že se souřadnice mění skokem. Poloha je definována pravidelně rozmístěnými plošnými prvky zpravidla čtvercového tvaru, odpovídajícími jednotlivým buňkám. V rámci rastru je souřadnicový systém definován tak, že počátek leží zpravidla v levém horním rohu rastru, osa i jde ve směru zleva doprava a osa j shora dolů (Obr. II.6.11). Rozměry buněk se berou jako jednotkové. Souřadnice se udávají ve formě dvojic sloupcových a řádkových indexů (i,j) .

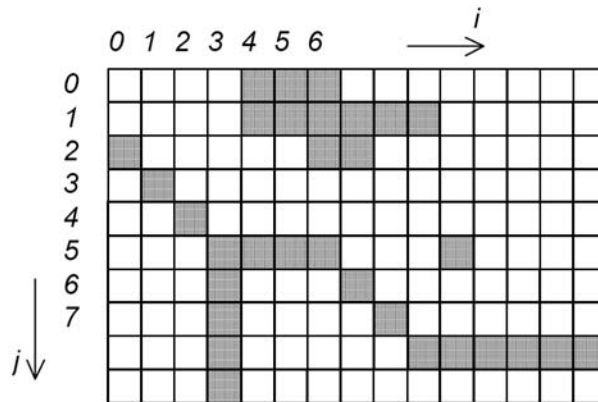


Obr. II.6.10 Sférický diskretní souřadnicový systém – ukázka dělení a adresace [208].

6.2.6 Lokální souřadnicové systémy

lokální – kontinuální – absolutní – vztažené
k rovině

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. připojovacího měření, kterým se připojujeme ke globálnímu souřadnicovému systému (např. souřadnicovému systému S-JTSK) a které může být časově náročné a finančně nákladné.



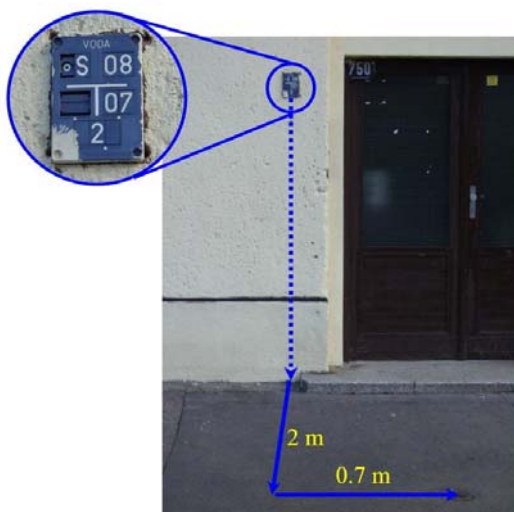
Obr. II.6.11 Diskrétní souřadnicový systém [208].

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

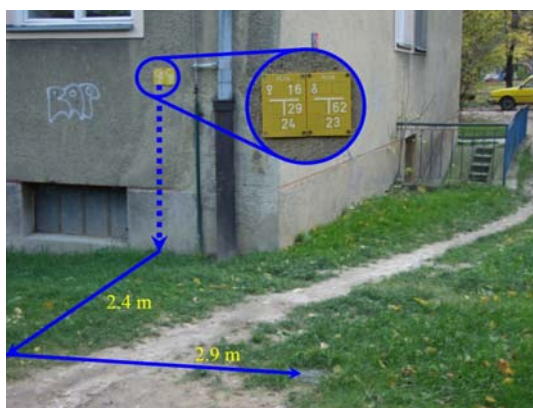
6.2.7 Souřadnicové systémy správců inženýrských sítí

lokální – kontinuální – relativní – vztažené
k rovině

V tomto případě se jedná se o relativní souřadnicové systémy udávající polohu relativně vzhledem k určitým pevně lokalizovaným geoprvkům, 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 vážícím se na tento geoprvek (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 – viz. obr. II.6.12), případně i podzemních elektrických kabelů vysokého napětí.



(a)



(b)

Obr. II.6.12 Ukázka určování polohy používaného správcí inženýrských sítí. V případě a) se jedná o uzávěr přívodu vody do domu. Jak je z obrázku patrné, uzávěr se nachází ve vzdálenosti 2 m od stěny domu a 70 cm napravo od tabulky. V případě b) se jedná o uzávěr na plynovodní síti. I zde je vyznačena poloha, tak jak je signalizována na levé tabulce.

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 správcí 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 patří i možnost likvidace původního orientačního bodu (např. v důsledku

demolice domu) a tím i ztráta „orientace“. Situace byla nakonec vyřešena tak, že se při tvorbě tzv. digitální technické mapy města provádělo systematické zaměřování polohy jednotlivých prvků geodetickými metodami (tzv. zaměřování uličních front).

Na druhou stranu správci inženýrských sítí mnohdy vyžadovali, aby výstup z geoinformačního systému obsahoval i takto udanou polohu například místa zásahu. Pro zasahující jednotku, která má odstranit poruchu v terénu, je mnohem jednodušší odměřit si zadané vzdálenosti od rohu budovy, která se nachází blízko místa zásahu, než provádět složitá geodetická měření a vytýčit si místo zásahu například v S-JTSK. Tuto situaci mění až nástup systému GPS, kdy může takto vybavená zásahová četa vytýčit místo zásahu rychle a přesně.

Příklad. Byl jsem jednou svědkem následující události: koncem 70. let proběhla rekonstrukce jedné křižovatky na méně významné komunikaci, v rámci které byl zbourán jeden starý dům a silnice byla opatřena novými obrubníky a živičnou vozovkou. Bohužel se po celou dobu rekonstrukce nikdo nestaral o „drobný“ detail: uprostřed křižovatky byly asi čtyři různé ventily/kohouty pro ovládání rozvodu vody a plynu, které se v průběhu rekonstrukce ocitly pod silnou vrstvou živice. Tabulky s určením jejich polohy byly navíc původně umístěny právě na zbořeném domě.

Po čase si někdo na ovládací prvky vzpomněl (nebo je možná potřeboval) – a vznikl problém. Jak je nalézt? Nakonec na křižovatku nastoupila četa s detektorem kovů a zbýjícím kladivem a začala úmorná práce: lokalizovat kovový předmět pod vozovkou, vyhloubit díru, nalézt onen kovový předmět (zpravidla kus šrotu) a hledat dál. Než se četě podařilo vyhledat a odkrýt všechny kohouty, byla křižovatka zcela zdevastovaná.

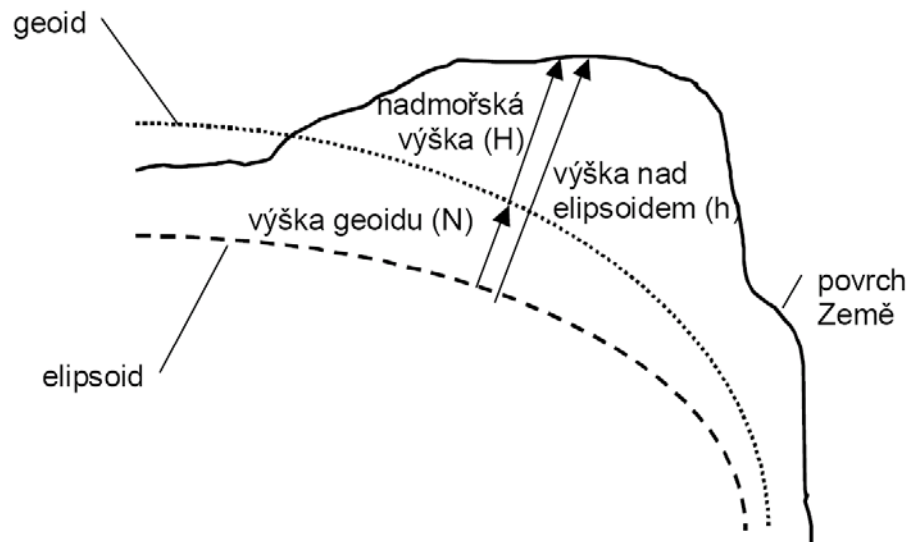
6.2.8 Staničení

lokální – kontinuální – relativní – vztažené k linii

Jedná se o souřadnicový systém používaný pro určování *relativní polohy* geoprvků vzhledem k výchozímu bodu („počátku“) podél zadané linie. 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 geoinformačních systémů. 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 geoinformačních systémů* – generalizace vede obecně ke zkracování linií, takže pokud za této situace začneme zadávat polohu geoprvků (kanálů, parkovišť, mostů, dopravních značek, atd.) podél obrazu silnice v geoinformačním systému dle původně zaznamenaných vzdáleností, začnou se geoprvky postupně podél linie vzdalovat směrem od počátku v porovnání se skutečnou polohou.



Obr. II.6.13 Vztah mezi výškou měřenou nad geoidem (tj. nadmořskou výškou) a výškou měřenou nad elipsoidem.

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

- mít všechny označníky přesně zaměřené, jejich polohu v případě úprav aktualizovat,

- vlastní reprezentace linie (silnice, vodního toku) v mapě musí bezpodmínečně procházet obrazy těchto označků.

Zajímavým důsledkem pak může být, že například říční kilometry mají různé délky, některý může být kratší než 1000 metrů, jiný delší.

6.2.9 Lokální diskretní souřadnicový systém v rovině

lokální – diskretní – absolutní – vztažený
k rovině

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. II.6.11). Rozměry buněk se berou jako jednotkové. Transformace do globálního souřadnicového systému není v tomto případě zavedena.

6.3 Souřadnicové systémy pro určování vertikální polohy

Souřadnicové systémy pro určování vertikální polohy jsou obvykle definovány nezávisle na souřadnicovém systému pro určování horizontální polohy. V podstatě slouží k určování výšky bodu nad zadanou referenční plochou. Tou může být buďto povrch elipsoidu nebo povrch geoidu (resp. střední hladina moře). Na obr. II.6.13 je ukázán vztah mezi takto měřenými výškami.

Výška nad elipsoidem, resp. *elipsoidická výška* nebo *geodetická výška* h (angl. height above ellipsoid – HAE, ellipsoidal height nebo geodetic height) je měřena od elipsoidu podél kolmice procházející měřeným bodem [112].

Nadmořská výška (výška nad geoidem) H (angl. height above mean sea level – MSL, gravity related height, orthometric height) je měřena od geoidu podél tížnice procházející měřeným bodem.

Jejich rozdíl N je označován jako *výška geoidu nad elipsoidem* (angl. geoidal height). Matematicky lze vztah těchto tří veličin vyjádřit takto:

$$h = H + N$$

Je nezbytné rozlišovat výšku nad elipsoidem a výšku nad geoidem. Zvláštní pozornost je nezbytné věnovat tomuto problému v souvislosti s používáním přijímačů GPS. Ty umožňují udávat výšku oběma způsoby. Vzhledem k tomu, že rozdíl těchto výšek se na našem území pohybuje v intervalu cca 40 – 50 m, může být záměna těchto hodnot zvláště v případě letecké navigace nebezpečná.

Pro určování výšek v zadaném areálu se používají tzv. *výškové systémy*. Ty nejsou výsledkem kartografického zobrazení. Zpravidla určují nadmořskou výšku geoprvků ve vztahu ke zvolené srovnávací hladině, resp. danému referenčnímu bodu, který je umístěn na pobřeží moře a je reprezentován tzv. *hydrometrickou stanicí* (označovanou někdy též jako *mořský vodočet*; angl. gauging station), což je stanice, v níž se měří střední hladina moře (angl. mean sea level).

6.4 Prostorové referenční systémy používané v české republice

Vláda české republiky vydala nařízení č. 116/1995 Sb. [184], 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 Reference System),
- *souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální* (závazná zkratka *S-JTSK*),
- *souřadnicový systém 1942* (závazná zkratka *S-42*),
- *výškový systém baltický* – 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.

Světový geodetický referenční systém (WGS-84)

Světový geodetický referenční systém 1984 je na území České republiky definován [184]:

1. technologiemi kosmické geodézie s primárními konstantami $a = 6378137$ m, $GM = 3986005 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$, $J_2 = 108263 \times 10^{-8}$, $\omega = 7292115 \times 10^{-11}$

$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ odvozenou konstantou $f = 1:298,257223563$, kde „a“ je délka hlavní poloosy hladinového elipsoidu, „GM“ je geocentrická gravitační konstanta, „J2“ je dynamické zploštění Země, „omega“ je nominální úhlová rychlost rotace Země a „f“ je zploštění hladinového elipsoidu,

2. Mercatorovým univerzálním konformním válcovým zobrazením v 6° poledníkových pásech,
3. souborem vyrovnaných souřadnic výchozích bodů nadřazené sítě nultého řádu.

Evropský terestrický referenční systém (ETRS)

Evropský terestrický referenční systém je na území české republiky definován [184]:

1. technologiemi kosmické geodézie a konstantami, které jsou součástí programů mezinárodních zpracovatelských center,
2. referenčním rámcem vybraných bodů Jednotné trigonometrické sítě katastrální, jejichž pravoúhlé geocentrické souřadnice byly vztaženy k evropskému terestrickému referenčnímu rámci (ETRF+ z angl. European Terrestrial Reference Frame), epoše 1989.0,
3. elipsoidem geodetického referenčního systému 1980 s konstantami $a = 6378137$ m, $f = 1:298,257222101$, kde „a“ je délka hlavní poloosy a „f“ je zploštění.

Systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK)

Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální je definován [184]:

1. Besselovým elipsoidem s parametry $a = 6377397,15508$ m, $b = 6356078,96290$ m, kde „a“ je délka hlavní poloosy, „b“ je délka vedlejší poloosy,
2. Křovákovým konformním kuželovým zobrazením v obecné poloze,
3. souborem souřadnic bodů z vyrovnání trigonometrických sítí.

Systém 1942 (S-42)

Souřadnicový systém 1942 je definován [184]:

1. Krasovského elipsoidem s parametry $a = 6378245$ m, $f = 1:298,3$, kde „a“ je délka hlavní poloosy, „f“ je zploštění,
2. Gaussovým příčným konformním válcovým zobrazením v 6° poledníkových pásech v Krügerově úpravě,

3. souborem souřadnic bodů z mezinárodního vyrovnání astronomicko-geodetických sítí.

Výškový systém baltský – po vyrovnání (Bpv)

Výškový systém baltský - po vyrovnání je definován [184]:

1. výchozím výškovým bodem, kterým je nula stupnice mořského vodočtu v Kronštadu, Rusko, Finský záliv,
2. souborem normálních výšek z mezinárodního vyrovnání nivelačních sítí.

Kapitola 7

Nepřímé určování polohy, geokódy

V případě nepřímého určování polohy již nemluvíme o souřadnicových systémech, nýbrž 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 význam¹⁾. 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.

Tyto systémy jsou založeny na skokové změně polohy. Polohy geoprvků se určují pomocí tzv. *geokódů*. Geokód lze definovat například takto (upraveno podle [209]):

Geokód je kód používaný pro nepřímé určování polohy.

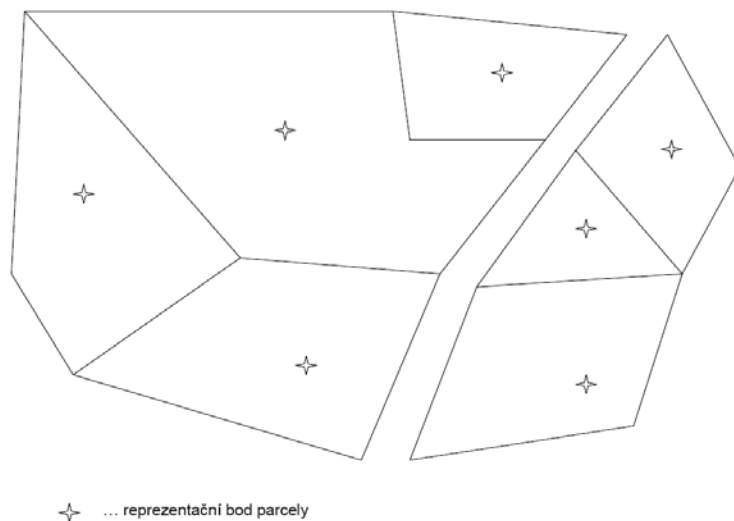
Geokódy jsou odvozovány zpravidla od sady geoprvků z dané třídy geoprvků. Pro tyto geoprvky je přitom zpravidla známá jejich poloha v prostoru.

Příkladem geokódů mohou být názvy měst, zastávek městské hromadné dopravy, poštovní doručovací adresy apod.

Systémy geokódů připouštějí i situaci, kdy je určení polohy geoprvku nejednoznačné, resp. kdy není možné polohu geoprvku určit vůbec. Z tohoto důvodu by bylo vhodné každý systém geokódů doplnit ještě o zvláštní geokódy, označené např. jako:

- nejednoznačný,

¹⁾Jediné, co by zde mohlo hrát roli, je velikost oblasti, pro kterou je konkrétní systém geokódů používaný.



Obr. II.7.1 Reprezentační body parcel použitelné pro nepřímé určování polohy geoprvků [208].

- neznámý,
- nepřirazený,

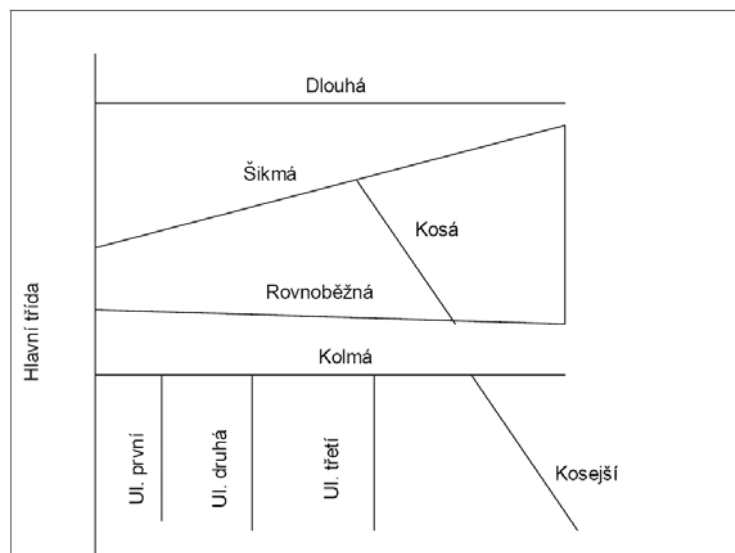
které by umožňovaly řešit i sporné případy. Takovéto řešení by pak umožňovalo i ošetření těchto mimořádných případů při zpracovávání geodat.

I v případě nepřímého určování polohy můžeme uvažovat o určování polohy jak v *horizontálním*, tak i ve *vertikálním* směru.

7.1 Systémy geokódů pro určování horizontální polohy

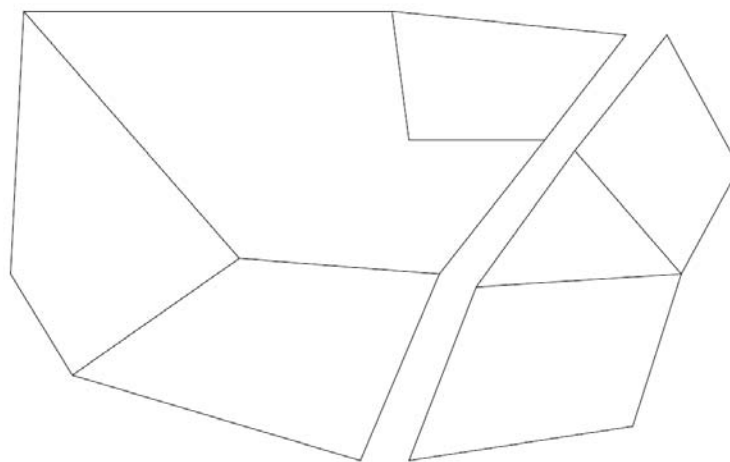
Systémy geokódů je možné rozdělit na:

- *Bodové* – polohy určených geoprvků se vztahují k bodovým geoprvkům. Podle rozmístění těchto geoprvků v (Euklidovském) prostoru lze bodové systémy geokódů rozdělit na:
 - *Nepřavidelné* – bodové geoprvky používané pro geokódování jsou v (Euklidovském) prostoru rozmístěny nepřavidelně. Jako příklad lze uvést reprezentační body (angl. centroid) parcel, které mohou sloužit k určování polohy celé řady geoprvků (viz obr. II.7.1), nebo adresy Územně identifikačního registru (ÚIR-ADR) apod. Poloha geoprvku se v mapě vyznačí bodem, případně značkou.



Obr. II.7.2 Ulice jako liniový systém pro nepřímé určování polohy [208].

- *Pravidelné* – bodové geoprvky používané pro geokódování 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



Obr. II.7.3 Parcely jako nepravidelný plošný systém geokódů pro nepřímé určování polohy [208].

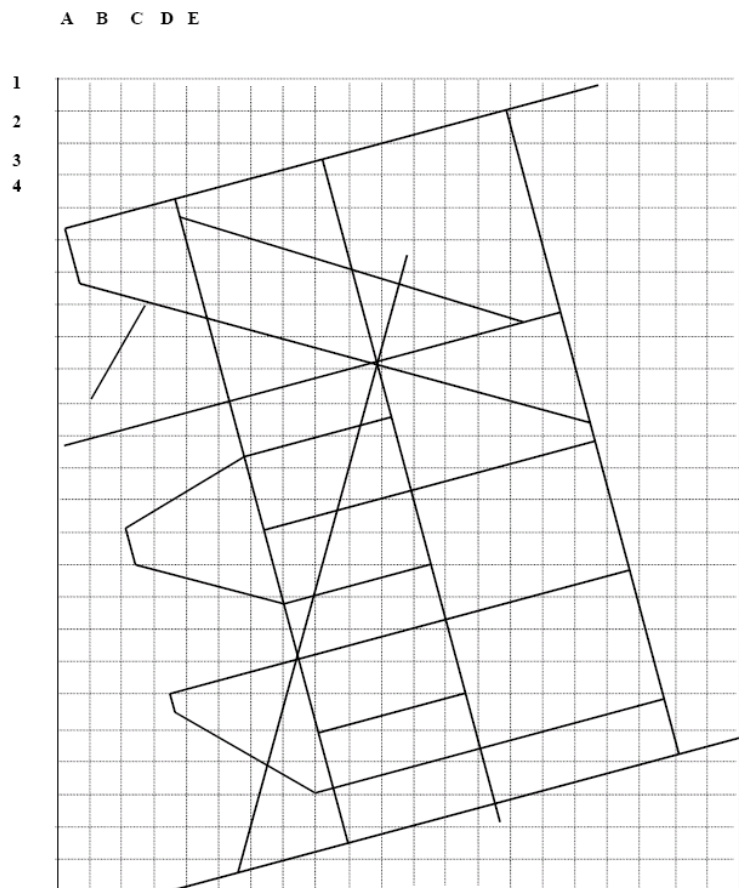
případně i požadované rozlišení.

- *Liniové* – polohy geoprvků se vztahují k liniovým geoprvkům. V tomto případě lze reálně uvažovat pouze o jediné variantě uspořádání liniových geoprvků, používaných pro geokódování, a tou je:
 - *Nepravidelné* – linie jsou v (Euklidovském) prostoru uspořádány nepravidelně. Jako příklad lze uvést úseky pozemních komunikací, ulic, rozvodných sítí apod. (viz obr. II.7.2). Poloha geoprvcu se vyznačí *linií*.
- *Plošné* – polohy geoprvků se vztahují k plošným geoprvkům. Podle uspořádání a tvaru ploch lze plošné systémy geokódů rozdělit na:
 - *Nepravidelné* – plošné geoprvky jsou v prostoru 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. II.7.3). Pomocí PSČ je opět možné provádět lokalizaci geoprvků. Poloha takto lokalizovaného geoprvcu 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. Velikost ploch (buněk) se přitom musí volit právě s ohledem na tolerovatelnou nepřesnost a požadované prostorové rozlišení.

Příklad. Na obr. II.7.4 je místo adresní vrstvy, jejíž vytvoření by bylo obtížné, vytvořen pravidelný plošný systém pro nepřímé určování polohy. Každé plošce je výčtem přiřazen seznam adres, které se k ní vztahují a údaje vztažené k adresám se pak vynášejí jako atributy těchto plošek.

Příklad: Velice názornou ukázkou nepravidelných systémů geokódů reprezentovaných bodovými, liniovými i plošnými geoprvky může být například plán městské hromadné dopravy v Ostravě:

- *zastávky představují síť geokódů reprezentovaných bodovými geoprvky, ke kterým lze vztáhnout např. jízdní řády, seznamy projíždějících linek, počty nastupujících a vystupujících cestujících, ale i adresy bydlíšť obyvatelstva,*



Obr. II.7.4 Pravidelný plošný systém pro nepřímé určování polohy jako náhrada bodového systému [208].

- úseky linek mezi zastávkami představují systém geoprveků reprezentovaných liniiovými 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 geokódy reprezentované plošnými geoprvků, 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 trvale žijících v dané zóně, atd.

Tento plán současně přesně vystihuje vztahy mezi geokódy reprezentovanými bodovými, liniiovými a plošnými geoprvků – je tedy použitelný i pro jejich vzájemnou transformaci.

7.2 Systémy geokódů pro určování vertikální polohy

I pro vertikální určování polohy je možné používat systémy geokódů. Příkladem mohou být klimatická pásma v horách, jako je pásmo lesa, pásmo kosodřeviny apod. nebo vertikální členění deštného pralesa (bylinné patro, keřové pásmo, spodní, střední a vrchní stromové patro).

Skutečností ale je, že tyto systémy geokódů se používají jen výjimečně, ve specifických situacích.

Kapitola 8

Čas, různé koncepce času

S porozuměním času, na rozdíl od prostoru, obvykle nemáme takové problémy. Čas patří ke kategoriím, které lze velice dobře intuitivně pochopit. Navíc s časem zcela běžně pracujeme, a to na velmi vysoké úrovni. Díky relativně přesným (a rozměrově malým) hodinkám řídíme běh svých každodenních činností běžně s absolutní přesností na minuty. Nečiní nám ani problém vnímat různé koncepce času. Na jednu stranu čas vnímáme jako kontinuální proud událostí, vinoucí se přirozeně jen jedním směrem (v reálném světě se není možné v čase vracet) nebo jako posloupnost opakujících se událostí, např. *ráno* (= východ slunce), *dopoledne*, *poledne* (= slunce v zenitu), *odpoledne*, *večer* (= západ slunce), *noc* nebo *jaro*, *léto*, *podzim*, *zima*. A stejně tak umíme používat i relativní určování času, např. *zítra*, *včera*, *předevčirem*, *před 150 lety* apod. Navíc mezi těmito různými pojetími času umíme vcelku bez problémů přecházet případně mezi nimi jednotlivé časové údaje převádět.

Příklad: časový údaj 8:00 snadno převedeme na časový údaj ráno, časový údaj 20:00 na časový údaj večer apod. (a oba údaje i na časový údaj dnes).

V prostředí geoinformačních systémů je však situace paradoxně velice odlišná. Zatímco pojetí prostoru (s kterým v běžném životě pracujeme vcelku vágně) je rozpracováno velice dobře (viz kap. 4), tak času byla dlouhou dobu věnována jen malá až žádná pozornost. Teprve v posledních cca deseti letech se situace začíná měnit. Nicméně většina výzkumu v oblasti geoinformatiky se zaměřuje na modelování času v kontextu jeho integrace do existujících geoinformačních systémů. Cílem je zahrnout čas do geoinformačních i databázových systémů tak, aby bylo možné provádět dotazy i s ohledem na čas. Není přitom brána v úvahu specifická povaha času jako takového. Zatímco statické prostředí s minimem změn je možné touto cestou modelovat vcelku úspěšně prostřednictvím zahrnutí času jako dalšího atributu, v případě dynamických dějů tento přístup selhává. Aby k tomu nedocházelo, musel by být čas v těchto případech zpracováván jako samostatná (a plnohodnotná)

dimenze [153].

Čas se svojí povahou výrazně liší od prostoru, v němž probíhají reálné procesy a existují objekty reálného světa. Zatímco tento prostor vnímáme obecně jako vícerozměrný, přičemž se v něm můžeme pohybovat zcela volně všemi směry, tak v případě času je situace jiná. V reálném světě čas vnímáme pouze jako jednorozměrný a je možné se v něm pohybovat jen jedním směrem (a v podstatě je nezbytné se trvale pohybovat – čas neustále plyne, nemůžeme ho zastavit). Naproti tomu v geoinformačním systému máme možnost se pohybovat i proti směru toku času (i když jen v rámci informací v databázích uložených) a můžeme čas považovat obecně i za vícerozměrný.

8.1 Historie pojetí času

Již v pradávných dobách si člověk všiml mnohých víceméně pravidelných změn, s nimiž se v přírodě setkával a které mnohdy podstatným způsobem ovlivňovaly jeho život. K nejvýznamnějším patří střídání východů a západů Slunce, střídání dnů a nocí, proměny Měsíce a zejména střídání ročních období. Člověk se postupně učil tyto cyklické změny pozorovat, popisovat, zaznamenávat. Již v pravěkých vykopávkách byly nalezeny důkazy o sestavování různých kalendářů, které umožňovaly tyto jevy nejen zaznamenávat, ale i předpovídat [133].

Člověk si přitom musel postupně uvědomit, že toto periodické střídání událostí nebo období je způsobeno cyklickými pohyby Země, a to jak rotací kolem zemské osy, tak i oběhem kolem Slunce.

8.2 Časové jednotky

Za základní v přírodě měřitelnou časovou jednotku považujeme *den*, jehož délka je dána jedním otočením Země kolem své osy. Při tomto otáčení Země postupně natáčí část svého povrchu ke Slunci, zatímco protilehlá strana je vždy od Slunce odvrácená, je ve tmě. Na různých místech zemského povrchu je tedy poledne (jakožto časový okamžik, který člověk intuitivně poznává) v jinou dobu; můžeme tak pro různá místa určit ve stejný okamžik rozdílný čas, který označujeme jako *čas místní*.

Pro praktické použití je den příliš velkou časovou jednotkou. Proto se postupem doby ustálilo jeho další dělení, a to na 24 hodin. Každá hodina přitom odpovídá otočení zemského tělesa o 15° . Hodina se dále dělí na 60 minut, minuta na 60 sekund, sekunda na sto milisekund a tak dále. Sekunda je dnes považována za základní měrnou jednotku a čas za základní fyzikální veličinu. Tzv. *střední sekunda* byla dříve definována takto:

Střední sekunda je 1/86 400 středního slunečního dne.

Vedle jednotek používaných pro dělení dne se používají i jednotky, reprezentující vícedenní intervaly. K nejznámějším patří týdny, měsíce, roky, desetiletí, staletí a tisíciletí.

Exaktní délky jednotek času byly definovány až s nástupem rozvoje přírodních věd, ke kterému došlo zhruba od 17. století. V poslední době se k definování jednotek času používají především poznatky moderních fyzikálních disciplín, jako je například kvantová fyzika. Sekunda jakožto základní jednotka času je v mezinárodním systému jednotek (SI) definována takto [259]:

Sekunda je doba trvání 9 192 631 770 period záření, která odpovídá rezonanční frekvenci kvantového přechodu mezi hladinami ($F = 4, M = 0$) a ($F = 3, M = 0$) velmi jemné struktury základního stavu $^2S_{1/2}$ atomu cesia ^{133}Cs .

Kapitola 9

Určování polohy v čase

9.1 Časové stupnice

Běžněji se místo *určování polohy v čase* říká přímo *určování času*. I v dalším textu budeme většinou respektovat tuto obecnou zvyklost, i když to není zcela přesné.

Stejně významnou roli, jakou hraje v geoinformačních technologiích určování polohy v prostoru, začíná hrát i určování a sledování času. Nejvýraznějším příkladem jsou družicové polohové systémy, pro které je přesná časová stupnice alfa a omegou jejich fungování. Je však možné uvést i mnohem hmatatelnější příklad: digitální katastr nemovitostí. Zde je například sledování proměny vlastnických vztahů v čase nutnou podmínkou jeho reálné použitelnosti. A nejenak je tomu i v oblasti různých prostorových analýz, kde je časová dimenze stále významnější, například při sledování změn životního prostředí nebo socioekonomických charakteristik daného území v čase.

Tak jak se v případě prostoru používají různé prostorové referenční systémy, používají se při určování času různé *časové referenční systémy*, označované obvykle termínem *časové stupnice* (angl. time scale; někdy budeme pro jednoduchost používat i jen označení čas). Časovou stupnicí je možné definovat takto [40]:

Časová stupnice je systém měření času umožňující vyjadřovat vztahy událostí tak, jak k nim dochází od zadané časové epochy.

Časové stupnice můžeme rozdělit (klasifikovat) dle následujících kritérií:

1. spojitost (kontinuální/diskrétní),
2. cykličnost (periodicita; lineární/cyklický),
3. závislost určování času na jiné události (absolutní/relativní),
4. prostorový rozsah platnosti (globální/lokální),

5. k čemu se vztahují (k Zemi, k časovému pásmu, k místnímu poledníku, k dané lokalitě),
6. způsob určování polohy v čase (přímý/nepřímý).

Ad 1, *Spojítost*: Tato vlastnost určuje, jak se může měnit čas. V úvahu přicházejí dva typy časových stupnic:

- kontinuální,
- diskrétní.

Kontinuální časová stupnice je taková, kde se čas může měnit plynule, bez náhlých skoků. Příkladem může být reálný čas, tak jak ho známe z běžného života.

Diskrétní časová stupnice je taková, kde se čas nemění plynule, nýbrž skokem. Příkladem může být kalendář. Celý den je stále stejné datum, jen o půlnoci dojde k náhlému posunu o jeden den.

Ad 2, *Cykličnost*: Na základě tohoto kritéria rozlišujeme časové stupnice:

- lineární,
- cyklické.

Lineární časové stupnice jsou takové, které mají pevně definovaný počátek a čas se udává jako vzdálenost od tohoto počátku.

Cyklické časové stupnice jsou takové, které se periodicky opakují a které samy o sobě neumožňují jednoznačně určit čas události. Příkladem takové stupnice může být posloupnost ročních období (jaro, léto, podzim, zima), posloupnost dnů v týdnu nebo posloupnost měsíců.

Ad 3, *Závislost určování času na jiné události*: Časová stupnice může být obecně buďto zcela nezávislá na jakýchkoliv událostech nebo naopak zcela závislá. Proto zde rozlišujeme dvě základní kategorie časových stupnic:

- absolutní,
- relativní.

Absolutní časové stupnice mají zcela jednoznačně definovaný svůj počátek a svoji fyzikální realizaci. Příkladem může být reálný čas, realizovaný pomocí různých hodin resp. hodiněk. V případě časových údajů změřených prostřednictvím absolutní časové stupnice můžeme počítat i délky časových intervalů mezi nimi apod. (tj. existuje zde metrika).

Relativní časové stupnice jsou většinou vyjádřeny prostřednictvím posloupnosti událostí, u nichž známe jejich přesné pořadí, ale nemusíme znát přesné časy (vyjádřené v absolutní časové stupnici), kdy k nim došlo. Používání relativních časových

stupnic je typické například pro geologii, kde je možné z vrstevního sledu vyčíst pořadí geologických událostí, ale jejich absolutní datování je v drtivé většině případů neznámé.

Ad 4, *Prostorový rozsah platnosti:* Z tohoto pohledu dělíme časové stupnice na:

- globální,
- lokální.

Globální časové stupnice jsou takové, které jsou určeny pro měření času na celé Zemi a v přilehlém kosmickém prostoru nebo alespoň v rámci velkých oblastí na Zemi. Obvykle jsou svázány se svojí globální fyzikální realizací. Příkladem může být *univerzální koordinovaný čas* případně *pásmový čas* (čas platný v jednotlivých časových pásmech).

Lokální časové stupnice jsou takové, které platí jen v omezeném prostoru. Opět jsou svázány se svojí fyzikální realizací, která je v tomto případě rovněž lokální. Příkladem může být *sluneční čas* realizovaný prostřednictvím slunečních hodin.

Ad 5, *K čemu se vztahují:* Časové stupnice se mohou vztahovat obecně k:

- Zemi,
- časovému pásmu,
- místnímu poledníku,
- určité lokalitě.

Časové stupnice vztahující se k Zemi jsou koncipované tak, že umožňují určovat čas kdekoli na Zemi a případně i v přilehlém kosmickém prostoru. Jsou vždy spojeny se svojí konkrétní fyzikální realizací.

Časové stupnice vztahující se k časovému pásmu jsou obvykle odvozené od časových stupnic vztahujících se k Zemi, zpravidla prostým posunutím času o celý násobek hodin. Nemají tedy vlastní fyzikální realizaci.

Časové stupnice vztahující se k místnímu poledníku umožňují určovat čas platný pro místo měření a pro všechna místa nacházející se na tomtéž místním poledníku. Jsou svázány se svojí fyzikální realizací – slunečními hodinami.

Časové stupnice vztahující se k dané lokalitě jsou rovněž svázány se svojí konkrétní fyzikální realizací (např. slunečními hodinami nebo jinými hodinami nena- vazujícími na globální čas). Jejich platnost je omezena jen na malé území.

Ad 6, *Způsob určování polohy v čase:* Určování polohy v čase je možné provádět :

- přímo,

- nepřímo.

Přímé určování polohy v čase se provádí prostřednictvím časového údaje odvozeného zpravidla z absolutní časové stupnice. Typickým příkladem je udání času např. 26.1.2002 v 23:34:12.

Nepřímé určování polohy v čase se provádí odkazem na určitou událost, např. v době bronzové, po vyvraždění Slavníkovců, za druhé světové války, na konci druhohor apod. Všimněme si, že v tomto případě se obvykle odkazujeme na určitý časový interval nebo určité časové období, jehož poloha na absolutní časové ose je zpravidla (i když ne vždy) známá.

V průběhu historie lidstva byla vyvinuta celá řada časových stupnic [107], [264], [158]:

- siderický čas,
- solární čas,
- univerzální čas,
- atomový čas,
- univerzální koordinovaný čas,
- efemeridový čas,
- dynamický čas,
- juliánský den,
- a jiné.

Do nedávné minulosti byla nejpřesnějším zdrojem časových údajů astronomie. Na Zemi neexistoval žádný jiný způsob přesnějšího určování času, než byla astronomická pozorování. Koneckonců všechny běžně používané přirozené časové jednotky (den, měsíc, rok) vycházejí z period pohybu různých nebeských těles (rotace Země, oběh Měsíce kolem Země, oběh Země kolem Slunce). Teprve v minulém století byly vyvinuty prostředky pro mnohem přesnější určování času – tzv. *atomové hodiny* (viz dále).

Podívejme se blíže na některé z těchto časových stupnic.

9.1.1 Siderický čas

Siderický čas (angl. Siderial Time) je odvozovaný od rotace Země vzhledem ke vzdáleným hvězdám. Jeho sledování je proto závislé na astronomických pozorováních noční hvězdné oblohy. Siderický den může být definován přibližně jako doba mezi dvěma následujícími průchody stejné hvězdy nad lokálním poledníkem. Doba

trvání siderického dne vyjádřená pomocí tzv. *univerzálního času* (viz dále) je 23 h 56 m 04.0905 s.

Vzhledem k tomu, že se siderický den vztahuje k lokálnímu poledníku, je obecně závislý na místě pozorování. Aby bylo možné zavést určitý globální standard siderického času, bylo dohodnuto, že se tato časová stupnice bude vztahovat ke Greenwichskému poledníku a bude se nazývat Greenwichský střední siderický čas (angl. Greenwich Mean Siderial Time, GMST). Aby bylo možné GMST převést na lokální čas, je nezbytné znát zeměpisnou délku místa pozorování. Siderický čas je jedním ze stavebních kamenů *univerzálního času* [107].

9.1.2 Solární čas

Solární čas (angl. Solar Time) je odvozovaný od rotace Země vzhledem ke Slunci. Solární den je definován jako doba, která uplyne mezi dvěma následujícími průchody Slunce nad lokálním poledníkem. Avšak vzhledem k tomu, že Země během jedné své otočky urazí i nezanedbatelnou část své oběžné dráhy kolem Slunce, celková doba jedné úplné otáčky Země vzhledem k Slunci je ve srovnání se siderickým dnem o něco delší. V důsledku toho je solární den o cca 4 minuty delší než den siderický. Další nepříjemností je, že délka slunečního dne se mění s ročním obdobím, což je přímým důsledkem jednak excentricity dráhy Země kolem Slunce a jednak sklonu zemské osy.

Aby byla získána co nejpravidelnější časová stupnice, je i pro solární čas zaveden určitý (i když fiktivní) standard – tzv. *střední solární čas* (angl. Mean Solar Time). Rozdíl (posun) mezi středním solárním časem a pravým solárním časem se mění v závislosti na ročním období a vykazuje dvě minima a dvě maxima [107], [132]:

11. února	+14.5. min	(střední solární čas předbíhá čas pravý)
14. května	- 4.0 min	
26. července	+ 6.4 min	
3. listopadu	- 16.3 min	(střední solární čas se opoždíuje)

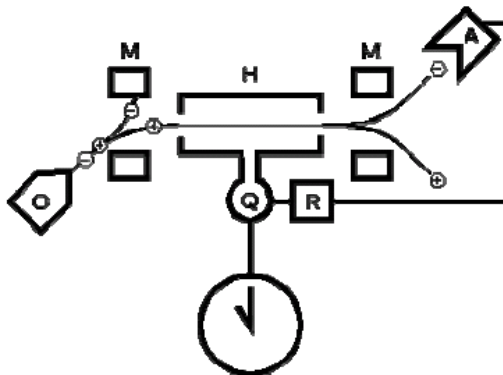
9.1.3 Univerzální čas

Univerzální čas (angl. Universal Time, zkr. UT) byl zaveden v roce 1926 jako náhrada za do té doby používaný Greenwichský střední čas (angl. Greenwich Mean Time, zkr. GMT). Velkým nedostatkem Greenwichského středního času bylo, že pro něj existovalo několik definic, které vykazovaly dosti podstatné rozdíly ve výsledné časové stupnici. Proto byl Greenwichský střední čas nakonec opuštěn a nahrazen mnohem jednoznačněji definovaným univerzálním časem [107].

Pro většinu praktických potřeb je univerzální čas roven střednímu solárnímu času vztaženému ke Greenwichskému poledníku. Nicméně ve skutečnosti není tato

časová stupnice odvozována od rotace Země ve vztahu ke Slunci, nýbrž je odvozována pomocí matematického vztahu, zohledňujícího tvar oběžné dráhy Země, od mnohem přesnějšího siderického času. V důsledku toho nejsou tyto dvě časové stupnice navzájem nezávislé, nýbrž jsou v podstatě dvěma realizacemi stejné časové stupnice, které se liší pouze délkou základní časové jednotky.

Univerzální čas je nezbytné ještě dále zpřesnit. Základní univerzální čas odvozený od astronomických pozorování je označován zkratkou UT0. Pravidelnost této časové stupnice je však ovlivňována pomalým přesouváním zemských pólů. Pokud zavedeme do časové stupnice UT0 korekce na posun zemských pólů, dostaneme časovou stupnici označovanou zkratkou UT1. Dále je možné ještě zavést korekce na kolísání rychlosti rotace Země. Dostali bychom tak časovou stupnici UT2, která se však v praxi již nevyužívá, protože dnes máme k dispozici jiné a mnohem přesnější prostředky pro udržování přesného času. V astronomii se proto běžně užívá časová stupnice UT1 [274].



Obr. II.9.1 Schéma cesiových atomových hodin [195]. \oplus označuje částice v energetickém stavu $E2$ a \ominus částice v energetickém stavu $E1$. O - píčka, M - magnet, H - rezonátor, A - detektor, Q - oscilátor, R - zpětná vazba.

9.1.4 Atomový čas

V mezinárodním systému jednotek SI je sekunda definována jako doba trvání 9 192 631 770 period vlnění vyvolaného přechodem v elektronovém obalu izotopu cesia 133 (za specifických podmínek). Tato definice byla zvolena tak, aby co nejlépe vyhovovala délce dříve používaného standardu pro sekundu. Sekunda SI pouze definuje abstraktní atomový čas. Pokud však chceme mít k dispozici použitelnou časovou stupnici založenou na sekundě SI, musíme mít k dispozici vhodné zařízení, které ji bude realizovat. Takovým zařízením jsou *atomové hodiny* (angl. Atomic Clock; obr. II.9.2).



Obr. II.9.2 Ukázka praktické (fyzikální) realizace cesiových atomových hodin (HP 5071A [17]).

Atomové hodiny pracují podle následujícího principu (upraveno dle [195]): Ve vytápěné peci se atomy cesia ^{133}Cs dostávají ze základního stavu E1 do excitovaného stavu E2. Zpětný přechod do základního stavu může být vynucen; atom cesia přitom vyzáří foton záření s frekvencí $f_{Cs} = 9\,192\,631\,770$ Hz. Nepřesnost této frekvence je vyjádřena relativní chybou 10^{-14} . Jen pro srovnání: nepřesnost kmitu kyvadla je 10^{-5} , nepřesnost periody oběhu Země je 10^{-8} a nepřesnost frekvence kmitu krystalu křemíku je 10^{-11} . Díky atomovým hodinám je proto možné měřit čas s přesností dříve nevídanou. Navíc jsou vyvíjeny nové generace atomových hodin, založených například na vodíkovém maseru, jejichž přesnost je ještě vyšší.

Vlastní hodiny pracují tak, že v peci (vakuové komoře) (O) se vypařují atomy cesia (obr. II.9.1). Magnetickým polem (M) jsou do prostoru dutinového rezonátoru (H) vychýleny pouze atomy v excitovaném stavu. Zde jsou podrobeny působení mikrovlnného záření s frekvencí rovnou f_{Cs} , které vyvolá přechod atomů do základního stavu. Tyto atomy jsou na výstupu z rezonátoru opět vychýleny magnetickým polem tak, aby dopadaly na detektor (A). Počet atomů dopadajících na detektor je největší, pokud je frekvence oscilátoru (Q) generujícího mikrovlnné záření rovna přesně f_{Cs} . Zpětnou vazbou (R) je tak tento oscilátor udržován přesně na požadované frekvenci. Napočítáním $9\,192\,631\,770$ period je získán ze signálu oscilátoru časový interval délky jedné sekundy.

Datum	Časový rozdíl
1961 JAN 1	TAI-UTC= 1.4228180 S
1961 AUG 1	TAI-UTC= 1.3728180 S
1962 JAN 1	TAI-UTC= 1.8458580 S
1963 NOV 1	TAI-UTC= 1.9458580 S
1964 JAN 1	TAI-UTC= 3.2401300 S
1964 APR 1	TAI-UTC= 3.3401300 S
1964 SEP 1	TAI-UTC= 3.4401300 S
1965 JAN 1	TAI-UTC= 3.5401300 S
1965 MAR 1	TAI-UTC= 3.6401300 S
1965 JUL 1	TAI-UTC= 3.7401300 S
1965 SEP 1	TAI-UTC= 3.8401300 S
1966 JAN 1	TAI-UTC= 4.3131700 S
1968 FEB 1	TAI-UTC= 4.2131700 S
1972 JAN 1	TAI-UTC= 10.0 S
1972 JUL 1	TAI-UTC= 11.0 S
1973 JAN 1	TAI-UTC= 12.0 S
1974 JAN 1	TAI-UTC= 13.0 S
1975 JAN 1	TAI-UTC= 14.0 S

Datum	Časový rozdíl
1976 JAN 1	TAI-UTC= 15.0 S
1977 JAN 1	TAI-UTC= 16.0 S
1978 JAN 1	TAI-UTC= 17.0 S
1979 JAN 1	TAI-UTC= 18.0 S
1980 JAN 1	TAI-UTC= 19.0 S
1981 JUL 1	TAI-UTC= 20.0 S
1982 JUL 1	TAI-UTC= 21.0 S
1983 JUL 1	TAI-UTC= 22.0 S
1985 JUL 1	TAI-UTC= 23.0 S
1988 JAN 1	TAI-UTC= 24.0 S
1990 JAN 1	TAI-UTC= 25.0 S
1991 JAN 1	TAI-UTC= 26.0 S
1992 JUL 1	TAI-UTC= 27.0 S
1993 JUL 1	TAI-UTC= 28.0 S
1994 JUL 1	TAI-UTC= 29.0 S
1996 JAN 1	TAI-UTC= 30.0 S
1997 JUL 1	TAI-UTC= 31.0 S
1999 JAN 1	TAI-UTC= 32.0 S

Tab. II.9.1 Vývoj časového rozdílu mezi atomovým časem (TAI) a univerzálním koordinovaným časem (UTC). Upraveno a doplněno podle [95].

Pokud budeme mít k dispozici více atomových hodin, snadno zjistíme, že mezi nimi existují (byť i minimální) rozdíly. Z tohoto důvodu je provozována celá řada atomových hodin rozmístěných po celém světě (je jich okolo dvou set [264]) a z jejich měření je počítán vážený průměr, který pak představuje tzv. *atomový čas* (angl. Atomic Time; zkr. TAI z fr. Temps Atomique International). TAI dnes představuje nejlepší realizaci časové stupnice založené na sekundě SI, vykazující relativní přesnost $\pm 2 \cdot 10^{-14}$ s.den⁻¹ (v roce 1990) [107], [158]. Podrobněji se lze s principem fungování atomových hodin seznámit např. v [18] a [159].

9.1.5 Univerzální koordinovaný čas

Hlavní nevýhoda časové stupnice UT1 – proměnlivost délky sekundy z ní odvozené – byla odstraněna zavedením nové časové stupnice (v roce 1972 [30]), tzv. *univerzálního koordinovaného času* (angl. Universal Time Coordinated, zkr. UTC; fr. Temps Universel Coordonné), která je založena na sekundě definované v rámci jednotek SI a udržované atomovými hodinami. Přitom je vyžadováno, aby rozdíl mezi časovými stupnicemi UTC a UT1 nikdy nepřesáhl 0.9 s. UTC tak poskytuje vy-

soce stabilní časovou stupnici založenou na jednoznačně definované jednotce času i dobrou shodu s astronomicky odvozenou časovou stupnicí. Časová stupnice UTC je v současné době široce využívána jak pro civilní, tak i pro vojenské účely s tím, že pro vojenské účely si obvykle mocnosti udržují svoje vlastní, národní realizace UTC, které budeme označovat indexem, např. UTC_{USNO} (časová stupnice udržovaná United States Naval Observation v USA a používaná jako časový standard např. pro družicový navigační systém GPS), UTC_{RF} (udržovaná Hlavním metrologickým centrem ruských časových a kmitočtových služeb (VNIIFTRI) v Mendělejevu u Moskvy a používaná jako časový standard např. pro družicový navigační systém GLONASS) apod. Nevýhodou těchto individuálně udržovaných realizací UTC je, že nejsou zcela synchronní, časový rozdíl mezi nimi není stabilní, ale kolísá a mnohdy jeho hodnotu neznáme. Tento problém vynikl například při vývoji sdružených přijímačů GPS/GLONASS, kdy zpočátku nebyl znám časový rozdíl mezi UTC_{USNO} a UTC_{RF} .

Mezinárodní časovou stupnici UTC si označíme jako UTC_{BIPM} . Tato časová stupnice je udržována v laboratoři Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) v Paříži.

U nás se používá tzv. *pražský koordinovaný čas* (UTC_{TP} – UTC Tempus Pragense), který je definován od 1.1.1969 a udržuje ho Ústav radiotechniky a elektroniky AV ČR v Praze – Kobyliších. K udržování času se od roku 1998 používají cesiové atomové hodiny Hewlet-Packard model 5071A (viz obr. II.9.2). Vazba UTC_{TP} na univerzální koordinovaný čas UTC je zajišťována denními měřeními prostřednictvím systému GPS. Mezinárodní úřad pro váhy a míry BIPM publikuje pravidelně odchylky času UTC_{TP} a UTC [134].

Vzhledem k tomu, že časová stupnice UTC je založena na sekundě SI, jejíž délka je odlišná od sekundy odvozené z časové stupnice UT1, dochází k pomalému posunu těchto dvou časových stupnic. Aby byla dodržena výše uvedená podmínka maximálního povoleného rozdílu mezi oběma časy, byl do časové stupnice UTC zahrnut mechanismus tzv. *přestupných sekund* (angl. leap second), jehož cílem je korigovat narůstající odchylky UTC a UT1. V praxi to znamená, že pokud rozdíl překročí povolenou mez, je do časové stupnice UTC vložena (nebo naopak z ní vyjmuta) jedna sekunda. K tomu dochází (je-li to nezbytné) v poslední minutě 30. června nebo 31. prosince. Potřebu zavedení přestupné sekundy vyhláší služba the International Earth Rotation Service (IERS) [111]. Potřeba zavedení přestupné sekundy je oznamována vždy v dostatečném předstihu tak, aby se všichni uživatelé mohli včas připravit. Na obr. II.9.3 [66] je uvedena zpráva, publikovaná 15. ledna 2005, v níž se oznamuje, že k 30.6.2005 nebude zavedena přestupná sekunda [66] a na obr. II.9.4 je pro srovnání uvedena zpráva oznamující zařazení přestupné sekundy k 31.12.1998 [66].

INTERNATIONAL EARTH ROTATION AND REFERENCE SYSTEMS SERVICE (IERS)
SERVICE INTERNATIONAL DE LA ROTATION TERRESTRE ET DES SYSTEMES DE REFERENCE
SERVICE DE LA ROTATION TERRESTRE
OBSERVATOIRE DE PARIS

61, Av. de l'Observatoire 75014 PARIS (France)

Tel. : 33 (0) 1 40 51 22 26

FAX : 33 (0) 1 40 51 22 91

Internet : services.iers@obspm.fr

Paris, 14 January 2005

Bulletin C 29

To authorities responsible
for the measurement and
distribution of time

INFORMATION ON UTC - TAI

NO positive leap second will be introduced at the end of June 2005.

The difference between Coordinated Universal Time UTC and the
International Atomic Time TAI is :

from 1999 January 1, 0h UTC, until further notice : $UTC-TAI = -32$ s
Leap seconds can be introduced in UTC at the end of the months of December
or June, depending on the evolution of $UT1-TAI$. Bulletin C is mailed every
six months, either to announce a time step in UTC, or to confirm that there
will be no time step at the next possible date.

Daniel GAMBIS

Director

Earth Orientation Center of IERS

Observatoire de Paris, France

*Obr. II.9.3 Zpráva o nezařazení přestupné sekundy do časové stupnice UTC
na konci června 2005, publikovaná v lednu téhož roku [66].*

INTERNATIONAL EARTH ROTATION SERVICE (IERS)
SERVICE INTERNATIONAL DE LA ROTATION TERRESTRE

BUREAU CENTRAL DE L'IERS
OBSERVATOIRE DE PARIS
61, Av. de l'Observatoire 75014 PARIS (France)
Tel. : 33 (0) 1 40 51 22 26
FAX : 33 (0) 1 40 51 22 91
Internet : iers@obspm.fr

Paris, 17 July 1998

Bulletin C 16

To authorities responsible for
the measurement and distribution
of time

UTC TIME STEP
on the 1st of January 1999

A positive leap second will be introduced at the end of December 1998.
The sequence of dates of the UTC second markers will be:

1998 December 31,	23h 59m 59s
1998 December 31,	23h 59m 60s
1999 January 1,	0h 0m 0s

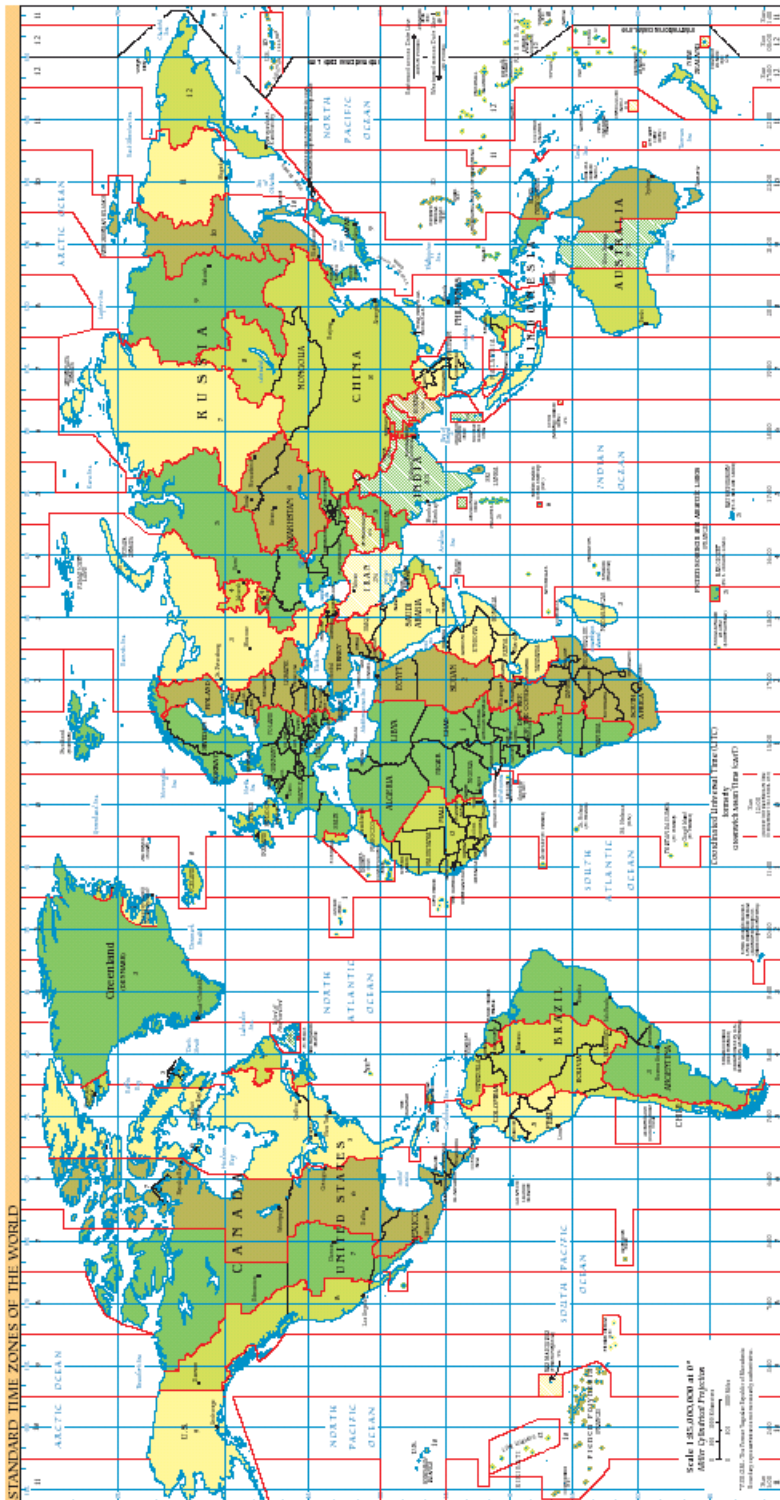
The difference between UTC and the International Atomic Time TAI is:

from 1997 July 1, 0h UTC, to 1999 January 1, 0h UTC	: UTC-TAI = - 31s
from 1999 January 1, 0h UTC, until further notice	: UTC-TAI = - 32s

Leap seconds can be introduced in UTC at the end of the months of December or June, depending on the evolution of UT1-TAI. Bulletin C mailed every six months, either to announce a time step in UTC, or to confirm that there will be no time step at the next possible date.

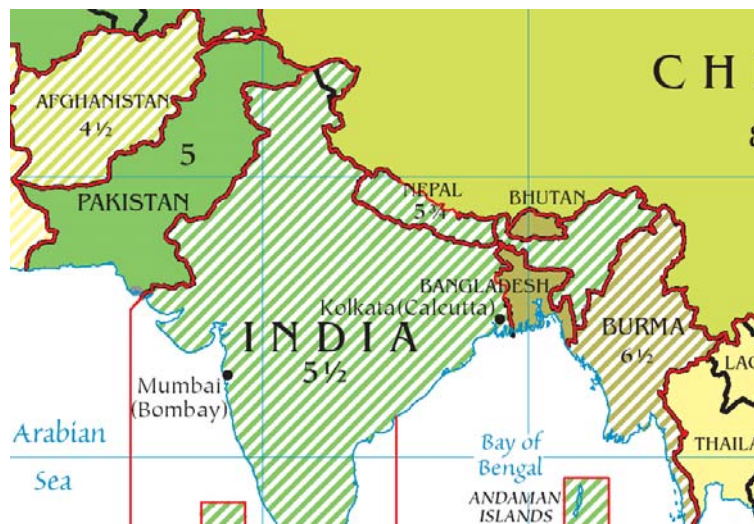
Daniel GAMBIS
Director
Central Bureau of IERS

Obr. II.9.4 Zpráva o zařazení přestupné sekundy do časové stupnice UTC na přelomu roků 1998 a 1999, publikovaná v červenci roku 1998. Z procedury popisující postup vložení sekundy je patrné, že po 59. sekundě nenásleduje nultá sekunda, nýbrž se nejprve vloží 60. sekunda a až pak nultá. Ve zprávě je rovněž uveden rozdíl mezi časem TAI a časem UTC [66].



Obr. II.9.5 Mapa rozložení časových pásem [265].

Potřeba vkládání přestupných sekund není vyvolána ani tak postupným zpomalováním rotace Země (to představuje méně než 2 ms za století) jako spíš nepravidelnými změnami rychlosti rotace a také skutečností, že délka sekundy SI je odvozena z délky sekundy v roce 1900, která byla kratší než je dlouhodobý průměr [107].



Obr. II.9.6 Detail rozložení časových zón v oblasti Indie. Zde jsou běžné posuny o půl hodiny. Extrémem je Nepál, kde je stanoven posun 5 a čtvrt hodiny (upraveno dle [265]).

Doposud bylo nezbytné přestupné sekundy pouze vkládat, zatím nikdy nedošlo k jejímu vynechání. V tab. II.9.1 je znázorněna historie vkládání přestupných sekund od počátku existence univerzálního koordinovaného času. Z tabulky je patrné, že přestupné sekundy byly obvykle vkládány co jeden až jeden a půl roku [66]. Anomální situace nastala pouze v letech 1999 až 2005, kdy nebyla vložena žádná přestupná sekunda.

Vlastní vkládání přestupných sekund v konečném důsledku znamená, že se čas UTC postupně rozchází s atomovým časem (TAI) o celý násobek sekund. V současné době (jaro 2006) činí rozdíl (UTC – TAI) -33 s.

9.1.6 Časová pásma – pásmový čas

Až do 19. století lidé běžně používali pro určování času lokální časy, vztažené k místním poledníkům jednotlivých míst. Avšak v 19. století se začala rozvíjet hromadná pozemní doprava (především železniční) a neexistence společné časové stupnice začínala být brzdou. Na příklad železnice v USA se řídily podle 75 různých místních časů, takže sestavení jízdního řádu, zjištění doby jízdy vlaku mezi dvěma odlehlými místy apod. bylo velice problematické [133]. Proto bylo nakonec domluveno zave-

dení tzv. *časových pásem* (angl. time zone), kdy čas v každém pásmu se řídí místním časem odpovídajícím poledníku jdoucím středem tohoto pásma. Začátek soustavy časových pásem byl domluven tak, že střed prvního pásma představuje nultý poledník, procházející observatoří nacházející se v Greenwichi v Anglii. Čas na tomto poledníku se řídí časem světovým. Střed vedlejšího pásma jdoucího středem Evropy představuje poledník 15° východní délky (u nás prochází Jindřichovým Hradcem). V tomto pásmu je časový údaj o 1 hodinu vyšší, než je čas světový. Postupujeme-li od nultého poledníku na západ, tak se časové údaje naopak zpožďují, jsou o celý násobek hodin menší, než je čas světový.

Velkou výhodou časových pásem je, že v časových údajích jsou vždy stejné minuty a sekundy, liší se jen o celé násobky hodin (i když i zde mohou být určité výjimky). Původně se předpokládalo, že povrch Země bude rozdělen na časová pásma rovnoměrně, nicméně v praxi nakonec došlo k přizpůsobení průběhů hranic pásem průběhu hranic států nebo kontinentů. Navíc byla zavedena i některá mezípásma a různé další výjimky (viz obr. II.9.5) [133]. Zajímavý pohled je například na oblast Indie, kde se běžně pásma liší o půlhodiny, ale úplným extrémem je Nepál, pro který je určen časový posun $5 \text{ a } \frac{3}{4}$ hodiny (obr. II.9.6).

Pásmový čas byl zaveden roku 1884, ale u nás se začal střeoevropský čas užívat až od 1. října 1891. Do té doby se u nás používal pravý místní čas pražský, vztahující se k poledníku, který prochází Staroměstským náměstím (je na něm i dnes vyznačen v dláždění) [133].

Nejčastěji zmiňovanými časovými pásmy jsou [107]:

- *západoevropský čas* (angl. West European Time; je totožný s univerzálním časem, tj. rozdíl je 0 hodin),
- *střeoevropský čas* (SEČ; +1 hodina),
- *moskevský čas* (+3 hodiny),
- *tokijský čas* (+9 hodin),
- v USA se používají:
 - Atlantic Standard Time (-4 hodiny),
 - Eastern Standard Time (-5 hodin; východní pobřeží),
 - Central Standard Time (-6 hodin),
 - Mountain Standard Time (-7 hodin),
 - Pacific Standard Time (-8 hodin).

Vedle standardních časových pásem se ještě v některých částech světa zavádí pro určitou část roku tzv. *letní čas* (angl. daylight saving time). Letní čas je zaváděn z čistě ekonomických důvodů a nemá žádné fyzikální opodstatnění. Obvykle znamená posunutí lokálního času v daném časovém pásmu o jednu hodinu dopředu pro letní

období, i když i zde existují výjimky. Vše mají v rukou vlády jednotlivých států. Pro Střední Evropu je definovaný *středoevropský letní čas* (SELČ; +2 hodiny).

9.1.7 Juliánský den

Při zaznamenávání časových údajů se můžeme setkat s ještě jednou časovou stupnicí, která je sice umělá a neodpovídá žádné fyzikální realizaci, ale je často používaná a proto se o ní zmíníme. Jedná se o tzv. *juliánský den* (angl. Julian Day nebo Julian Day Number).

Juliánský den je průběžné číslo dne počítané od smluveného počátku, který odpovídá polední 1. ledna roku 4713 před naším letopočtem. Z toho vyplývá, že nový juliánský den začíná vždy v poledne. Juliánský den může být snadno rozšířen tak, aby reprezentoval jakýkoliv čas, přidáním desetinné části odpovídající dennímu času. Například juliánský den 2 451 605 odpovídá dni, který začal v poledne 1. března 2000, zatímco juliánský den 2 451 605.25 znamená 18 hodin téhož dne (resp. šest hodin odpoledne téhož dne). Toto rozšíření se mnohdy označuje jako *juliánské datum* (angl. Julian Date; JD). Juliánský den (resp. juliánské datum) je nejčastěji odvozován od univerzálního času, ale nemusí tak tomu být vždy.

Místo juliánského datumu se někdy používá tzv. *modifikované juliánské datum* (angl. Modified Julian Date; MJD), které může být definované například takto [107]:

$$MJD = JD - 2400000.5$$

Touto definicí je počátek posunut na půlnoc 17. listopadu 1858. MJD může být odvozováno opět jak od univerzálního času, tak i od jiných časových stupnic. Proto se doporučuje doplnit MJD údajem o použité časové stupnici (např. MJD 49153.3824 TAI) [158].

Existují však i jiné definice modifikovaného juliánského datumu, proto je třeba vždy ověřit, který přepočtení byl použit. Právě nejednoznačná definice MJD je příčinou toho, že není příliš doporučováno jeho používání.

9.1.8 Jiné časové stupnice

Jak již bylo zmíněno v úvodu, existuje vedle výše popsaných celá řada dalších časových stupnic, s nimiž se můžeme někdy setkat. Tyto časové stupnice však nejsou určeny pro běžné uživatele geoinformačních technologií, a proto se o nich zmíníme jen stručně. Případně zájemce je možné odkázat např. na [264], [107], [291], [158] a další, kde naleznou případně i odkazy na další literaturu.

Geologický čas

Jedná se o časovou stupnici začínající vznikem planety Země. Dělí se na éry, epochy a periody. Je definován tzv. chronostratigrafickou tabulkou, která je odvozena z vrstevních sledů sedimentárních pánví. V detailu se může pro různé oblasti světa lišit. V tab. II.9.2 je uveden příklad chronostratigrafické tabulky platné pro Evropu.

Dlouhou dobu geologové používali tuto stupnici pouze jako relativní. Teprve v minulém století se podařilo díky pokroku v radioizotopovém určování stáří hornin převést tuto stupnici i na absolutní (viz poslední sloupec).

Historický čas

Jinou časovou stupnici používají vědci zabývající se studiem historie lidstva. Tato relativní časová stupnice je odvozena od významných etap vývoje lidstva, a to z pohledu používaných surovin, rozvoje významných civilizací apod. Ukázka je uvedena v tab. II.9.3.

Eon	Éra	Útvar	Oddělení	Stupeň	Čas (mil. let)	
fanerozoikum	kenozoikum	kvartér	holocén		0,01	
			pleistocén		1,8	
		terciér	neogén	pliocén	gelas	5,3
					piacens	
					zancí	
			messin			
			miocén	torotn		
				serraval		
		langh				
		paleogén	oligocén	burdigal	24	
				aquitán		
			eocén	chatt		33
				rupel		
	priabon					
	paleocén	barton	53			
		lutet				
		ypres				
mezozoikum	křída	svrchní	thaned	65		
			seland			
			dan			
		svrchní	maastricht		135	
			campan			
			santon			
			coniac			
			turon			
			cenoman			

Tab. II.9.2 Chronostratigrafická tabulka, reprezentující geologický čas (upraveno podle [110]). (Začátek tabulky.)

	paleozoikum	jura	spodní	alb	203
				apt	
				barren	
				hauteriv	
				valangin	
				berries	
		trias	svrchní	tithon	250
				kimmeridž	
				oxford	
			střední	callov	
				bathon	
				bajoc	
	spodní		aalen		
			toarc		
			pliensbach		
	perm	spodní	sinemur	295	
			heetang		
			ind		
	paleozoikum	karbon	svrchní	rhaet	354
				nor	
				cam	
		devon	střední	ladin	410
				anis	
olenek					
silur		spodní	ind	440	
			olenek		
			ind		
ordovik		svrchní	stephan	495	
			westphal		
			namur		
kambrium	střední	visé	545		
		toumai			
		famen			
ordovik	střední	frasn	495		
		givet			
		eifel			
kambrium	spodní	ems	495		
		prag			
		lochkov			
kambrium	svrchní	přídol	440		
		ludlow			
		wenlock			
kambrium	střední	llandoverly	440		
		ashgill			
		caradoc			
kambrium	střední	llandeil	495		
		llanvim			
		arenig			
kambrium	spodní	tremadok	495		
		ashgill			
		caradoc			
Prekambrium	proterozoikum	Neoproterozoikum	650		
		Mezoproterozoikum	1000		
		Paleoproterozoikum	2500		
	Archaikum	4600			

Tab. II.9.2 Chronostratigrafická tabulka, reprezentující geologický čas (upraveno podle [110]). (Dokončení tabulky.)

Období	Podrobnější členění	
pravěk	???	
	eneolit	
	doba kamenná – neolit	starší mladší
	doba dronzová – mezolit	starší mladší
	doba železná – paleolit	starší mladší
starověk	Egypt	
	Mezopotámie	
	antické období	
středověk	ranný	
	vrcholný	
	pozdní	
novověk		

Tab. II.9.3 Historická časová stupnice [135].

Internetový čas

Zcela nové pojetí globálního času, shodného pro celou Zemi, představuje tzv. *internetový čas*. Jeho výhodou je, že si můžeme s kýmkoliv kdekoliv na Zemi domluvit například chat, aniž bychom museli složitě přepočítávat časová pásma, letní časy apod.

Tuto časovou stupnici zavedla švýcarská firma Swatch a její počátek se datuje 23. října 1998 [169]. V této časové stupnici byl den rozdělen na 1000 dílků (angl. beat). Jeden dílek tak představuje dobu 1 min 26.4 s. Na začátku časového údaje se uvádí znak „@“. Počátek dne se rovná času @000 (tj. internetová půlnoc) a odpovídá skutečné půlnoci SEČ (díky tomu, že sídlo firmy Swatch leží v časovém pásmu SEČ). V Americe ale v té době bude např. pět hodin odpoledne východního času a v Japonsku osm hodin ráno. V případě přechodu na letní střeoevropský čas se internetový čas automaticky koriguje tak, aby nedošlo k posunu [135].

Tato časová stupnice je uvedena spíš pro zajímavost, reálného uplatnění nejspíš nedozná. Konec konců, v tomto případě jde spíš o reklamní tah firmy, než o seriózně míněný návrh.

9.2 Časové signály

Při měření času se můžeme někdy dostat do situace, kdy potřebujeme synchronizovat používaná časoměrná zařízení, vzdálená i několik tisíc kilometrů od sebe.

V takovém případě můžeme použít buďto speciální přijímače GPS (což je vysoce přesné, ale také velice nákladné řešení) nebo můžeme použít mnohem levnější přijímače tzv. *časových signálů* [134]. Časové signály jsou vysílány speciálními rádiovými vysíláči a jsou dnes běžně používány mimo jiné i pro synchronizaci domácích hodin a budíků.

Časové signály byly poprvé vysílány v roce 1905 v USA. V Evropě se s jejich vysíláním začalo v roce 1910. V roce 1912 byla svolána do Paříže mezinárodní časová konference, na níž byl dohodnut jednotný program vysílání časových signálů [134].

Významným podnětem k rozvoji těchto služeb byl Mezinárodní geofyzikální rok 1957/58. Postupně rostl počet vysíláčů, a tak v roce 1968 již existovalo cca 15 různých vysílání. Vlastní vysílání těchto signálů se z praktických důvodů postupně přesunulo do pásma velmi dlouhých vln (s vlnovou délkou kolem 3000 m). V roce 1999 bylo registrováno celkem 61 rádiových vysílání časových signálů (z toho 34 nepřetržitých). Pro nás má v současné době význam především německá stanice DCF 77, která vysílá nepřetržitě v pásmu dlouhých vln z vysílače v Mainflingene (nedaleko Frankfurtu nad Mohanem). Dosah vysílače je kolem 1500 – 2000 km, takže spolehlivě pokrývá celý evropský region. Podrobnější informace lze nalézt v [134].

Kapitola 10

Složky popisu geoprvcu

V odst. I.3.3.1 úvodní části jsme si definovali geoprvek jako modelový obraz objektu reálného světa. Řekli jsme si také, že termín geoprvek je možné pro jednoduchost výkladu používat místo termínu třída geoprvců. Pouze tam, kde je to z hlediska správného porozumění textu potřebné, budeme používat explicitně termín třída geoprvců.

Každý geoprvek, má-li být správně reprezentován a zpracováván, musí být popsán z mnoha hledisek. Z pohledu geoinformatiky je důležitý popis *polohy daného geoprvcu* v prostoru a jeho *geometrických vlastností*. Dále musí být popsány *negeometrické vlastnosti geoprvcu* – tzv. *atributy* (název, počet pater, pórovitost, hustota, hloubka uložení ...). V neposlední řadě musí popis geoprvcu zaznamenat jeho *trvání a proměny v čase* a jeho *vztahy k okolním a případně i jiným geoprvcům*. Zapomenout nesmíme ani na popis *operací*, které lze s daným geoprvcem provádět (nebo činností, které může daný geoprvek vykonávat) a na specifikaci *kvality popisu*, která by měla doprovázet každý popis geoprvcu.

Popis geoprvcu prostorovými daty je proto možné rozdělit na pět základních složek [206]:

- *geometrickou* – zaznamenává polohu geoprvcu v prostoru a popisuje jeho geometrické vlastnosti (tato složka je někdy v literatuře nepřesně označována jako „prostorová data“),
- *popisnou* (někdy též označovanou jako *tematickou*) – zaznamenává negeometrické vlastnosti geoprvcu (v některé literatuře je tato složka nepřesně označována jako „neprostorová data“),
- *časovou* – zaznamenává historii změn geoprvcu v čase, z níž lze odvodit dobu existence geoprvcu v daném stavu,
- *vztahovou* – popisuje vztahy, do nichž geoprvek vstupuje s jinými geoprvcy, mimo jiné i prostorové vztahy s okolními geoprvcy – tzv. *topologií*,

- *funkční* – popisuje operace, které lze s daným geoprvkem provádět,

a jako doplňující složka, která se nevztahuje přímo k popisovanému geoprvkem, nýbrž k jednotlivým složkám jeho popisu jako takovým, je složka:

- *kvalitativní* – popisuje kvalitu popisu geoprvkem.

Následující odstavce jsou věnovány podrobnějšímu rozboru jednotlivých složek.

10.1 Geometrická složka popisu geoprvkem

Geometrická složka popisu geoprvkem je z hlediska geoinformačních systémů velice důležitá a nesmí být nikdy opomenuta, měla by být vždy definovaná na požadované úrovni rozlišení a přesnosti.

Je s ní svázáno několik okruhů problémů:

- prostor, v němž je geometrická složka definována,
- určení polohy geoprvkem v tomto prostoru,
- prostorové vlastnosti geoprvkem.

10.1.1 Prostor, v němž je geometrická složka definována

U každého geoprvkem je nezbytné zaznamenat prostor, v němž je definována jeho geometrická složka popisu, neboť na tomto prostoru závisí, jak bude možné s geoprvkem pracovat. Geoprvky jsou zpravidla primárně definovány v Euklidovském prostoru, ale může nastat i situace, kdy jsou definovány primárně v topologickém nebo i jiném prostoru.

10.1.2 Určení polohy geoprvkem v daném prostoru

Určení polohy geoprvkem je závislé na prostoru, v němž je definován. V případě Euklidovského prostoru je poloha geoprvkem vyjádřena přímo souřadnicemi nebo nepřímo geokódem, v případě topologického prostoru prostorovými vztahy k okolním geoprvkem apod.

10.1.3 Prostorové vlastnosti geoprvkem

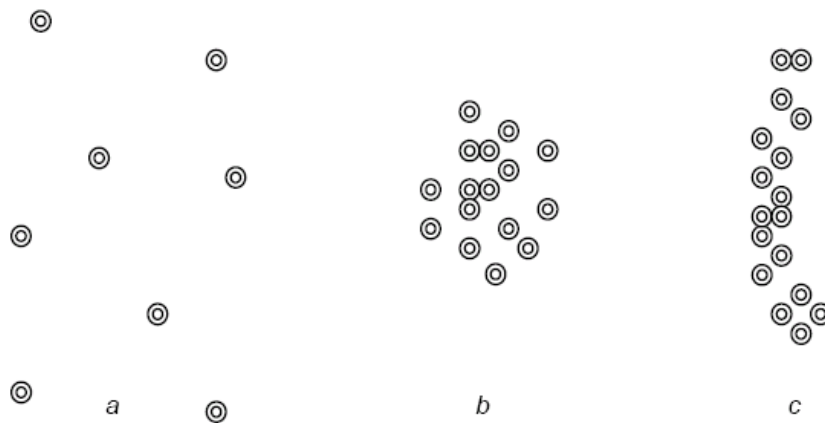
Prostorové vlastnosti geoprvkem lze rozdělit na dvě skupiny:

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

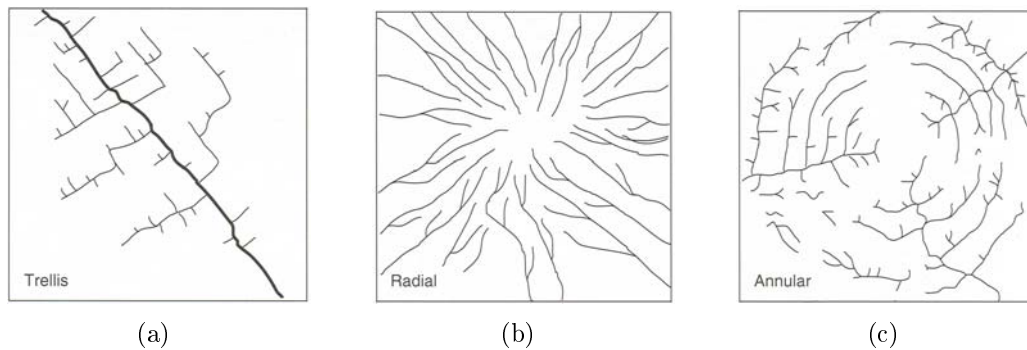
Prostorové vlastnosti týkající se jednotlivých geoprvků jsou následující [151]:

- 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 oblíku),
- střed liniového geoprvcu nebo plochy (například střed města, středová linie silnice),
- sklon (například svahu).

Měření těchto vlastností je zpravidla 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 i při odměření na mapách v měřítku 1 : 100 000 nebo v měřítku 1 : 1 000.



Obr. II.10.1 Příklady charakteru prostorového rozložení bodových geoprvků: a – rozptýlené osídlení (například samostatně stojící farmy), b, c – soustředěné osídlení (například vesnice); v případě c lze z tvaru vesnice usuzovat, že je předurčen přírodními podmínkami (pravděpodobně se jedná o vesnici roztaženou podél údolí).



Obr. II.10.2 Příklady charakteru prostorového rozložení liniových geoprvků na příkladu říčních sítí. Z prostorového uspořádání jednotlivých koryt řek lze usuzovat na geologický vývoj i morfologii krajiny: a – říční síť v tektonicky porušené oblasti tvořené tvrdými křehkými horninami, b – říční síť vyvinutá na sopečném ostrově, c – říční síť vyvinutá v kráteru sopky.

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 rozloha jezera,
- minimální a maximální rozloha jezera apod.

Prostorové vlastnosti týkající se skupin geoprvků - některé prostorové vlastnosti lze definovat pouze pro skupinu geoprvků stejného druhu. Příkladem mohou být [151]:

- charakter prostorového rozložení bodových geoprvků (např. zda jsou rozptýlené, nebo jsou soustředěné do shluků; obr. II.10.1),
- charakter prostorového rozložení liniových geoprvků (např. zda jsou rozmístěny radiálně, koncentricky, rovnoběžně, pravidelně apod.; obr. II.10.2),
- charakter prostorového rozložení plošných geoprvků (např. zda parcely jednotlivých vlastníků tvoří kompaktní plochy, nebo jsou jednotlivé parcely různých vlastníků vzájemně promíchány; velikost polí ve studované oblasti – krásný příklad je zachycen na obr. II.10.3),
- vzdálenosti mezi bodovými geoprvků (například vzdálenosti mezi jednotlivými obchodními domy, nebo semaforey, vzdálenost mezi stromy v parku apod.),
- počet sousedních geoprvků (např. s kolika jinými státy sousedí daný stát, nebo s kolika parcelami sousedí daná parcela),
- 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)).

Tyto vlastnosti lze využít při zpracovávání charakteristiky studovaného území a v některých případech i při syntaktické kontrole dat.

10.2 Tematická složka popisu geoprvků

Tematická složka popisu geoprvků je tvořena tak zvanými *atributy* (v užším slova smyslu; angl. attribute), které popisují negeometrické vlastnosti geoprvků. Každý atribut je obecně tvořen párem: název vlastnosti - hodnota [59]. Název udává, jaká vlastnost geoprvků je hodnotou popisována. Každý geoprvek smí mít pro každý atribut (tedy každou vlastnost) přiřazenu nejvýše jednu hodnotu.



Obr. II.10.3 Příklady struktury prostorového rozložení plošných geoprvků. Zde je možné na základě rozdílnosti velikosti polí zachycených na leteckém snímku interpretovat průběh státní hranice mezi Českem a Polskem. (Upraveno podle [196]).

Hodnoty každé vlastnosti jsou vybírány z určitého definičního oboru, který je nazýván *doména* (angl. domain). Doménu je možné charakterizovat jako *potenční množinu dat, ze kterých je vybírána hodnota atributu* [100]. Může jí 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. Příjemnějším by bylo vhodné ošetřit alespoň tyto případy:

- hodnota neznámá (nezjištěná),
- hodnota neexistuje (je tedy nezjistitelná),
- 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.

10.3 Časová složka popisu geopravku

Geografové i historici již od pradávna zdůrazňovali, že pro správné porozumění objektům, jevům a procesům v reálném světě je nezbytné brát v úvahu nejen jejich aspekty prostorové, ale i časové (tj. jak polohu v prostoru, tak i „polohu“ v čase) [84]. Většina dnes komerčně dostupných programů pro tvorbu geoinformačních systémů však neumí s časem adekvátním způsobem pracovat. Je to dáno především tím, že zahrnutí času do datového modelu přináší celou řadu koncepčních problémů, které zatím představují určitou obtížně překročitelnou překážku. Pokud uživatel s časem pracovat potřebuje, je na něm, aby tento problém vyřešil sám na úrovni datového modelu své aplikace.

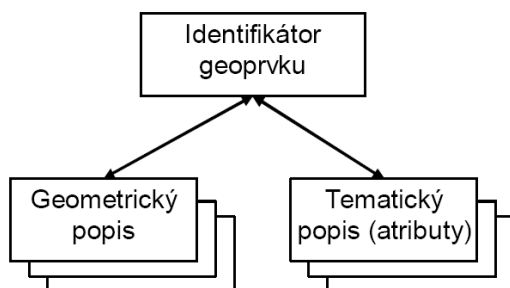
Bohužel komplexnost současného a soustavného zpracovávání prostorových a časových aspektů objektů, jevů a procesů reálného světa je tak velká, že většinou musíme přistupovat ke kompromisu: buďto upřednostníme prostorové aspekty, zaznamenáváme je velice detailně v celé zájmové oblasti, ale musíme pak výrazně zjednodušit záznam v čase (tj. nemůžeme detailně zaznamenat vývoj v čase) nebo upřednostníme časové aspekty (tj. detailní záznam vývoje v čase) a musíme pak buďto výrazně snížit prostorový rozsah studované oblasti nebo výrazně snížit podrobnost zaznamenávaných prostorových aspektů.

Pequet ([193] in [85]) uvádí, že geoinformační systém plně zpracovávající čas by měl být schopen odpovídat na tři typy dotazů:

1. Na změny objektů reálného světa, např. „Změnil objekt reálného světa svoji polohu v posledních dvou letech?“, „Kde se objekt nacházel před rokem?“ nebo „Jak se objekt změnil za posledních pět let?“.
2. Na změny v prostorovém rozmístění objektů, např.: „Které pozemky, které byly k 1.1.1990 zemědělsky využívané, se změnilo do 31.12.2000 na pozemky určené pro občanskou výstavbu?“ nebo „Jak byly rozloženy pozemky určené ke komerčním aktivitám k 31.12.1995?“.
3. Na časovou souvislost více geografických fenoménů, např.: „V kterých oblastech došlo k sesuvům půd do jednoho týdne po výskytu přívalových dešťů?“.

Stávající geoinformační systémy mají s těmito typy dotazů obvykle problémy. Základní příčinou je topologie. Geoinformační systémy používají pro práci s prostorem prostorovou topologii. Pokud by však měly efektivně pracovat i s časem, musí budovat a udržovat časoprostorovou topologii. Přesto, že již byly publikovány některé práce jdoucí tímto směrem, dosažené výsledky zatím nebyly do programového vybavení pro tvorbu geoinformačních systémů implementovány [85].

Čas se svojí povahou výrazně liší od geometrických a popisných vlastností geopravku. Snad především tím, že nemůže být chápán jako složka popisu sama o sobě, ale vždy v těsném vztahu k výše uvedeným složkám popisu geopravku (obr. II.10.4).



Obr. II.10.4 Vztah času ke geometrické a tematické složce popisu geoprisku [208]. Proměny v čase jsou zde zachyceny jednotlivými verzemi geometrického a tematického popisu.

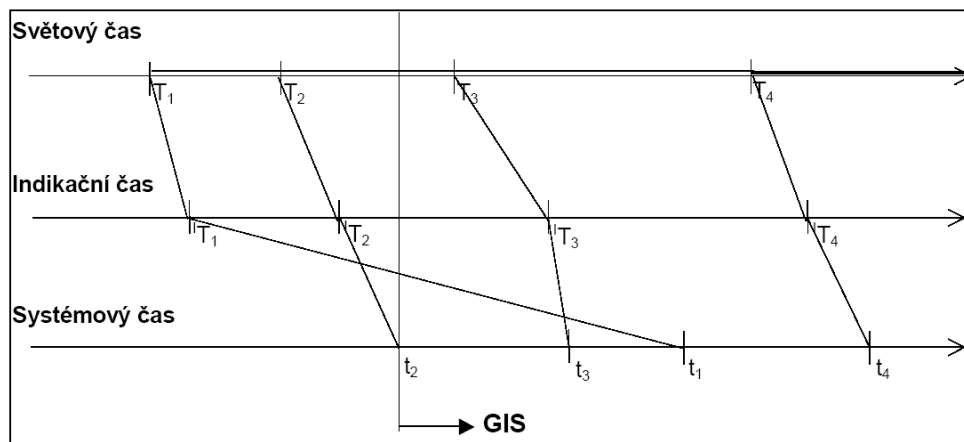
Problémem dnešních geografických informačních systémů je, že zatím časovou stránku popisu geoprisků v databázích nezachycují, a proto je možné neaktuální data zachovat pouze archivací mimo databáze geoinformačních systémů [208]. Tím je však značně ztíženo jakékoliv další zpracovávání těchto dat v prostředí geoinformačních systémů. Jistým řešením by mohlo být pořízení archivní kopie celé databáze geoinformačního systému, ale i toto řešení má značné nevýhody [206]. 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 geoinformačního systému, umožňujícího zpracovávat čas zcela rovnocenným způsobem. Takovýto geoinformační systém se však musí vyrovnat s celou řadou problémů, které s sebou zavedení času přináší [206].

Prvním problémem je, že časová osa, kterou je třeba do databází zahrnout, není jedna. Časových os je hned několik. Za prvé, geoinformační systém 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 geoinformačního systému. Schematicky je tato situace vyjádřena na obr. II.10.5.

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 geoinformačního systému [199].

Za druhé, již bylo uvedeno, že čas je velice těsně svázán s geometrickým a tematickým popisem geoprisků, a bylo také uvedeno, že obě tyto složky jsou vzhledem ke své rozdílné povaze zpracovávány v databázích geoinformačního systému odděleně. Vzhledem k tomu, že i z pohledu proměnlivosti v čase se tyto dvě složky výrazně



Obr. II.10.5 Časové osy [206].

liší, je vhodné pro každou z nich vést časové údaje samostatně.

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 prakticky v 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 geoinformačního systému. Mezi stavy se mohou vypočítávat například interpolací.

10.4 Vztahová složka popisu geoprůvku

Jednotlivé objekty reálného světa mohou vstupovat do vzájemných vztahů s jinými objekty reálného světa. Přitom některé z těchto vztahů mohou být odvozeny z dat (jsou tedy vyjádřeny implicitně), jiné vztahy je nezbytné zadat explicitně, jako například vlastnické vztahy. Vztahová složka popisu geoprůvku je zaměřena právě na popis těchto vztahů.

Vztahy mezi objekty reálného světa mohou být:

1. topologické,
2. časové,
3. metrické,

4. syntaktické,
5. je částí (angl. part-of),
6. ostatní (např. vlastnické).

10.4.1 Topologické vztahy

V odstavci 4.6.1 jsme si uvedli příklady možných topologických vztahů geoprvků z pohledu jejich implementace v geoinformačním systému. Zde si uvedeme naopak příklady prostorových vztahů tak, jak se s nimi setkáváme v reálném světě (viz tab. II.10.1) [13].

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 krajů, které jsou zase složeny z obcí
umístěn (nachází se) v / na	daná budova se nachází na konkrétní parcele
hranice	dvě parcely mají společnou hranici

Tab. II.10.1 Příklady prostorových vztahů v reálném světě [13].

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 vyžaduje instrukce, popisující, 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 ještě *aktuální* a *potenciální vztahy*.

10.4.2 Časové vztahy

Časové vztahy geoprvků mohou být následující [165]:

- *nahodilý spoluvýskyt* – geoprvek se vyskytuje zcela nahodile, nemá žádný explicitně vyjádřený kauzální vztah k jiným geoprvkům (obvyklý vztah),

- *vztah koexistenční* – geoprvek se vyskytuje současně s jinými geoprvky (např. existence parkoviště je vázána na existenci příjezdové komunikace),
- *vztah sukcesivní (následný)* – geoprvek se vyskytuje s časovým odstupem po vzniku jiného geoprvu (např. po výstavbě domů vzniknou s určitým časovým odstupem chodníky, trávničky, hřiště),
- *vztah kauzální (příčinný)* – geoprvek vznikne jako přímý důsledek vzniku jiného geoprvu (vodní plocha vznikne jako důsledek vzniku terénní překážky – umělé hráze, přehrazení údolí sesuvem půdy apod.).

Tyto vztahy mohou existovat na úrovni:

- mezi skupinami geoprvků,
- mezi jednotlivými geoprvky,
- v rámci geoprvu jakožto vlastnost geoprvu.

Je zřejmé, že v posledním případě přicházejí v úvahu jen první dva vztahy.

Zavedení časových vztahů, a koneckonců času jako takového, do databází geoinformačního systému, vyvolává potřebu vytvořit a průběžně udržovat i tzv. *stavovou topologii* (nebo topologii stavů, angl. state topology) [199].

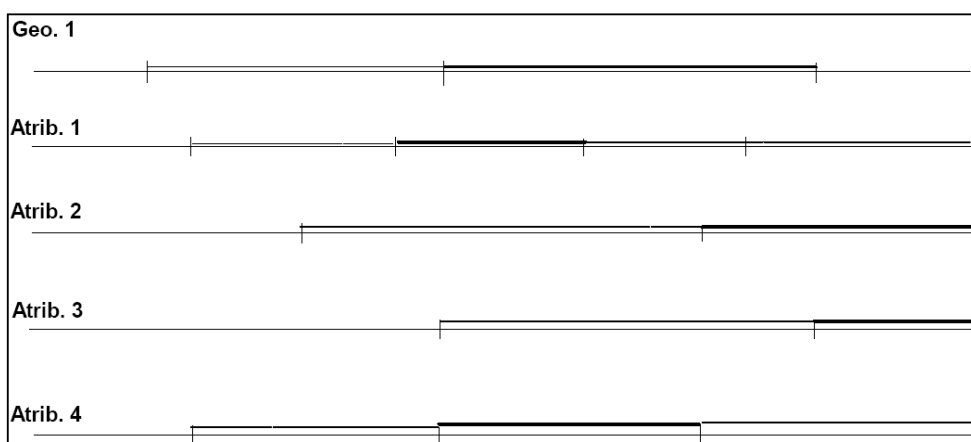
Stavová topologie zaznamenává posloupnost změn geoprvků v čase a je nezbytná, pokud chceme mít možnost vytvořit si obrázek o stavu reálného světa v kterémkoliv okamžiku za dobu, která je databází geoinformačního systému popisována. Např. chceme-li se vrátit o deset let zpět a zjistit hranice parcel v 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 geoprvu, zaznamenávající změny atributů geoprvu. Je zřejmé, že první topologie je jediná pro celý geoinformační systém, 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. II.10.6 a obr. II.10.7).

Ze stavové topologie je možné odvozovat i časové (kauzální) vztahy. Lze zjistit, co bylo dříve a co později, analyzovat možné souvislosti mezi událostmi a změnami geoprvků apod.

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



Obr. II.10.6 Stavová topologie geoprveků [206]. Časová osa běží zleva doprava. Graficky jsou odlišeny doby trvání jednotlivých stavů geoprveků.

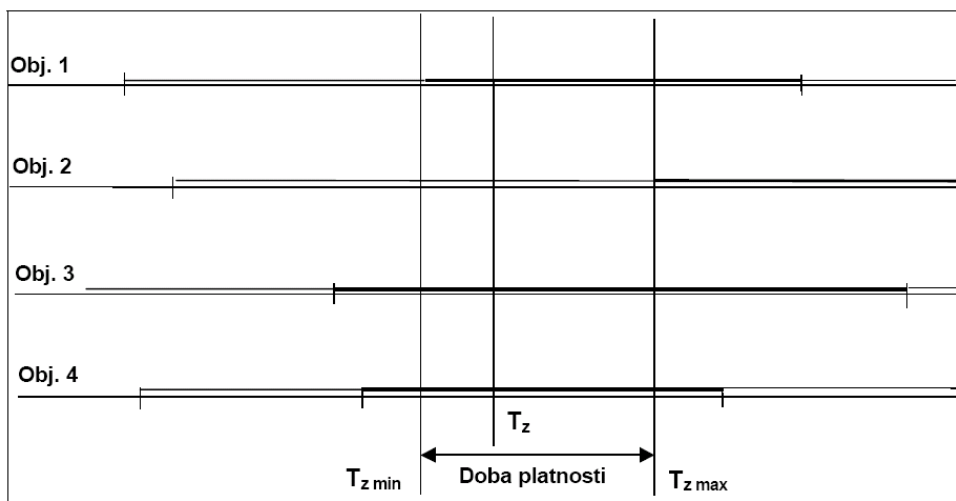


Obr. II.10.7 Stavová topologie geoprveků [206]. Časová osa běží zleva doprava. Graficky jsou odlišeny doby trvání jednotlivých stavů geoprveků a časové intervaly, po které mají jednotlivé atributy konstantní hodnotu.

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. II.10.8).

10.4.3 Metrické vztahy

K metrickým vztahům patří především přímá vzájemná vzdálenost geoprveků, resp. přímá vzdálenost geoprveků od počátku souřadnicového systému. Tyto vztahy se nevyjadřují explicitně, zpravidla se odvozují přímo z geometrické složky popisu geoprveků.



Obr. II.10.8 Odvození doby platnosti geometrické topologie [206].

Metrické vztahy se odvozují přímo na základě metriky zvoleného prostoru. Nepatří sem proto vzdálenosti počítané podél linií, reprezentujících dopravní trasy (např. silnice, železnice, vodní toky, letecké koridory apod.). Ty většinou zjišťujeme na základě topologických vztahů pomocí hranově ohodnocených grafů.

10.4.4 Syntaktické vztahy

Syntaxe obecně vyjadřuje, které geoprvky mohou (nebo v některých případech dokonce i musí) mít vzájemný topologický a případně i metrický a časový vztah a které naopak určitý vztah mít nesmí. Příkladem může být křižovatka dvou silnic: může existovat křižovatka dvou dálnic resp. dálnice a silnice první třídy, ale nesmí existovat křižovatka dálnice a silnice druhé nebo třetí třídy apod. Pumpa se musí vždy nacházet u silnice, nemůže stát někde mimo, bez napojení na silniční síť. Řeka se může vlévat do jiné řeky, jezera nebo moře, ale určitě ne např. do dálnice.

10.4.5 Vztah „je částí“

Vztah „je částí“ vyjadřuje skladebnost geoprvků. Například republika je složena z krajů, tj. kraj „je částí“ republiky. Předpokládá se přitom, že složením všech krajů dohromady vznikne celá republika a že kraje jsou vzájemně disjunktní (nepřekrývají se).

Tento typ vztahů se částečně překrývá se vztahy topologickými a případně i syntaktickými, ale nemusí tomu tak být vždy.

Příklad: Na krajích si můžeme jednoduše demonstrovat použití různých druhů vztahů:

- topologické vztahy říkají, který kraj sousedí s kterým,
- syntaktické vztahy říkají, že kraj obecně může sousedit s jiným krajem nebo s jiným státem,
- vztah „je částí“ říká, že kraj je částí státu, jednotlivé kraje jsou disjunktní a všechny kraje dohromady pokrývají území celého státu.

10.4.6 Ostatní vztahy

Do této kategorie můžeme zařadit všechny vztahy, které se netýkají ani prostoru ani času. Mohou sem patřit například vlastnické vztahy, vztahy nadřízenosti a podřízenosti, vztahy členství apod.

Obecně je složce popisu vztahů geoprvků věnována explicitně jen malá pozornost (samozřejmě s výjimkou topologie), proto je její detailnější rozpracování otázkou spíše bližší budoucnosti. V geoinformačních systémech je tato složka realizována zpravidla v rámci datového modelu.

10.5 Funkční složka popisu geoprvku

Funkční složka popisu geoprvku je zaměřena na popis operací, které je možné s geoprvkem provádět. Tyto operace obvykle vedou ke změně stavu jedné nebo více složek jeho popisu (a tím i ke změně stavu geoprvku jako takového).

Jako příklad těchto operací 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,
- zablokování provádění jakýchkoliv změn,
- odblokování provádění jakýchkoliv změn,

- 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.

Příklad: Mějme parcelu. Řekněme, že povolené operace s parcelou jsou:

- *sloučení dvou parcel,*
- *rozdělení parcely,*
- *změna vlastníka parcely.*

Pokud bude chtít někdo provést jinou manipulaci s parcelou, například přesunout ji na jiné místo, nebude tato operace akceptována.

Pro tuto složku platí obecně stejný závěr, jako v případě složky předešlé. Dnes jí zatím není samostatně věnována dostatečná pozornost. Jedinou výjimkou jsou snad jen objektově orientované systémy.

V geoinformačních systémech se tato složka popisu geoprvcu realizuje prostřednictvím programového kódu, který provádí manipulace s geoprvcem tak, aby bylo dosaženo požadovaného stavu.

10.6 Kvalitativní složka popisu geoprvcu, metadata

Data obsažená v prostorových databázích jsou obecně multidimenzionální povahy. A stejnou (multidimenzionální) povahu mají i chyby těchto dat. Z toho vyplývá, že chybu určení 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 kategorická) 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 geoprvcu se mohou v čase měnit. A navíc popisy geoprvců získané v dřívějších dobách pomocí dřívějších metod mají často (alespoň z dnešního pohledu) omezenou, nebo dokonce neznámou přesnost.

Kvalita popisu geoprvcu je obvykle dokumentována následujícími parametry (označovanými jako metadata) [98], [215]:

- přesnost geometrické složky popisu geoprvcu, definovaná obvykle

- přesností horizontální složky,
- přesností vertikální složky,
- úrovní rozlišení (např. 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 bezespornost mezi geometrickou a popisnou složkou,
- kompletnost, daná
 - kompletností dat,
 - kompletností modelu,
 - kompletností atributů,
 - kompletností hodnot,
- relevance popisu geoprvku (pro které operace je možné popis geoprvku použít, případně pro které ne).

Tyto parametry mohou být sledovány buďto 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), zahrnutých obvykle do tzv. *datových sad* (angl. data set). Přípustná je i kombinace obou přístupů. Datovou sadu můžeme definovat takto (upraveno podle [209]):

Jako datová sada jsou označována data tvořící logický celek v rámci určitého informačního systému.

Dnes se o této složce popisu geoprvků mluví poměrně intenzivně, hlavně ve spojitosti s budováním tzv. *metadatových služeb* (angl. metadata service), které mají uživatelům poskytovat informace o existenci jednotlivých datových sad a dále metadata je popisující. Uživatel se pak může na základně poskytnutých údajů snadno rozhodnout, zda je vyhledaná datová sada vhodná pro jeho potřeby. Vzhledem k tomu, že metadata zpravidla obsahují i údaje o poskytovateli datové sady, může ho uživatel v případě kladného závěru i přímo oslovit.

Hlavním problémem metadat však je, že zpětné dohledání těchto údajů k existujícím datům je dosti obtížné a příliš velký tlak tímto směrem by mohl přinést daleko více škody, než užitku. Možná by se totiž podařilo tato metadata získat, ale jejich reálná hodnota by mohla být téměř nulová. Pokud někoho budeme nutit pořídit metadata zpětně, můžeme se dostat do situace, že požadované údaje dostaneme, ale jejich věrohodnost bude nulová. Ne vždy je možné tyto údaje zpětně dohledat, ne vždy to pověřenému pracovníkovi stojí za námahu, atd. Může se tedy stát, že pracovník doplní údaje zcela bez vazby na realitu. Daleko vhodnější 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 pořízených dat respektovat, že jsou tato metadata neznámá.

Kapitola 11

Složky popisu sítě buněk

V odst. 3.3.2 úvodní části jsme si řekli, že pro zobrazování jevů reálného světa v geoinformačních systémech se běžně používají sítě buněk. Každá síť buněk, má-li správně reprezentovat daný jev reálného světa a má-li být správně zpracovávána, musí být popsána z několika hledisek. Jednak musíme mít k dispozici informace o vlastnostech zobrazovaného jevu, jednak informace o vlastní síti buněk a v neposlední řadě také informace o vlastnostech buněk sítě.

Popis sítě buněk se proto skládá ze tří základních složek:

- složka popisu vlastností zobrazovaného jevu,
- složka popisu vlastností sítě,
- složka popisu vlastností buněk.

Tyto základní složky popisu sítě mají samy o sobě složitou vnitřní strukturu, jak vyplýne z dalšího textu.

11.1 Složka popisu vlastností zobrazovaného jevu

Každý zobrazovaný jev reálného světa je nezbytné popsat prakticky ze stejných hledisek, jako je tomu v případě objektů reálného světa resp. jejich modelových obrazů – geoprvků. To znamená, že zde budou existovat následující podsložky popisu jevů:

1. geometrická,
2. tematická,

3. časová,
4. funkční,
5. vztahová,
6. kvalitativní.

Ad 1, *Geometrická podsložka popisu jevu*. S geometrickou podsložkou složky popisu jevu reálného světa jsou spojeny následující problémy:

- prostor, v němž se jev vyskytuje/v němž je popisován (a jeho dimenzionalita),
- prostorová spojitost jevu,
- prostorové vymezení jevu.

Prostor – v tomto případě nás zajímá, v jakém prostoru se daný jev vyskytuje, kolik má tento prostor rozměrů a jak je v něm jev rozložen.

Prostorová spojitost – popisuje, jak se mění hodnoty vlastností daného jevu při změně polohy v prostoru. Obecně rozeznáváme jevy spojité, kdy s plynulou změnou polohy se plynule mění i hodnoty sledovaných vlastností a jevy diskrétní, kdy se hodnoty vlastností mění skokem a případně pro některé oblasti prostoru nejsou ani definované.

Prostorové vymezení – v podstatě udává hranice studovaného jevu v prostoru.

Ad 2, *Tematická podsložka popisu jevu*. Tematická podsložka popisu jevu zahrnuje informace o negeometrických vlastnostech zobrazovaného jevu, tj. výčet a popis těchto vlastností, popis jejich typů apod.

Ad 3, *Časová podsložka popisu jevu*. Tato podsložka popisuje chování zobrazovaného jevu v čase: v první řadě říká, zda se jedná o jev statický nebo dynamický a případně charakterizuje dynamiku jeho vývoje (rychlost a četnost změn apod.).

Ad 4, *Vztahová podsložka popisu jevu*. Vztahová podsložka popisuje možné závislosti zobrazovaného jevu na jiných jevech, objektech a procesech reálného světa.

Ad 5, *Funkční podsložka popisu jevu*. Předmětem této podsložky popisu jsou operace aplikovatelné na daný jev.

Ad 6, *Kvalitativní podsložka popisu jevu*. A konečně tato podsložka charakterizuje, jak kvalitní informace se nám podařilo získat v rámci sestavování předcházejících složek popisu zobrazovaného jevu.

11.2 Složka popisu vlastností sítě

Složka popisu vlastností sítě popisuje síť použitou pro reprezentaci zobrazovaného jevu z následujících hledisek:

1. rozměrnost sítě,
2. typ sítě,
3. velikost sítě,
4. způsob přiřazování hodnot vlastností buňkám,
5. interpolace hodnot v rámci sítě.

Ad 1, *Rozměrnost sítě.* Popisuje počet dimenzí použité sítě; zpravidla se bude jednat o 2D, 2.5D nebo 3D síť.

Ad 2, *Typ sítě.* Popisuje, zda je síť pravidelná (a tedy složená z buněk stejných rozměrů a tvarů) nebo nepravidelná (a tedy složená z buněk různých rozměrů a tvarů).

Ad 3, *Velikost sítě.* Má význam především v případě pravidelných sítí, kdy by zde měl být popsán počet buněk ve směru jednotlivých dimenzí a případně i celkový počet buněk. V případě nepravidelné sítě bude tento popis komplikovanější a bude záviset jednak na vlastnostech sítě a jednak na dohodě nebo přijatém standardu. Může být zadána i explicitně hranicí sítě.

Ad 4, *Způsob přiřazování hodnot vlastností buňkám.* Popisuje způsob, jakým bude určena hodnota každé vlastnosti zobrazovaného jevu, která bude přiřazena buňce (např. viz odst. III.4.2.3).

Ad 5, *Interpolace hodnot v rámci sítě.* Zde je popsán interpolační mechanismus, který bude použit při interpolaci hodnot v rámci sítě, tj. například výpočet hodnot dané vlastnosti zobrazovaného jevu pro buňky, jimž nebyla přiřazena hodnota této vlastnosti.

11.3 Složka popisu vlastností buňky

Tato složka může existovat ve dvou podobách v závislosti na tom, je-li síť složena z buněk se stejnými vlastnostmi nebo ne. V prvním případě se jediný popis vztahuje na všechny buňky sítě, v druhém případě má každá buňka přiřazený svůj vlastní popis. V každém případě by však popis vlastností buňky sítě měl postihnout následující aspekty:

1. rozměrnost buňky,
2. tvar buňky,
3. velikost buňky,
4. interpolace hodnot v rámci buňky,
5. souřadnice buňky.

Ad 1, *Rozměrnost buňky.* Popisuje počet rozměrů buňky; v úvahu v tomto případě přicházejí všechny možnosti ze škály 0D až 3D.

Ad 2, *Tvar buňky.* Popisuje tvar, který má buňka. Ten může být buďto pravidelný nebo nepravidelný a dále může být blíže charakterizován konkrétním vzorem, jako je bod, úsečka, kruh, šestiúhelník, krychle apod.

Ad 3, *Velikost buňky.* Popisuje například délku strany pravidelného tvaru nebo délky jednotlivých úseček tvořících hranici buňky a úhly jimi sevřené (v případě nepravidelné buňky omezené přímými úseky hranice) apod.

Ad 4, *Interpolace hodnot v rámci buňky.* V některých případech (např. digitálních modelů reliéfu) se hodnoty vlastností jevu nepovažují za konstantní v rámci buňky, nýbrž se odvozují interpolací z hodnot vztahujících se například k vrcholům buňky. V takovém případě je nezbytné stanovit interpolační mechanismus umožňující odvozovat hodnoty těchto vlastností kdekoliv na ploše buňky.

Ad 5, *Souřadnice buňky.* Zde je popsán buďto způsob odvozování souřadnic kterékoliv buňky sítě (v případě pravidelné sítě) nebo jsou zde uvedeny přímo souřadnice té buňky, k níž se popis vztahuje (v případě nepravidelné sítě).

Část III

Prostorové modelování reálného světa

Kapitola 1

Úvod

Cílem využívání poznatků geoinformatiky a na nich založených geoinformačních technologií je podpora racionální správy a využívání reálného světa. Tohoto cíle je možné dosáhnout pouze za předpokladu, že geoinformační technologie umožní reálný svět odpovídajícím způsobem popisovat, modelovat, analyzovat a případně i simulovat. Klíčovým pojmem zde je *model*.

S reálným světem nejsme (a ani nikdy nebudeme) schopni pracovat přímo, zkoumat na něm různé scénáře našeho jednání a jejich praktické dopady na něj a pak na základě výsledků těchto pokusů vybrat to nejlepší řešení. Základním důvodem je, že v reálném světě se čas odvíjí jen jedním směrem, nelze se vrátit, zrušit výsledky, eliminovat důsledky chybného scénáře a začít znova s jiným scénářem. Místo toho proto musíme používat *náhradní systém - model*, který nám bude reálný svět dobře reprezentovat (samozřejmě v mezích našich možností a našeho zájmu), bude vykazovat obdobné chování a umožní nám tak zkoumat na něm různé scénáře našeho jednání a jejich praktické dopady na reálný svět bez nebezpečí nevratného negativního ovlivnění tohoto světa. U modelu se můžeme kdykoliv bez problémů vrátit k výchozímu stavu a vyzkoušet jiný scénář.

Geoinformační systémy jsou založeny na *prostorových modelech*, které umožňují popsat (modelovat) rozložení objektů a jevů reálného světa v prostoru, jejich vlastnosti, vzájemné vztahy a případně umožňují modelovat i procesy reálného světa, které na objekty a jevy působí. Prostorový model je abstraktním a dobře definovaným systémem tzv. *konceptů*. Definuje mimo jiné i slovník, který může být používán pro popis objektů, jevů a procesů. V případě geoinformačních systémů tento model i jemu odpovídající slovník umožňují pracovat i s prostorovými a případně i časovými aspekty objektů, jevů a procesů reálného světa [303].

Účelem prostorového modelu je přitom nejen ukládání popisu objektů a jevů, případně procesů reálného světa, ale i podpora jejich dotazování, analýzy a vizualizace, případně i simulace chování reálného světa v zadaných situacích.

Prostorových modelů existuje celá řada v závislosti na úhlu pohledu na reálný svět, v závislosti na měřítku, časové proměnlivosti, účelu, řešených úlohách, na schopnosti zahrnout jednotlivé složky popisu objektů, jevů a procesů reálného světa apod.

V odst. I.2 jsme si uvedli, že na reálný svět je možné se dívat různě:

- jako na množinu diskrétních objektů reálného světa, které mají své vlastnosti a vzájemné vztahy,
- jako na množinu jevů popisovaných prostorovými rozloženými hodnotami vlastností reálného světa,
- jako na množinu procesů, měnících/ovlivňujících objekty a jevy reálného světa, resp. ovlivňujících jiné procesy.

Každému z těchto pohledů odpovídá jiná koncepce prostorového modelu. V minulosti se vedla celá řada diskuzí o možnosti vytvoření jednotného (tzv. unifikovaného) modelu (např. [42], [128]) sjednocujícího pokud možno všechna tři hlediska, ale doposud se takovýto všezahrnující model sestavit nepodařilo. V současné době se mluví spíše o modelech hybridních, vhodně spojujících různé modely, odrážející různé přístupy, do konzistentního celku. Tyto modely podporují i provádění analýz, které například pracují současně nad vektorovými i rastrovými daty (viz odst. III.4).

Při sestavování modelu, tj. při modelování reálného světa, musíme vzít v úvahu v první řadě *účel* vytvářeného prostorového modelu, resp. účel prostorového modelování. Z účelu následně odvodíme, která část reálného světa bude předmětem modelování a které aspekty této části reálného světa bude muset model postihnout a které naopak opomine.

V této kapitole se nejprve podíváme na modelování reálného světa v prostředí geoinformačních systémů obecně a pak se budeme podrobně zabývat jednotlivými koncepcemi prostorových modelů, vycházejícími především z prvních dvou výše zmíněných pohledů. Je to dáno tím, že dnešní geoinformační systémy jsou stále ještě statické a pokud mají zahrnovat i dynamiku (tj. procesy), pomáhají si zpravidla spoluprací s jinými systémy, specializovanými právě na modelování procesů.

Problematice prostorových modelů reálného světa je nezbytné věnovat velkou pozornost i z jiných důvodů: geodata v nich uložená mají extrémně dlouhou životnost (běžně desítky let) a extrémně vysokou cenu (rozpočty velkých aplikací geoinformačních systémů se běžně pohybují v desítkách milionů korun a na geodata z této částky připadá až 90 %).

Kapitola 2

Metodologie, metodika, metoda, nástroj

Metodologie (angl. methodology) obecně rozumíme komplexní návody a postupy provádění nějaké globální činnosti, například geologického průzkumu, prostotového modelování, získávání geodat. Metodologie postihuje všechny možné etapy řešení (všechny etapy životního cyklu) a zabývá se spíše obecnějšími problémy provádění dané činnosti, popsatelnými například obecnými otázkami typu „*proč?*“, „*kdo?*“, „*kdy?*“ a „*co?*“ Metodologie se tedy nezabývá podrobnějšími otázkami, jako je například „*pomocí čeho?*“. Zjednodušeně řečeno, metodologie je zastřešující pojem, který se zabývá danou problematikou jako celkem [139], [238]. V [165] je uvedena následující (obecná) definice metodologie:

Metodologie je ucelený systém filozofických a všeobecně vědeckých teoretických principů či vědeckých výpovědí týkajících se způsobů získávání poznatků o světě nebo způsobů vytváření idealizovaného obrazu světa.

Metodologie tedy vytváří určitý rámec zkoumání reálného světa a jeho zobrazování/modelování. Zahrnuje zpravidla kodifikovanou sadu praktik a pravidel a také slovník [297]. Prakticky každý vědní obor si vytváří svoji vlastní metodologii zkoumání a zobrazování reálného světa, odrážející specifika dané vědy. Mohou vznikat i specifické metodologie zaměřené na řešení určitých vymezených problémů. V rámci geoinformatiky může být příkladem *metodologie prostorového modelování*.

Metodologií prostorového modelování označujeme celkový přístup k modelování reálného světa v geoinformačních systémech. Prostorové modelování se skládá z celé řady kroků, které je nezbytné projít, máme-li dosáhnout požadovaných výsledků. Proces modelování je systematické povahy. Není to však proces přímočarý, zahrnuje celou řadu zpětných kroků, zpětných vazeb, některé kroky se mohou i překrývat [219].

Vedle pojmu metodologie se objevuje i pojem *metodika* (angl. *methodics*). Metodika je specifitějším pojmem, zabývá se systematickým prováděním činností spojených s určitou etapou řešení globálního problému. Věnuje se tedy jeho konkrétním aspektům. Metodiky jsou pevně určenými postupy, jak dosáhnout požadovaného cíle [139], [297], [150]. Metodika tedy odpovídá na otázku „*jakým způsobem?*“.

Jednotlivé metodiky postihují různá specifika každé etapy řešení a tím umožňují dělení dlouhodobého procesu na menší části, tj. etapy. Každá metodologie nabízí sady metodik určených pro jednotlivé etapy řešení globálního problému a dále postupy, umožňující vybrat nejvhodnější metodiku pro daný konkrétní případ.

Metodiky již nejsou tak obecné, jako je metodologie. Zpravidla se opírají o sady použitelných *metod* (angl. *method*). Metoda představuje konkrétní prostředek řešení dílčího problému. Jedním z úkolů metodiky je zpravidla i výběr vhodné metody řešení dané dílčí etapy, daného dílčího problému. Metoda odpovídá na otázku „*jak?*“.

Metody mohou být buďto specifické, používané jen určitou vědou (nebo skupinou věd), nebo mohou být obecné, používané všemi vědami. K obecným metodám patří [165]:

- pozorování,
- popis a vysvětlování,
- měření a porovnávání,
- experiment,
- modelování,
- analýza a syntéza,
- indukce a dedukce.

Posledním pojmem, který si zde uvedeme, je *nástroj* (angl. *tool*). Ten je odpovědí na otázku „*pomocí čeho?*“ budeme danou etapu řešit. Jedná se tedy o konkrétní (v našem případě zpravidla programový) produkt realizující zvolenou metodu, umožňující pracovat podle dané metodiky a v rámci dané metodologie. Volba vhodného nástroje by měla být součástí každé metodiky.

Jak je z výše uvedeného zřejmé, modelování patří k obecným metodám vědeckého zkoumání a platí pro něj proto určitá obecná pravidla. Teprve v rámci specifické metodologie se modelování vtiskávají konkrétní rysy, postihující zvláštnosti pohledu na reálný svět v daném vědním oboru. Obdobně je to i s ostatními obecnými metodami. V různých metodologiích jsou jim vtiskávána různá specifika, daná mimo jiné i používanými nástroji zkoumání reálného světa.

Příklad: Mějme obecnou metodu zvanou měření. V různých vědách se bude tato metoda opírat o různé nástroje: ve fyzice se budou používat

například velice přesná laserová měření, v geologii zase různá geofyzikální měření, v geodézii měření úhlová pomocí teodolitů apod.

V následující kapitole se podíváme na specifickou metodologii používanou v geoinformaticce, a tou je již zmíněná *metodologie prostorového modelování*.

Kapitola 3

Metodologie prostorového modelování

V úvodu jsme si řekli, že z praktických důvodů používáme pro potřeby popisu, zobrazování, modelování, dotazování, analýz a simulací chování reálného světa, resp. té jeho části, která nás zajímá, náhradní systémy, kterým říkáme *modely* (angl. model). Model se zkoumané části reálného světa přiřazuje na základě analogie nebo podobnosti. Modelování (jakožto proces vytváření a používání modelů) je chápáno jako jedna ze základních metod (vědeckého) zkoumání objektů, jevů a procesů reálného světa [148]. Klíčový význam v modelování má *abstrakce* (angl. abstraction), která je kontextově závislá a jejíž (mnohdy i opakované) uplatnění umožňuje vytvářet různé druhy modelů.

Metodologie prostorového modelování pojímá úkol modelování reálného světa v geoinformačních systémech v celé jeho komplexnosti, v celém jeho rozsahu. Zabývá se procesem tvorby a užití prostorového modelu, pozorováním reálného světa počínaje a simulací reálného světa s využitím vytvořeného prostorového modelu konče. Tento proces je možné rozdělit do celé řady etap:

- pozorování reálného světa,
- vyčlenění objektů, jevů a procesů, které jsou předmětem našeho zájmu,
- jejich zobecnění,
- vytvoření vhodného obecného prostorového modelu,
- vytvoření konkrétního prostorového modelu, reprezentujícího zadanou část reálného světa, a jeho naplnění geodaty,
- verifikace a validace modelu,
- úpravy modelu,
- použití modelu (např. , dotazování, analýzy, simulace).

Pro každou z těchto etap je možné zpracovat odpovídající metodiku její realizace, vyvinout metody použitelné pro tu kterou etapu a vytvořit jim odpovídající nástroje. Podrobné rozpracování této problematiky významně překračuje rámec této knihy, proto se zde soustředíme jen na některé aspekty, které jsou z hlediska porozumění dalšímu textu podstatné. Nejprve se však podíváme na některé základní pojmy.

3.1 Základní pojmy z oblasti prostorového modelování

Prostorové modelování, stejně jako modelování obecně, pracuje s celou řadou pojmů, jejichž pochopení je nezbytným předpokladem pro porozumění dalšímu textu. Většina výkladů dále uvedených pojmů je převzata z [148], není-li v konkrétních případech uvedeno jinak.

Abstrakce

Abstrakcí (angl. abstraction) rozumíme proces interpretace skutečností, pozorovaných v reálném světě, do pojmů, které pozorované skutečnosti reprezentují (např. les) [249]. Abstrakce je kontextově závislá, to znamená, že v různých situacích jsou výsledkem různé systémy pojmů.

Abstrakci můžeme uplatnit i opakovaně na systémy pojmů vytvořené v předchozím kroku tohoto procesu.

Konkretizace

Konkretizací rozumíme proces opačný k abstrakci. Konkretizací odvozujeme z obecnějších pojmů pojmy konkrétnější. V modelovém světě místo pojmů pracujeme s koncepty (angl. concept; viz dále).

Univerzum diskurzu

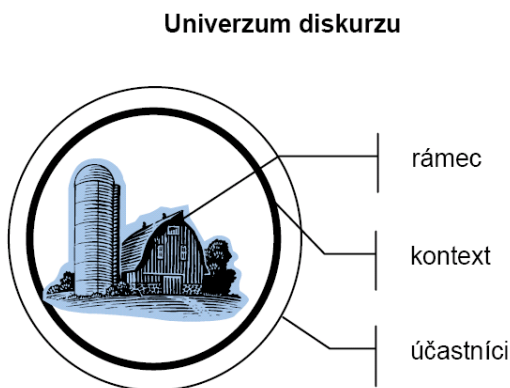
Pojem univerzum diskurzu (angl. Univers of Discourse) bývá považován za velmi nerosozumitelný, nepochopitelný. Je přitom široce využívaný nejenom v oblasti tvorby modelů pro informační systémy, ale i v jiných oblastech, jako jsou například sociální vědy. Z pohledu technika lze univerzum diskurzu definovat například takto (upraveno podle [157]):

Univerzum diskurzu je množinou těch objektů, jevů a procesů reálného světa, které byly, jsou nebo mohou být zařazeny do vybrané (resp.

studované) části reálného světa.

Jednoduše řečeno, jedná se o tu část reálného světa, která byla, je nebo se může stát předmětem našeho zájmu.

Univerzum diskurzu představuje určitý *rámec*, existující v určitém *kontextu* a vytvořený určitou skupinou *účastníků*, zainteresovaných na vytvářeném modelu (obr. III.3.1). Důležitým předpokladem je, že univerzum diskurzu je všemi účastníky interpretováno zcela shodně a umožňuje tak úspěšnou komunikaci mezi nimi. Pokud se některý z těchto faktorů změní (rámec, kontext, účastníci), vznikne nové univerzum diskurzu [14] (příklad viz ods. 3.4.1).



Obr. III.3.1 Univerzum diskurzu a jeho vztah k rámci, kontextu a účastníkům [14].

S univerzem diskurzu souvisí i účel, pro který bylo vytvořeno. Na rozdíl od předchozích tří faktorů, tento je s univerzem diskurzu svázán poněkud volněji. Jednomu účelu může sloužit více univerz diskurzu a stejně tak jedno univerzum diskurzu může sloužit více účelům [14].

Příklad: Vytvořme univerzum diskurzu, jehož rámec bude dán porubským areálem Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava, kontext bude dán tvorbou informačního systému pro správu budov, komunikací a zeleně v tomto areálu a účastníky budou příslušní zaměstnanci rektorátu, kteří tuto agendu zajišťují. Konkrétní výsledek je uveden v odst. III.3.4.1.

Model

V literatuře je možné nalézt celou řadu definic pojmu *model* (angl. model). Např. v [28] je uvedena definice (upraveno):

Model je jakákoliv zjednodušená abstrakce reality.

Tato definice je příliš obecná, proto budeme v dalším textu pracovat s následujícím zněním (upraveno dle [208]):

Model představuje zjednodušený pohled na studovanou část reálného světa. Je budován podle určitých pravidel a tak, aby vyhovoval zadanému účelu.

Modely mohou být jak velmi jednoduché, tak i velice komplikované, komplexní. Vzhledem k tomu, že reálný svět není možné pozorovat a tedy ani poznat zcela, v celé jeho komplexnosti, každý model zachycuje jen jeho vybrané aspekty. Žádný model, a dokonce ani žádná soustava modelů nemůže nikdy postihnout reálný svět v plném rozsahu [148].

Modelování

Modelování (angl. modelling) představuje jeden z mnoha možných způsobů zobrazování reálného světa, prováděného za účelem zkoumání v něm existujících objektivních zákonitostí. Tento pojem lze definovat například takto (upraveno podle [148]):

Modelování je experimentální informační proces, při němž se zkoumané části reálného světa jednoznačně přiřazuje podle určitých kritérií jiný systém, ať už fyzický nebo abstraktní, nazývaný model.

Jiná definice může znít (upraveno podle [208]):

Modelování je proces abstrakce a následné konkretizace, při kterém jsou podstatné aspekty studované části reálného světa zdůrazněny a nepodstatné eliminovány – to vše s ohledem na účel, který má toto modelování (a jím vytvořený model nebo soustava modelů) splnit.

Modelový svět

Modelový svět (angl. model world) vytváříme v průběhu modelování jakožto obraz reálného světa v našem geoinformačním systému. Jedná se o svět abstraktní, odrážející jen některé aspekty reálného světa.

Simulace

Simulací (angl. simulation) nazýváme práci s modelem, kdy sledujeme reakce modelu na změny vstupních hodnot, resp. sledujeme změny v čase. Výsledky simulace jsou zpětně promítány do studované části reálného světa [148]. Pro simulaci je tedy

podstatný přenos poznatků získaných na simulačním modelu zpět na zkoumanou část reálného světa. Z toho vyplývá, že simulace je nadstavbou modelování.

Identifikace

Pro modelování má zásadní význam spolehlivé zjištění vlastností univerza diskurzu. Na něm závisí věrohodnost modelu. Proces zjišťování vlastností univerza diskurzu je označován pojmem *identifikace* (angl. identification) a může být definován například takto (upraveno podle [148]):

Identifikace je experimentální způsob určování podstatných charakteristik univerza diskurzu umožňující sestavení jeho modelu.

Identifikaci můžeme provádět dvěma způsoby:

- *Přímo* – vycházíme ze souhrnu poznatků o chování univerza diskurzu získaných jeho přímým zkoumáním a dále z obecných poznatků z dané oblasti.
- *Nepřímo* – v tomto případě si nejprve vytvoříme zjednodušený model univerza diskurzu a teprve jeho zkoumáním získáváme potřebné informace o reálném světě. Nepřímou identifikaci používáme tehdy, když např. nejsme schopni získat dostatečné množství poznatků přímým pozorováním studované části reálného světa.

Příklad: Na začátku modelování proudění podzemních vod v neznámé oblasti se někdy nejprve vytváří jen koncepční model, který se pokouší obecně popsat situaci na hranicích modelované oblasti, především se zaměřením na její interakce s okolím. S vnitřkem modelované oblasti se v této fázi pracuje jako s černou skříňkou. Laděním tohoto modelu se postupně identifikují poměry, panující na hranicích modelovaného území. Zjišťuje se, odkud do oblasti proudí podzemní voda a kterým směrem proudí z oblasti pryč, kde jsou nepropustné horniny a tedy zde voda neproudí, kolik vody prosakuje z povrchových toků apod. Výsledný model by svým chováním měl zhruba odpovídat chování reálného systému. Koncepční model se tedy používá pro nepřímou identifikaci poměrů na hranicích modelované oblasti (tzv. okrajových podmínek).

Ověřování modelu

Ověřování (angl. verification) modelu je proces kvalitativního hodnocení správnosti modelu. V oblasti geoinformačních systémů a prostorového modelování mluvíme spíše o kontrole konzistence prostorového modelu, tedy nakolik je zobrazení univerza diskurzu v něm bezesporné.

Věrohodnost modelu

Věrohodnost (angl. fidelity) modelu vyjadřuje kvantitativně stupeň souhlasu chování modelu s chováním univerza diskurzu. Model je věrohodný, jestliže při všech uvažovaných podmínkách zkoumání jeho chování souhlasí v přípustných mezích s chováním univerza diskurzu [148].

Platnost modelu

Platnost (angl. validity) vyjadřuje oblast uplatnění modelu, v němž ho lze považovat za věrohodný.

Proměnlivost modelu

Proměnlivost (angl. variability) vyjadřuje možnost přizpůsobení modelu změnám různých činitelů.

Přizpůsobivost modelu

Přizpůsobivost (angl. adaptability) vyjadřuje schopnost modelu pracovat jako pod-systém s jiným modelovým systémem.

3.2 Členění prostorových modelů

Obtížným úkolem metodologie prostorového modelování je nalezení společného hlediska, umožňujícího rozdělení prostorových modelů. Z tohoto pohledu bude námi použité členění zaměřeno výhradně na prostorové modelování reálného světa v prostředí geoinformačních systémů.

Podle charakteru modelového systému se prostorové modely rozdělují na *abstraktní* (angl. abstract) a *fyzické* (angl. physical). *Fyzický model* je tvořen přirozeným nebo umělým hmotným systémem (např. globus je fyzickým modelem povrchu planety Země). *Abstraktní model* je tvořen nehmotným systémem (představou, znakovým nebo grafickým vyjádřením apod.) popisujícím zkoumanou část reálného světa. Abstraktní modely jsou objektivní z hlediska svého obsahu, tzn. že vyjadřují zákonitosti reálného světa a popisují je. Jejich forma je však subjektivní, neboť stejný obsah lze vyjádřit mnoha různými formami. Mezi abstraktní modely patří modely matematické, modely vyjádřené například grafickým schématem, vývojovým diagramem a dále například modely vyjádřené způsobem umožňujícím jejich počítačové zpracování. Použití přirozeného jazyka se v modelování nedoporučuje pro jeho mnohoznačnost [148].

V dalším textu se budeme zabývat pouze modely abstraktními. Fyzické modely se v geoinformačních systémech ze snadno pochopitelných důvodů prakticky nepoužívají.

Modely lze také členit na *digitální* (angl. digital model; např. počítačový model proudění podzemních vod) a *analogové* (angl. analogue model; např. papírová mapa) [304]. Analogové modely jsou obvykle lidem srozumitelnější, nelze je však zpracovávat počítačově. Proto se dále budeme zabývat jen modely digitálními. Z nich se v geoinformačních systémech používají nejčastěji *datové modely* [281] (angl. data model). Obecně lze říci, že datové modely jsou mnohem jednodušší, než většina modelů používaných v geovědách (např. již dříve zmíněné modelování proudění podzemních vod).

Jiné členění může být dáno obecným účelem, který má model plnit. V takovém případě rozlišujeme:

- *modely datové* (angl. data model) – pro modelování především geometrických a tematických aspektů reálného světa (tj. pro modelování struktury, resp. statických vztahů) a
- *modely funkční* (angl. functional model) – pro modelování především aspektů funkčních, tedy chování objektů, jevů a procesů (tj. pro modelování dynamiky, resp. dynamických vztahů).

Datový model je proto zaměřen jen na popis reálného světa daty a více méně se nezabývá funkční stránkou věci. Naproti tomu funkční model popisuje především dynamickou stránku systému a méně se zabývá stránkou datovou. Pokud budeme mluvit o modelu prostorovém, budeme mít na mysli takový model, který popisuje reálný svět komplexně, tedy i z obou výše zmíněných hledisek. Budeme-li naopak považovat za vhodné nebo nutné upozornit na jeden z obou specifických přístupů, uvedeme příslušný název.

V následujícím výkladu budeme pro jednoduchost zpravidla vynechávat přívlastek prostorový. Konec konců je zřejmé, že už z povahy probírané vědní disciplíny budou modely, o kterých hovoříme, vždy prostorové. Pokud by tomu tak výjimečně být nemělo, explicitně na to upozorníme.

3.3 Abstraktní modelování reálného světa

Vytvoření abstraktního modelu, který reprezentuje reálný svět v geoinformačním systému, neprobíhá v jednom kroku. Naopak se jedná o dosti složitý proces, který má mnoho kroků a spočívá v postupném vytváření hierarchie modelů. Počet úrovní této postupné abstrakce je závislý na konkrétní použité metodice. Nejjednodušší postupy používají tři úrovně abstrakce, nejsložitější, jako například standardy konsorcia OGC, používají až devět úrovní abstrakce [54]. Převládají však metodiky

Úřpvně modelování	Prostorové modelování – tříúrovňový přístup	Prostorové modelování – čtyřúrovňový přístup	Meta-modelování
4. úroveň – nejobecnější			meta-metamodel
3. úroveň	konceptuální model	konceptuální model	Metamodel
2. úroveň	logický model	datový model	Třída
1. úroveň		datová struktura	Instance
0. úroveň – nejkonkrétnější	fyzický model	struktura souborů	

Tab. III.3.1 Porovnání jednotlivých úrovní tříúrovňového a dvou používaných čtyřúrovňových přístupů k modelování reálného světa v informačních systémech [249].

založené na čtyřech úrovních abstrakce [249]. Problémem různých metodik je, že ne vždy je možné nalézt jednoznačnou paralelu mezi jejich jednotlivými úrovněmi abstrakce (viz tab. III.3.1).

Z tohoto důvodu bude vhodné se podívat na proces abstrakce reálného světa v obecné rovině, bez vazby na konkrétní postupy, tak abychom si vysvětlili obecné principy tohoto procesu.

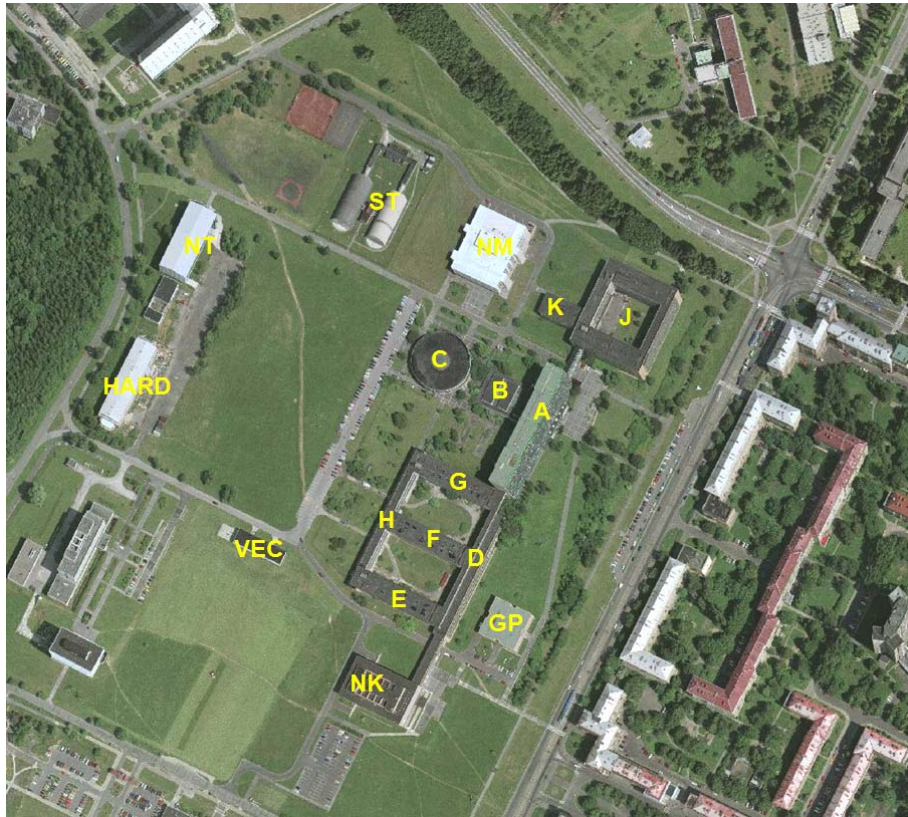
3.4 Proces modelování reálného světa v geoinformačním systému

Pokud chceme reálný svět modelovat v geoinformačním systému, musíme nejprve vytvořit vhodný aparát, který nám umožní tento svět vhodně popsat, zachytit v popisu právě ty jeho aspekty, které jsou předmětem našeho zájmu a pak tento popis převést do jazyka srozumitelného počítači. První část tohoto postupu se týká *reálného světa*, druhá naopak *světa modelového*. Na obr. III.3.3 je tento proces přehledně znázorněn a jsou zde zachyceny i paralely mezi abstrakcí světa reálného a světem modelovým, spolu s uvedením adekvátních příkladů pro jednotlivé úrovně abstrakce ve světě reálném, resp. konkretizace ve světě modelovém.

V oblasti modelování reálného světa existují různé hierarchie systémů termínů, pojmů a kategorií. Hlavním důvodem této pestrosti je skutečnost, že každý jedinec zachycuje (modeluje) svět v modelu jiným způsobem, v závislosti na svých znalostech a zkušenostech, účelu apod. Modelování světa navíc není v mnoha případech založeno na konkrétní *ontologii*.

Již jsme si uvedli, že při modelování jsou (zpravidla z praktických důvodů – snaha udržet vznikající model v únosných mezích) méně významné znaky reálného světa ignorovány. Existuje mnoho různých způsobů a postupů, jak toho dosáhnout. Patří

k nim např. kondenzace, abstrakce, idealizace, klasifikace, generalizace, formalizace apod. My se zde omezíme pouze na proces zvaný *abstrakce*.



Obr. III.3.2 Výřez upraveného leteckého snímku (tzv. ortofotosnímku) porubského areálu Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava z roku 2000. Písmeny jsou označeny jednotlivé budovy areálu. (Snímek publikován s laskavým svolením firmy Geodis Brno, s.r.o.).

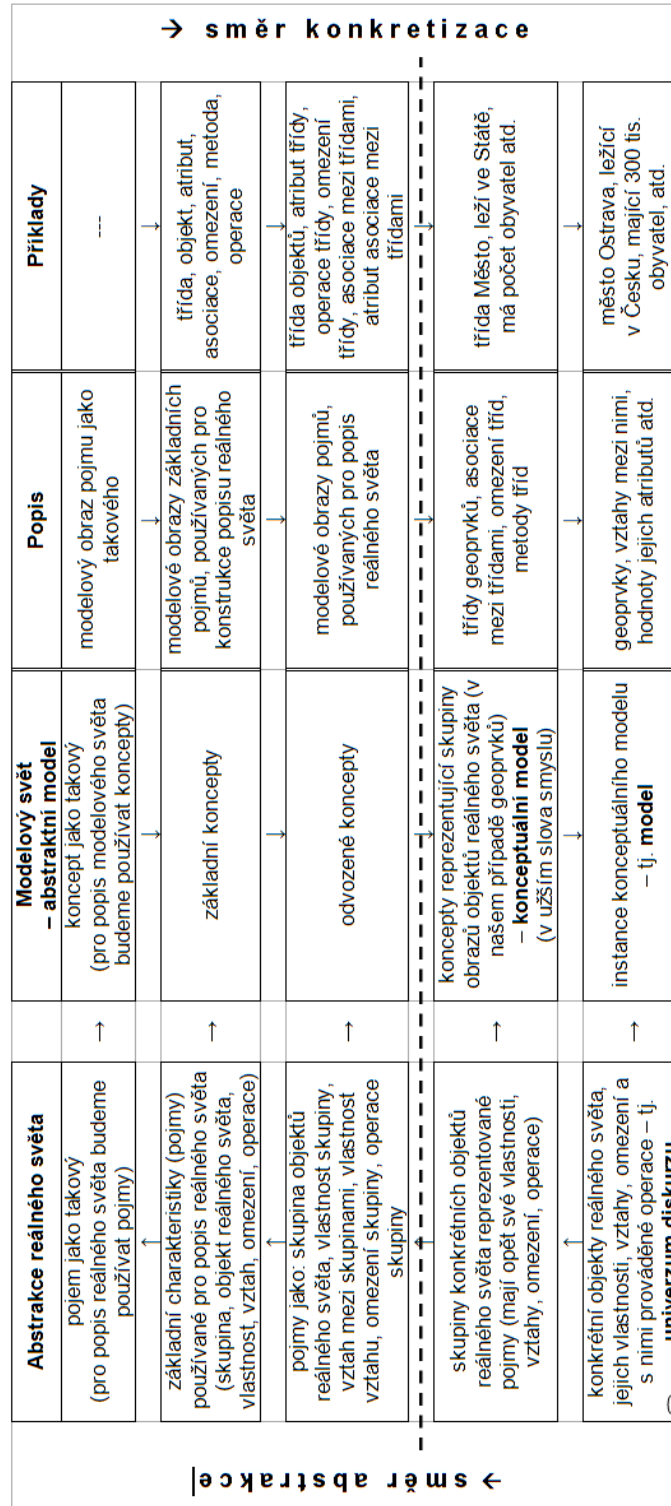
Nyní si ukážeme, jak probíhá proces abstrakce reálného světa a naopak konkretizace světa modelového.

3.4.1 Proces abstrakce reálného světa vycházející z objektového náhledu

Proces abstrakce reálného světa si popíšeme s využitím obr. III.3.2. Jedná se o letecký snímek porubského areálu VŠB-TU Ostrava. V následujících odstavcích si ukážeme, jak můžeme dojít od konkrétního výseku reálného světa k abstraktním pojmům, umožňujícím popsat obecně jakýkoliv výsek reality.

Prvním krokem abstrakce reálného světa je vymezení objektů reálného světa, které budou tvořit předmět našeho zájmu, naše *univerzum diskurzu*. V odst. 3.1 jsme si uvedli, že „univerzum diskurzu představuje určitý rámeček, existující v určitém kontextu a vytvořený určitou skupinou lidí, zainteresovaných na tvorbě modelu“. Uvažujme tedy případ, kdy model sestavuje skupina lidí, zodpovědných za vytvoření informačního systému o porubském areálu VŠB-TU Ostrava, který bude sloužit ke správě budov, komunikací a zeleně. V tomto případě předmětem našeho zájmu budou následující objekty reálného světa:

- všechny budovy VŠB-TU Ostrava, zachycené na našem obrázku (tj. konkrétně budova „A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, NK, nová menza (NM), hala HARD, výzkumné energetické centrum (VEC), stará tělocvična (ST), nafukovací haly (NH), geologický pavilon (GP)“),
- všechna parkoviště (tj. „parkoviště před rektorátem, parkoviště u knihovny, parkoviště za kruhovkou, parkoviště u menzy, parkoviště u haly HARD“),
- všechny chodníky (...),
- všechny silnice (...),
- všechny příjezdové komunikace (...),



Obr. III.3.3 Proces modelování reálného světa v geoinformačním systému. Čárkovaná čára reprezentuje rozhraní, nad nímž již pracujeme s pojmy resp. koncepty, vytvářejícími prostředí pro popis reálného světa resp. jeho modelového obrazu. Naopak pod tímto rozhraním již pracujeme s pojmy resp. koncepty, které se bezprostředně vážou k reálnému světu, resp. jeho modelu.

- všechny závory (...),
- všechny stromy s průměrem koruny minimálně 3 m (...),
- všechny keře s horizontálním rozměrem minimálně 5 m (...),
- všechny oblasti se souvislým porostem stromů, resp. keřů (...),
- všechny trávníky (...).

U jednotlivých objektů nás budou zajímat jejich vlastnosti (vlastnosti, které je popisují) a hodnoty těchto vlastností, např.: „budova A má deset nadzemních podlaží a jedno podzemní, je vlastnictvím VŠB-TU, slouží jako administrativní budova“, „budova J má čtyři nadzemní podlaží a jedno podzemní, je ve vlastnictví VŠB-TU, slouží jako výuková a laboratorní budova“ apod.

Dále nás budou zajímat vzájemné vztahy objektů reálného světa typu: „budova A je spojena s budovou B“, „parkoviště za budovou C sousedí s trávníkem“, „na příjezdové komunikaci k parkovišti za budovou C je závora“ apod.

Ostatní objekty reálného světa na snímku zachycené a jiné vztahy mezi nimi nás nezajímají a proto s nimi dále nebudeme pracovat. Tím jsme završili první úroveň naší abstrakce reálného světa. Současně jsme reálný svět opustili a nadále se budeme pohybovat pouze ve světě abstraktním, z něhož později vytvoříme svět modelový.

Na druhé úrovni abstrakce již pracujeme jen s naším univerzem diskurzu. Zde je naším cílem vymezit obecnější pojmy, které budou označovat skupiny konkrétních objektů reálného světa se stejnými vlastnostmi, např.:

- budova, jakožto reprezentant jakékoliv budovy; všechny budovy mají stejnou sadu vlastností, které je popisují a liší se mezi sebou jen hodnotami těchto vlastností,
- komunikace (která zahrnuje jak chodníky, tak silnice, tak i příjezdové komunikace – tyto objekty reálného světa se popisují podobně, liší se jen způsobem užití),
- parkoviště,
- závora,
- strom,
- keř,
- souvislý porost (zahrnuje souvislý porost stromů a keřů a trávníky).

Každý z výše uvedených pojmů bude popsán sadou vlastností objektů reálného světa (tzv. obsah pojmu), které jsou tímto pojmem označovány (tzv. rozsah pojmu [49]).

Stejně jako jsme zobecnili pojmy označující konkrétní objekty reálného světa, musíme zobecnit i pojmy popisující jejich vlastnosti. Například pro budovu přicházejí z předešlého výkladu v úvahu tyto vlastnosti:

- název budovy
- počet nadzemních podlaží
- počet podzemních podlaží,
- vlastník budovy,
- způsob využití budovy.

Obdobně je tomu i se vztahy mezi objekty:

- susedí s,
- navazuje na,
- je spojen s,
- leží na,
- je částí.

Kromě toho lze k pojmům první skupiny přiřadit i popis operací (např. prodej budovy, rekonstrukce budovy, zbourání budovy apod.), které lze s objekty reálného světa pod ně spadajícími provádět. Všechny tyto pojmy nám umožní sestavit obecnější popis reálného světa.

Pojmy na třetí úrovni abstrakce jsou zobecněním pojmů druhé úrovně. Patří sem:

- skupina objektů reálného světa,
- vlastnost skupiny,
- vztah mezi skupinami,
- vlastnost vztahu,
- omezení skupiny,
- operace skupiny.

Pojmy na čtvrté úrovni abstrakce jsou zobecněním pojmů třetí úrovně. Patří sem:

- skupina,
- vlastnost,
- vztah,

- omezení,
- operace.

Tyto pojmy umožňují sestavit ještě abstraktnější popis reálného světa, než tomu bylo v předešlém případě.

A konečně nejvyšší – *pátá úroveň abstrakce* by měla definovat ten nejobecnější nástroj popisu reálného světa – a tím je *pojmem*. Ten lze popsat například takto [49]:

Pojmem se vágně rozumí jakási obecnina, která je vyjádřena smysluplným (významotvorným) výrazem a je dána svým obsahem (intensí) a rozsahem (extensí). Přitom extensí pojmu se rozumí množina předmětů, které pod daný pojem spadají, intensí pojmu pak množina atributů, kterými jsou tyto předměty charakterizovány.

Co je podstatné, o významu jednotlivých pojmů musí existovat všeobecná shoda, resp. alespoň shoda mezi komunikujícími subjekty, má-li být pojem použitelný při komunikaci. Definice pojmů obvykle zpracovávají experti z dané oblasti [28].

Tento postup popisuje abstrakci reálného světa nazíraného z pohledu objektů reálného světa. Zcela obdobně by bylo možné odvodit postup abstrakce pro případ jevového nebo procesního náhledu.

Uvedme si příklad popisu reálného světa, v němž ale budeme postupovat v opačném směru, tedy od nejvyšší úrovně abstrakce směrem k nejkonkrétnější úrovni:

- *pátá úroveň: pro popis reálného světa budeme používat textově vyjádřené pojmy*
- *čtvrtá úroveň: základní pojmy, s nimiž budeme pracovat, jsou:*
 - *skupina (pro označení skupiny objektů reálného světa),*
 - *vztah (pro vyjádření vztahů mezi skupinami objektů reálného světa),*
 - *vlastnost (pro popis vlastností objektů reálného světa dané skupiny),*
 - *operace (pro popis operací proveditelných s objekty reálného světa patřícími ke stejné skupině).*
- *třetí úroveň: s využitím základních pojmů si vytvoříme pojmy, které nám říkají, jak (resp. pomocí čeho) budeme popisovat různé aspekty reálného světa:*
 - *skupina objektů reálného světa,*
 - *vlastnost skupiny,*
 - *vztah mezi skupinami,*
 - *vlastnost vztahu,*

- *omezení skupiny,*
- *operace skupiny.*
- *druhá úroveň: zde si konkretizujeme pojmy z předešlé úrovně tak, aby již popisovaly konkrétní situaci v reálném světě:*
 - *skupina objektů reálného světa:*
 - * *budova,*
 - * *komunikace,*
 - * *parkoviště,*
 - * *závora,*
 - * *strom,*
 - * *keř,*
 - * *souvislý porost.*
 - *vztah mezi skupinami objektů reálného světa:*
 - * *sousedí s,*
 - * *navazuje na,*
 - * *je spojen s,*
 - * *leží na*
 - * *je částí.*
 - *vlastnost skupiny objektů reálného světa (např. budova):*
 - * *výška,*
 - * *počet pater,*
 - * *rok výstavby,*
 - * *majitel,*
 - * *správce,*
 - * *apod.*
 - *omezení skupiny objektů reálného světa (např. budova):*
 - * *budova nemůže stát na místě jiné budovy,*
 - * *budova musí být napojena na silnici,*
 - * *budova musí být napojena na chodník,*
 - * *apod.*
 - *operace se skupinou objektů reálného světa (např. budova):*
 - * *změna majitele,*
 - * *změna správce,*
 - * *povolení vstupu,*
 - * *zakázání vstupu,*
 - * *apod.*

první úroveň: zde již identifikujeme konkrétní objekty reálného světa a případně i hodnoty jejich vlastností a případně i jejich vztahy:

- budova „A“,
- budova „A“ má 10 pater,
- vlastníkem budovy „A“ je VŠB-TU Ostrava,
- budova „A“ sousedí s budovou „B“,
- apod.

3.4.2 Proces konkretizace modelového světa vycházející z objektového náhledu

V modelovém světě definujeme na jednotlivých úrovních abstrakce jednotlivé tzv. *koncepty* (angl. concept). Koncept je v [297] definován takto:

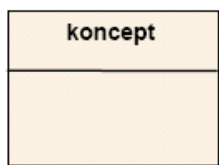
Koncept je abstraktní, univerzální filozofická entita používaná pro označení kategorie nebo třídy entit, událostí nebo vztahů.

Opět se jedná o definici na velice obecné, filozofické úrovni. Pro potřeby dalšího výkladu si proto budeme pracovat s definicí odlišnou:

Koncept je modelovým obrazem pojmu na dané úrovni abstrakce.

Z této definice vyplývá, že koncept jako takový odpovídá *nejvyšší úrovni abstrakce* (resp. nejobecnější úrovni konkretizace) reálného světa přenesené do světa modelového.

Z konceptů se na jednotlivých úrovních abstrakce (resp. konkretizace) sestavují tzv. *konceptuální modely* (angl. conceptual model), které vedle vlastních konceptů zachycují i vztahy mezi nimi. Pro pátou úroveň je tento model velice jednoduchý – viz obr. III.3.4.



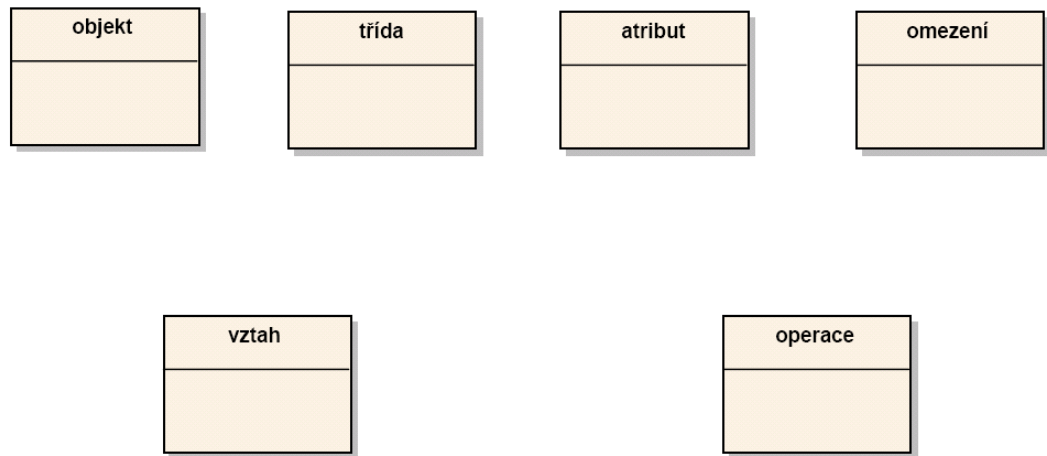
Obr. III.3.4 Konceptuální model pro pátou úroveň.

Na čtvrté úrovni můžeme definovat následující základní koncepty:

- objekt,

- třída,
- atribut,
- omezení,
- vztah,
- operace.

Konceptuální model pro tuto úroveň je velice jednoduchý, jak ukazuje obr. III.3.5. V podstatě je tvořen pouze základními koncepty, které představují instance obecného pojmu koncept. Nejsou mezi nimi definovány žádné vztahy.



Obr. III.3.5 Konceptuální model pro čtvrtou úroveň.

Na třetí úrovni již definujeme koncepty, vycházející ze základních konceptů předchozí úrovně :

- třída objektů,
- atribut třídy,
- operace třídy,
- omezení třídy,
- vztah mezi třídami (asociace, agregace, kompozice),
- atribut vztahu mezi třídami.

Příslušný konceptuální model je zachycen na obr. III.3.6. Je z něj patrné, že mezi těmito pojmy jsou již zaváděny i vztahy.

Na druhé úrovni pracujeme s koncepty, které jsou již instancemi konceptů předchozí vyšší úrovně a jsou bezprostředně ve vztahu k našemu univerzu diskurzu v reálném světě, jsou obrazem pojmů v něm vyčleněných, např.:

- třída (objektů) Katastrální území,
- třída (objektů) Parcela,
- třída (objektů) Dům,
- třída (objektů) Vlastník,
- třída (objektů) Adresa,
- Dům má Vlastníka,
- Dům má Adresu,
- Dům leží na Parcele,
- atd.

Každá třída má definované své atributy a operace a mezi třídami jsou definované jejich vztahy. Příklad konceptuálního modelu této úrovně je uveden na obr. III.3.7.

Na nejnižší úrovni již pracujeme s konkrétní instancí konceptů předchozí úrovně, tvořenou obrazy objektů reálného světa, vztahů mezi nimi apod. V případě geoinformačních systémů jsou těmito obrazy geoprvky a vztahy mezi nimi.

3.5 Metodiky tvorby abstraktních modelů

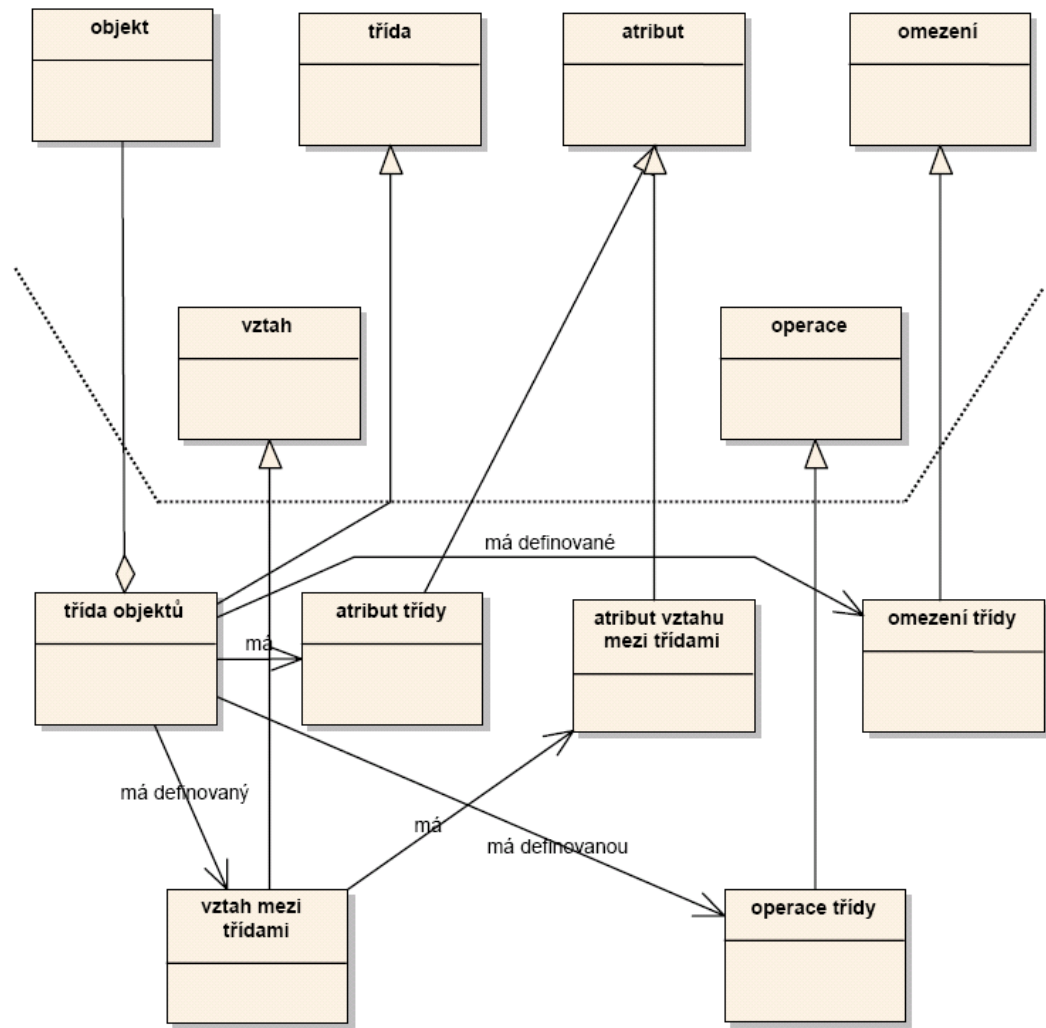
Metodologie prostorového modelování zahrnuje celou řadu metodik tvorby prostorových modelů, které vycházejí z obecného postupu popsaného v předešlém odstavci a nějakým způsobem ho konkretizují. Tyto metodiky lze rozdělit do tří skupin:

- metodiky zaměřené na tvorbu tzv. *datových modelů* (tj. modelů určených pro modelování geometrických a tematických aspektů reálného světa),
- metodiky zaměřené na tvorbu tzv. *funkčních modelů* (tj. modelů určených pro modelování aspektů funkčních),
- metodiky zaměřené na tvorbu tzv. *komplexních modelů* (tj. modelů postihujících obě stránky současně).

K první skupině patří například metodika tvorby E-R diagramů, k třetí skupině je možné zařadit metodiky založené na objektovém přístupu (i když je celá řada autorů řadí ze setrvačnosti do skupiny první).

Abstraktní model by měl popsat (modelovat) všechny aspekty reálného světa:

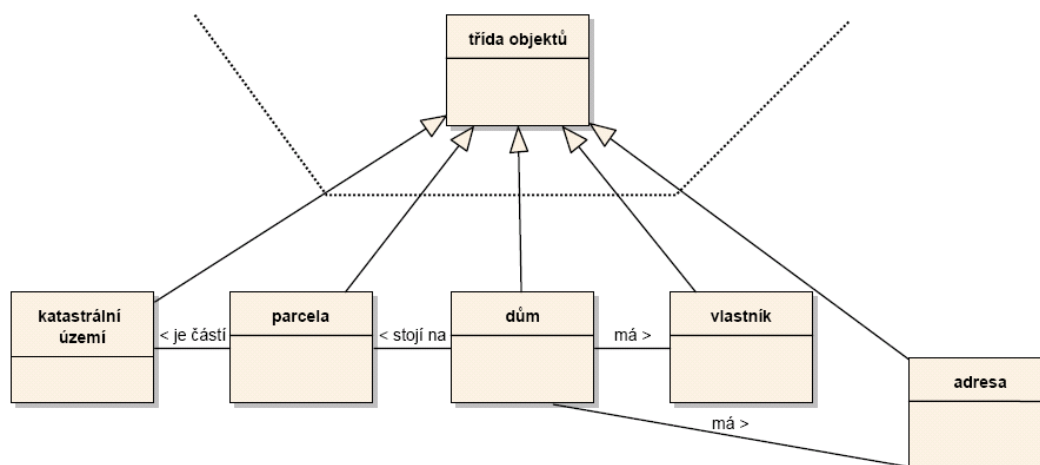
- geometrické,
- tematické,
- časové,



Obr. III.3.6 Konceptuální model pro třetí úroveň. (Tečkovaná čára vyznačuje hranici mezi úrovněmi. Čára s trojúhelníčkem označuje odvozování podtříd, čára s kosočtverečkem označuje agregaci a šipka běžnou asociaci.)

- funkční,
- vztahové

a k nim by měl připojit i nezbytná metadata. Nicméně vzhledem ke složitosti a odlišnosti těchto aspektů není zpravidla výsledkem modelování konstrukce jediného komplexního modelu, nýbrž obvykle vzniká soubor několika modelů, postihujících některé z těchto aspektů. Teprve v poslední době se s nástupem objektové orientace postupně prosazuje jediný komplexní model, postihující všechny výše zmíněné



Obr. III.3.7 Ukázka části konceptuálního modelu pro druhou úroveň (konceptuálního modelu v užším slova smyslu).

aspekty najednou.

Dnes běžně budované geoinformační systémy zpravidla samostatně modelují geometrickou stránku reálného světa (a to ve velmi zjednodušené podobě), samostatně se zabývají tematickou stránkou, časové aspekty běžně zcela opomíjejí, funkční jsou modelovány odděleně programovým kódem a vztahové jsou částečně zahrnuty do modelu geometrie a částečně do modelu tematických aspektů. Metadatová část se přímo v modelu zatím prakticky nepoužívá.

Podrobněji bude tato problematika probrána v samostatné publikaci věnované prostorovému modelování. Stejně tak se zde nebudeme detailně zabývat ani metodami a nástroji prostorového modelování. V dalším textu se zaměříme pouze na obecné principy modelování objektů a jevů reálného světa v geoinformačních systémech, především formou datových modelů.

Kapitola 4

Datové modely v geoinformačních systémech

Stejně jako existují tři různé pohledy na reálný svět, musí existovat i tři různé koncepce datových modelů reálného světa v geoinformačních systémech. První koncepce odpovídá objektovému, tj. diskrétnímu náhledu, jejím základním stavebním kamenem je modelový obraz objektu reálného světa – geoprvek. Druhá koncepce odpovídá kontinuálnímu, tj. jevovému náhledu na reálný svět, jejím základním stavebním kamenem je síť buněk, popisující rozložení hodnot vlastností v prostoru, resp. samotná buňka. Třetí koncepce odpovídá procesnímu náhledu na reálný svět. Základním stavebním kamenem by zde měl být modelový obraz procesu reálného světa. Avšak vzhledem k tomu, že dnešní geoinformační systémy jsou v drtivé většině statickým obrazem reálného světa, není tato koncepce modelu reálného světa (z pohledu geoinformačních systémů) zatím dostatečně rozpracovaná a i my se jí dále nebudeme zabývat.

V dalším textu se proto podrobněji podíváme na první dva případy.

4.1 Datové modely reprezentující objekty reálného světa

Ústředním stavebním kamenem těchto modelů je geoprvek jakožto modelový obraz lokalizovatelného objektu reálného světa. To mají tyto modely společné. Čím se však liší je způsob, jakým je geoprvek reprezentován z pohledu jednotlivých složek jeho popisu. V zásadě existují dva přístupy (svým způsobem krajní, ale jejich kombinace, tj. „zlatá střední cesta“ v podstatě neexistuje) k zobrazování/reprezentaci objektů reálného světa:

- reprezentace geoprvků po jednotlivých složkách jejich popisu (tj. geometrické, tematické, časové, funkční, vztahové a případně i kvalitativní),
- reprezentace po jednotlivých geoprvcích.

Jejich společným znakem je, že oba přístupy umožňují pracovat explicitně s jednotlivými geoprvky. Ty je možné vybírat, zobrazovat, dotazovat, editovat apod. Liší se však tím, že jednotlivé složky popisu geoprvků jsou v prvním případě ukládány do značné míry samostatně a navzájem jsou propojeny pomocí unikátního identifikátoru geoprvcu. Díky tomu je možné s nimi pracovat jako s celkem. V druhém případě jsou jednotlivé složky popisu geoprvcu naopak soustředěny do jednoho kompaktního balíčku, reprezentujícího geoprvek jako celek. V prvním případě mluvíme nejčastěji o *vektorovém datovém modelu* (angl. vector data model), v druhém případě o *objektovém datovém modelu* (angl. object data model).

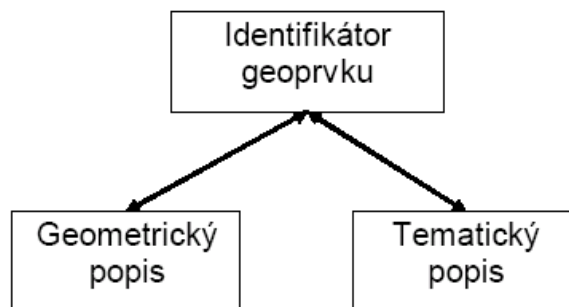
4.1.1 Vektorový datový model

Datové modely pro reprezentaci reálného světa v geoinformačních systémech po jednotlivých složkách popisu geoprvků jsou dnes nejrozšířenější. Společným jmenovatelem těchto modelů je, že objekty reálného světa jsou v nich po stránce geometrické reprezentovány konečnými, diskretními a homogenními jednotkami – nula- až dvaapůl- rozměrnými geometrickými prvky – body, liniemi, polygony (plochami) a povrchy, reprezentovanými vektory nebo posloupnostmi vektorů.

Jakémukoliv objektu reálného světa, má-li být v geoinformačním systému zachycen, musí být přiřazen jeden z těchto čtyř typů geometrických prvků. Např. vodní tok je modelován běžně jako linie, křižovatka dvou silnic jako bod, jezero jako plocha, dům jako plocha, reliéf terénu jako povrch apod. (Přitom toto přiřazení může být ryze účelové. Např. na mapě dopravních sítí bude řeka reprezentována linií, znázorňující plavební čáru, ale na mapě vodních ploch již musí být větší řeka znázorněna jako plocha. Což ovšem znamená, že v databázích geoinformačního systému bude tato řeka uložena dvakrát. Jednou jako linie, podruhé jako plocha.) Tyto geometrické prvky (stejně jako geoprvky) musí být vzájemně disjunktní a přesně ohraničené, což může být někdy problém: kde je např. hranice mezi horským hřbetem a údolím?

Základním datovým modelem, reprezentujícím tuto skupinu, je *vektorový datový model* (angl. vector data model).

Vektorový datový model dnes představuje jeden ze dvou nejrozšířenějších datových modelů, používaných v současných geoinformačních systémech. Vzhledem k tomu, že se jedná i o historicky jeden z nejstarších datových modelů, používaných v geoinformačních systémech, odpovídá tomu i rozsah, v jakém jsou tímto datovým modelem respektovány jednotlivé složky popisu geoprvků. Plně akceptované jsou geometrická a tematická složka, částečně i vztahová (především v oblasti pro-



Obr. III.4.1 Schematické členění geodat popisujících geoprky ve vektorovém datovém modelu [208].

storových vztahů – topologie – a v oblasti vztahů, které lze přímo popsat daty – např. vlastnické a jiné vztahy). Ostatní složky, tedy časová, funkční a částečné i vztahová nejsou do tohoto modelu běžně implementovány a jsou realizovány jinými prostředky.

Vektorový datový model člení modelový svět na geoprky. Každému geoprku je v tomto datovém modelu přiřazen jedinečný identifikátor a zcela odděleně jsou vedeny geometrická složka popisu geoprku a tematické složka popisu, přičemž vazba mezi těmito dvěma složkami je zprostředkována právě pomocí jedinečného identifikátoru geoprku (obr. III.4.1).

Poznámka: Především z důvodu tohoto schematického členění, které se však promítá i do fyzické realizace tohoto modelu, se v oblasti geoinformačních systémů pracujících s vektorovým datovým modelem někdy používá zcela zavádějící terminologie, kdy data geometrického popisu jsou označována jako „data prostorová“ a data tematického popisu jako „data neprostorová“.

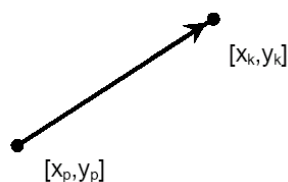
Vektorový datový model a ukládání geometrické složky

Ve vektorovém datovém modelu se pro popis geometrických vlastností geoprků používají lineární geometrické prvky, tzv. *vektory* (obr. III.4.2). Vektor je v terminologii geoinformačních systémů orientovaná úsečka, definovaná souřadnicemi počátečního a koncového bodu. Z vektorů jsou skládány tři základní geometrické prvky [208] (obr. III.4.3):

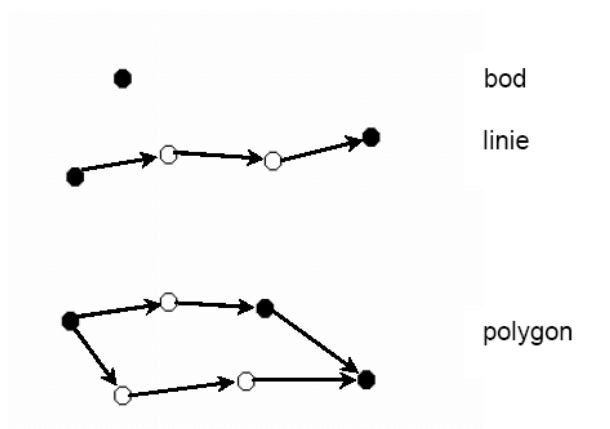
- *Bod* (angl. point) – jako vektor nulové délky (vektor, u něhož splyne počáteční a koncový bod).
- *Linie* (angl. line nebo arc) – jako otevřená posloupnost vektorů. U linie rozlišujeme počáteční a koncový bod, které se běžně označují termínem *uzel* (angl. node) a mezilehlé body, které se označují termínem *vrchol* (angl. ver-

tex).

- *Polygon* (plocha; angl. polygon) – je reprezentovaný svojí hranicí, která je popsána uzavřenou posloupností vektorů, resp. linií.



Obr. III.4.2 Základní stavební kámen geometrické složky popisu geoprku ve vektorovém datovém modelu – vektor.

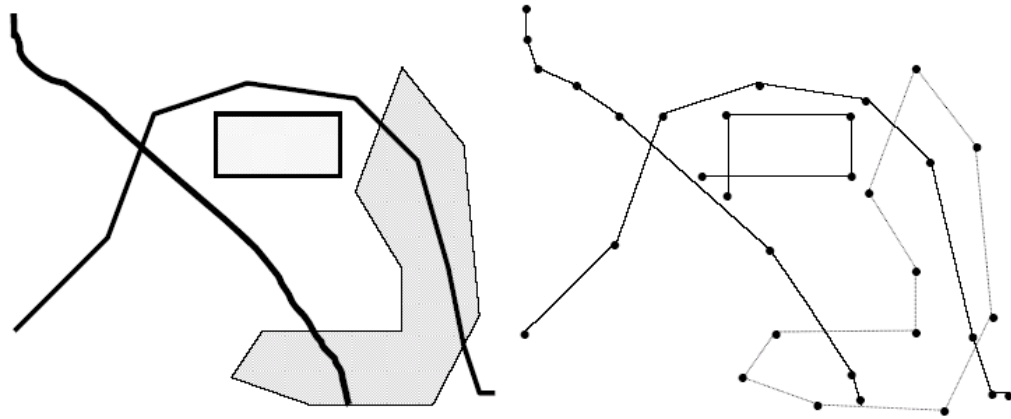


Obr. III.4.3 Základní geometrické prvky vektorového datového modelu a jejich reprezentace pomocí vektorů [208].

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

- *nespojené* (angl. unlinked model),
- *topologické* (angl. topological model).

Nespojené modely. Nejjednodušší formou je tzv. *špagetový model* (angl. spaghetti model). V tomto modelu je geometrická složka popisu geoprku ukládána odděleně ve vektorové formě, bez zachycení prostorových vztahů k okolním geoprvkům (obr. III.4.4). Linie se zde mohou křížit prakticky libovolně. Takovýto model je vhodný především pro zobrazování, a proto našel uplatnění zvláště v počítačové grafice



Obr. III.4.4 Špagetový model [208].

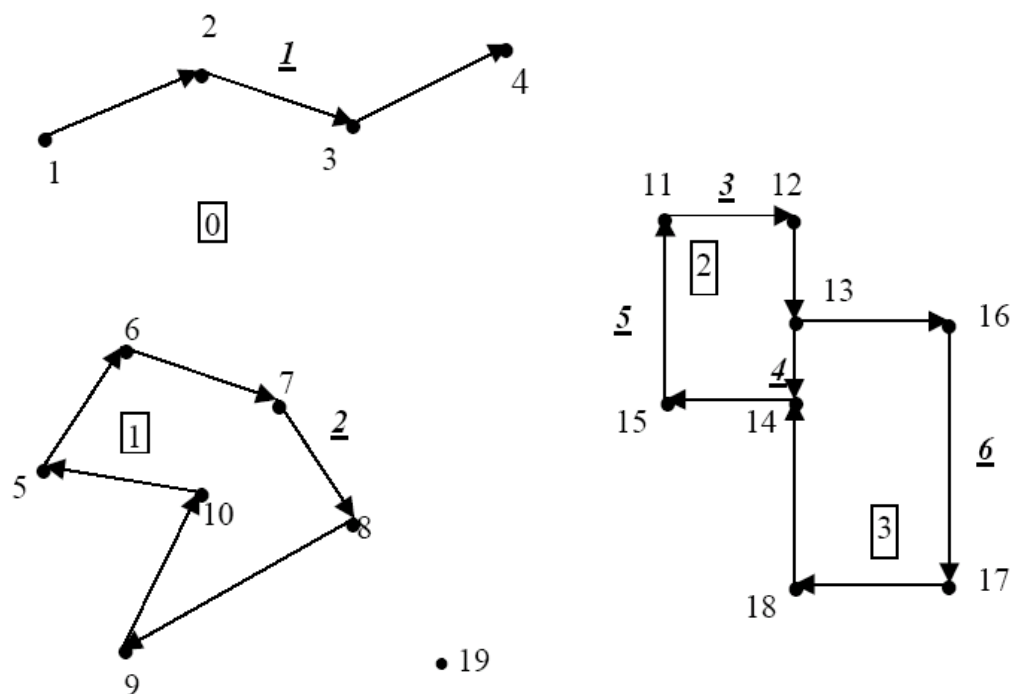
a digitální kartografii. Jeho zásadní nevýhodou však je, že neumožňuje provádět prostorové analýzy. Tím výrazně snižuje hodnotu takto uložených geodat.

Topologický model. Základem topologického vektorového datového modelu je záznam linií tvořících geometrickou složku popisu geoprvků ve formě rovinného grafu (obr. III.4.5). Jednotlivé linie odpovídají hranám grafu a jejich počáteční a koncové uzly uzlům grafu. Mezilehlé vrcholy linií nemají při konstrukci vlastního grafu význam.

V geoinformačním systému může být tento graf uložen například tak, že v jedné tabulce (obr. III.4.6) jsou uloženy identifikátory a souřadnice jednotlivých bodů (uzlů i vrcholů), v další 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). V poslední tabulce jsou uloženy jednotlivé polygony zaznamenané jako posloupnosti linií tvořících jejich hranice. Záporné znaménko u čísla linie znamená, že se při popisu hranice pohybujeme proti směru orientace této linie.

Uložení topologické informace ve formě grafu velice usnadňuje kontrolu konzistence a detekci chyb a usnadňuje také provádění některých analýz, jako jsou např. *síťové analýzy* (angl. network analyses).

Volba konkrétních datových struktur pro ukládání geometrické složky je závislá především na způsobu vytváření topologie. Pokud si geoinformační systém vytváří topologii jen v případě, že ji potřebuje pro určité zpracování (např. MGE firmy Intergraph), nebo s ní dokonce vůbec nepracuje (ArcView firmy ESRI), 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



Obr. III.4.5 Topologický vektorový datový model [208].

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 topologii vygenerovat.

Naproti tomu některé geoinformační systémy neustále udržují aktuální topologii (např. ArcGIS 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 generování a udržování topologie mají samozřejmě své výhody a nevýhody. Dnes však převládá přístup druhý, tj. průběžné udržování topologie.

Vrstvy. Geometrická složka popisu geoprvků netvoří v geoinformačních systémech jeden homogenní celek. Zpravidla je členěna do menších jednotek, a to na základě několika faktorů:

1. plošného,

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_1	ID_p	Body
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. III.4.6 Topologický vektorový datový model – jeden z možných způsobů uložení geometrické složky popisu geoprvků ve formě tabulek (viz obr. III.4.5) [208].

2. tematického,
3. geometrického.

Ad 1, Geometrická složka popisu geoprvků je běžně členěna dle konvencí klasických papírových map, tj. po *mapových listech*. Je to dáno především tradicí práce s papírovými mapami a dále způsobem pořizování digitálních geodat v nedávné minulosti, tj. *vektORIZACÍ* jednotlivých mapových listů. Výhodné je členění po mapových listech i z důvodů distribuce dat. Uživatel si objedná u dodavatele konkrétní mapové listy, bez potřeby mnohdy složitě domlouvání plošného vymezení zájmové oblasti.

Ad 2, Druhý faktor již nemá přímou paralelu s papírovými mapami, je dán možnostmi geoinformačních systémů. Geometrická složka je členěna dle jednotlivých témat: samostatně jsou uložena geodata o silnicích, o řekách, o zastávkách MHD, o linkách MHD i o zónách MHD apod.

Ad 3, Třetím kritériem je geometrická reprezentace geoprvků v geoinformačních systémech. Dnes spravidla není možné míchat dohromady bodové, liniové a plošné

geoprvky, jednotlivé geometrické typy musí být uloženy odděleně.

Výsledkem je organizace geometrické složky po tzv. *vrstvách* (angl. layer), kdy jedna vrstva obsahuje geoprvky jen jednoho tématu, vyjádřené jen jedním geometrickým typem. Mluvíme tak o vrstvě silnic, vrstvě řek, vrstvě zastávek, linek nebo zón MHD apod. Z druhého pohledu pak rozlišujeme *bodové*, *liniové* a *polygonové* vrstvy (angl. point, line nebo polygon layer).

Plošně mohou být jednotlivé vrstvy členěny do mapových listů.

Na obr. ??? je uvedena ukázka členění geometrické složky popisu geoprvků na vrstvy.

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 [6], [13]:

- bez systému řízení báze dat
 - jednoduché tabulkově (souborově) orientované datové struktury
- se systémem řízení báze dat
 - hierarchické datové struktury
 - síťové datové struktury
 - relační datové struktury.

Teorie týkající se ukládání dat je předmětem databázových systémů, proto se jí zde nebudeme zabývat a případné zájemce odkážeme na příslušnou odbornou literaturu (např. [194]).

Zhodnocení vektorového datového modelu

Z pohledu realizace jednotlivých složek popisu geoprvků poskytuje vektorový datový model dobré podmínky. Zásadní výhodou je skutečnost, že zde můžeme pracovat přímo s jednotlivými geoprvkami, i když jsou geodata ve skutečnosti organizována jinak.

Geometrická složka popisu geoprvků je zvládnuta v tomto datovém modelu velice dobře, nejčastěji je realizována v podobě samostatné grafické části, která však má dvě omezení:

- Grafická část není organizována po geoprvcích, ale po vrstvách, rozdělených navíc do mapových listů.

- Grafická část umožňuje popsat geoprvky zpravidla pouze jako dvourozměrné. Pokud má uživatel zájem i o třetí rozměr, pak se jeho popis obvykle přesouvá do složky tematické.

Tematická složka popisu geoprvků 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 propracovaná velice dobře.

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 především grafické části. I když i zde se již situace postupně mění. Objevují se systémy, řešící problémy s vedením různých verzí geoprvků i problémy spojené s tzv. *dlouhými transakcemi* (angl. long transactions). K nim dochází, když někdo začne editovat například digitální technickou mapu města. Operace spojené s touto prací mohou trvat i několik dní až měsíců. Vyřešení těchto problémů umožní plnohodnotně zavést do vektorového datového modelu i časovou složku.

Složka popisu vztahů je v tomto datovém modelu realizovatelná, částečně pomocí geometrické složky (topologie), částečně prostřednictvím 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.

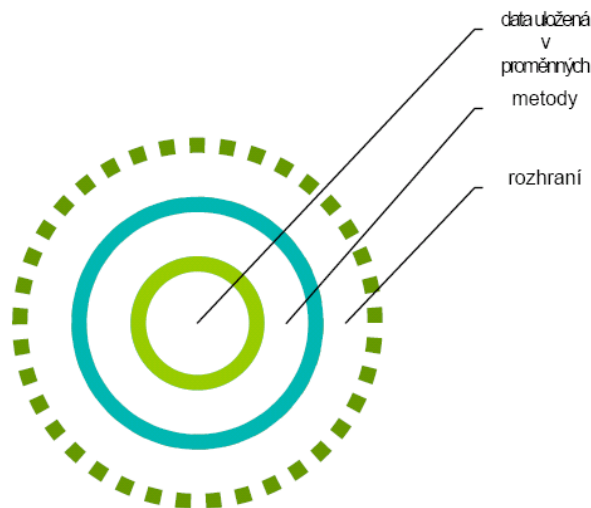
Shrnutí: Ve vektorovém datovém modelu je možné (nebo bude v blízké budoucnosti možné) realizovat všechny složky popisu geoprvků [208]. Hlavní nevýhodou je však obtížně udržitelná bezspornost (konzistence) mezi jednotlivými složkami. Ty jsou totiž realizovány jednak pomocí různých databází, organizovaných podle odlišných pravidel a jednak pomocí programů, zcela odtržených od geoprvků jako takových. Udržet bezspornost takového systému v průběhu celého životního cyklu je dosti obtížné.

4.1.2 Objektový datový model

Nevýhodou vektorového datového modelu je, že jednotlivé složky popisu geoprvků ukládá/realizuje zcela odděleně a relativně nezávisle. Udržení jejich konzistence (bezspornosti) je proto velmi obtížné.

Tuto nevýhodu se snaží odstranit *objektový datový model* (angl. object data model), který všechny složky popisu geoprvků soustředí do jediného úhledného a uzavřeného balíčku – *objektu* (angl. object). Ten reprezentuje jak statické vlastnosti geoprvků (tj. geometrickou a tematickou složku popisu), tak i jeho chování

(tj. funkční složku), proměny v čase (tj. složku časovou), jeho vztahy k jiným geo-prvkům (tj. složku vztahovou) a může zahrnovat i metadata k němu se vztahující (tj. složku kvalitativní). Objektový datový model staví na principech *objektově-orientovaného přístupu* (angl. object-oriented approach).



Obr. III.4.7 Obecná struktura objektu.

Obecná struktura objektu je jednoznačně a pevně daná (viz obr. III.4.7). V jádře objektu se nacházejí *proměnné* (angl. variable), nesoucí hodnoty *vlastností* (angl. property nebo attribute) daného objektu. Jádro je obklopeno vrstvou realizující chování objektu. Každá činnost, tvořící součást chování objektu, je reprezentována tzv. *metodou* (angl. method; jedná se o úsek programového kódu, realizujícího danou činnost), která umožňuje provést konkrétní operaci na objektu, jako je například nastavení hodnoty některé proměnné (např. vložení jména nového vlastníka parcely) nebo vypsání hodnoty proměnné (např. vypsání jména vlastníka parcely) apod. Vrstva chování je obklopena slupkou *rozhraní* (angl. interface), která říká, na jaké vnější podněty může objekt reagovat. Tomuto uspořádání se říká *zapouzdření* (angl. encapsulation).

Objekty spolu navzájem komunikují prostřednictvím tzv. *zpráv* (angl. message). Zpráva má následující obecnou strukturu:

adresát.metoda (par₁, par₂, ... par_n)

kde:

adresát – identifikátor objektu, který oslovujeme,

metoda – název metody, resp. konkrétní činnosti, kterou chceme, aby objekt-adresát vykonal,

par₁, par₂, ... par_n – parametry předávané dané metodě; tato část zprávy je voli-

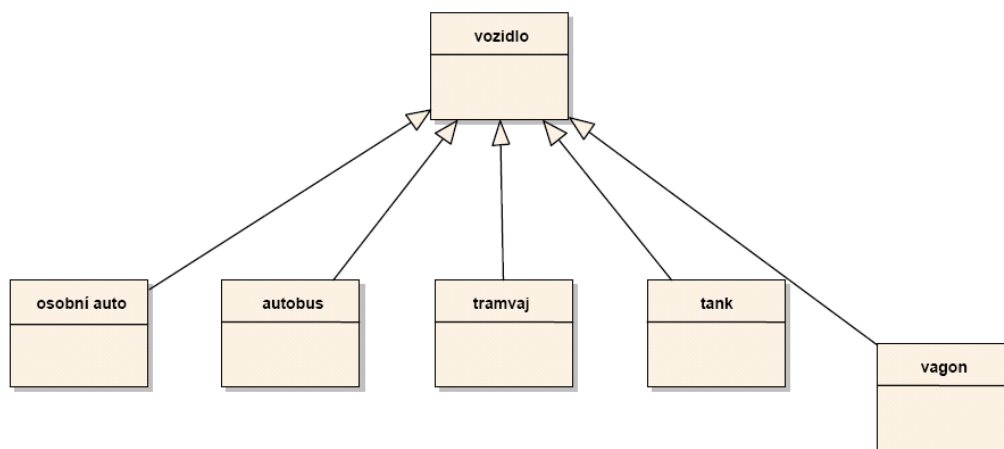
telná, její přítomnost je závislá na tom, zda daná metoda parametry vyžaduje.

Se zprávami je spojen tzv. *polymorfismus* (angl. polymorphism), což je schopnost různých objektů reagovat na stejnou zprávu různě, vždy však adekvátně danému objektu.

Příklad: Představme si, že máme na obrazovce vykresleno několik geometrických objektů, např. Kolečko, Čtverec a Trojúhelník. Pokud chceme, aby se obsah obrazovky překreslil, stačí jí poslat zprávu

Obrazovka.Překresli_se

Obrazovka tuto zprávu postupně předá všem objektům na ní ležícím a každý objekt zareaguje tak, že se správně vykreslí: Kolečko jako kolečko, Čtverec jako čtverec apod. Není naší věcí (ale ani věcí Obrazovky) nejprve zjišťovat, o jaký objekt se jedná a podle toho volit odpovídající zprávu (např. Překresli_Kolečko, Překresli_Čtverec apod.). Vše proběhne zcela automaticky.



Obr. III.4.8 Znáznornění dědění vlastností tříd – třídní hierarchie.

V geoinformačním systému existuje zpravidla velký počet objektů, které mají stejné vlastnosti i stejné chování. Například v geografickém informačním systému města existují možná desetitisíce objektů-parcel. Co je nepříjemné, při prvotním vytváření tohoto systému zpravidla neznáme jejich skutečný počet a ten se navíc může v čase i dosti významně měnit. Proto by bylo obtížné definovat v GIS všechny objekty-parcely hned na začátku, při tvorbě programového vybavení. Objektově-orientovaný přístup nabízí pro řešení této situace velice účinný nástroj: v aplikaci definujeme jen jakousi „šablonu“, podle níž pak vytváříme konkrétní objekty dle potřeby, a co je nejdůležitější, až v době práce této aplikace. Této „šabloně“ se říká

třída (angl. class). Třída obsahuje kompletní popis vlastností a chování objektů od nich odvozených. Objekty odvozené od třídy označujeme jako *instance* (angl. instantiation) třídy. Každý objekt, odvozený od třídy, nese svůj unikátní identifikátor (ten musí být unikátní v celém systému, abychom mohli zaslat zprávu konkrétnímu objektu), identifikátor třídy (aby bylo jasné, do které třídy patří) a dále *hodnoty* (angl. value) všech jeho vlastností. Pokud pošleme zprávu konkrétnímu objektu, pak systém zjistí, do které třídy objekt patří, vyvolá metodu této třídy odpovídající zaslané zprávě, předá jí případné parametry a metoda pak pracuje s hodnotami vlastností, uložených v tomto objektu. Pokud z jakýchkoliv důvodů (například změna požadavků na systém, odstranění chyby apod.) změníme definici dané metody, projeví se tato změna najednou u všech objektů dané třídy.

Od třídy můžeme odvodit speciálnější případ tím, že ke stávající definici třídy přidáme nové vlastnosti a případně i nové prvky chování (nebo ty stávající modifikujeme). Dosáhneme toho tak, že u nově definované třídy řekneme, že přebírá resp. dědí (angl. inherit) vlastnosti existující třídy a dále uvedeme nově definované proměnné a metody. Na obr. III.4.8 je ukázáno, jak můžeme tuto situaci znázornit graficky. Výše položené třídě říkáme *nadtřída* (angl. superclass) nebo též *rodičovská třída* (angl. parent class), níže položené třídě říkáme *podtřída* (angl. subclass) nebo též *dceřinná třída* (angl. child class).

Takto zakreslený stromeček postupně odvozovaných tříd se nazývá *třídní hierarchie* (angl. class hierarchy). Nejvýše v hierarchii stojí nejobecnější třída, směrem dolů se pohybujeme ke speciálnějším třídám – pohybujeme se ve směru *specializace* (angl. specialisation). Opačný směr – od speciálnějších k obecnějším třídám) se nazývá *generalizace* (angl. generalisation).

Zhodnocení objektového modelu

Geometrická složka popisu geoprvků je realizovatelná v plné šíři, navíc je možné zavést k jednomu geoprvcu i několik reprezentací (popisů), například jeden v dvou-rozměrném 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 také snadno realizovatelná v plném rozsahu.

Časová složka popisu geoprvcu rovněž nevyvolává žádné principiální problémy, je snadno realizovatelná, v tomto případě jako posloupnost verzí geometrického, resp. tematického popisu, platných po vymezený časový interval. Při dotazu na stav objektu v určitém časovém okamžiku jsou vráceny odpovídající verze geometrického a tematického popisu.

Složka popisu vztahů je realizovatelná s využitím různých nástrojů, poskytovaných objektovým přístupem, jako je dědičnost, vnitřní struktura objektů, asociace mezi třídami apod.

Složka popisu operací je realizovatelná prostřednictvím metod, zprostředkávajících komunikaci mezi uživatelem objektu a jeho datovou částí.

Shrnutí: Objektový model přináší řadu výhod z hlediska prostorového modelování reálného světa, na druhou stranu ale vyžaduje zcela nové myšlení ze strany vývojářů i uživatelů, nové metody sběru dat, nové programové vybavení apod. Proto se tento přístup šíří jen pomalu. Některé firmy se sice snaží situaci řešit postupným implementováním objektového datového modelu do stávajících systémů (např. firma ESRI implementovala objektovou geodatabase do systému ArcGIS), ale změny právě v rovině myšlení zaberou ještě hodně času.

4.2 Datové modely reprezentující jevy reálného světa

Datové modely patřící do této skupiny jsou určeny k zobrazování rozložení hodnot vlastností jevů reálného světa v geoinformačních systémech. Jsou založeny na zobrazování reálného světa různými sítěmi buněk, jejichž hranice nemusí odpovídat žádným hranicím existujícím v reálném světě, mohou být vedeny zcela smluvně. V odst. 3.3.2 úvodní části jsme si obecně uvedli, že buňky i sítě mohou mít různý tvar, velikost, rozměrnost apod. Zde se budeme zabývat nejjednodušším případem – *rastrovým datovým modelem* (angl. raster data model).

Rastrový datový model vychází z rozdělení rovinného prostoru pravidelnou mříží na jednotlivé dílky [?], označované jako *buňky* (angl. cell), které představují nejmenší, dále zpravidla nedělenou prostorovou jednotku (obr. III.4.9). Základní vlastností tohoto modelu je, že prostorové vztahy mezi geoprvky jsou implicitně obsaženy přímo v rastru, nejsou nijak explicitně vyjadřované. Geometrie, lokalizace a prostorové vztahy geoprvků proto nejsou přímo dostupné.

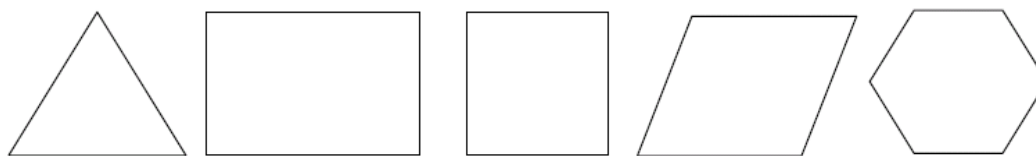
4.2.1 Podmínky pro tvar buněk

Použitá buňka rastru by měla splňovat minimálně následující podmínku:

- měla by být nekonečně opakovatelná v rovině.

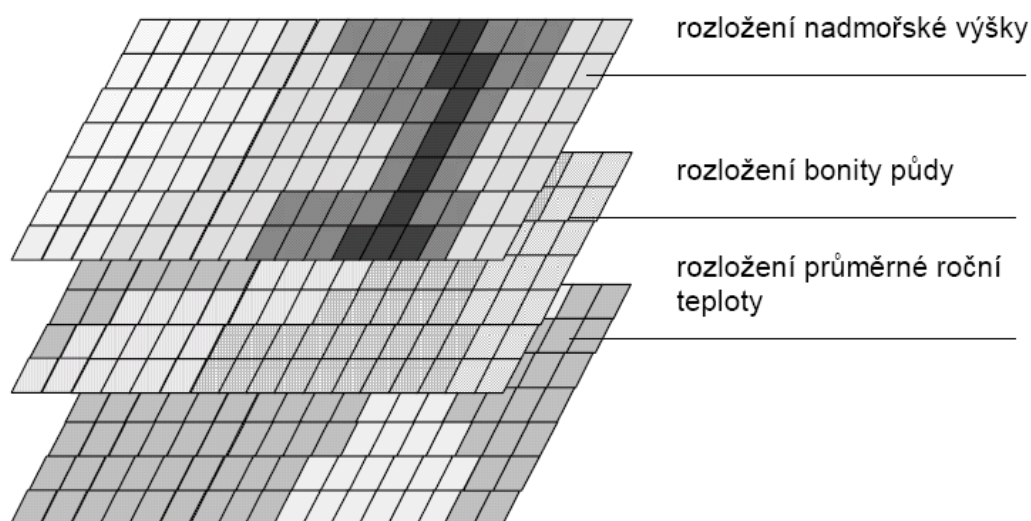
a v některých případech i další podmínku:

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



Obr. III.4.9 Tvary základních buněk rastru.

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.



Obr. III.4.10 Schematické členění dat v rastrovém datovém modelu [208].

První pravidlo splňují buňky ve tvaru trojúhelníku, rovnoběžníku a šestiúhelníku (obr. III.4.9). Avšak jen první dvě z nich splňují i druhou podmínku. A z nich se v drtivé většině případů používá *čtvercová buňka*.

Rastrový datový model je primárně určen ke zobrazování jevů reálného světa, tj. zobrazování rozložení hodnot vlastností popisujících daný jev v prostoru. Vzhledem k tomu, že každé buňce gridu je možné přiřadit nejvýše jednu hodnotu jedné vlastnosti, zavádí tento model své vlastní členění geodat, které je schematicky znázorněno na obr. III.4.10. Co z tohoto členění vyplývá. V rastrovém modelu obecně neexistuje popis jedinečných geoprvků, ležících v zájmové oblasti, ale jen popis rozložení hodnot jedinečných vlastností 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.

4.2.2 Členění dat v rastrovém datovém modelu

Při ukládání geodat pomocí rastrů [246] se v principu postupuje tak, že se celá zájmová oblast rozdělí pravidelnou (nejčastěji čtvercovou) sítí rovnoběžek na buňky (obr. II.6.11). Všechny mají své jednoznačné adresy, dané sloupcovými a řádkovými indexy. Každé buňce se přiřadí určité číslo nebo kód, reprezentující hodnotu atributu, který je mapovaný. Teoreticky lze každé buňce přiřadit i vektor čísel nebo kódů, jehož prvky reprezentují celou skupinu atributů, ale v praxi se takovýto postup obvykle nepoužívá. 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.

4.2.3 Faktory ovlivňující kvalitu zobrazení reálného světa v rastru

Kvalitu zobrazení reálného světa pomocí rastrového datového modelu ovlivňuje několik faktorů, z nichž si uvedme alespoň tři nejpodstatnější:

1. způsob přiřazení hodnot zobrazovaného atributu jednotlivým buňkám,
2. velikost základní buňky rastru,
3. „barevná hloubka“ rastru, nebo též rozlišení, použité pro záznam hodnot atributů.

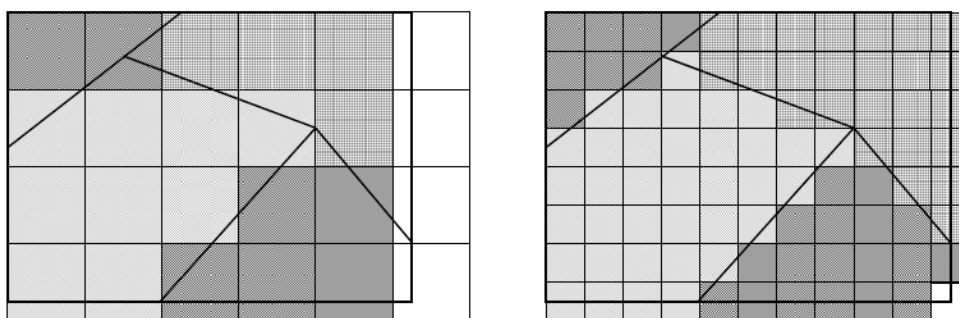
Ad 1, Hodnoty atributu v jednotlivých buňkách mohou být stanoveny různými způsoby [246]:

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

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.

Příklad: Armáda České republiky má k dispozici digitální model reliéfu České republiky DMR 1 v podobě rastru, jehož jednotlivá buňka odpovídá ploše 1000×1000 m. Každé buňce je přiřazena jediná hodnota nadmořské výšky, odpovídající nejvyšší nadmořské výšce v ploše buňky se vyskytující. Pravděpodobně je určen letectvu, které zajímají právě nejvyšší místa tak, aby se letadla pohybovala nad daným čtvercem vždy v bezpečné výšce.



Obr. III.4.11 Vliv velikosti buňky rastru na výslednou reprezentaci zájmové oblasti v GIS [208].

Ad 2, Druhým faktorem, který výrazně ovlivňuje výslednou reprezentaci zájmové oblasti v GIS je *velikost základní buňky rastru* (viz obr. III.4.11). 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 buňky na polovinu se čtyřnásobně zvýší nároky na paměťový prostor, nezbytný k uložení rastru.

Ad 3, 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 rastroch*, 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 *čtyřadvacetibitový*.

- 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 rastrovémi systémy při běžných rastrových analýzách, a čtyřicetibitové rastry vznikají nejčastěji jako produkt zpracování multispektrálních družicových snímků.

Zhodnocení rastrového datového modelu

Již jsme si uvedli, že rastrový datový model je určen primárně k ukládání geodat popisujících jevy reálného světa, tj. zobrazování rozložení hodnot vlastností popisujících daný jev v prostoru. Z tohoto pohledu rastrový datový model plní dobře potřebné funkce. Vedle toho je však možné využít ho i k ukládání geodat reprezentujících vlastnosti jednotlivých geoprvků.

Z pohledu realizace jednotlivých složek popisu geoprvků je na tom rastrový model hůře než model vektorový [205]. Většina problémů vzniká proto, že v rastrovém modelu nelze pracovat přímo s jednotlivými geoprvkem, ale pouze s rastry, znázorňujícími rozložení hodnot vlastností geoprvků v zájmové oblasti. Jednotlivé geoprvky je možné (ale ne vždy) rekonstruovat právě na základě vyhodnocení prostorového rozložení hodnot jednotlivých vlastností postupy prostorových analýz, jako je například klasifikace.

Pokud tedy chceme v rastrovém datovém modelu pracovat s geoprvkem, musíme si být vědomi následujících problémů:

Geometrická složka popisu geoprvků je obsažena v tomto datovém modelu pouze implicitně, explicitní vyjádření geometrických vlastností geoprvků tak, aby se s touto složkou dalo pracovat stejně, jako v případě vektorového datového modelu, je prakticky nemožné. Geometrickou složku není možné dotazovat, vybírat geoprvky dle vzdálenosti od jiného geoprvkem a pod.

Tematická složka popisu geoprvků je realizována v podobě jednotlivých rastrů, znázorňujících rozložení hodnot vlastností v zájmové oblasti. Můžeme se tedy kdykoliv dotázat, jakou hodnotu má zobrazovaná vlastnost v daném místě, ale prakticky nezjistíme, který geoprvek se zde nachází a kterému geoprvkem tedy tato hodnota vlastnosti náleží.

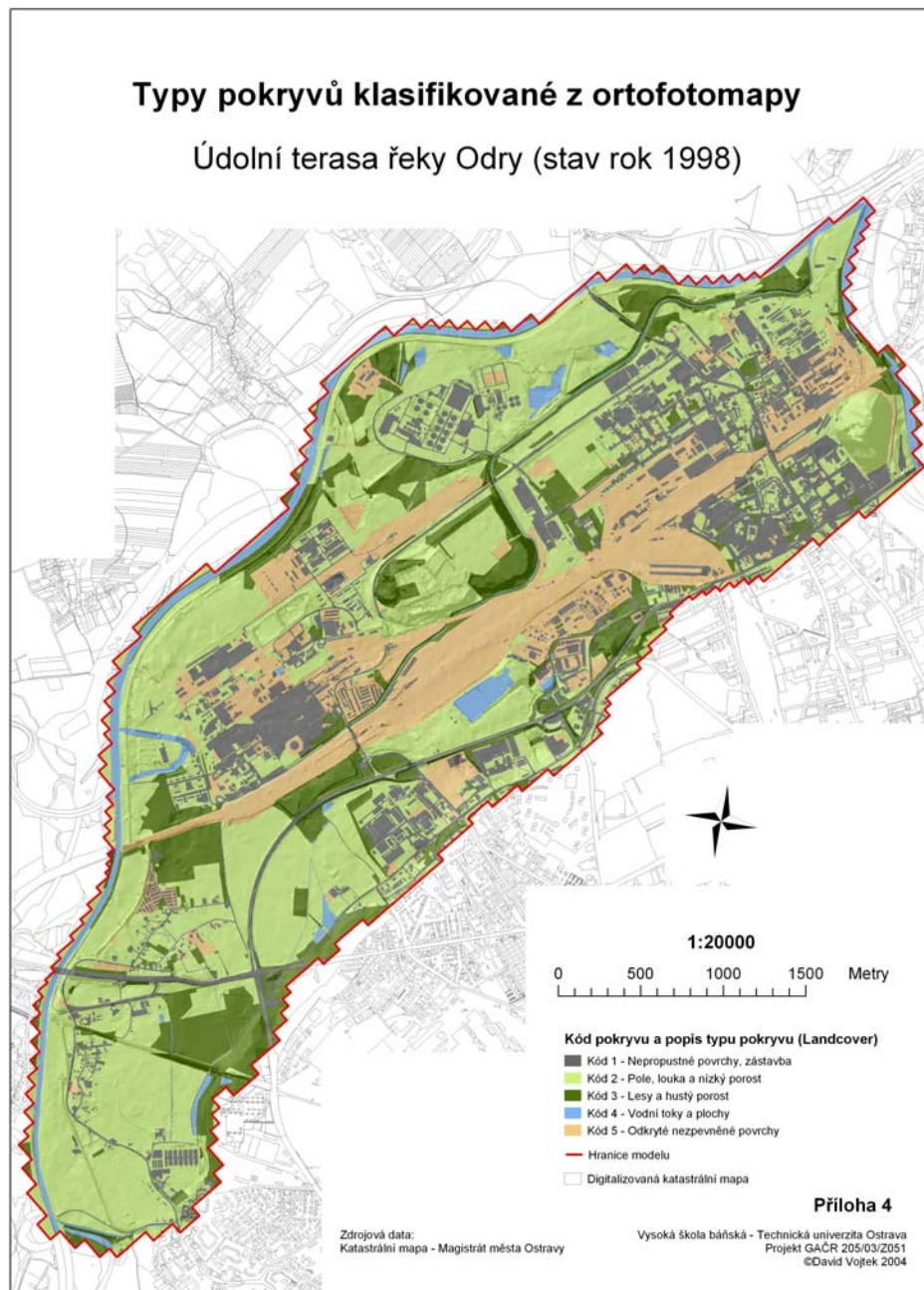
Časovou složku je možné zachytit jen jako posloupnost rastrů, znázorňujících rozložení hodnot stejné vlastnosti v různých časových okamžicích.

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

možnostem rastru.

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

Shrnutí: Rastrový datový model neumí pracovat explicitně s jednotlivými geoprvky, což je asi jeho hlavní nevýhodou. Neposkytuje také prostředky pro realizaci všech složek popisu geoprvků. Je orientován spíš na modelování jevů reálného světa. Je výhodný především tam, kde jsou geodata získávána již primárně v podobě rastrů, tj. v oblasti dálkového průzkumu Země, leteckého snímkování a fatagrammetrie a dále tam, kde převládá, nebo alespoň hraje významnou roli, provádění analýz vycházejících právě z možností rastrů, jako je například *mapová algebra*.

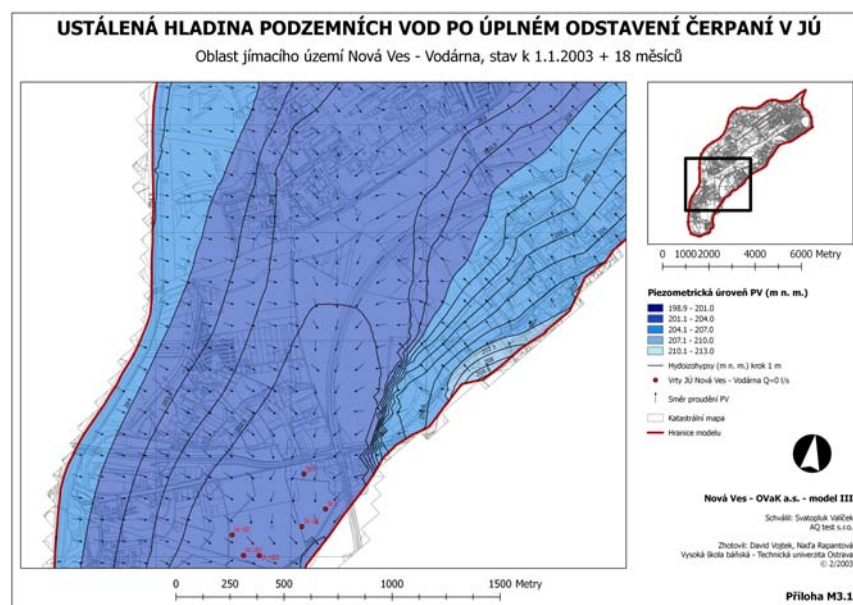


Obr. III.4.12 Ukázka vstupních dat pro systém GMS (Groundwater Modeling System), připravených v prostředí programového vybavení ArcGIS (ESRI, Inc.). Data jsou z oblasti vodního zdroje Nová Ves, nacházejícího se na území města Ostravy [?].

Kapitola 5

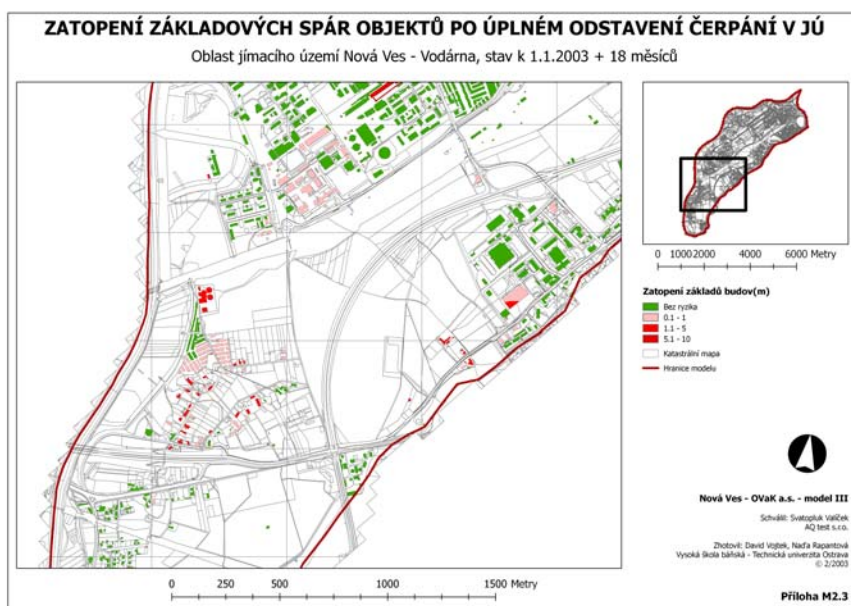
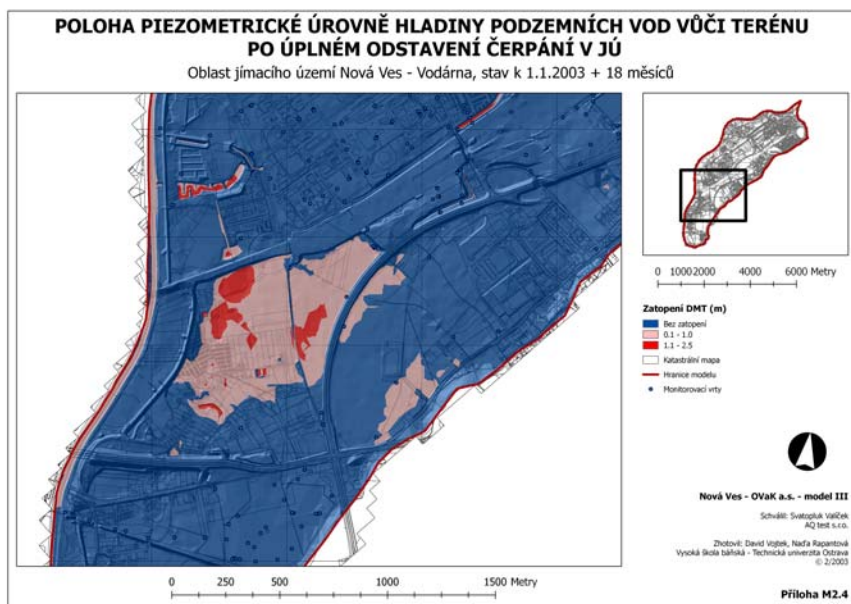
Modelování prostorových procesů

Při modelování prostorových procesů se běžně používají tzv. *matematické modely* (angl. mathematical model). Matematický model je formálním vyjádřením zkoumaného procesu ve fyzikálních a matematických termínech. Je zpravidla představován soustavou matematických vztahů jednoznačně popisujících zkoumaný proces [148].



Obr. III.5.1 Ukázka vizualizace výsledků modelování ze stejné oblasti, jako je popsána u obr. III.4.12, opět v prostředí programového vybavení ArcGIS [?].

Jak již bylo zmíněno, pro modelování prostorových procesů se používají speciální programové balíky, které se vyvíjely (a většinou i doposud vyvíjejí) nezávisle



Obr. III.5.2 Ukázka výstupů dalších analýz, prováděných nad výstupy z modelu [?].

na geoinformačních systémech. Dochází pouze k jejich postupnému propojování s geoinformačními systémy tak, aby v geoinformačním systému bylo možné načíst geodata potřebná na vstupu daného modelovacího prostředí a pak bylo

možné převzít výstupy z modelovacích nástrojů pro jejich další analýzu a vizualizaci v prostředí geoinformačního systému. Příkladem může být systém GMS (z angl. Groundwater Modeling System), určený k modelování proudění podzemních vod a k modelování transportu znečišťujících látek v podzemních vodách.

Na obr. III.4.12 je ukázka připravených vstupních dat pro modelování v oblasti vodního zdroje Nová Ves, nacházejícího se na území města Ostravy. S jímacím územím sousedí několik bývalých nebo i aktivních chemických závodů a dále oblast tzv. ostravských lagun, což je povrchová skládka kapalných odpadů nejrůznějšího chemického složení. Na obr. III.5.1 je ukázána vizualizace výsledků modelování a na obr. III.5.2 ukázka výsledků dalších analýz, prováděných s využitím výsledků poskytnutých modelovacím nástrojem.

Vzhledem k tomu, že vývoj integrace modelovacích nástrojů do geoinformačních systémů zatím příliš nepokročil, nebudeme se modelováním procesů reálného světa v prostředí geoinformačních systémů v tomto textu dále zabývat.

Kapitola 6

Geoinformační systém jako obraz reálného světa

O geoinformačních systémech se obecně říká, že jsou obrazem reálného světa. Zjednodušeně by bylo možné tuto situaci naznačit takto [204]:



Obr. III.6.1 Promítnutí reálného světa do GIS [204].

Nicméně ve skutečnosti není cesta reálného světa do databázi geoinformačního systému tak jednoduchá. Jedná se o zdlouhavý proces o mnoha krocích (viz tab. III.6.1):

1, Reálný svět je pozorován pozorovatelem. Ten si vytváří na základě svých vjemů vnitřní (mentální) model tohoto světa (obr. III.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).

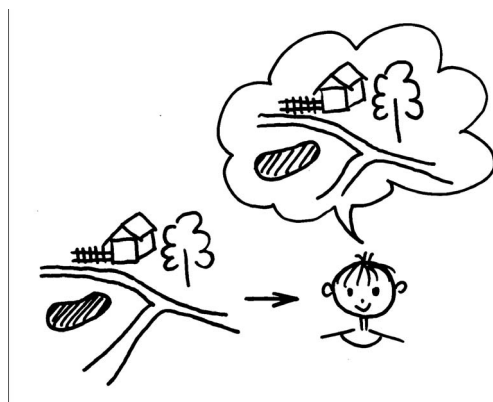
2, Pokud chce pozorovatel dát tento model k dispozici uživatelům, musí ho

Modely	Operace	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 nečnosti papírové mapy, plus problémy vnesené vlastní digitalizací, reálný svět „rozlámán“ do tematických vrstev, geoprvky nahrazeny jednoduchými geometrickými prvky typu body, linie a polygony ...

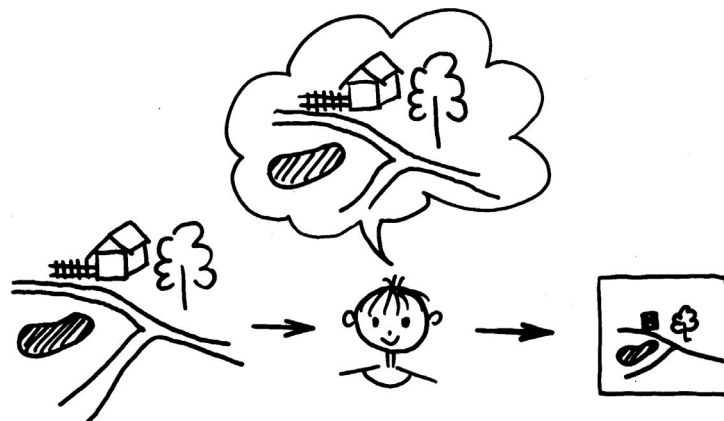
Tab. III.6.1 Transformace reálného světa do prostředí GIS [208].

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. III.6.3).

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 se



Obr. III.6.2 Vytvoření vnitřního modelu [204].

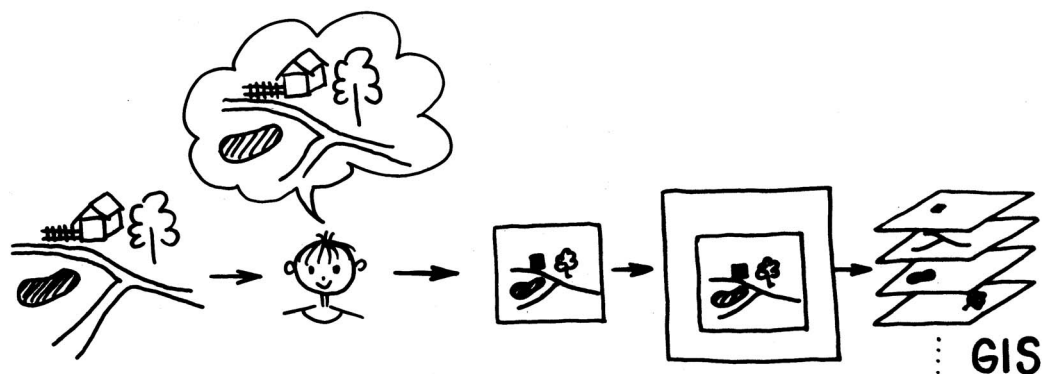


Obr. III.6.3 Promítnutí vnitřního modelu pozorovatele do mapy [204].

pohybuje řádově v letech, 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 geoinformačního systému (obr. III.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. III.6.4 Převod mapy do GIS pomocí digitizéru [204].

A tak získáme výsledný obraz reálného světa v geoinformačním systému – obraz světa, složeného z bodů, linií a polygonů, roztržitého do vrstev, světa dvou- rozměrného, 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 základě tohoto obrazu přijímáme závažná rozhodnutí o světě reálném.*

6.1 Sestavování datových modelů

Jedním z faktorů, které výrazně ovlivňují míru odlišnosti obrazu reálného světa a jeho předlohy, je i výsledný datový model používaný v geoinformačním systému. Vedle typu datového modelu má velký vliv i způsob, jakým je tento datový model sestavován.

Při sestavování datového modelu mohou existovat dva extrémní přístupy [223]:

- *maximalistický přístup*, který se snaží v datovém modelu reprezentovat všechny objekty a jevy reálného světa. Následkem toho je výsledný model komplexní, avšak často příliš komplikovaný a těžkopádný na to, aby mohl být použit pro konkrétní aplikaci. Navíc ekonomická náročnost jeho naplnění geodaty a jejich pravidelné údržby je stěží akceptovatelná.
- *minimalistický přístup*, který se snaží v datovém modelu reprezentovat jen ty objekty a jevy reálného světa a ty jejich stránky, které jsou potřebné pro danou aplikaci. Tento přístup sice produkuje datový model minimální komplexnosti, ale zato takový, který bude s velkou pravděpodobností nutné při jakémkoli rozšíření požadavků na aplikaci modifikovat.

Reálná aplikace geoinformačního systému obvykle vyžaduje zvolit vyvážený kompromis mezi těmito dvěma krajními variantami. Datový model by měl být co nej-jednodušší, 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.

Část IV

Získávání geodat

Kapitola 1

Úvod

Objekty, jevy a procesy reálného světa jsou v geoinformačních systémech popisovány geodaty. Tato kapitola se podrobně zabývá různými aspekty jejich získávání.

Geodata můžeme získávat:

- přímým měřením vlastností objektů, jevů a procesů,
- nepřímým měřením těchto vlastností,
- průzkumem,
- následným zpracováním geodat získaných výše uvedenými postupy.

Geodata získaná některým z prvních tří postupů se označují jako *primární geodata*, protože obvykle jsou získávána pro daný účel a nejsou pořizovatelem/uživatelem nijak modifikována, a pokud ano, tak jen v omezeném rozsahu. Naproti tomu geodata z nich odvozená různými analýzami (viz čtvrtý způsob), která jsou obvykle získávána pro jiný účel, než pro který byla původní geodata pořizena, označujeme jako *sekundární geodata*. Ta jsou zpravidla informačně mnohem bohatší (resp. geoinformace v nich obsažené jsou v mnohem koncentrovanější podobě) než data původní.

Příklad: Mějme databázi primárních geodat, získaných v rámci censu, obsahující seznam všech obyvatel města spolu s jejich bydlištěm a adresou zaměstnavatele, jsou-li zaměstnaní. Tato databáze je velice rozsáhlá a dobře popisuje mimo jiné i rozložení nezaměstnanosti ve městě. Nicméně kdybychom tuto databázi dali k dispozici jako podklad k rozhodování o případných opatřeních pro podporu zaměstnanosti, asi by moc zodpovědným činitelům nepomohla. Z databáze ale můžeme následným zpracováním získat stejné informace v koncentrovanější podobě: například můžeme vytvořit jednoduchou tabulku, kde je pro každý městský

obvod vypočtena míra nezaměstnanosti, případně můžeme vygenerovat i mapu rozložení nezaměstnanosti ve městě. S těmito podklady se bude pracovat daleko lépe. Obsahují stejnou informaci, tj. rozložení nezaměstnanosti ve městě, ale v koncentrovanější podobě, tj. popsanou mnohem menším objemem geodat.

Vytvoření přesné a dobře zdokumentované databáze geoinformačního systému je kritickým místem jeho tvorby. Takovou databázi lze vybudovat pouze z kvalitních a dobře zdokumentovaných geodat, aby bylo možné kdykoliv posoudit vhodnost jejich použití pro různé účely.

Tato kapitola bude věnována především získávání primárních geodat, o problematice získávání sekundárních geodat se zmíníme jen stručně. V závěru bude diskutována problematika metadat pro potřeby vyhledávání, zpřístupňování a využívání geodat.

Kapitola 2

Signály, informace

Dříve než se pustíme do problematiky získávání geodat, bude užitečné se seznámit s některými teoretickými otázkami týkajícími se signálů a jimi přenášenými informacemi. Pro zpracování této kapitoly byly použity především práce [127], [276], [269], [297] a [94].

Signály jsou funkce jedné nebo více nezávisle proměnných a nesou informace o podstatě a vlastnostech svého zdroje nebo informace záměrně do signálu zakódované [269]. Informace jsou v signálu reprezentovány změnami okamžité hodnoty fyzikální veličiny, kterou se signál představuje.

2.1 Signál

Signálem můžeme obecně rozumět libovolný fyzikální fenomén, který může být modelován funkcí prostoru nebo času a je použit pro přenos informací [297], [234].

Signály mohou vznikat v nejrůznějších zdrojích. Co do dimenzionality můžeme obecně rozlišovat signál (upraveno podle [127]):

- *jednorozměrný* (1D) – je obvykle reprezentován časově závislou fyzikální veličinou (například průtok vody přehradou) nebo záznamem hodnot sledované veličiny podél nějaké linie (například záznam stavu železničního svršku pořízený diagnostickým vozem),
- *dvourozměrný* (2D) – obvykle je definován ve 2D prostoru (například reliéf terénu nebo rozložení znečištění těžkými kovy v půdách apod.),
- *třírozměrný* (3D) – obvykle charakterizuje prostorové (3D) objekty, jevy nebo procesy (například rozložení koncentrace užitkové suroviny v prostoru znázorněné v podobě 3D modelu ložiskového tělesa),

- *n-rozměrný* – bereme v úvahu prostor, čas i jiné parametry.

Z hlediska závislosti na čase může být signál [276]:

- *statický* – signál není závislý na čase (viz. například vytištěná mapa, letecký snímek apod.),
- *dynamický* – takovýto signál je funkcí času (například záznam intenzity dopravy na křižovatce apod.).

Z hlediska spojitosti rozlišujeme signály [297]:

- *spojité* – v tom případě jsou modelovány spojitou funkcí prostoru nebo času,
- *diskrétní* – modelované diskrétní funkcí prostoru nebo času.

Přenášená informace reprezentovaná některým parametrem signálu může teoreticky nést jen užitečný obsah a představovat tak vlastní přenášenou zprávu, ale v praxi zpravidla obsahuje i nežádoucí část, kterou nazýváme *rušení* nebo častěji *šum* (angl. noise).

Vztah mezi informací a signálem můžeme popsat takto: jedinou informaci můžeme přenášet prostřednictvím různých signálů a současně jeden signál může přenášet i více informací. Z toho lze také vyvodit rozdíl mezi informací a signálem [276].

Pro popis signálů můžeme používat dva základní přístupy:

- *deterministický*,
- *stochastický*.

Na základě odpovídajícího popisu se i signály označují jako *deterministické* a *stochastické*.

2.1.1 Deterministický popis signálu

Deterministickým nazýváme takový popis, v němž je chování signálu předem přesně dané, tj. pro každý časový okamžik (nebo pro každé místo) lze vypočítat jeho hodnotu [127], [269]. Matematický model je v tomto případě často založen na funkcích definovaných na číselných množinách. Pro jednoduchost se v takových případech zpravidla signál ztotožňuje přímo s funkcí jej modelující a o signálu se pak mluví jako o deterministickém. Pomocí deterministického popisu je možné zkoumat mnohé podstatné vlastnosti chování systémů.

definiční obor obor hodnot	konečná číselná množina	nekonečná spočítatelná číselná množina	nekonečná nespočítatelná číselná množina
konečná číselná množina	finitní, ohraničený	diskrétní, ohraničený	
nekonečná spočítatelná číselná množina	finitní, kvantovaný	číslíkový (digitální) signál	
nekonečná nespočítatelná číselná množina			analogový signál

Tab. IV.2.1 Různé typy signálů dle vlastností definičního oboru a oboru hodnot.

Funkci f reprezentující deterministický popis signálu můžeme vyjádřit jako zobrazení prvků množiny A na prvky množiny B a schematicky vyjádřit:

$$(f : A \longrightarrow B)$$

kde množina A reprezentuje *definiční obor* (angl. domain) a množina B *obor hodnot* (angl. range). Výběr těchto množin se vždy provádí v souladu s modelováním reálné situace. Podle povahy obou množin dělíme signály na celou řadu typů (tab. IV.2.1).

Definiční obor. Signál, jehož definičním oborem je konečná číselná množina, se označuje jako *konečný* (angl. finit). Příkladem takového signálu může být signál reprezentující fotografii.

Signál, jehož definičním oborem je nekonečná, ale spočítatelná číselná množina (např. množina přirozených čísel), je označován jako *diskrétní*. Diskrétní signál je možné obecně chápat jako posloupnost reálných čísel (výsledek zobrazení $N \rightarrow R$). Prvky této posloupnosti nazýváme *prvky diskrétního signálu*.

Obor hodnot. Signál, jehož oborem hodnot je konečná množina, nazýváme *ohraničený*. Příkladem může být signál, charakterizující stupeň ztmavnutí fotografického materiálu (např. v rozsahu 256 úrovní šedi) nebo rozdělení jasu obrazovky televizního monitoru apod. Prakticky všechny signály, s nimiž budeme pracovat, jsou ohraničené.

Signál, jehož oborem hodnot je nekonečná, ale spočítatelná číselná množina, nazýváme *kvantovaný*.

Signál, jehož definičním oborem i oborem hodnot jsou nekonečné a nespočítatelné číselné množiny, nazýváme *analogový* nebo též *spojitý*.

A konečně signál, který je současně *diskrétní* a *kvantovaný*, se nazývá *číslíkový* resp. *digitální*.

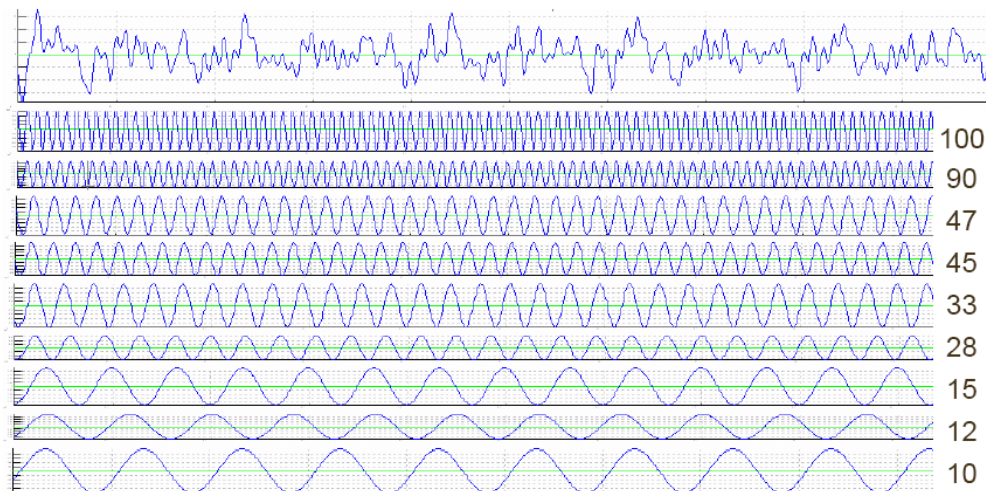
Tato klasifikace se vztahuje rovněž na dvou- a vícerozměrné signály.

Zvláštní třídou analogových signálů jsou signály periodické. V jednorozměrném případě jsou definované jako funkce jedné proměnné, která splňuje následující podmínku:

$$a(x + k.p) = a(x)$$

která platí pro každé x z definičního oboru, pro libovolné číslo P reprezentující periodu signálu a pro přirozené číslo k [127].

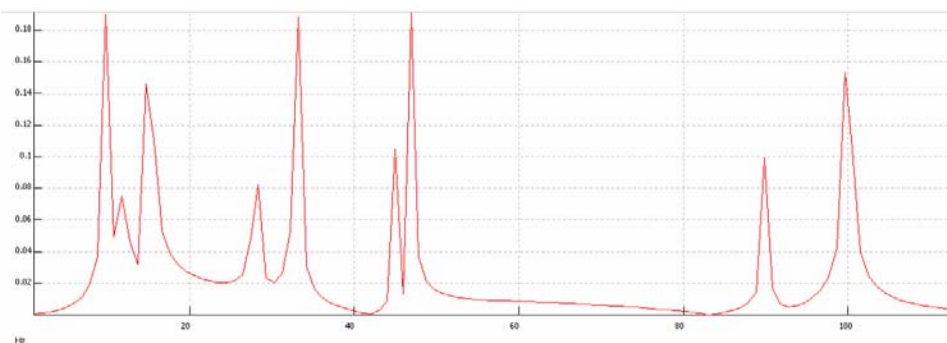
Při deterministickém popise signály zpracováváme jako nezávislé a předpokládáme, že se dají určit (identifikovat) libovolné charakteristiky kteréhokoliv signálu. Někdy však není individuální zkoumání charakteristik fyzikálních fenoménů možné a dají se změřit jen parametry, charakterizující průměrné hodnoty za celý objekt. V těchto případech se používá stochastický popis.



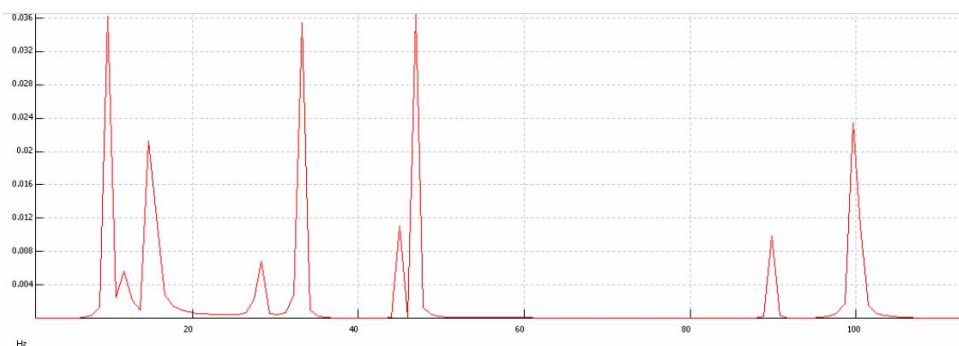
Obr. IV.2.1 Ukázka vyjádření daného signálu (nahore) jako součtu sinusových signálů s různou periodou a amplitudou. Čísla vpravo udávají frekvenci jednotlivých sinusových signálů v [Hz].

2.1.2 Stochastický popis signálu

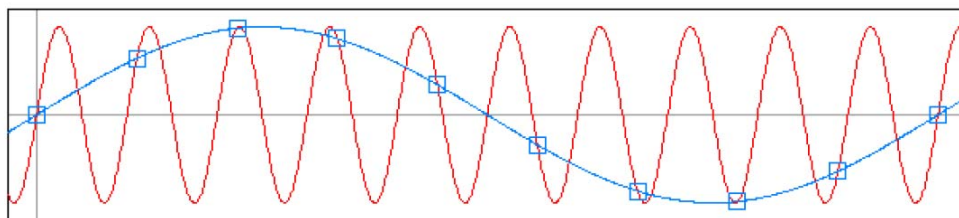
Vedle deterministických signálů se setkáváme i se signály, u kterých neumíme přesně určit (vypočítat), jaké hodnoty v daném čase nebo místě nabudou. Jejich časový resp. prostorový průběh není možné popsat matematickým vztahem, jejich hodnoty jsou *náhodné* (stochastické). Tyto signály obvykle vznikají nějakým fyzikálním pochodem, který je ovlivňovaný náhodnými okolnostmi a podmínkami jejich vytváření. Případně může dojít i k situaci, kdy je ryze deterministický signál ovlivněn (rušen) náhodným šumem. Ani u takového signálu neumíme určit jeho hodnotu v libovolném čase nebo místě, neumíme tedy jednoznačně předvídat jeho časový nebo prostorový průběh. Takové signály označujeme jako *stochastické* nebo *náhodné* (angl. stochastic signal) a popisujeme je buďto pravděpodobnostními nebo statistickými metodami [269]. K popisu průběhu stochastického signálu používáme často statistické charakteristiky, určované z jeho časového nebo prostorového průběhu. Nejpoužívanějšími statistickými charakteristikami jsou například střední hodnota, rozptyl, autokorelační funkce, spektrální hustota apod.



Obr. IV.2.2 Ukázka frekvenčního spektra signálu z obr. IV.2.1.



Obr. IV.2.3 Ukázka výkonového spektra signálu z obr. IV.2.1.



Obr. IV.2.4 Ukázka aliasingu při podvzorkování signálu. Červeně je vykreslen průběh vzorkovaného signálu, modré čtverečky reprezentují vzorky a modře je vykreslen průběh signálu, zrekonstruovaného na základě odebraných vzorků [297].

2.2 Některé pojmy z oblasti zpracování signálů

Se zpracováním signálů souvisí celá řada pojmů, které si zde jen stručně vyložíme, bez obšírného výkladu teorie a matematického popisu. Jedná se o pojmy, které budeme potřebovat při dalším výkladu a jejichž významu je proto nezbytné porozumět.

Autokorelační funkce vyjadřuje míru závislosti mezi vzorky signálu, které jsou vzdáleny o daný časový (nebo prostorový) interval. Používá se například pro detekci periodického signálu a pro určení periodicity signálu.

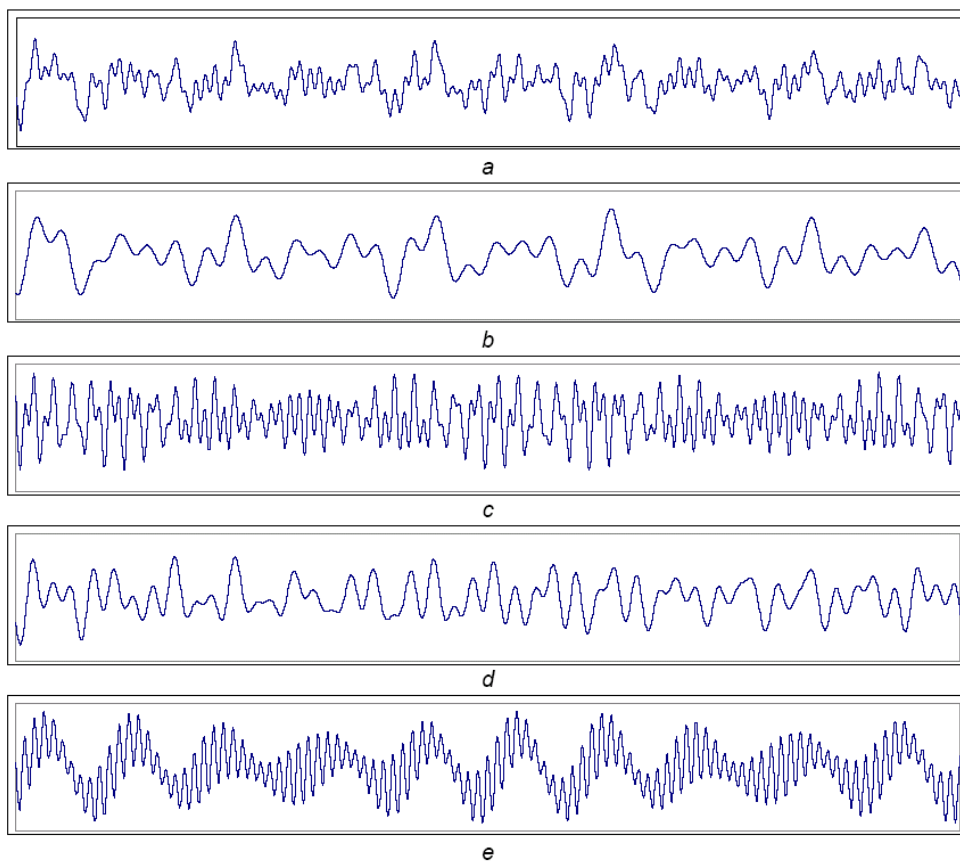
Fourierova transformace vyjadřuje daný signál (resp. jej modelující funkci) jako součet sinusových funkcí různé periody násobených koeficienty vyjadřujícími jejich amplitudy (obr. IV.2.1).

Fourierova analýza se zabývá nalezením vhodné Fourierovy transformace pro analyzovaný signál.

Frekvenční spektrum vychází z výsledků Fourierovy analýzy a vyjadřuje závislost amplitudy dané složky signálu (dané sinusové funkce) na její frekvenci (resp. periodě). Na obr. IV.2.2 je ukázka frekvenčního spektra signálu z obr. IV.2.1. Z jednoduchého srovnání vyplývá souvislost mezi frekvencemi sinusových funkcí a jednotlivými píky ve frekvenčním spektru.

Výkonové spektrum rovněž vychází z výsledků Fourierovy analýzy. Vyjadřuje závislost mezi výkonem přenášeným danou složkou signálu (resp. danou sinusovou funkcí) a její frekvencí (resp. periodou; obr. IV.2.3). Výkonové spektrum je definované pouze pro stacionární signály.

Aliasing je jev spojený se vzorkováním signálu (viz dále) a je důsledkem jeho podvzorkování. Signály s kratší vlnovou délkou jsou při něm vzorkovány s různou fází a výsledné vzorky budí zdání mnohem delší vlnové délky [113]. Při rekonstrukci signálu ze vzorků nejsme schopni jednoznačně rozhodnout o skutečném průběhu



Obr. IV.2.5 Ukázka výsledných signálů po aplikaci jednotlivých filtrů. *a* – původní neupravený signál (viz obr. IV.2.1), *b* – signál upravený dolní propustí, odstraňující kmitočty nad 40 Hz, *c* – signál upravený horní propustí, odstraňující kmitočty pod 40 Hz, *d* – signál upravený pásmovou propustí (15 – 47 Hz), *e* – signál upravený pásmovou zádrží (15 – 47 Hz).

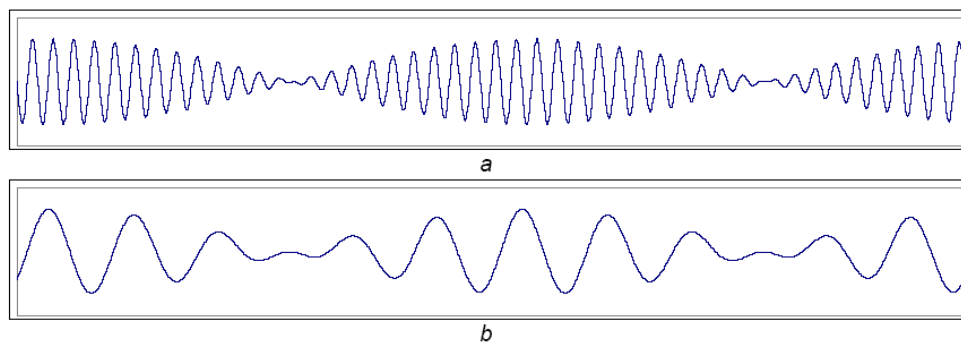
původního signálu (obr. IV.2.4).

Filtr eliminuje ze zpracovávaného signálu určitou část frekvenčního spektra. Filtr může pracovat například jako:

- *dolní propust* – odstraňuje ze signálu všechny složky, jejichž frekvence je vyšší než zadaná mez (obr. IV.2.5b),
- *horní propust* – odstraňuje ze signálu všechny složky, jejichž frekvence je nižší než zadaná mez (obr. IV.2.5c),
- *pásmová propust* – odstraňuje ze signálu všechny složky, jejichž frekvence je nižší než zadaná spodní mez a současně odstraňuje i všechny složky, jejichž frekvence je vyšší než zadaná horní mez (obr. IV.2.5d),

- *pásmová zádrž* – opak pásmové propusti (obr. IV.2.5e),
- resp. mohou jen modifikovat amplitudy složek signálu ležících v určitém frekvenčním pásmu (např. *ekvalizéry*).

Interference vzniká superpozicí dvou nebo více signálů se stejnou nebo velice blízkou frekvencí. Výsledný signál je závislý na rozdílu frekvencí a fázovém posunu signálů. Při interferenci zpravidla dochází k superpozici užitečného a rušivého signálu. Z výsledného signálu je obtížné získat informaci přenášenou užitečným signálem, neboť tento signál je interferencí zpravidla silně zkreslen (obr. IV.2.6).



Obr. IV.2.6 Ukázka výsledku interference dvou signálů stejné amplitudy a velice blízké frekvence. *a* – výsledek interference signálů frekvence 45 a 47 Hz, *b* – výsledek interference signálů s frekvencí 10 a 12 Hz.

Kapitola 3

Získávání geodat

3.1 Dělení geodat

Než se budeme zabývat podrobněji problematikou získávání geodat, podívejme se na některé jejich obecnější aspekty, které se mohou do způsobu získávání geodat významně promítnout.

V první řadě můžeme vlastnosti, popisované geodaty (a tím i geodata jako taková) rozdělit na:

- kvalitativní
- kvantitativní.

Kvalitativní geodata je možné definovat jako kvalitu odlišující jeden geoprvek od druhého, s nízkou až žádnou variabilitou v rámci geoprvku. Příkladem může být využití půdy, druh průmyslu, půdní typ, klimatická zóna, vegetační pokryv.

Kvantitativní geodata jsou na druhé straně měřená (ať už přímo nebo nepřímo) a jsou jim přiřazované numerické hodnoty vztažené k určitému standardu – měrné jednotce. Umožňují poměřovat individuální jevy mezi sebou. I v rámci jednoho geoprvku mohou vykazovat značnou variabilitu. Příkladem může být nadmořská výška, koncentrace znečišťujících látek v půdě a ve vodě, hodnota půdy, vzdálenost nebo velikost částic.

Z jiného pohledu můžeme geodata rozdělit na:

- *Geodata primární* – to jsou geodata získávaná přímo v kontaktu s popisovanou realitou a získávaná pro daný účel. Požizovatel/uživatel je zpravidla nijak nemodifikuje. Tato data mohou být získávána:

- *přímým měřením* – v tom případě měříme přímo hodnoty sledované vlastnosti,
 - *nepřímým měřením* – jedná se zpravidla o získávání hodnot vlastností, které nelze získat přímo, ale pouze odvozením z hodnot jiné vlastnosti, která je měřitelná přímo; příkladem může být hustota obyvatel, kterou nelze přímo měřit, ale lze ji odvodit ze znalosti rozložení obyvatelstva v daném prostoru.
- *Geodata sekundární* – to jsou geodata získávaná následným zpracováním primárních geodat.

Primární geodata můžeme dále podle způsobu jejich získávání rozdělit na:

- *geodata měřitelná různými fyzikálními nebo chemickými postupy* a tedy získatelná různými snímači či laboratorními měřeními a analýzami,
- *geodata získávaná pozorováním resp. průzkumem*, tedy bez využití jakýchkoliv fyzikálních či chemických měření.

3.2 Zdroje geodat

Geodata mohou být získávána v zásadě z:

- primárních zdrojů
- sekundárních zdrojů.

Rozdělení zdrojů geodat do těchto dvou kategorií je možné provést na základě jednoduchého kritéria – na základě vztahu mezi kolektorem originálních geodat a účelem, pro který jsou geodata aktuálně používána.

Primární zdroj geodat zahrnuje sběr dat výzkumným nebo průzkumným týmem nejčastěji přímo v terénu. Geodata mohou být získávána různými způsoby, například dotazníkovým průzkumem, měřeními v terénu pomocí různých přístrojů případně snímkováním, laboratorními pokusy a nebo i jen prostým pozorováním.

Geodata ze *sekundárních zdrojů* byla také původně získána některým z těchto způsobů, ale následně byla zaznamenána v různé podobě (zápisky, databáze, schémata, mapy a podobně), případně i částečně zpracována nebo archivována a teprve pak byla *předána jinému subjektu*, který s nimi dále nakládá.

Základním rozdílem mezi primárními a sekundárními zdroji geodat tedy je, v jakém rozsahu mají jejich správci pod kontrolou *co je sbíráno a jakým způsobem*, případně i příslušnou dokumentaci kvality - metadata..

Kapitola 4

Primární geodata

Primární geodata jsou získávána přímo v kontaktu se zkoumanou realitou. Mohou popisovat:

1. *Různé fyzikální a chemické veličiny* – a pak jsou získávána buďto prostřednictvím snímačů nebo fyzikálně chemickými analytickými postupy, které jsou mnohdy realizovány až v laboratoři na odebraných vzorcích zkoumané reality. Jedná se například o polohu, hloubku, nadmořskou výšku, koncentraci znečišťujících látek ve vzduchu, půdách nebo podzemní vodě, rychlost proudění vzduchu, vlhkost, teplotu a tlak vzduchu apod.
2. *Ostatní veličiny*, které nejsou měřitelné přímo, nýbrž jejich hodnoty lze získávat jen jinými než fyzikálně-chemickými postupy. Jedná se například o vyhodnocení složení flóry a fauny v dané oblasti, o demografickou skladbu obyvatelstva, nezaměstnanost apod.

Obě skupiny veličin se získávají jinými postupy, nicméně obecné zásady jejich získávání pro ně platí stejné.

Získávání geodat o objektech, jevech a procesech reálného světa, které jsou předmětem našeho zájmu, tj. geodat popisujících geoprvky – obrazy objektů reálného světa v geoinformačním systému, resp. rastry jako obrazy jevů reálného světa, řadíme k tzv. *identifikačním procesům* [173]:

Identifikací rozumíme rozpoznání vlastností zkoumaného objektu, jevu nebo procesu reálného světa v závislosti na podmínkách a na požadavcích pozorovatele.

Cílem je, aby tato identifikace byla jednoznačná, tzn. aby získaná geodata umožňovala jednoznačně odlišit popisovaný objekt, jev nebo proces od ostatních objektů,

jevů resp. procesů reálného světa¹⁾. Znamená to například, že kombinace *hodnot* atributů (zde budeme používat slovo atribut v obecném slova smyslu, tedy nikoliv jen ve vztahu k tematické složce popisu geoprvcu) popisujících geoprvky příslušející do stejné třídy (a tedy popisovaných stejnou *sadou* atributů) musí být pro každý geoprvek unikátní.

Úlohu identifikace objektů reálného světa a technologie řešení této úlohy můžeme rozdělit do dvou částí [173]:

1. zpracování získaných geodat a vytvoření reprezentace objektu reálného světa v podobě geoprvcu, která obsahuje podstatné charakteristiky potřebné pro zařazení do tříd (to vše z pohledu řešené úlohy),
2. klasifikace – zařazování geoprvců do tříd geoprvců dle zvolených kritérií.

Z hlediska geoinformatiky je nezbytné si uvědomit, že proces identifikace objektů reálného světa probíhá současně v několika doménách. Minimálně se jedná i tyto domény:

- *prostorová* – prostorové vymezení místa, kde máme provádět identifikaci
- *časová* – časové vymezení okamžiku (resp. doby), kdy máme provádět identifikaci, případně jak často
- *tematická* – vymezení, které atributy jsou předmětem identifikace.

Pro každou z těchto domén můžeme definovat i tzv. *rozlišovací úrovně*.

4.1 Rozlišovací úrovně

Objekty reálného světa můžeme charakterizovat z hlediska *prostorového, časového a tematického rozlišení* [173]. Volba správného prostorového, časového resp. tematického rozlišení je velmi důležitá proto, abychom objekty reálného světa neidentifikovali jenom na základě jednotlivostí nebo naopak, aby důležité vlastnosti objektů reálného světa nezůstaly skryty ve velikosti celku. Konec konců právě získaná geodata o objektech reálného světa jsou vstupními údaji pro jejich identifikaci.

4.1.1 Prostorová rozlišovací úroveň

Úroveň prostorového rozlišení, kterou si zvolíme pro získávání geodat, by měla odpovídat:

¹⁾Pro jednoduchost výkladu budeme nadále hovořit již jen o objektech reálného světa s tím, že tam, kde uvedeme pojem objekt bude zpravidla mýnit i jevy a procesy reálného světa.

- velikosti popisovaných objektů reálného světa,
- prostorové tvářnosti modelovaného objektu reálného světa (tj. proměnlivosti jeho geometrických i tematických vlastností v prostoru),
- účelu, pro který jsou geodata pořizována,
- ekonomickým možnostem organizace zadávající sběr geodat.

Nejprve si uveďme dva příklady.

Příklad 1.: Podívejme se na les ze tří různých vzdáleností:

- z bezprostřední blízkosti
- z letadla
- z umělé družice Země.

Pokaždé budeme pozorovat stejný les, ale pokaždé získáme jiné informace o něm.

Při pozorování z bezprostřední blízkosti získáme velice dobrou představu o jednotlivých stromech, jejich druhu, vzrůstu, zdravotním stavu v místě pozorování apod. Ale nejspíš získáme jen minimum informací o lese jako celku. Nebudeme schopni vyhodnotit rozlohu lesa, druhové složení, celkový zdravotní stav, procento zasažení kůrovcem apod.

Při pozorování z letadla (spíš bychom měli uvažovat pořízení leteckých snímků) sice nezískáme detailní informace o jednotlivých stromech, zato získáme informace velice dobře popisující les jako celek.

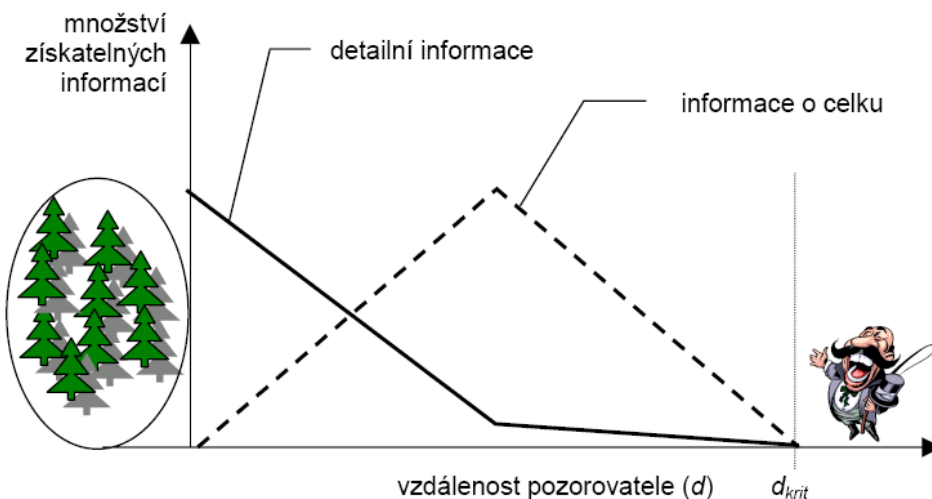
A při pozorování stejného lesa z oběžné dráhy Země (opět nejspíš prostřednictvím družicových snímků) získáme o našem lese jen minimum informací. Při pozorování z této vzdálenosti se náš les může jevit jako nepodstatný detail, který se prakticky nedá vyhodnotit.

Příklad 2: reklamní billboard. Podíváme-li se na něj z těsné blízkosti, můžeme pozorovat jednotlivé body, z nichž se skládá obraz, ale nezískáme vůbec žádnou představu o vzhledu vlastní reklamy. Podíváme-li se z optimální vzdálenosti, neuvidíme jednotlivé body, nýbrž tyto body se slíjí v jednotlivé barevné plochy a ty vytvoří obraz reklamy. A podíváme-li se na stejnou reklamu z příliš velké vzdálenosti, pak můžeme pouze konstatovat, že na billboardu je nějaká reklama, ale vzhledem ke ztrátě podrobností ve vnímaném obraze její obsah nerozpoznáme.

Co z těchto příkladů vyplývá: S rostoucí vzdáleností postupně klesá množství získatelných detailních informací o objektu reálného světa. Avšak v případě informací o celku je vývoj mnohem zajímavější: zpočátku je možnost získání těchto informací velmi nízká. S rostoucí vzdáleností množství získatelných informací postupně

narůstá, až vzdálenost pozorování dosáhne optimální hodnoty – zde bude objem získatelných informací maximální. Při dalším růstu vzdálenosti však začne klesat i objem získatelných informací o celku. Po překročení kritické vzdálenosti pak již nebude možné získat jakékoliv informace o pozorovaném objektu reálného světa (viz obr. IV.4.1).

Situace se může zkomplikovat v případě komplexnějších objektů reálného světa, kde může existovat i několik úrovní detailů a jim odpovídajících „celků“. V takovém případě by byl obr. IV.4.1 mnohem složitější.



Obr. IV.4.1 Vývoj množství získatelných detailních informací a informací o celku v závislosti na vzdálenosti pozorovatele od pozorovaného objektu reálného světa.

4.1.2 Časová rozlišovací úroveň

Úroveň časového rozlišení, kterou si zvolíme pro získávání geodat, by měla vycházet z posouzení těchto faktorů:

- proměnlivosti geometrických a tematických vlastností popisovaného objektu reálného světa v čase,
- účelu, pro který jsou geodata pořizována (a z něj vyplývajících nároků na aktuálnost/aktualizaci geodat),
- ekonomických možností organizace zadávající sběr geodat.

Příliš krátký interval vzorkování (a tedy příliš vysoká časová rozlišovací úroveň) může vést ke zbytečnému převzorkování měřeného signálu. To může v konečném

důsledku znamenat zbytečnou redundanci dat a zbytečné ekonomické zatížení sběru dat.

Naopak příliš dlouhý interval může znamenat ztrátu informací o detailech, zkrácení naměřených dat náhodným vlivem detailů (pokud je před vzorkováním neodfiltrujeme) a případně i ztrátu informací o celku.

I pro časovou rozlišovací úroveň by bylo možné nakreslit obrázek obdobný obr. IV.4.1.

4.1.3 Tematická rozlišovací úroveň

Úroveň tematického rozlišení rozumíme:

- výběr tematických vlastností objektů reálného světa, pro které budeme získávat geodata,
- výběr hodnotových domén pro jednotlivé vlastnosti.

Výběr by měl odpovídat:

- účelu, pro který jsou geodata pořizována,
- ekonomickým možnostem organizace zadávající sběr geodat.

Na rozdíl od předešlých dvou případů rozlišovacích úrovní zde nemůžeme mluvit o informacích o detailech a celku a případně hledat optimální rozlišovací úroveň.

Tematická rozlišovací úroveň musí vždy důsledně vycházet z obou výše uvedených bodů. Prakticky vždy se proto bude jednat o kompromis mezi účelem a ekonomickými možnostmi.

4.2 Proces získávání hodnot primárních geodat fyzikálně-chemických veličin

Hodnoty jednotlivých sledovaných vlastností objektů reálného světa získáváme v procesu, skládajícím se ze čtyř podprocesů:

- měření,
- vzorkování,
- kvantování,
- kódování.

Měření je podproces, který sleduje měnící se hodnoty dané vlastnosti a umožňuje určit jejich velikost. *Vzorkování* je podproces, který rozhoduje o tom, kdy bude změřená hodnota dané vlastnosti odebrána (kdy bude odebrán vzorek) pro další zpracování. *Kvantování* je podproces, který přiřadí změřené hodnotě číselnou úroveň a *kódování* je podproces, který tuto číselnou úroveň převede do podoby vhodné pro další zpracování (například převedení do fyzikálních jednotek apod.). Výsledkem je získání digitálních geodat, vhodných pro další zpracování v geoinformačních systémech.

Tyto podprocesy neprobíhají na sobě nezávisle, nýbrž se navzájem ovlivňují. Kvalita těchto podprocesů ovlivňuje výslednou kvalitu získaných geodat.

Podívejme se nyní na jednotlivé podprocesy vedoucí k získání hodnot vlastností objektů a jevů reálného světa. Shrneme si vždy nejprve základní poznatky z oblasti identifikace technologických procesů a poté je budeme aplikovat do oblasti geoinformatiky.

4.2.1 Měření

Měření identifikované vlastnosti se zpravidla provádí pomocí tzv. *čidla* (resp. *snímače*; angl. sensor) snímajícího fyzikální veličinu tuto vlastnost reprezentující. Čidlo je definováno jako *zařízení na zpracování informace vázané na nějaký druh energie*. Z hlediska informačního řetězce lze čidlo považovat za primární zdroj informací o sledované veličině. Nositelem elementárních informačních prvků je signál. Je-li čidlo ve funkci, dochází k toku informace o měřené veličině a k toku energie jednotlivými konstrukčními částmi čidla v závislosti na použitém principu měření a konstrukčním řešení. Na obr. IV.4.3 je schematicky znázorněn princip fungování čidla. Z jedné strany je k čidlu přiváděna měřená fyzikální veličina (rychlost, intenzita světla, váha, hustota, průtok apod.) a na druhé straně jsou k dalšímu zpracování odebírány napětí a proud (jako veličiny reprezentující hodnotu měřené vlastnosti). Pracujeme s nimi jako se signály, které jsou nositeli primárních informací o hodnotách měřených vlastností [173].

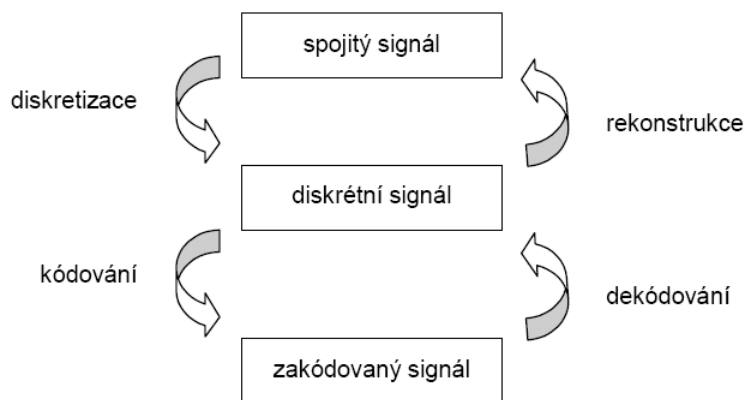
Snímané fyzikální veličiny můžeme rozdělit do dvou kategorií [173]:

- *intenzitní* (teplota, tlak, vlhkost, únosnost terénu, intenzita světelného toku apod.),
- *rychlostní* (průtok vody, rychlost pohybu, rychlost větru atd.).

Jak je již z uvedených příkladů patrné, v geoinformatice nás zajímají obě kategorie fyzikálních veličin.

Podle rychlosti změny snímaných veličin můžeme čidla rozdělit do dvou kategorií:

- čidla určená ke snímání statických veličin,

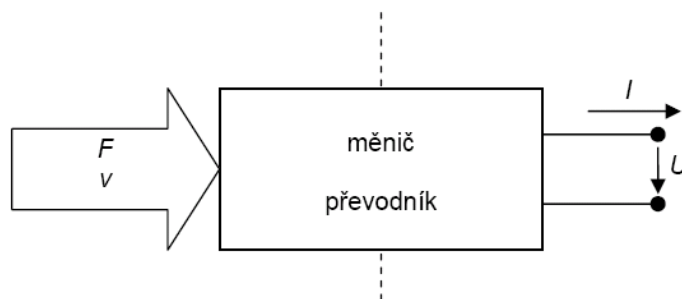


Obr. IV.4.2 Úrovně abstrakce reprezentace signálu [241].

- čidla určená ke snímání dynamických veličin.

Pro každé čidlo je nezbytné znát jeho charakteristiky, které popisují (nejčastěji formou matematického modelu) mimo jiné:

- vztah mezi ustálenou hodnotou snímané veličiny a výstupním signálem z čidla (tzv. *převodní charakteristiku*),
- *citlivost čidla* (tj. minimální změnu snímané veličiny, kterou je čidlo schopné zaznamenat),
- *linearitu čidla* (linearitu závislosti výstupního signálu na hodnotě snímané veličiny),
- *časovou stálost*,
- *závislost na podmínkách měření* (teplota, tlak a vlhkost v místě měření apod.),
- a další.



Obr. IV.4.3 Princip fungování čidla [173].

4.2.2 Vzorkování

Abychom mohli měřené veličiny zpracovávat prostřednictvím digitální techniky, je nezbytné jejich hodnoty převést na posloupnost číselných hodnot. Využívá se přitom skutečnosti, že za určitých okolností může být spojitý signál plně reprezentován posloupností tzv. *vzorků* [269], které jsou určeny okamžitými resp. lokálními hodnotami spojitého signálu získanými v přesně definovaných časových okamžicích nebo místech v prostoru. Tento proces se nazývá *vzorkování* (nebo též *diskretizace*; angl. sampling resp. discretization).

Vzorkování spočívá v odebrání vzorků spojitého vstupního signálu. Přitom se provádí odečítání hodnot měřené veličiny buďto v pravidelných intervalech Δt resp. Δl (a pak mluvíme o *pravidelném vzorkování*; angl. uniform sampling) nebo v nepravidelně (náhodně) zvolených časových okamžicích nebo místech (a pak mluvíme o *nepravidelném* resp. *náhodném vzorkování*; angl. random sampling). V dalším výkladu se nejprve zaměříme na časovou doménu a výsledky pak promítneme i do domény prostorové.

Základním problémem vzorkování je volba vhodného časového intervalu Δt . Ten musí být v relaci s maximální frekvencí f_{max} , obsaženou ve vstupním signálu snižuje měřené veličiny. Pokud je tato frekvence předem známá, můžeme vzorkovací interval zvolit s využitím tzv. Shannonova kritéria (někdy též Nyquistova resp. Shannonova-Kotělnikova kritéria):

$$f_{vz} \geq 2 \cdot f_{max}$$

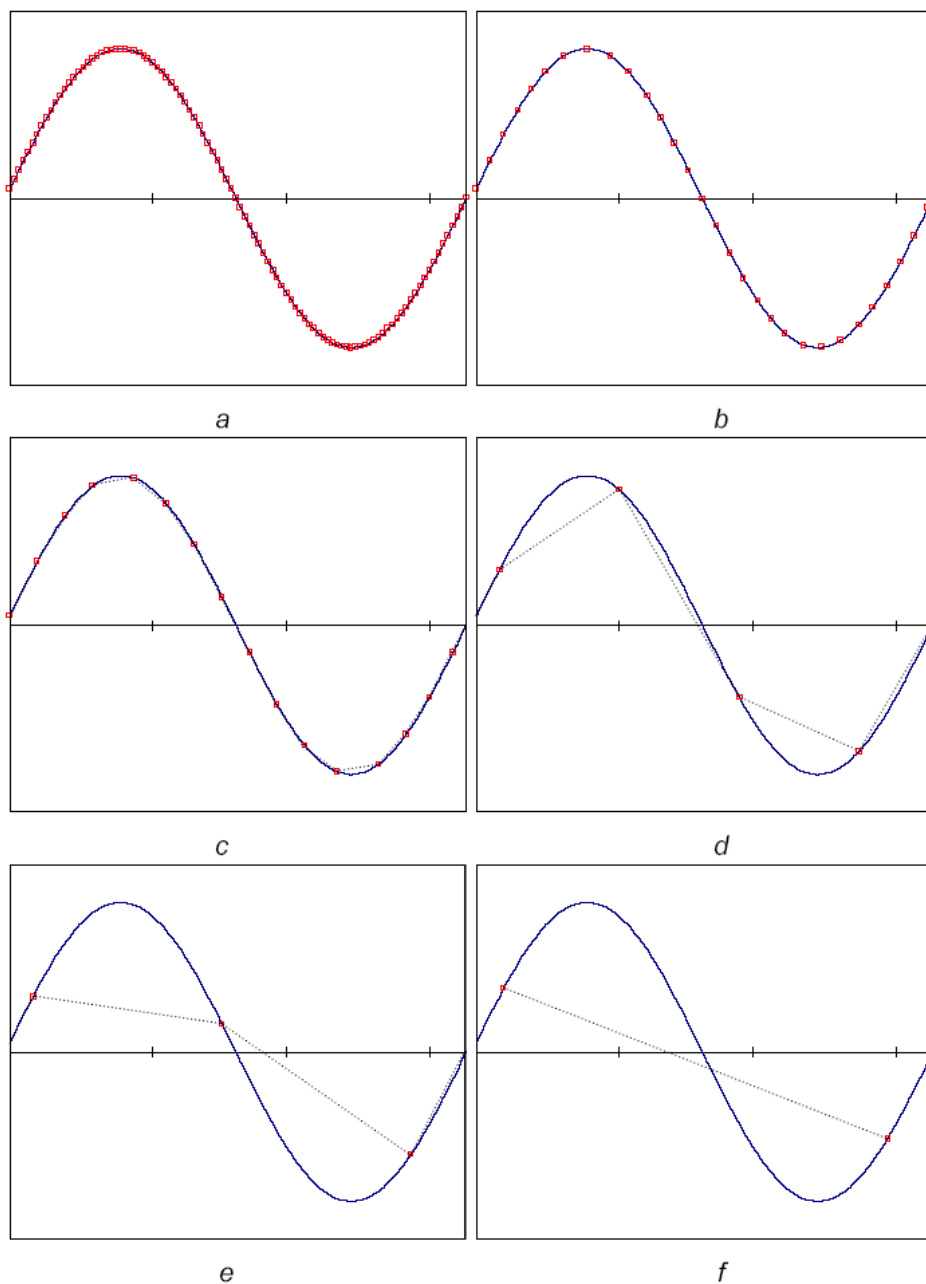
Pokud by totiž byla vzorkovací frekvence nižší, než stanoví toto kritérium, mohlo by snadno dojít k výraznému *zkreslení* (angl. distortion) v důsledku *podvzorkování* (angl. undersampling; viz obr. IV.4.4 a až f) reprezentace signálu ve výsledném vzorku.

V praktických aplikacích se obvykle volí vzorkovací frekvence o něco vyšší [35]:

$$f_{vz} = (2.5 \dots 3.0) f_{max}$$

Takto zvolená vzorkovací frekvence nám zajistí na jedné straně to, že analýzou výsledné řady vzorků bude možné získat kompletní charakteristiky sledované vlastnosti a na druhé straně zajistí to, že řada vzorků nebude obsahovat zbytečné údaje, které by zbytečně plýtvaly paměťovým prostorem (nedojde tedy k tzv. *převzorkování*; angl. oversampling).

Jiná situace však nastane, pokud je f_{max} příliš vysoké a není v našich možnostech použít odpovídající frekvenci vzorkování. V tom případě je možné postupovat jedině tak, že použijeme dostupnou vzorkovací frekvenci a ze vstupního signálu naopak odstraníme (odfiltrujeme) všechny frekvence vyšší než je polovina vzorkovací



Obr. IV.4.4 Ukázka vlivu hustoty vzorkování na výslednou reprezentaci původního signálu vzorky a interpolovanými hodnotami. a-c – výrazně převzorkovaný signál; jeho reprezentace vzorky je téměř dokonalá, ale za cenu neúměrně vysokého množství dat. d-e – téměř optimálně vzorkovaný signál. f – podvzorkovaný signál (upraveno podle [113]).

frekvence. Pokud bychom toto neučinili, mohly by vyšší frekvence výrazně negativně ovlivnit identifikované charakteristiky (došlo by ke *zkreslení* výsledků; angl. distortion nebo misrepresentation).

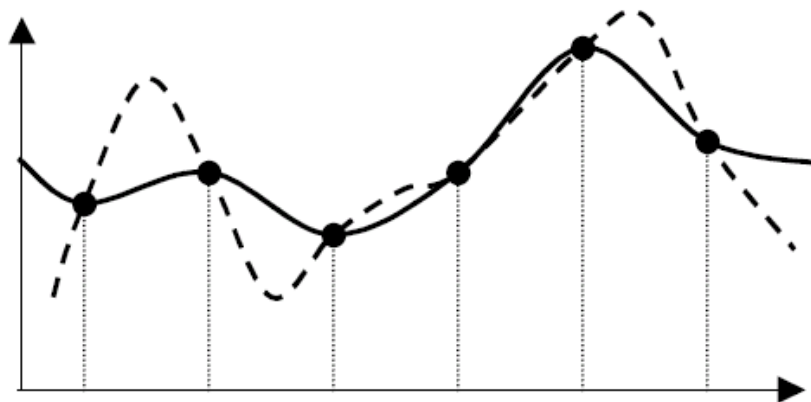
Vzorkovací frekvence na úrovni Shannonova kritéria v žádném případě negarantuje přesný popis složek signálu s nejvyšší frekvencí, obsažených ve zpracovávaném signálu, avšak vzorkování frekvencí nižší určitě způsobí, že informace v oblasti nejvyšších frekvencí budou ztraceny nebo alespoň silně zkresleny [113]. Toto tzv. *podvzorkování* (angl. undersampling) má za výsledek vznik jevu nazývaného *aliasing* (angl. aliasing). Tento jev vzniká tak, že krátké vlnové délky jsou vzorkovány při různých fázích a výsledné vzorky budí zdání daleko nižší frekvence (obr. IV.2.4). Tomuto jevu je potřeba zabránit za každou cenu. Jednou z cest je odstranění vlnových délek nesplňujících Shannonovo kritérium ze vstupního signálu ještě před vlastním vzorkováním, například filtrováním. V každém případě je menším zlem převzorkování než podvzorkování, které vnáší do výsledku umělé prvky zkreslující jiné části spektra vstupního signálu. Obvykle je však možné se vyhnout oběma extrémům, pokud dobře známe frekvenční spektrum vzorkovaného signálu. Na obr. IV.4.4 jsou na sérii příkladů ukázány všechny tři situace: převzorkování, optimální vzorkování i podvzorkování. Pro názornost je zvolen jednoduchý signál v podobě sinusovky [113].

Příklad: Za signál můžeme považovat například i reliéf terénu. Je nezbytné si uvědomit, že při fotogrammetrickém vzorkování reliéfu pro potřeby tvorby digitálního modelu reliéfu se vždy projeví aliasing. Má to za následek zkreslení frekvenčního spektra výsledného vzorku signálu, což se může nepříjemně projevit při některých analýzách prováděných nad digitálním modelem reliéfu. Zabránit tomuto jevu je však prakticky nemožné. Jedinou cestou by mohlo být zaměření velice husté sítě bodů, která by se vyhladila vhodným filtrem a teprve z výsledku by se vybraly body používané při dalším zpracování digitálního modelu reliéfu. Teoreticky je tento postup možný, ale prakticky je z ekonomických důvodů nerealizovatelný.

Je třeba si rovněž uvědomit, že výsledky vzorkování dvou zcela odlišných signálů mohou být shodné (obr. IV.4.5) [SIG02].

Co znamenají tyto poznatky pro geoinformatiku. Za prvé je nezbytné promítnout si je do jednotlivých domén: prostorové, časové i tematické. A za druhé by bylo vhodné prozkoumat vzájemné ovlivňování těchto domén. Nicméně druhý bod významně překračuje hranice tohoto textu, této otázce bude nezbytné se věnovat někdy jindy.

Podívejme se, jak se teoretické poznatky informatiky promítají do našich tří sledovaných domén.



Obr. IV.4.5 Stejná sada vzorků může odpovídat více různým signálům (upraveno podle [241]).

Prostorová doména

Převedení výše uvedených poznatků do prostorové domény je relativně jednoduché: stačí místo vzorkovací frekvence zavést *krok měření* Δl a místo maximální frekvence f_{max} zavést *minimální velikost* l_{min} . Vztah mezi krokem měření a minimální velikostí lze vyjádřit takto:

$$\Delta l \leq \frac{1}{2}l_{min}$$

Jinými slovy, krok měření musí být menší než je polovina minimální velikosti objektu reálného světa (resp. nejmenšího detailu), který chceme ve výsledném vzorku zachytit. Přitom je ovšem vhodné dobře zvážit, co bude předmětem našeho měření. Viz následující příklad.

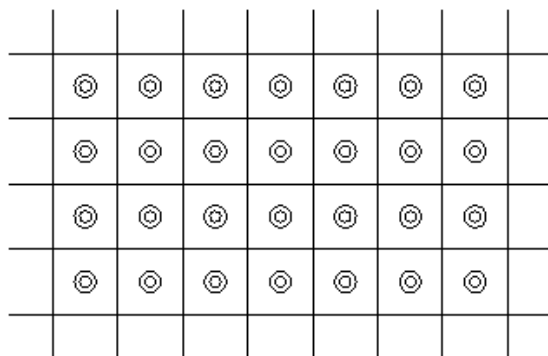
Příklad: Mějme za úkol pořídít rastrová data reprezentující zastavěnou oblast, kde se nacházejí budovy s rozměry minimálně 20×20 m a rozestupy mezi budovy jsou minimálně 10 m. Z výše uvedeného vyplývá, že ke splnění úkolu stačí vygenerovat rastr o velikosti buňky 10×10 m, abychom měli jistotu, že všechny budovy v něm budou reprezentované. Pokud však budeme navíc požadovat možnost odlišit jednotlivé budovy od sebe, bude muset mít buňka rastru rozměr nejvýše 5×5 m, abychom spolehlivě zachytili i všechny mezery mezi budovami.

Na vzorkovací algoritmus máme následující požadavky [248]:

- pokrytí vzorkované oblasti musí být rovnoměrné (na globální úrovni),

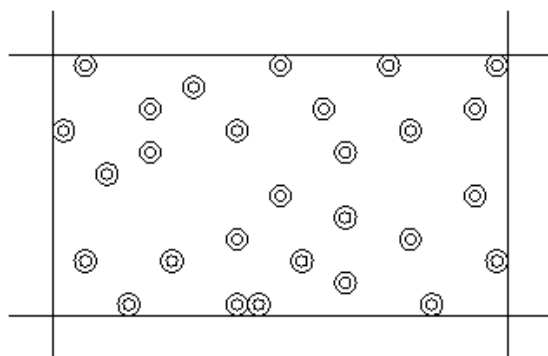
- je nežádoucí absolutní pravidelnost z důvodu možného vzniku *interference*,
- výpočet rozmístění vzorků musí být efektivní.

Podle rozmístění vzorků rozlišujeme následující druhy prostorového vzorkování²⁾ [248]:



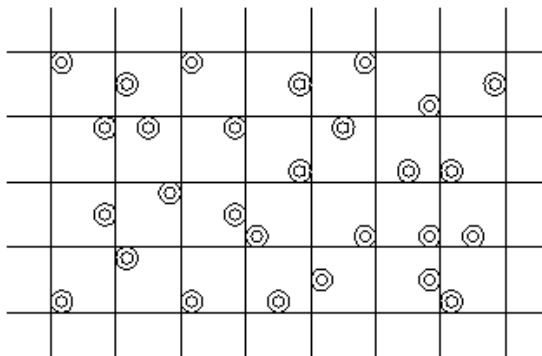
Obr. IV.4.6 Rozmístění vzorků při pravidelném vzorkování [248].

- *Pravidelné* (angl. uniform sampling) – vzorky jsou rozmístěny v pravidelné síti s nejčastěji čtvercovou (někdy šestiúhelníkovou) základní buňkou (obr. IV.4.6). Toto vzorkování neodstraňuje rušivé interference.



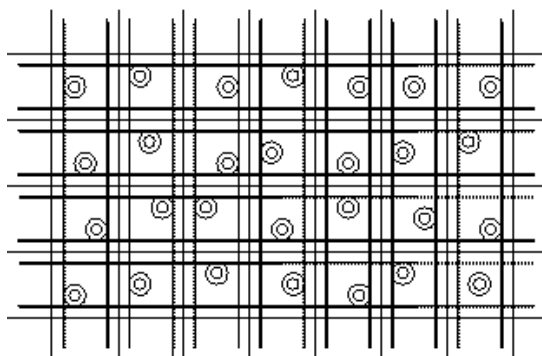
Obr. IV.4.7 Rozmístění vzorků při náhodném vzorkování [248].

- *Náhodné vzorkování* (angl. random sampling) – ve vzorkované oblasti je rozmístěno N nezávislých náhodných vzorků s rovnoměrným rozložením pravděpodobnosti (obr. IV.4.7). Vzorky mohou vytvářet větší shluky. Výsledek vzorkování je zatížen větším šumem.



Obr. IV.4.8 Rozmístění vzorků při vzorkování s roztřesením [248].

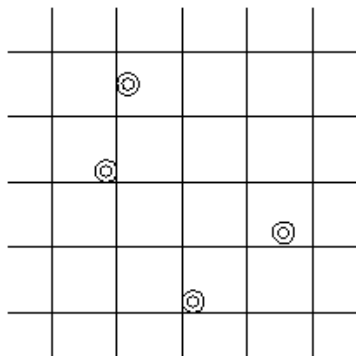
- *Roztřesení* (angl. jittering) – v $K \times K$ shodných podintervalech (buňkách, pokrývajících původní oblast beze zbytku) je rozmístěno $K \times K$ nezávislých náhodných vzorků (obr. IV.4.8). Tím se sníží pravděpodobnost větších shluků a dosáhne se rovnoměrnějšího (i když ne zcela pravidelného) pokrytí vzorkované oblasti.



Obr. IV.4.9 Rozmístění vzorků při vzorkování s částečným roztřesením [248].

- *Částečné roztřesení* (angl. semijittering) – v $K \times K$ shodných podintervalech („zmenšených“ buňkách, nepokrývajících původní oblast beze zbytku) je rozmístěno $K \times K$ nezávislých náhodných vzorků (obr. IV.4.9). Tento postup zamezuje vzniku shluků. Na závadu však může být dílčí pravidelnost.

²⁾Tyto případy vycházejí z předpokladu izotropního prostředí. V případě výskytu anizotropie se musí jednotlivé případy vhodně upravit.

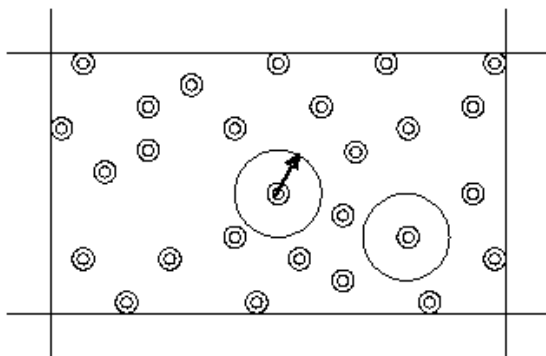


Obr. IV.4.10 Rozmístění vzorků při vzorkování s nezávislým roztřesením [248].

- *Nezávislé roztřesení* (N věží; angl. uncorrelated jitter resp. N rooks) – jedná se o úspornou variantu roztřesení, kdy v každém řádku i sloupci je právě jeden vzorek (obr. IV.4.10). Rozmístění vzorků vznikne náhodnou permutací diagonály. Zachovávají se výhodné vlastnosti roztřesení při větší efektivitě vzorkování.
- *Poissonovo diskové vzorkování* (angl. Poisson disk sampling) – v tomto případě je ve vzorkované oblasti rozmístěno N náhodných vzorků splňujících podmínku

$$|(x_k, y_k) - (x_i, y_i)| \geq d$$

pro danou konstantu d (obr. IV.4.11). Tento vzorkovací algoritmus zamezuje vytváření shluků, napodobuje rozložení světločivných buněk na sítnici oka. Je však obtížně implementovatelný.



Obr. IV.4.11 Rozmístění vzorků při Poissonově diskovém vzorkování [248].

- Někdy může být výhodné provést adaptivní zahušťování sítě vzorků. To se provádí zpravidla lokálně na základě zvýšené variability sledované veličiny. Tato lokální variabilita nemusí být známa předem (a zpravidla ani není), proto se musí vzorkovací algoritmus automaticky přizpůsobovat dosaženým výsledkům (adaptovat se). Příkladem může být *progresivní vzorkování* (angl. progressive sampling) při sběru dat o reliéfu terénu pomocí fotogrammetrie.
- *Selektivní vzorkování* (angl. selective sampling) nevychází z žádného apriorního vzoru rozmístění vzorků v prostoru, jednotlivé vzorky se rozmisťují tak, aby co nejlépe postihly variabilitu sledované vlastnosti.

Příklad: Při fotogrammetrickém získávání dat o reliéfu terénu můžeme v dané oblasti nejprve získat data v podobě sítě bodů např. 100 times 100 m, které v členitějším terénu zahustíme na vzdálenost 50 times 50 m a případně tam, kde nebude popis průběhu reliéfu terénu dostačující, provedem ještě jedno zahuštění na vzdálenost 25 times 25 m. Navíc k těmto bodům fotogrammetr zaměří průběh některých linií, jako jsou hřbetnice a údolnice, a některé body, jako jsou vrcholy, sedlové body a dna.

Časová doména

Pro vzorkování v časové doméně platí všechny teoretické závěry tak, jak byly uvedeny výše. I zde můžeme rozlišit několik strategií vzorkování:

1. pravidelné opakování vzorkování vždy po uplynutí zvoleného časového intervalu – jedná se o *pravidelné vzorkování*,
2. nepravidelné opakování vzorkování vždy po uplynutí náhodně zvoleného časového intervalu – *náhodné vzorkování*,
3. průběžné sledování změn a zaznamenávání jen významných změn – obdoba *selektivního vzorkování*.

Tematická doména

Tematická doména je na rozdíl od prostorové a časové domény na teoretických závěrech týkajících se vzorkování nezávislá. Při výběru vlastností, které budou u objektů reálného světa sledovány, se musíme řídit výhradně účelem, pro který mají být geodata získávána a zpravidla tento výběr provádíme jen jednou, před zahájením sběru geodat. Jen v odůvodněných případech se vybraná sada vlastností později upřesňuje.

4.2.3 Kvantování

Kvantování znamená, že je vytvořen omezený počet tzv. *kvantovacích intervalů*, které plně pokrývají rozsah měření a jsou navzájem disjunktní. Pro každý interval je dána *minimální* a *maximální hodnota* a dále *střední hodnota*, kterou daný interval reprezentuje (viz obr. IV.4.12).

Každý vzorek měřené veličiny je na základě změřené hodnoty zařazen do odpovídajícího kvantovacího intervalu (přesněji vzorku je přiřazeno pořadové číslo tohoto kvantovacího intervalu, které lze snadno převést na odpovídající střední hodnotu; přitom vzniká větší nebo menší *kvantovací zkreslení*, dané odchylkou měřené hodnoty a střední hodnoty reprezentující tento interval, viz obr. IV.4.12). Počet kvantovacích intervalů je konečný, velikost (středních) hodnot reprezentujících jednotlivé kvantovací intervaly se mění skokem. [257].

Závislost mezi vstupní hodnotou měřené veličiny a výslednou číselnou hodnotou se vyjadřuje tzv. *převodní charakteristikou*. Vlastní převod se realizuje tzv. *převodníkem*.

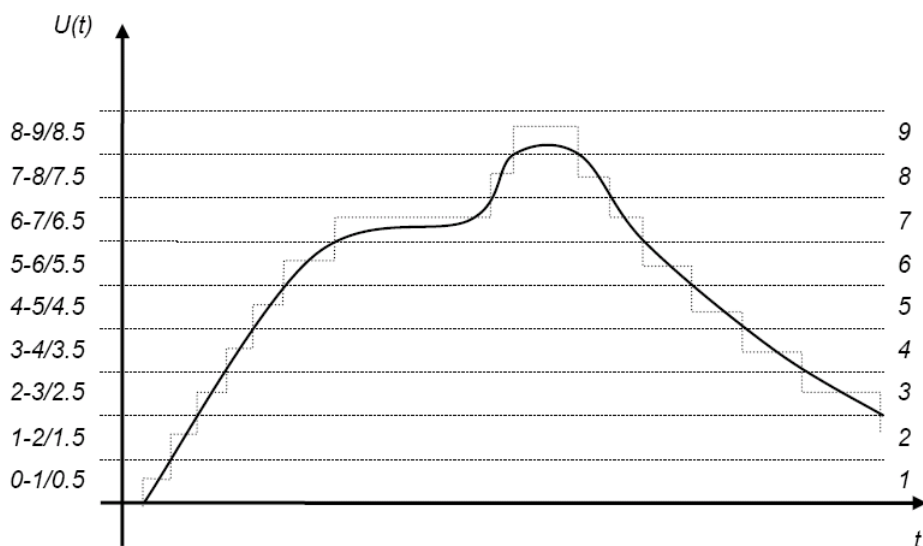
Příčinou kvantovacího zkreslení je rozdíl mezi prakticky nekonečným počtem vstupních hodnot a konečným počtem kvantovacích intervalů. Navíc relativní vliv kvantovacího zkreslení není lineární, je závislý na velikosti vstupní hodnoty. U malých hodnot se toto zkreslení projevuje více (jsou jím více zatíženy) než u velkých (obr. IV.4.13). Kvantovací zkreslení je samozřejmě závislé i na velikosti kvantovacího kroku (resp. počtu kvantovacích intervalů). Je-li počet kvantovacích intervalů dostatečně velký (a tím kvantovací krok dostatečně malý), nemusí být vliv kvantovacího zkreslení podstatný ani u malých hodnot.

Na kvantování a kvantovací krok je možné se rovněž dívat z pohledu Shannonova kritéria. Hodnotit v tomto případě ale nebudeme *frekvenci* změn hodnot měřené veličiny, nýbrž *velikosti* těchto změn ΔA (obr. IV.4.14). Kvantovací krok Δk by měl splňovat následující kritérium:

$$\Delta k \leq \frac{1}{2} \Delta A$$

Příklad: Názorně lze význam splnění tohoto kritéria ukázat na příkladě reliéfu terénu reprezentovaného vrstevnicemi. Zde se kvantovací krok rovná kroku vrstevnic. Máme-li na mapě v měřítku 1:5000 vrstevnice zaznamenané s krokem 2 metry znamená to, že tato mapa spolehlivě zachytí změny terénu větší než 4 metry, jak je patrné z obr. IV.4.14).

Zatímco hodnota měřené veličiny se může pohybovat prakticky v libovolném rozsahu, výsledná číselná hodnota se může pohybovat zpravidla v pevně daném rozsahu úrovní (např. 0..255, 0..1023 apod.). Rozsah úrovní je dán rozlišením převodníku, které se zpravidla udává v bitech. Rozsahu 0..255 úrovní odpovídá osmi-



Obr. IV.4.12 *Kvantování. V levém sloupci je uvedena minimální hodnota, maximální hodnota a střední hodnota pro každý kvantovací interval. Vpravo jsou uvedena čísla jednotlivých kvantovacích intervalů.*

bitový převodník, rozsahu 0..1023 úrovní odpovídá desetibitový převodník apod. Obecně pro n -bitový převodník je to 2^n úrovní.

Rozsah převodníku je dán minimální a maximální hodnotou měřené veličiny.

Vedle převodové charakteristiky a rozlišení se u každého převodníku uvádí ještě chyba kvantování, která je způsobena odchylkou hodnoty odpovídající výsledné úrovní od hodnoty skutečné. Tato odchylka je ovlivňována jak převodní charakteristikou, tak i rozlišením převodníku a mohou ji ovlivnit i další faktory, jako je vliv prostředí, rychlosti vzorkování apod.

4.2.4 Kódování

Kódováním se myslí převedení výsledné kvantovací úrovně na hodnotu, která buďto odpovídá pořadovému číslu této kvantovací úrovně, nebo je vyjádřena hodnotou vzniklou převedením této úrovně do odpovídající stupnice pro kódování geodat.

Kodér přiřazuje každému kvantovacímu intervalu odpovídající kódovou kombinaci a tím do ní kvantovaný vzorek zakóduje.

Nejčastěji je výsledkem kódování převedení kvantovací úrovně na odpovídající hodnotu měřené fyzikálně-chemické veličiny.

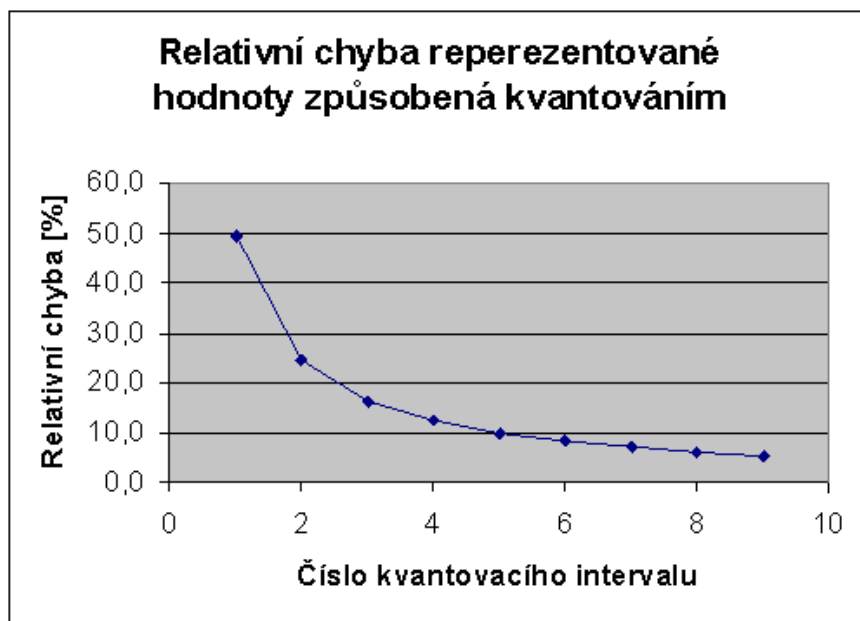
Stupnice pro kódování geodat

Pro kódování geodat (a to jak kvalitativních, tak i kvantitativních) se zpravidla uvádějí čtyři základní typy stupnic (v pořadí dle rostoucích možností zpracování) [287], [98]:

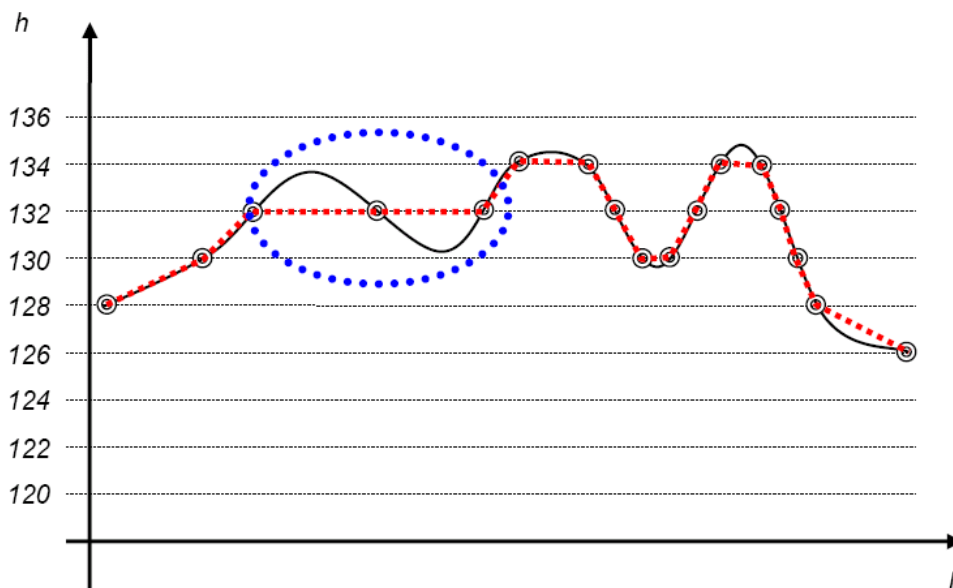
- nominální,
- ordinální,
- intervalové,
- poměrové.

Nominální stupnice (angl. nominal scale) je spojena výhradně s geodaty kvalitativními, neznamená změny velikosti mezi jednotlivými jevy nýbrž jen rozdíly kvalitativní. Znamená to tedy, že je není možné porovnávat mezi sebou. Příkladem může být doména (červená, zelená, modrá, žlutá, fialová). Daná kvantovací úroveň se v tomto případě převede na konkrétní barvu z této stupnice. Z tohoto důvodu (striktně vzato) se ani nejedná o stupnici měření.

Ordinální (pořadové) stupnice (angl. ordinal scale) uspořádává hodnoty vlastnosti geoprvků mezi sebou s ohledem na určitou charakteristiku. Tento způsob kódování je daleko běžnější než by se na první pohled zdálo. Zvláště se využívá při



Obr. IV.4.13 Vliv kvantovacího zkrácení (viz obr. IV.4.12).



Obr. IV.4.14 Vliv kroku vrstevnic (tj. kvantovacího kroku) na přesnost reprezentace reliéfu terénu (plná čára). Na obrázku je zachycen interpolovaný řez reliéfu terénu (tečkovaná čára). Z příkladu je patrné, že údolí hluboké téměř 4 m (které z pohledu hydrologie představuje významnou morfologickou strukturu) nemusí být vrstevnicemi zachyceno (tečkovaná elipsa).

zpracovávání sekundárních geodat. Pokud například nemáme důvěryhodné informace o přesnosti naměřených hodnot dané charakteristiky, můžeme alespoň podle získaných hodnot uspořádat geoprvky do pořadí. Podstatou ordinální stupnice je *uspořádání* jednotlivých hodnot do *vzestupného* nebo *sestupného* pořadí.

Kvantitativní geodata kódovaná do *intervalových* (angl. interval scale) a *poměrových stupnic* (angl. ratio scale) jsou často zpracovávána stejnými postupy, i když je mezi nimi podstatný rozdíl. V obou případech se používají kalibrované stupnice, otázkou však je, zda měrné jednotky geodat mají absolutní nulu nebo ne. Příkladem může být teplota měřená ve stupních Celsia. Tato stupnice zahrnuje i 0 °C, avšak tato hodnota v žádném případě neznamená nejnižší teplotu, která může být naměřena. A dále, pokud jeden den byla teplota vzduchu 6 °C a druhý den 12 °C, pak to v žádném případě neznamená, že druhý den bylo dvakrát tepleji než první den, nýbrž pouze a jen to, že druhý den bylo o 6 °C tepleji. Přičemž rozdíl např. mezi 20 °C a 26 °C je něco jiného než rozdíl mezi -40 °C a -34 °C. Teplota tedy představuje intervalovou stupnici. Data z intervalové stupnice nelze násobit a poměřovat.

Mnoho kvantitativních geodata ale bývá měřeno na *poměrových stupnicích*, které zahrnují absolutní nulu. Například průtok řeky se měří v m^3s^{-1} a hodnota rovná

nule znamená, že řekou neprotéká žádná voda – řeka vyschla. A dále pokud je jeden den průtok řekou $50 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a druhý den $100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ znamená to, že druhý den byl průtok dvakrát větší. Pokud by oba průtoky byly vyjádřeny v jiných měrných jednotkách, např. v litrech za sekundu nebo v kubických stopách za sekundu, pak poměr mezi těmito hodnotami zůstane zachován. A konečně – nula zůstane vždy nulou, bez ohledu na měrné jednotky.

Shrneme-li základní charakteristiky těchto škál, pak můžeme uvést následující závěry [98]:

- na výčtové stupnici lze uplatnit jen takové funkce, jako jsou testování shody, zjišťování variability, modus apod.,
- na ordinární stupnici lze aplikovat i funkce minimum, maximum,
- z hodnot poměrových i intervalových lze získat i smysluplný rozdíl,
- pouze hodnoty poměrové lze i dělit.

Jak již bylo uvedeno, jednotlivé stupnice byly popisovány v pořadí dle rostoucí složitosti. Výsledky jakýchkoliv měření lze vždy převést do jednodušší stupnice, ale převod opačným směrem není možný.

Rozdíl mezi stupnicemi nabývá významu zvláště když rozhodujeme o tom, jaké statistické testy a typy analýz můžeme na data aplikovat. Určité typy analýz mohou být aplikovány jen na určité typy proměnných nebo atributů. Jedním ze základních rozdílů mezi statistickými testy je, zda požadují, aby naměřené hodnoty nabývaly jen určitých hodnot na dané stupnici nebo zda mohou nabývat jakékoliv hodnoty z této stupnice. Rozlišujeme zde diskrétní a kontinuální měrné jednotky, vyjádřené na jedné straně nominální a ordinální stupnicí a na straně druhé intervalovou a poměrovou stupnicí.

4.3 Proces získávání geodat ostatních veličin

4.3.1 Soubory a vzorky

Důležitou otázkou týkající se sběru dat je: „Kolik informací by mělo být sebráno?“ Zdálo by se, že logickou odpovědí je: „Co možná nejvíce.“ V praxi by to však mohlo znamenat například to, že pokud bychom chtěli zjistit, kolik procent obyvatel je spokojeno se svým bydlením, museli bychom se dotázat všech obyvatel žijících v daném státě (nebo například i v celé EU). Je zřejmé, že provedení takového průzkumu by bylo nereálné.

Průzkumy takového rozsahu se čas od času dělají (např. co deset let se u nás provádí sčítání lidí, domů a bytů, kdy jsou osloveni prakticky všichni obyvatelé),

ale jejich pravidelné provádění ke každému hodnocenému parametru by bylo ekonomicky i technicky nerealizovatelné.

Statisticky vzato takovýto průzkum poskytuje informace o úplném souboru pozorování. Tento *úplný soubor* (angl. population) může reprezentovat všechny obyvatele, všechny právnické i fyzické osoby, všechny parcely, křižovatky, silnice, řeky apod. Výsledky šetření jsou považovány za nevyvratitelné, nepočítá se zde s žádnými nepřesnostmi, chybami, opomenutími apod.

V praxi však výsledky takového šetření mají z časového hlediska jen omezenou platnost a mohou přeci jen být zatíženy určitými chybami. Například při sčítání lidí se musí zohlednit skutečnost, že ne všichni obyvatelé jsou k termínu sčítání doma (mohou být i v zahraničí), naopak u nás může být celá řada zahraničních návštěvníků, jsou zde i lidé bez stálého bydliště (např. bezdomovci), celá řada lidí dotazník neodevzdá apod.

Statistické soubory by měly být definovány velice pečlivě, a to jak z pohledu prostoru a času, tak i z pohledu charakteristik tříd objektů reálného světa, které mají být šetřením popsány.

Existují minimálně tři hlavní důvody, proč neprovádět šetření na úplném souboru objektů reálného světa (upraveno podle [287]):

- Ekonomické a časové nároky mohou snadno přesáhnout rozpočtové možnosti daného projektu; navíc zde vystupuje otázka, zda je důležitější kvantita nebo kvalita.
- Úplný soubor nemusí být dostupný. To se týká především historického výzkumu, ale může se to týkat i současnosti, pokud je úplný soubor neomezeně velký nebo alespoň tak velký, že ho nelze „uchopit“ (tj. plně obsáhnout všechny jeho členy). Příkladem může být soubor všech občanů, u nichž je možné získat informace o volebních preferencích.
- Za určitých okolností může sběr informací o všech členech statistického souboru snížit kvalitu získaného materiálu. Například pokud díky takovému rozsahu trvá šetření příliš dlouho, mohou se za dobu jeho provádění a vyhodnocování výrazněji změnit podmínky a ovlivnit tak výsledek.

Nejjednodušším řešením těchto problémů je snížení počtu zpracovávaných členů statistického souboru – výběr určité podmnožiny, která se nazývá *vzorek* (angl. sample). Pokud je tento vzorek vybrán pečlivě, mohou na něm získané informace dobře odpovídat informacím získaným zpracováním úplného souboru pozorování. Jsou však získány při nepoměrně menších finančních i časových nárocích.

4.3.2 Výběr vzorku

Vzorek je podmnožinou souboru objektů reálného světa nebo pozorování a měl by být ve vztahu k tomuto souboru *reprezentativní*. Koncept reprezentativnosti je velice důležitý, ne každý způsob vzorkování umožňuje dosáhnout stejné míry reprezentativnosti. Vzorek by měl věrně reprezentovat statistické výsledky, kterých by bylo dosaženo při zpracování všech prvků souboru. Takovýto vzorek je označován jako reprezentativní ve vztahu k původnímu souboru. Problémem je, že nevíme, která pozorování by věrně a přesně reprodukovala charakteristiky celého souboru. Koneckonců kdybychom to věděli, nebylo by potřebné provádět průzkum.

Vztah mezi vzorkem a původním souborem je podložen základní skupinou analytických technik, známou jako *inferenční statistika* (angl. inferential statistics). Pokud vypočítáme danou *statistiku* (angl. statistics), například procento zastoupení pozorování ve vzorku odpovídajících dané charakteristice, výsledná hodnota by měla být přesným odhadem odpovídající hodnoty pro celý soubor. Této hodnotě (popisující celý soubor) se také říká *parametr* (angl. parametr).

Příklad: Pokud zpracováním vzorku zjistíme, že dané politické straně by ve volbách dalo svůj hlas například 28 % dotázaných, závěr zní, že této straně by dalo svůj hlas 28 % všech voličů. Danou statistiku vždy považujeme za odhad skutečné hodnoty platné pro celý soubor.

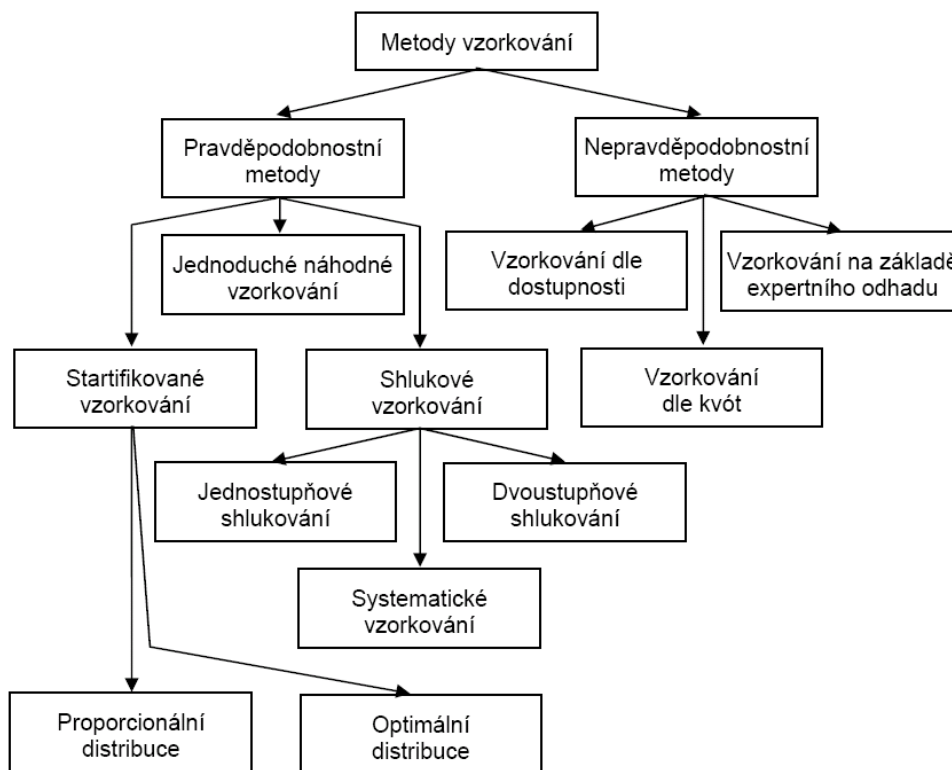
Ve vztahu ke vzorkování je nezbytné vzít v úvahu ještě dva další problémy [287]:

- jakou použít metodu vzorkování,
- kolik prvků má vzorek zahrnovat.

Metoda vzorkování. Existuje široká škála metod výběru vzorků ze souboru. Některé z nich poskytují mnohem reprezentativnější vzorky než jiné. Problém však je, že ne vždy je dopředu jasné, která ze vzorkovacích metod je pro daný případ ta nevhodnější, protože parametry úplného souboru nejsou známé.

Počet prvků ve vzorku. Počet prvků, které by měly být zahrnuty do vzorku, vyjadřujeme pomocí *zlomku podílu ve vzorku* (angl. sampling fraction), který vyjadřuje poměrnou část souboru, která by měla být zahrnuta do vzorku. Někdy je stanovení zlomku podílu obtížné až nemožné, zvláště pokud je soubor nekonečně velký nebo nebyl nikdy změřen. Na otázku počtu prvků ve vzorku pak lze odpovědět intuitivně dvěma způsoby [287]:

- buďto vybereme maximální počet pozorování, umožněných časem a penězy, které máme k dispozici, nebo
- vybereme minimální nezbytný počet pozorování, umožňující získat spolehlivý výsledek.



Obr. IV.4.15 Členění metod sběru vzorků [32].

Příkladem mohou být odhady volebních výsledků, kdy se například v Británii pracuje se vzorkem 1500 dotázaných, což reprezentuje 0.004 % všech voličů. Přesto jsou výsledky průzkumů vcelku spolehlivé.

Metody výběru vzorků je možné rozdělit do dvou základních kategorií [287], [32] (obr. IV.4.15):

- *nepravděpodobnostní vzorkování* (angl. non-probability sampling),
- *pravděpodobnostní vzorkování* (angl. probability sampling).

Rozdíl spočívá v tom, zda jsou jednotlivá pozorování do vzorku vybírána na základě subjektivního úsudku nebo na základě náhodného výběru.

4.3.3 Nepravděpodobnostní způsoby vzorkování

Při nepravděpodobnostním vzorkování závisí výběr vzorků čistě na subjektivním posouzení osoby provádějící výběr jednotlivých pozorování do výsledného vzorku. V praxi se používají následující tři techniky vzorkování [287], [32]:

- *vzorkování dle dostupnosti* (angl. accessibility (or convenience) sampling),
- *vzorkování na základě expertního odhadu* (angl. judgemental sampling),
- *vzorkování dle kvót* (angl. quota sampling).

Vzorkování dle dostupnosti. V tomto případě jsou prvky vzorku vybírány na základě jejich dosažitelnosti. Například při provádění průzkumu na ulici se dotážeme první stovky kolemjdoucích lidí. Tento způsob vzorkování umožňuje získat vzorky s velmi velkými až nekonečně velkými soubory. Používá se však také v případech, kdy nemáme žádné apriorní informace o hodnoceném souboru (resp. o jeho prvcích).

Hlavním úskalím tohoto způsobu vzorkování je, že takto získaný vzorek nemusí být dostatečně reprezentativní. Například pokud zahrneme do průzkumu prvních sto kolemjdoucích lidí aniž bychom zohlednili jakákoliv další kritéria, pak je velice pravděpodobné, že pokud průzkum provedeme opakovaně v různých časech a na různých místech, dostaneme vždy odlišné výsledky. To může být dáno například tím, že ráno dotazujeme zaměstnance spěchající do práce, později děti spěchající do školy, pak matky v domácnosti a důchodce apod. A stejně tomu může být s výběrem místa provádění průzkumu.

I přes výše uvedené nevýhody je tento způsob vzorkování používán velice často, a to nejen v rámci sociologických výzkumů, ale například i v oblasti přírodních věd apod. Běžný je například v geologii, v botanice, zoologii, radioastronomii i jinde.

Termín „accessibility sample“ je zde použit doslovně: vzorkuje se tam, kde jsou pozorování dostupná.

Vzorkování na základě expertního odhadu. Tento způsob vzorkování je používán opět v případech, kdy máme minimální apriorní informace o hodnoceném souboru. O tom, zda dané pozorování zařadíme do vzorku nebo ne, rozhodujeme čistě na základě subjektivního posouzení. Vycházíme přitom z předešlých zkušeností a z dostupných znalostí o hodnoceném souboru.

Ani tento způsob vzorkování není příliš objektivní, statistickými metodami lze snadno prokázat, že každý člověk je jistým způsobem zatížený, což má za následek, že některé části hodnoceného souboru jsou ve výsledném vzorku zastoupené (a tím i reprezentované) méně a jiné více.

Vzorkování dle kvót je v podstatě kombinací předešlých dvou způsobů vzorkování. Bohužel ve výsledku trpí nevýhodami obou z nich. Postup začíná určením celkového počtu pozorování zahrnutých do výsledného vzorku a identifikací jednotlivých *skupin* (angl. group) pozorování do něj zahrnutých. Tyto skupiny mohou zahrnovat buďto stejný nebo rozdílný počet pozorování, který definuje tzv. *kvótu* (angl. quota) pozorování za každou skupinu. Stejný počet pozorování ve skupinách je obvykle výsledkem podělení celkového počtu pozorování počtem skupin a vychází z předpokladu, že jednotlivé skupiny jsou v původním souboru zastoupeny rovnoměrně a dále z požadavku na jejich rovnoměrné zastoupení i ve výsledném

vzorku. Naproti tomu rozdílné počty pozorování ve skupinách jsou často výsledkem subjektivního posouzení výzkumníkem, který odhadne podíl pozorování z jednotlivých skupin v původním souboru. Třetí možností je, že záměrně chceme, aby některé skupiny byly ve vzorku *nadhodnoceny* (angl. overrepresented).

V každém případě jakmile máme stanoveny kvóty pro všechny skupiny, začneme je postupně naplňovat odpovídajícími pozorováními z dostupných prvků souboru.

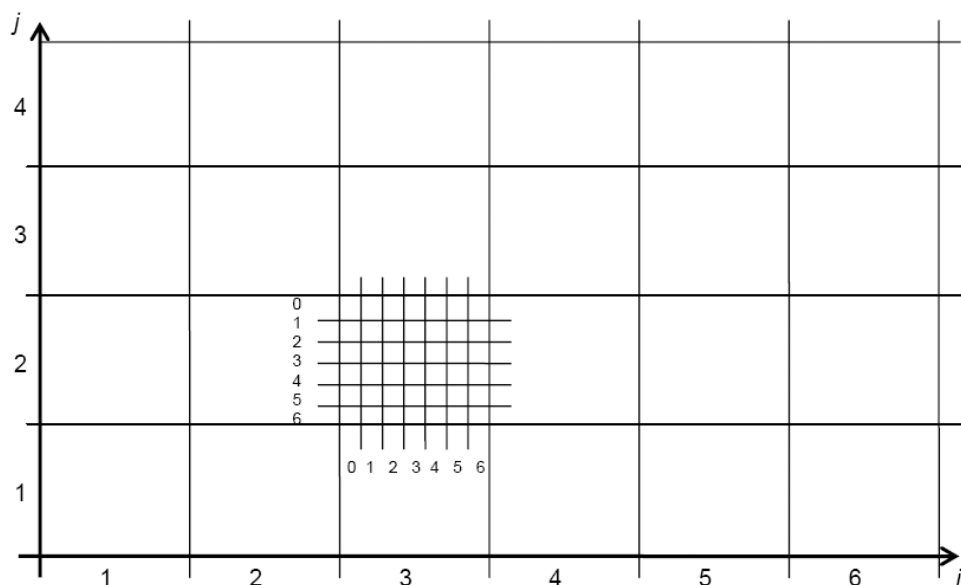
Tento způsob vzorkování je možné použít všude tam, kde bychom mohli použít i předcházející dva způsoby.

4.3.4 Pravděpodobnostní způsoby vzorkování

Základní charakteristikou těchto způsobů vzorkování je, že (na rozdíl od předešlých) každý prvek souboru má *stejnou* šanci na zařazení do vzorku. To je jejich velkou výhodou. Znamená to, že zde neexistuje riziko, že jakýkoliv prvek souboru bude vyloučen z výběru jen proto, že nebyl dostupný nebo proto, že ho někdo čistě subjektivně označil za atypický.

Nejpoužívanějším způsobem pravděpodobnostního vzorkování je *jednoduché náhodné vzorkování* (angl. simple probabilistic sampling). Tento způsob vzorkování je vhodný především v případech, kdy známe velikost původního souboru. Při vzorkování je nezbytné každému prvku původního souboru přiřadit pořadové číslo. Příkladem může být registr ekonomických subjektů nebo registr obyvatel, kde má každý subjekt přiřazeno své pořadové číslo. Tradiční metoda výběru pozorování patřících do jednoduchého náhodného vzorku je založena na generování náhodných čísel označujících pozorování, která mají být zahrnuta do výsledného vzorku. Pro generování náhodných čísel lze použít buďto různé tabulky nebo programem realizované generátory.

S pomocí geoinformačních technologií často studujeme fenomény, které jsou rozloženy v prostoru. Příkladem mohou být půdní typy, obsah těžkých kovů v půdách apod. V takovém případě bohužel existuje prakticky neomezený počet bodů, v nichž lze odebrat vzorek. Za této situace je možné použít tzv. *areálové vzorkování* (angl. areal sampling) [32]. Postupujeme při něm například tak, že na mapě znázorňující studovanou oblast vyznačíme pravidelnou čtvercovou síť, v níž by měly být odebírané vzorky rozmístěny (např. maximálně jeden na jednu buňku sítě). Osy označíme např. i , j a na každé ose vyznačíme pořadová čísla buněk čtvercové sítě (obr. IV.4.16). Výběr buněk, z nichž má být odebrán vzorek, provádíme tak, že generujeme dvojice náhodných čísel označujících souřadnice vybraných buněk. Pokud jsou buňky příliš velké a my chceme zvýšit přesnost (resp. prostorové rozlišení) lokalizace vzorků, můžeme použít *vnořené areálové vzorkování* (angl. nested area sampling resp. multistage area sampling). Postupujeme tak, že každou buňku dále podrozdělíme sítí např. 7 x 7 buněk a detailnější polohu vzorku v základní buňce určíme vygenerováním dvojice jednociferných náhodných čísel, určujících souřad-



Obr. IV.4.16 Ukázka areálového a vnořeného areálového vzorkování.

nice vzorku v buňce v rámci detailní sítě. Je zřejmé, že takovýto způsob určování souřadnic vzorků nemůže vygenerovat nekonečný počet bodů pro odběr vzorků, ale tato skutečnost obvykle nemá žádné praktické dopady na reprezentativnost výsledného vzorku.

Jednoduché náhodné vzorkování je základem celé řady dalších pravděpodobnostních technik. *Stratifikované náhodné vzorkování* (angl. stratified random sampling) je jedním z nejběžnějších postupů. Zahrnuje seskupování prvků souboru do *tříd* nebo *vrstev*. Z každé vrstvy jsou pak vybírány samostatně jednoduché náhodné vzorky, vybraná pozorování jsou seskupována dohromady a vytvářejí tak *jednoduchý stratifikovaný náhodný vzorek*. Vrstvy musí být v rámci souboru vzájemně disjunktní, ale musí soubor pokrývat beze zbytku. Každý prvek souboru musí být jednoznačně zařaditelný do právě jedné vrstvy. Zařazování se přitom děje na základě hodnot sledovaných atributů a proměnných.

Distribuce prvků do vrstev může být buďto proporcionální nebo disproporcionální. V prvním případě vybíráme stejný počet pozorování z každé vrstvy bez ohledu na rozložení prvků v souboru. Jinou možností je vybírat pozorování ve stejných proporcích, v jakých jsou jednotlivé vrstvy reprezentovány v celém souboru. Problémem při rozhodování mezi proporcionálním a disproporcionálním vzorkování je, že nemáme dostatečné informace o vlastnostech souboru. Pokud však máme těchto informací dostatek, pak disproporcionální vzorkování dává podstatně reprezentativnější výsledný vzorek. Příkladem mohou být různé průzkumy veřejného mínění, průzkumy volebních preferencí apod.

Jinou variantou jednoduchého náhodného vzorkování je *klastrové vzorkování* (angl. cluster sampling). Tento způsob vzorkování je založen na rozdělení souboru na vzájemně disjunktní třídy zcela pokrývající tento soubor a pak výběr pozorování do výsledného vzorku z náhodné podmnožiny těchto tříd. Klastrový vzorek může být vybrán náhodně z vybraných klastrů nebo může zahrnovat všechny členy těchto klastrů. V obou případech má tento postup jednu nevýhodu: nikdo nemůže vědět, zda je výsledný vzorek dostatečně reprezentativní ve vztahu k celému souboru. Na druhé straně hlavní výhodou je, že při sběru dat je možné ušetřit hodně času i prostředků. Například pokud bude vzorek klastrovaný dle geografické polohy, výrazně se tím sníží náklady na přesuny mezi oblastmi, v nichž se měření provádí. Na druhou stranu pokud je kvalita výsledných dat horší, jsou dosažené úspory snadno zpochybnitelné.

Klastrové vzorkování můžeme dále upravit tak, že jednotlivé třídy rozdělíme na podtřídy. Tento postup lze opakovat tak dlouho, až dosáhneme jednotlivé prvky souboru. Tento způsob je někdy nazýván *vnořené vzorkování* (angl. nested sampling, multi-stage cluster sampling). V každém stádiu podrozdělování tříd je proveden náhodný výběr. Tento postup zpravidla neposkytuje mnohem reprezentativnější vzorek, protože ukončení podrozdělování tříd i definice tříd jsou silně subjektivní.

Příkladem tohoto vzorkování může být výběr krajů ČR, dále náhodné sady okresů v každém z nich, dále náhodné sady obcí ve vybraných okresech atd. až případně na úroveň např. parcel. V této situaci je reprezentativnost vzorku silně ovlivněna počtem krajů, okresů, obcí atd. (a jejich charakteristikami (rozloha, rozmístění a počet obyvatel apod.) a také konečnou úrovní podrozdělování.

Systematické vzorkování (angl. systematic sampling) je založeno na výběru pozorování dle pravidelného vzoru (angl. pattern). Příkladem může být výběr domů dle čísel popisných končících na 0 nebo 5 nebo odběr vzorků půdy v síti 1×1 km. Tato technika vzorkování je užitečná v situacích, kdy jednoduché náhodné vzorkování je zvláště obtížné nebo nákladné. Sběr dat z pravidelně rozmístěných nebo časovaných pozorování je často snadnější a poskytuje jednotnější pokrytí než náhodně rozmístěný vzorek pozorování.

Jestliže jsou pozorování jako taková náhodně rozložena, pak je systematický vzorek pravděpodobně stejně spolehlivý jako jednoduchý náhodný vzorek. Avšak pokud výskyt pozorování vykazuje jakýkoliv prostorový nebo časový vzor, který bude koincidovat se zvoleným vzorkovacím intervalem, může být výsledný vzorek touto skutečností ovlivněný a ve svém výsledku *nerepresentativní* (viz Shannonův vzorkovací teorém).

Kapitola 5

Sekundární geodata

Sekundární geodata jsou taková, která byla získána až následně (nejčastěji na základě různých analýz) z geodat původně pořízených pro zcela jiné účely.

Příklad: Data z celostátního sčítání lidí, domů a bytů byla původně pořízena pro statistické zhodnocení stavu populace a obydlí v ČR, ale následně z nich lze analýzami (zvláště prostorovými) získat celou řadu sekundárních geodat, následně využitelných v celé řadě aplikací, například v oblasti geomarketingu, socioekonomických analýz apod.

Celá řada analýz, závislých na získání nových geodat, by měla začít právě studiem sekundárních geodat. Je k tomu celá řada důvodů [32]:

- náklady spojené s pořízením sekundárních geodat jsou mnohem nižší než náklady na pořízení primárních geodat,
- rovněž časová náročnost získání sekundárních geodat je výrazně nižší,
- je možné, že lze získat nebo odvodit sekundární geodata, která plně vyhovují zamýšlené aplikaci a není proto nutné provádět nový sběr primárních geodat,
- v některých případech mohou mít sekundární geodata mnohem vyšší kvalitu než by měla účelově sbíraná primární geodata; je tomu tak například tehdy, když existující primární geodata, z nichž můžeme požadovaná sekundární geodata získat, pořídila některá z vládních agentur (například Český statistický úřad, Správa sociálního zabezpečení, ministerstva apod.) v rámci svých rozsáhlých šetření, která zpravidla pokrývají celé území státu a jsou často prováděna specializovanými firmami,
- nepostradatelnou roli mohou hrát sekundární geodata na počátku formulování zadání připravované analýzy, kdy je možné se se studovaným problémem předem dobře seznámit, definovat úplný soubor, jehož parametry chceme určit, strukturovat si ho a navrhnout vhodné schéma vzorkování tak, aby byl

získaný vzorek reprezentativní a z něj získané statistiky dobře popisovaly parametry úplného souboru.

5.1 Problémy spojené se zdroji sekundárních geodat

Použití sekundárních geodat může mít vedle nesporných výhod i celou řadu nevýhod. Vedle kvality sekundárních geodat je nezbytné vždy pečlivě posoudit i kvalitu jejich zdroje. Problémy mohou spočívat v těchto oblastech [32]:

- *Soulad definice předmětu* popisovaného geodaty na straně toho, kdo sekundární geodata odvodil s definicí na straně toho, kdo je má v úmyslu použít; navíc tyto definice se mohou v čase měnit.

Příklad 1: Máme provést analýzy viditelnosti na určité části území ČR. Sběr primárních geodat nepřichází vzhledem k finanční náročnosti v úvahu, proto nezbyvá, než použít sekundární geodata. Například Armáda ČR poskytovala svého času digitální model reliéfu terénu DMR-1, který bylo možné za poměrně příznivých cenových podmínek pořídit. Nicméně když se podíváme do specifikace těchto geodat, zjistíme, že každý bod v digitálním modelu reliéfu reprezentuje výšku nejvyššího bodu v každé buňce. Znamená to tedy, že analýzy viditelnosti provedené nad těmito daty by byly výrazně zkreslené a v konečném důsledku nepoužitelné.

Příklad 2: Po vstupu ČR do Evropské unie se výrazně změnila definice nezaměstnanosti. V důsledku toho došlo k jednorázovému „poklesu“ nezaměstnanosti. Pokud bychom při porovnávání meziročních statistik nevzali tuto změnu v úvahu, mohli bychom velice snadno dojít k nesprávným závěrům.

- *Chyby měření*: sekundární geodata velice často neobsahují žádné údaje o chybách (resp. přesnosti) měření, o metodách použitých k jejich odvození a někdy ani o primárních geodatech, z nichž jsou odvozeny (tedy neobsahují žádná metadata) a nelze je obvykle získat ani na přímý dotaz směřovaný k poskytovateli těchto geodat.
- *Vychýlení sekundárních geodat určitým směrem*: sekundární geodata mohou být výrazně ovlivněna záměrem, s jakým je pořizoval původní pořizovatel: například mohl z nějakého důvodu určité parametry nadhodnotit (například z důvodu prokázání úspěšnosti určitých opatření s cílem získat vyšší odměny; jiným příkladem je výše zmíněný soubor DMR-1).

- *Spolehlivost geodat*: ta je dána jednak spolehlivostí pořizovatele a jednak se mění v čase, zpravidla s rostoucím časovým odstupem od doby pořízení klesá vlivem zastarávání, ale i vlivem změn definic například jednotek územně správního členění, pravidel hodnocení některých fenoménů apod.
- *Časové měřítko*: některá statistická šetření, například celostátní censy, se provádějí jen s velkou časovou periodou, např. 10 let a popisují proto změny na úrovni desítek let. Není možné je použít pro studium jevů s periodou třeba roků. Obdobně je tomu například i u mapových děl, která se aktualizují například jednou za 5–7 let. V době použití proto mohou být tato data výrazně zastaralá, neaktuální. Na podkladě těchto dat ani není možné analyzovat vývoj krajiny s periodou menší než desetiletí.

Některým z těchto problémů je možné předejít pečlivým studiem metadat dodaných poskytovatelem, jiné je možné eliminovat (nebo alespoň ohodnotit) srovnáním sekundárních geodat z různých zdrojů. Pokud zjistíme nesrovnalosti, je nezbytné ověřit, která datová sada je správná a chybnou vyloučit z dalšího zpracování.

5.2 Zdroje sekundárních geodat

Zdroje sekundárních geodat lze v principu rozdělit do dvou skupin:

- vnitřní,
- vnější.

Vnitřní zdroje sekundárních geodat souvisí s pořizováním geodat v rámci běžných činností organizací. Může se stát, že některá z těchto geodat jsou použitelná v rámci jiných aktivit organizace.

Příklad: Univerzita pořizuje databázi studentů, hlásících se ke studiu, k zajištění svých provozních úloh. Nicméně tato databáze může být zajímavým zdrojem informací pro potřeby analýzy zájmu studentů o studium jednotlivých oborů, a to jednak s ohledem na typy škol, z nichž přicházejí, s ohledem na geografickou polohu míst, odkud přicházejí apod. Tato databáze tedy představuje typickou ukázkou vnitřního zdroje organizace.

Vnější zdroje sekundárních geodat představují různé vládní organizace (například Český statistický úřad, Český úřad zeměměřický a katastrální, jednotlivá ministerstva, nezávislé agentury, profesné komory, občanská sdružení apod.).

Podrobněji se bude problematikou zdrojů geodat zabývat samostatná publikace.

Kapitola 6

Dokumentování kvality geodat

Pro posouzení možného použití geodat je důležité zdokumentování jejich kvality. Údaje o kvalitě geodat se zpravidla označují souhrnně jako *metadata* (angl. metadata). Existence metadat nabývá zvláštního významu při předávání geodat mezi různými týmy a organizacemi a při jejich hromadném šíření např. prostřednictvím Internetu.

Metadata se z praktických důvodů vztahují nikoli k jednotlivým geodatům, nýbrž k datovým sadám (viz odst. 10.6).

V [125] je doporučena struktura metadat, vycházející především z norem ISO. Parametry popisující kvalitu geodat jsou rozděleny na *kvalitativní* a *kvantitativní*.

6.1 Kvalitativní parametry kvality geodat

Ke kvalitativním parametrům kvality geodat patří [125]:

- *Účel* (angl. purpose) – popisuje důvody vzniku datové sady a její zamýšlené užití.
- *Užití* (angl. usage) – popisuje aplikace, pro které byla datová sada použita.
- *Rodokmen* (angl. lineage) – popisuje historii datové sady a podrobně líčí celý životní cyklus datové sady, sběrem dat počínaje, přes kompilaci datové sady až po její zformování do stávajícího stavu.
- *Rozlišení* (angl. resolution) – definuje nejmenší objekt ve smyslu prostorovém, časovém i tematickém, který může být v datové sadě rozlišen.
- *Homogenita* (angl. homogeneity) – textový a kvalitativní popis očekávané nebo ověřené jednotnosti kvalitativních parametrů datové sady. V podstatě popisuje kvalitu metadat.

- *Relevantnost* (angl. relevance) – informuje potenciálního uživatele o tom, kdy byla datová sada vytvořena. Tento parametr je významný především u datových sad, které popisují dynamicky se měnící objekty a jevy reálného světa.
- *Dostupnost* (angl. availability) – informuje o autorských právech a autorské ochraně datové sady.
- *Použitelnost* (angl. usability) – popisuje, k čemu je možné datovou sadu použít. Závisí na uživateli, kontextu apod.
- *Zabezpečení* (angl. security) – nakolik jsou geodata chráněna proti neautorizovaným změnám. Dobře zabezpečená data jsou pro koncového uživatele mnohem spolehlivější.

6.2 Kvantitativní parametry kvality geodat

Ke kvantitativním parametrům kvality geodat patří [125]:

- *Polohová přesnost* (angl. positional accuracy) – vyjadřuje očekávanou maximální odchylku polohy geoprvcu, indikované v databázi, od „správné“ polohy (zjištěné zpravidla výrazně přesnější metodou měření). Běžně se dělí na:
 - *polohovou přesnost v horizontálním směru* (angl. horizontal accuracy) – tj. zpravidla přesnost určení souřadnic x a y ,
 - *polohovou přesnost ve vertikálním směru* (angl. vertical accuracy) – tj. zpravidla přesnost určení nadmořské výšky h .
- *Tematická přesnost* (angl. thematic accuracy) – vyjadřuje, jak dobře jsou popsány tematické vlastnosti geoprvců.
- *Časová přesnost* (angl. temporal accuracy) – vyjadřuje, s jakou přesností jsou zjištěny časové údaje, vztahující se ke geoprvcu (např. čas vzniku, změny, zániku geoprvcu).
- *Sémantická přesnost* (angl. semantic accuracy) – vyjadřuje, jak přesně popisuje zvolený datový model objekty reálného světa. Netýká se geometrické přesnosti, nýbrž správnosti postihu významu objektů reálného světa daty v databázi.
- *Úplnost* (angl. completeness) – porovnává datovou sadu s její specifikací. Hodnotí se na dvou úrovních:
 - *Datová úplnost* (angl. data completeness) – vyjadřuje se např. procentem chybějících dat v datové sadě oproti specifikaci.
 - *Úplnost modelu* (angl. model completeness) – popisuje úroveň shody mezi specifikací datové sady a reálným světem.

- *Logická bezespornost* (angl. logical consistency) – vyjadřuje stupeň shody dat v datové sadě s vnitřní strukturou danou v její specifikaci.
- *Správnost* (angl. correctness) – reprezentace reality v datové sadě je správná, pokud operace prováděné nad ní dávají stejné výsledky jako operace prováděné v reálném světě.

Podrobněji je možné se s problematikou kvality geodat, metadat a metainformačních systémů seznámit v [125], [227], [228], [102] a dalších.

Kapitola 7

Chyby v geodatech

Chyby vstupují do geodat po celou dobu zpracovávání, pořizováním počínaje, přes jejich různé transformace až po provádění analýz a interpretaci výsledků [98]. Ani ty nejdokonaleji zvládnuté procesy zpracování geodat nemohou vést ke stoprocentní bezchybnosti geodat. Navíc jakmile budeme klást příliš velký důraz na dosažení absolutní bezchybnosti, nutně to povede k výraznému nárůstu nákladů na jejich zpracování a v konečném důsledku to může vést až k celkovému odmítnutí projektu pro neakceptovatelné náklady. (Existuje určitý optimální poměr mezi náklady a dosaženou úrovní chyb.) Naším cílem proto není chyby zcela vyloučit, nýbrž je dobře poznat, zdokumentovat a zohledňovat po celou dobu zpracovávání geodat, včetně pochopení zákonitostí jejich *šíření* (angl. error propagation). A hlavně musíme správným způsobem ohodnotit jejich vliv na kvalitu výsledných informací z geodat získaných.

Chyby snižují spolehlivost geodat. Měly by být odstraňovány co nejdříve u zdroje dat, aby co nejméně ovlivnily výsledky jejich zpracování.

Zpravidla nejsnáze jsou detekovatelné chyby v grafické složce popisu geoprvků. Jednak proto, že je možné na ně vcelku dobře aplikovat postupy vizuální kontroly a jednak proto, že je možné vypracovat i celou řadu automatických postupů na detekci chyb (jako jsou přetahy a nedotahy, neuzavřené polygony, testování přesnosti souřadnic porovnáním se sadou kontrolních bodů apod.).

Poněkud horší je situace v případě tematické složky popisu geoprvků. Zde se na vizuální kontrolu můžeme spolehnout snad jen u velmi malých datových sad a postupy automatické kontroly lze zpracovat spíše jen ve výjimečných případech.

Nejhorší situace s detekcí chyb je v případě časové složky popisu geoprvků.

V tab. IV.7.1 je uveden přehled možných zdrojů chyb, které se vyskytují v jednotlivých fázích zpracovávání dat.

Podrobněji bude problematika vzniku a šíření chyb v geodatech probírána v

Fáze zpracování geodat	Zdroje chyb
sběr geodat	chyby při sběru geodat v terénu chyby v existujících mapách neaktuálnost podkladů neúplnost podkladů
vstup geodat	nepřesnosti způsobené operátorem a vstupním zařízením neostré hranice geoprvků (např. okraj lesa není ve skutečnosti ostrou hranicí a proto v tomto případě používáme smluvní čáru se zjednodušeným průběhem a se zanedbáním změn v čase chyby při vkládání tematické složky
ukládání geodat	nedostatečné číselné rozlišení nedostatečné prostorové rozlišení
analýza geodat	nevhodné intervaly tříd chyby hranic šíření chyb při překryvu vrstev vznik třískových polygonů chybné výpočty chyby z interpolace a zvláště extrapolace
výstup geodat	nevhodné měřítko chyby způsobené nepřesností výstupního zařízení chyby způsobené nepřesností výstupního média
použití výsledků	neporozumění výsledným informacím špatné použití výsledných informací

Tab. IV.7.1 Možné zdroje chyb v geodatech a výsledných geoinformacích [98].

jiných publikacích.

Část V

Geoinformační technologie

Kapitola 1

Úvod

Geoinformačními označujeme takové informační technologie, které umožňují pracovat s geodaty v nejširším slova smyslu, tj. jejich získáváním počínaje a vizualizací konče, samozřejmě při plném respektování jejich prostorových aspektů. V posledních desetiletích byla vyvinuta celá řada geoinformačních technologií:

- geografické informační systémy,
- dálkový průzkum Země,
- lidar,
- digitální fotogrammetrie,
- družicové polohové systémy,
- digitální modely reliéfu,
- mobilní geoinformační technologie,
- geoweb,
- a další (videometrie, prostorové multiagentové systémy, prostorové buněčné automaty, ...).

V následujících kapitolách si některé z těchto technologií stručně popíšeme. Podrobnější popis bude možné nalézt v samostatných publikacích, věnovaných jednotlivým oblastem.

Kapitola 2

Geografické informační systémy

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

Výhodou GIS ve srovnání s analogovými mapami je, že důsledně oddělují obě funkce map - tedy ukládání geodat a jejich prezentaci a přidávají ještě další možnosti, jako jsou například prostorové analýzy geodat. Stejná geodata pak mohou být snadno aktualizována, analyzována a prezentována různými způsoby a lze tak uspokojit odlišné požadavky uživatelů při mnohem menší potřebě kompromisů. GIS proto dosáhly od svého vzniku značného rozšíření. Některé novější prameny uvádějí, že zatímco v roce 2004 měl objem trhu v této oblasti doáhnout v celosvětovém měřítku 5 mld. USD, již pro rok následující se očekával nárůst na 25-30 mld. USD [140].

Geografické informační systémy se u nás poprvé masově objevily na počátku 90. let, kdy bylo rozhodnuto vybavit referáty životního prostředí všech okresních a jim naroveň postavených úřadů geografickými informačními systémy (konkrétně programovým vybavením PC ARC/INFO). Ať už tento počín hodnotíme jakkoliv (viz [47] a [31]), faktem zůstává, že od té doby se tato geoinformační technologie u nás šíří stále víc a dnes si už na nejednom úřadu veřejné správy (a nejen tam) neumí bez geografických informačních systémů svou práci představit.

Obecné povědomí o geografických informačních systémech a možnostech jejich využití již existuje, nicméně velké nedostatky přezívají v oblasti tvorby aplikací GIS. I přes značné náklady na vybudování geoinformačního systému GIS stále ještě není vnímán jako plnohodnotná investice, kterou je nezbytné plánovat, zdůvodňovat, řídit a udržovat.

2.1 Definice pojmu GIS

Co se týká definování pojmu geografický informační systém, lze uvést definici, kterou publikovala Česká asociace pro geoinformace [209]:

(Geografický informační systém je) *funkční celek, kterým se s využitím geoinformačních technologií získávají, uchovávají, zpracovávají, a zpřístupňují geodata a geoinformace, nebo který automatizovaně podporuje výkon určitých činností.*

Podrobnější výklad pojmu GIS na úrovni konkrétní aplikace byl uveden v [208]:

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

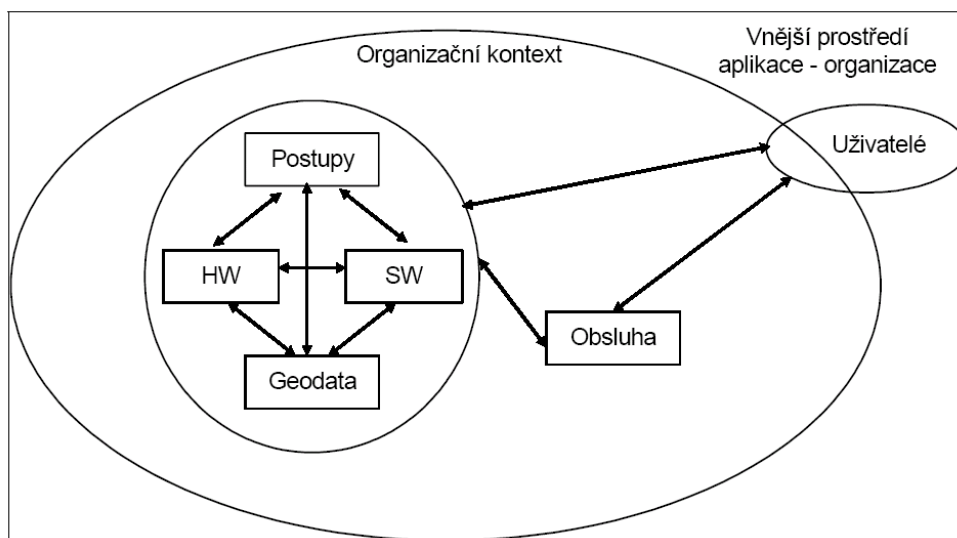
Takto pojatý výklad pojmu GIS má několik výhod. K těm nejpodstatnějším patří, že již sám o sobě zdůrazňuje komplexnost problematiky geografických informačních systémů.

2.2 Další názvy

Na pojem geografický informační systém je možné se dívat jako na obecné označení všech počítačových systémů pro zpracování geodat. Vedle tohoto pojmu se však používají (nebo spíš ještě poměrně nedávno používaly) i další, označující jen úzce zaměřený okruh aplikací. Jedná se například o *informační systémy o území* (angl. Land Information System, zkr. LIS), *městské informační systémy* (angl. Urban Information System), resp. *informační systémy o přírodních zdrojích* (angl. Natural Resources Information System). Systémy používané správci sítí se běžně označují jako *AM/FM systémy* (z angl. Automated Mapping and Facility Management System). Dnes se však používá již téměř výhradně pojem GIS.

2.3 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 souřadnicovými 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



Obr. V.2.1 Struktura aplikace GIS [207].

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 – topologie. U GIS 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 GIS 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 reálný svět utváří, formuje, tak GIS naopak reálný svět zobrazuje. Rovněž objem zpracovávaných dat je jiný, GIS zpracovávají řádově větší objemy dat než CAD.

2.4 Struktura aplikace GIS

Jak vyplývá z dříve uvedené definice, lze v rámci aplikace geografického informačního systému vyčlenit sedm základních složek (obr. V.2.1) [207]:

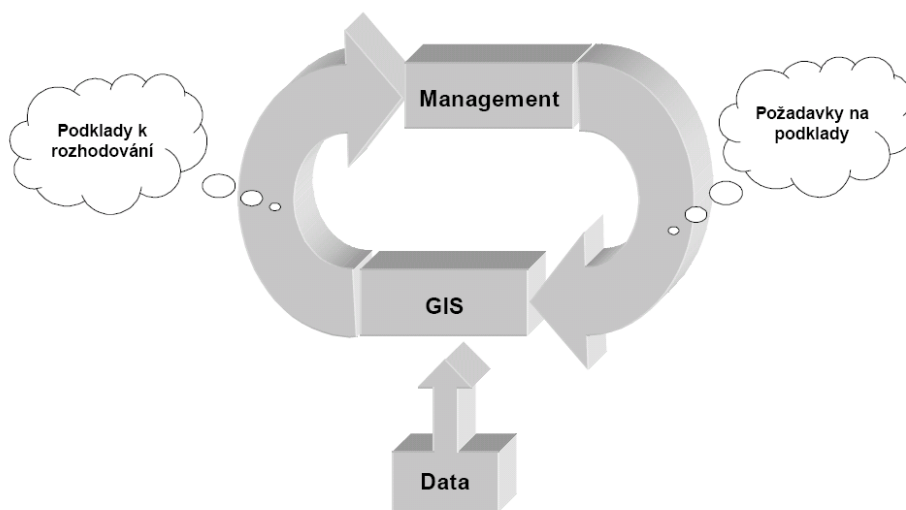
- technické prostředky,
- programové prostředky,
- geodata,
- postupy zpracování geodat, zaměřené na získání potřebných geoinformací,

- obsluha,
- uživatelé,
- organizační kontext.

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 GIS a jejím vnějším prostředím, tedy organizací, a tím definuje, jaké požadavky bude mít organizace na GIS a na druhé straně také definuje, jaké podmínky musí organizace GIS 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 podceňena, natož opomenuta, tak tato složka má výsadní postavení. Bez ujasnění si organizačního kontextu není možno zodpovědně přistoupit ke specifikaci zbývajících šesti složek.



Obr. V.2.2 Organizační kontext - cílový stav [208].

2.4.1 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 až první desítku roků – viz dále), je nutné organizační kontext GIS vnímat ve dvou úrovních [8]:

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 plánu implementace GIS.
2. *Okamžitý stav* - uvádění GIS do požadovaného kontextu jeho postupným začleňováním do řešení úloh a problémů dané organizace. Tato rovina je úzce svázána s jednotlivými etapami realizace plánu implementace GIS.

Ad 1, Tento cílový stav je schematicky vyjádřen na obr. V.2.2. Veškerá geodata potřebná pro řízení vstupují do organizace pouze prostřednictvím GIS. S jeho pomocí jsou pak připravovány nezbytné podklady pro řídicí pracovníky. Ti na jejich základě rozhodují, případně kladou další požadavky a dotazy na GIS.

Toto schéma je velice zjednodušené, má za cíl jen naznačit místo GIS 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 GIS by se měly zabývat různé konzultační a poradenské firmy. Bohužel v této oblasti je u nás situace neutěšená. Vzhledem ke stále ještě relativně krátkému využívání technologie geografických informačních systémů u nás doposud nemohla vzniknout skupina odborníků, majících zkušenosti s různými aplikacemi GIS, budovanými na různých technických a programových platformách pro potřeby různých oborů. Druhým faktorem, který je prakticky stejně významný, je skutečnost, že u nás stále ještě absenteje poptávka po takovýchto službách. I to je důkazem, že budování nákladných aplikací geografických informačních systémů u nás pořád ještě není vnímáno jako plnohodnotná investiční akce, vyžadující kvalitní odborné zabezpečení.

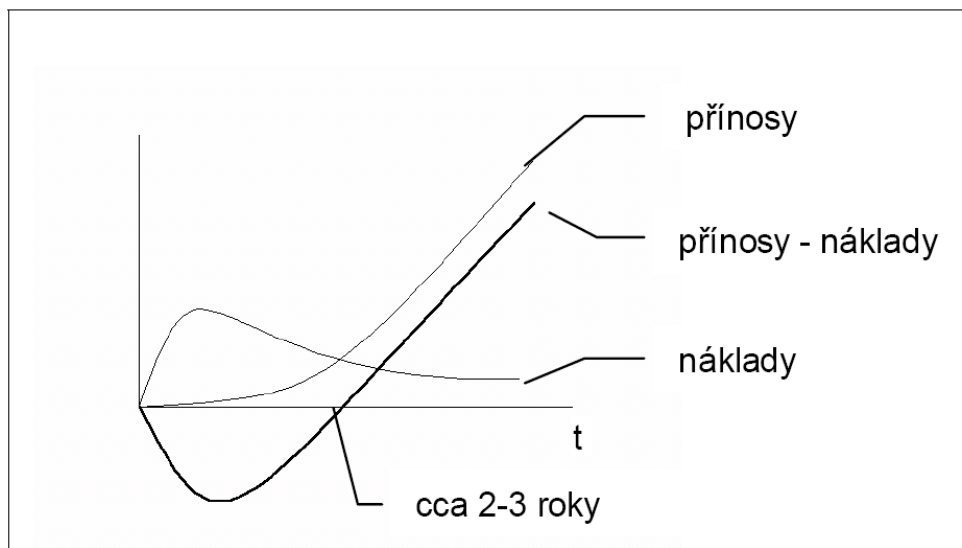
2.5 Obecné zákonitosti zavádění GIS

Než se pustíme do problematiky využívání GIS, věnujme se krátce některým obecným zákonitostem budování aplikací GIS. V úvahu přitom bereme rozsáhlé aplikace na úrovni obce, kraje, velkého správce rozvodných sítí nebo dopravní infrastruktury apod. Těmito zákonitostmi jsou [208]:

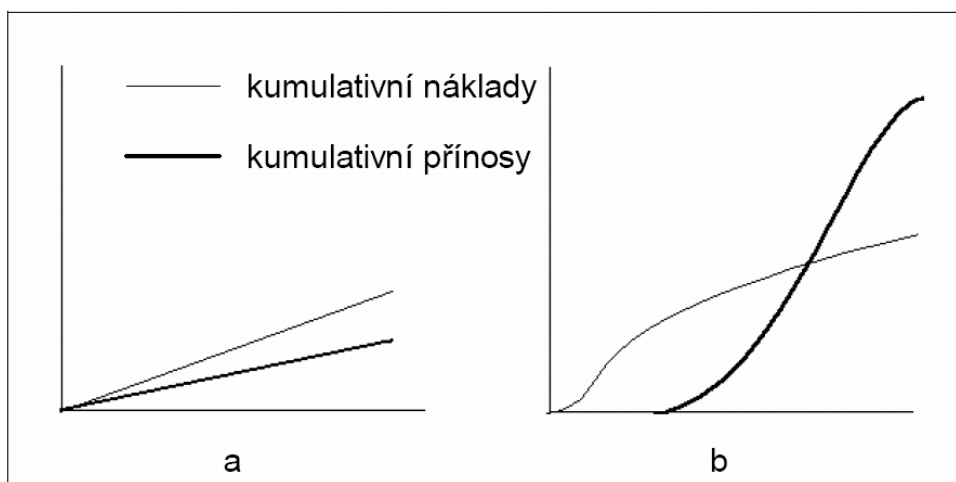
- *Doba zavádění (implementace) aplikací GIS* - běžně se uvádí, že celý proces implementace GIS, přípravou plánu počínaje a uvedením do plného provozu konče, trvá *deset až patnáct i více let* [3], [12], [23].

Příklad: Magistrátní město Ostrava začalo budovat GIS města Ostravy (GISMO) v roce 1993 a stále ještě není s jeho budováním hotovo. Celkové investice do jeho budování se odhadují na více než 130 mil. Kč (do roku 2005).

- *Doba návratnosti investic* - v literatuře se uvádí doba návratnosti investic opět *deset a více let* [3], [23].
- *Životnost dat vs. životnost technického a programového vybavení* - životnost dat se měří řádově v desítkách let [63] (běžně se uvádí životnost 50 až 70 i více let; minimální doba životnosti dat je v podstatě dána životností objektů a jevů reálného světa, 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 GIS 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 60 až 80 % všech investic do implementace GIS.
- *Vývoj okamžitých nákladů a přínosů* - na obr. V.2.3 je schematicky znázorněn vývoj okamžitých nákladů a přínosů v průběhu implementace GIS. První cca 3 roky převládají investice do GIS nad přínosy, teprve po této době začínají převládat okamžité přínosy.
- *Nezbytnost „agresivního“ investování* - na obr. V.2.4 je uvedeno srovnání „opatrného“ a „agresivního“ investování do GIS. V případě opatrného investování může snadno dojít k situaci, že nikdy nebude dosaženo návratnosti investic [3], [11].

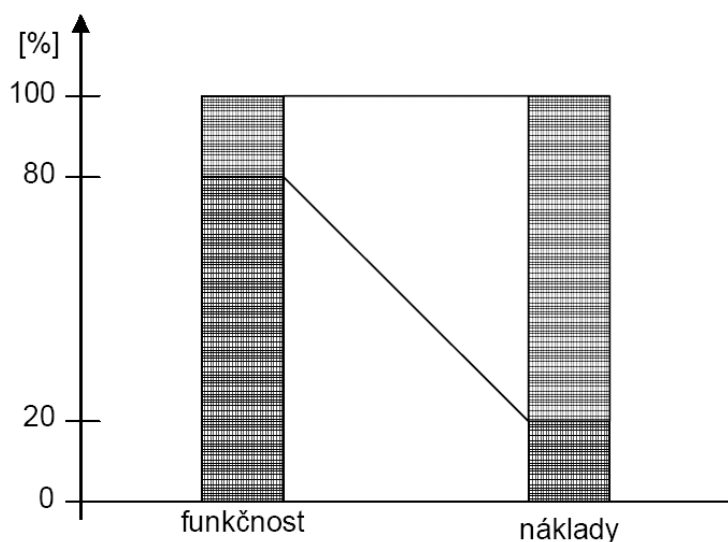


Obr. V.2.3 Vývoj nákladů a přínosů v průběhu implementace GIS [208].



Obr. V.2.4 Srovnání důsledku „opatrného“ (a) a „agresivního“ (b) investování do GIS [3], [11].

- *Pravidlo 80 - 20* - vezmeme-li v úvahu 100 % nákladů na implementaci aplikace GIS, řešící 100 % úloh prováděných v dané organizaci, pak platí, že 80 % prováděných úloh lze řešit GIS při vynaložení pouze 20 % těchto nákladů (obr. V.2.5). Pokud budeme chtít dosáhnout toho, aby implementovaný GIS pokrýval i zbývajících 20 % úloh, bude nás to stát „zbývajících“ 80 % nákladů.



Obr. V.2.5 Pravidlo „80 - 20“ [208].

- *Vývoj úloh v průběhu životního cyklu aplikace GIS* – nejprve jsou řešeny úlohy typu inventarizace, což souvisí především s prvotním pořizováním dat do databází GIS, 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 GIS. 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 okamžitých 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.

2.6 Jaká je budoucnost GIS

Geografický informační systém po dlouhou dobu byl (a bohužel někde stále ještě je) často vnímán jako samostatná, nezávislá aplikace. Nicméně dnes již je jasné,

že aplikace GIS je nezbytné pojímat v širším kontextu globálního informačního systému organizace, integrujícího různé účelové informační systémy, jako například evidence obyvatel, evidence psů, evidence majetku města apod. K integraci těchto různých informačních systémů dnes dochází převážně na úrovni společných databází, jejichž prostřednictvím jsou data předávána mezi různými informačními systémy.

V odborné veřejnosti se však dnes diskutuje i o obecnějších trendech prorůstání GIS přímo do tradičních informačních systémů, kdy GIS již nestojí jako samostatný specializovaný informační systém, ale stává se součástí prakticky jakéhokoli informačního systému, budovaného na bázi moderních informačních technologií. Nástroje pro práci s geodaty se dnes objevují v databázových systémech předních firem v tomto oboru. Průkopníkem v tomto směru je firma Oracle, ale ani další nezůstávají pozadu.

V důsledku tohoto vývoje lze očekávat, že práce s geodaty dostane v blízké budoucnosti nový rozměr a zaznamená nárůst intenzity využívání.

2.7 Oblasti aplikací GIS

Geografické informační systémy nacházejí postupně uplatnění v nejrůznějších oblastech lidské činnosti. Jejich vyjmenování by v současné době již bylo mnohem komplikovanější než vyjmenování těch, v nichž se GIS (prozatím) nevyužívají.

V následujících odstavcích velice stručně zmíníme oblasti, v nichž se můžeme s GIS setkat nejčastěji.

Maloobchod. V této oblasti GIS slouží například pro výběr nejvhodnějších míst pro supermarkety. Do GIS jsou uložena demografická a socioekonomická data o potenciálních zákaznících, údaje o potenciálních konkurenčních obchodech a mapa jízdnicích časů, z které lze stanovit velikost spádové oblasti. Na základě těchto údajů pak zadavatel provede výběr nejvhodnějších lokalit. GIS jsou také využívány pro správu supermarketů (sledování a řízení rozmístění zařízení a zboží, sledování pohybu zákazníků po supermarketu), optimalizaci rozmístění skladovacích kapacit a pro optimalizaci zásobovací sítě supermarketů apod.

Inženýrské sítě. Správci inženýrských sítí patří k největším uživatelům geografických informačních systémů. GIS 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 počátku říkalo AM/FM.

Životní prostředí. Jedná se o historicky první oblast užití geografických informačních systémů. GIS 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.

Veřejná správa. Veřejná správa je další velkou oblastí aplikací GIS. Všechny tradiční oblasti veřejné správy mohou tyto systémy používat pro řešení svých problémů. Běžné je využití GIS 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.

Péče o zdraví obyvatelstva. Pomocí GIS 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.

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 [118] by měly investice do této třídy aplikací dosáhnout v příštích dvaceti letech až 65 miliard EUR.

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 údaje o kriminalitě, nehodovosti, geologii, vývoji počasí, hodnotách nemovitostí apod. GIS pak umožňuje provádět složité a poměrně detailní analýzy i více faktorů současně.

Telekomunikace. Provozovatelé telekomunikačních sítí rovněž patří k nejvýznamnějším uživatelům GIS technologie. Celá řada evropských společností dnes GIS využívá pro plánování a správu komunikačních sítí. Deutsche Telekom zavedl

jednu z největších současných aplikací GIS ve světě [172]. Aplikace zahrnuje převod dat o telekomunikačních sítích z papírové podoby (jednalo se o 5 mil. mapových listů) do prostředí GIS. Tato aplikace zahrnuje cca jedenáct tisíc pracovních stanic ve 113 pobočkách rozmístěných po celém Německu. Projekt nese název *Megaplan* a pro jeho realizaci bylo zvoleno programové vybavení Smallworld. Výsledná aplikace poskytuje aktuální a konzistentní data o existujících telekomunikačních sítích a plánovaných rozšířeních a je dnes základem všech služeb poskytovaných touto firmou [74].

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.

Územní plánování. Do GIS 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.

Správa daní. Tato aplikace využívá existence digitálních katastrálních map a na 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.

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, při 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, nacházejících se v těsné blízkosti zásahu apod.

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

GIS je možné použít i pro analýzu neštěstí. Do databází GIS 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 manuálním zpracovávání hlášení nejsou zřejmé.

Archeologie. V oblasti archeologie může GIS pomoci ve dvou směrech:

- Zdokonalení dokumentace nálezů prostřednictvím (3D) map, pozemních a leteckých snímků, apod. [21],
- Vyhledáváním lokalit s potenciálním výskytem archeologických nálezů. Např. v [147] je popsán výzkum, zaměřený na predikci rizika archeologických výzkumů v dané lokalitě. Autoři sestavili kritéria pro hodnocení území (existující archeologické nálezy, geografické vlastnosti širšího okolí daného místa, vlastnosti lokálního krajinného rámce apod.) a výsledkem analýzy bylo vykreslení mapy potenciálních archeologických nálezů.

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), v systémech velení a v systémech určených pro plánování akcí letectva. Typickou ukázkou vojenského využití GIS byla první válka v Perském zálivu:

- velitelství mělo k dispozici digitální mapy oblastí, 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.

V rámci druhé války v zálivu využití geoinformačních technologií dále pokročilo.

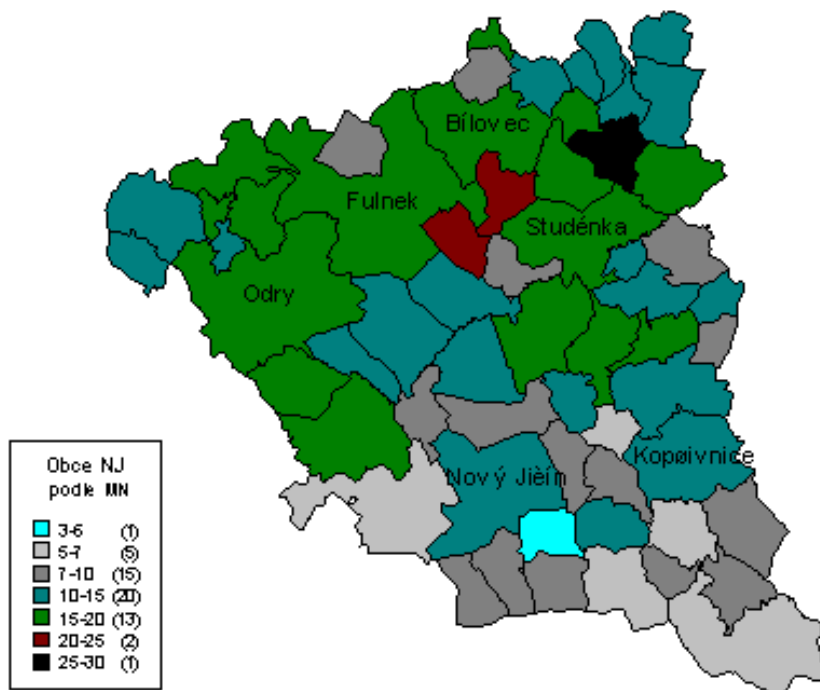
Svoz komunálního odpadu. Svoz komunálního odpadu představuje poměrně perspektivní oblast nasazení geografických informačních systémů. GIS je možné použít jednak pro sběr potřebných podkladových dat, dále pro záznam aktuálně získaných dat například o množství svezeneho komunálního odpadu apod. Dále umožní dynamicky plánovat trasy svozu odpadů dle aktuálního vývoje jejich produkce a průběžně tyto trasy sledovat a vyhodnocovat pomocí přijímačů GPS umístěných na sběrných vozidlech. GIS tak může napomoci snížení nákladů spojených se svozem komunálních odpadů.

Geomarketing. Marketing je dnes zcela samozřejmou součástí všech obchodních aktivit firem. Velký význam má především pro velké obchodní řetězce a specializované prodejce, kteří se zaměřují na přesně definovanou skupinu spotřebitelů. Klasické postupy marketingu se snaží vytipovat vhodnou cílovou skupinu spotřebitelů a navrhnout optimální strategii pro jejich oslovení. Faktem ale je, že tyto kampaně jsou uplatňovány obvykle plošně tak, aby bylo jisté, že cílová skupina bude skutečně zasažena. Mnohdy to však může znamenat zbytečné vynaložení nemalých prostředků, neboť cílová skupina může být plošně omezena jen na malou oblast. Klasické postupy marketingu obvykle nejsou schopné této situaci předejít. A zde nastupuje geomarketing, který se opírá i o znalosti prostorového rozmístění různých cílových skupin obyvatel a tomu přizpůsobuje i vedení reklamních kampaní. Viz následující příklad.

Příklad: „Když firma Mercedes uvedla v zimě 1996/97 na trh nový model vozu s pohonem na všechna čtyři kola, pokoušela se automobil prodávat cíleně. Požadovaného úspěchu dosáhla pomocí geomarketingu: specialisté si obstarali údaje o oblastech, ve kterých bydlelo nadprůměrné množství lépe vydělávajících lidí jako jsou lékaři, právníci a podnikatelé. Tyto informace zkombinovali s geografickými údaji. Pak vybrali výše položené oblasti se strmými silnicemi, v nichž se každoročně vyskytuje nadprůměrné množství sněhu a kde zůstává sníh dlouho ležet. Když začal v oblastech Německa a Rakouska odpovídajících zvoleným kritériím hustě padat sníh, dostali všichni obyvatelé cílové oblasti

*dopis, v němž byli informováni o novém typu Mercedesu – čtyřkolce.
Nával v prodejních Mercedesu na sebe nedal dlouho čekat.“ [216]*

Míra nezaměstnanosti k 30.6.2000



Obr. V.2.6 Ukázka výsledku prostorové analýzy trhu práce [97]. Kartogram znázorňuje rozložení míry nezaměstnanosti v okrese Nový Jičín, vztažené k jednotlivým obcím okresu.

Socioekonomické analýzy. Prostorové analýzy socioekonomických jevů, jako je trh práce, nezaměstnanost, síť škol poskytujících služby hendikepovaným dětem apod. musí brát v úvahu mimo celé řady dalších faktorů i vliv prostorového rozmístění jak „zákazníků“ (zaměstnaných, nezaměstnaných, hendikepovaných apod.), tak i „poskytovatelů služeb“ (zaměstnavatelů, škol atd.). Geoinformační technologie obecně a geografické informační systémy zvláště mohou výrazně přispět ke zkvalitnění těchto analýz, ke zlepšení prezentací výsledků jak odborné veřejnosti, tak i činitelům přijímajícím rozhodnutí v daných oblastech. Příklad prostorové analýzy trhu práce je uveden na obr. V.2.6.

Volnočasové aktivity. Oblast volnočasových aktivit obyvatelstva je považována za jednu z nejperspektivnějších z pohledu rozvoje trhu s geoinformačními

technologemi. S rostoucí mobilitou lidí, rozvojem cestovního ruchu, individuální turistiky, mořeplavby, závěsného létání apod. se předpokládá nárůst zájmu o geoinformační systémy. Účastníci těchto aktivit budou chtít znát svoji aktuální polohu, znázornit si ji na digitální mapě oblasti, v níž se pohybují, zaznamenat si trasu svého pohybu a případně si naplánovat trasu příští apod. Výsledkem pak může být „osobní GIS“ každého člověka, zaznamenávající navštívené oblasti, prošlé trasy, k nim napojené multimediální záznamy (digitální fotografie a videonahrávky), to vše s možností publikování na webu například pro své známé.

Kapitola 3

Dálkový průzkum Země

Dálkovým průzkumem Země (DPZ; angl. remote sensing – RS) označujeme získávání a interpretaci informací o objektech, jevech a procesech reálného světa bez přímého kontaktu s nimi. Definovat tento pojem můžeme například takto (upraveno podle [209]):

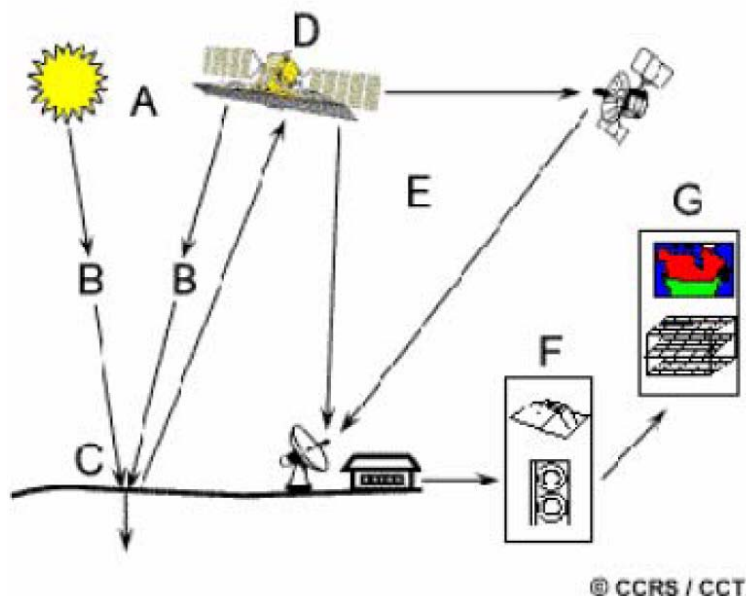
Dálkový průzkum Země je soubor metod a technických postupů zabývajících se pozorováním a měřením objektů, jevů a procesů na zemském povrchu a ve styčných nad- a podpovrchových vrstvách bez přímého kontaktu s nimi a zpracováním takto získaných geodat za účelem získání informací o geometrických, tematických a temporálních vlastnostech těchto objektů, jevů a procesů.

Využívají se při tom různé *snímače* (angl. sensor), umístěné na tzv. *nosičích*, kterými jsou zpravidla letadla a umělé družice Země. Tyto snímače jsou citlivé na elektromagnetickou energii z různých částí kmitočtového spektra. Nejčastěji pracují s [237]:

- viditelným světelným zářením,
- tepelným (infračerveným) zářením,
- mikrovlnným zářením.

DPZ zahrnuje pozorování povrchu a atmosféry Země. Objekty, jevy a procesy na nich se vyskytující resp. probíhající jsou studovány nejčastěji metodami, detekujícími, měřícími a zaznamenávajícími energii elektromagnetického záření, které se dostalo do interakce s povrchem Země a s atmosférou. Získané informace se používají v široké škále aplikací, tvorbou a aktualizací map počínaje, přes předpověď počasí až po získávání špionážních informací.

Zdrojem elektromagnetického záření může být buďto Slunce (pak měříme energii záření odraženého od povrchu Země a objektů na něm se nacházejících) nebo



Obr. V.3.1 Schematické znázornění jednotlivých fází procesu dálkového průzkumu Země [62].

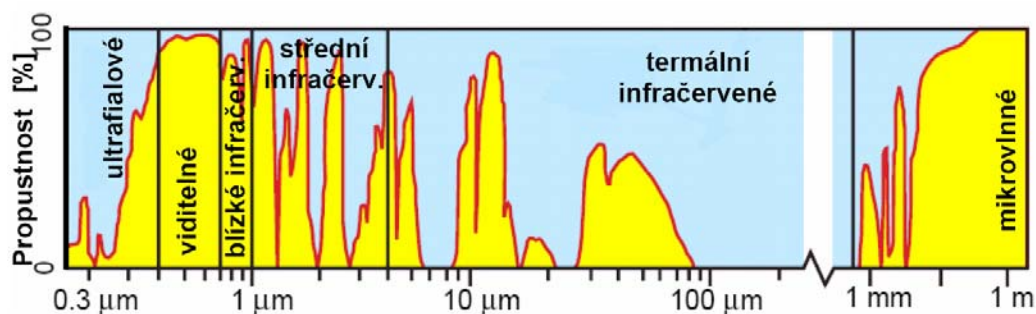
Země (která aktivně vyzařuje především v infračervené části spektra) a v těchto případech mluvíme o *pasivních snímačích*, popřípadě tímto zdrojem může být i samo průzkumné zařízení, které aktivně vysílá elektromagnetické záření směrem k Zemi a registruje jeho odraženou část – a pak mluvíme o *aktivních snímačích*.

Na obr. V.3.1 je schematicky znázorněn celý proces dálkového průzkumu Země [62]. Ten se skládá ze sedmi složek, resp. kroků:

1. *Zdroj energie nebo osvětlení (A)* – dálkový průzkum Země vyžaduje, aby byl k dispozici energetický zdroj ozařující nebo poskytující elektromagnetickou energii studovanému objektu. Zdrojem může být Slunce nebo nosič.
2. *Záření a atmosféra (B)* – při šíření elektromagnetického záření ze zdroje ke studovanému objektu a následně ke snímači je toto záření ovlivňováno atmosférou, kterou prochází.
3. *Interakce se studovaným objektem (C)* – jakmile záření projde atmosférou a dopadne na studovaný objekt, dojde k jejich vzájemné interakci, jejíž výsledek závisí jednak na vlastnostech dopadajícího záření a jednak na vlastnostech studovaného objektu.
4. *Záznam odražené energie snímačem (D)* – záření odražené (nebo emitované) studovaným objektem je po průchodu atmosférou zachyceno vzdáleným senzorem, který zaznamenává energii tohoto záření.
5. *Přenos, příjem a zpracování (E)* – zaznamenaná energie dopadajícího záření

musí být přenesena (zpravidla elektronicky, méně často v podobě exponovaného filmového materiálu) na přijímací a zpracovávající stanici, kde jsou z přijatých dat sestavovány obrazy (ať už v analogové nebo digitální podobě).

6. *Analýza a interpretace* (F) – sestavený obraz je analyzován a interpretován (ať už vizuálně nebo elektronicky (digitálně)), abychom získali požadované informace o studovaném objektu.
7. *Aplikace* (G) – a konečně posledním krokem dálkového průzkumu Země je aplikace informací o studovaném objektu získaných z obrazu při řešení konkrétního úkolu, studiu vlastností daného objektu, apod.

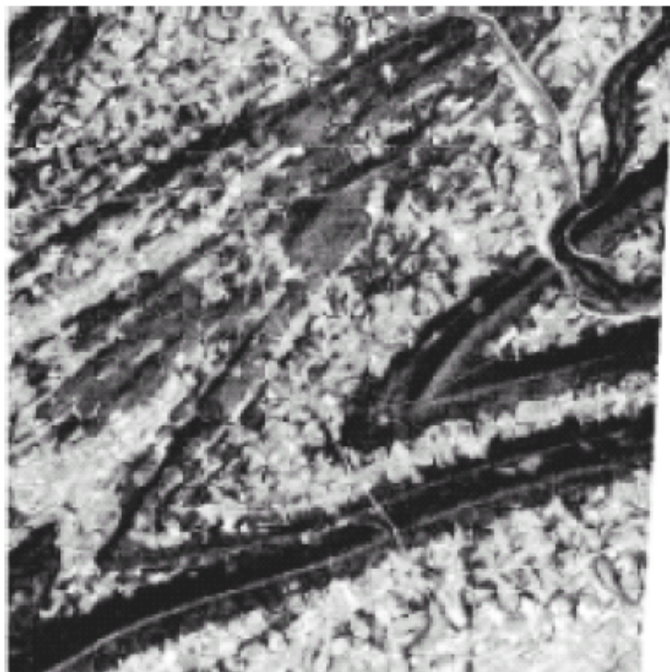


Obr. V.3.2 Ovlivnění/pohlcování elektromagnetického záření atmosférou v celé šíři běžně používané části spektra. Pouze ta pásma, kde je propustnost atmosféry velká, jsou vhodná pro dálkový průzkum Země [245].

Elektromagnetické záření je v každém případě ovlivňováno atmosférou Země. Ta v některých částech spektra elektromagnetické záření propouští téměř bez ovlivnění, v některých částech spektra záření částečně pohlcuje a v ostatních ho pohlcuje zcela. Pozorování má přirozeně smysl provádět jen v těch částech spektra, kde je ovlivnění atmosférou minimální. Říká se jim *atmosférická okna* (angl. atmospheric window). Na obr. V.3.2 je znázorněno ovlivnění/pohlcování elektromagnetického záření atmosférou v celé šíři běžně používané části spektra elektromagnetického záření [245].

3.1 Zdroje elektromagnetického záření a používané senzory

Všechny systémy dálkového průzkumu Země jsou založeny na měření elektromagnetické energie, která je buďto odražena od povrchu zemského, nebo je jím přímo vyzářována. Současné systémy pro DPZ se podle zdroje zpracovávaného záření a jeho interakce s povrchem Země dělí do čtyř skupin:



Obr. V.3.3 Ukázka obrazu pořízeného v oblasti odraženého slunečního záření, konkrétně v oblasti červené barvy [245].

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

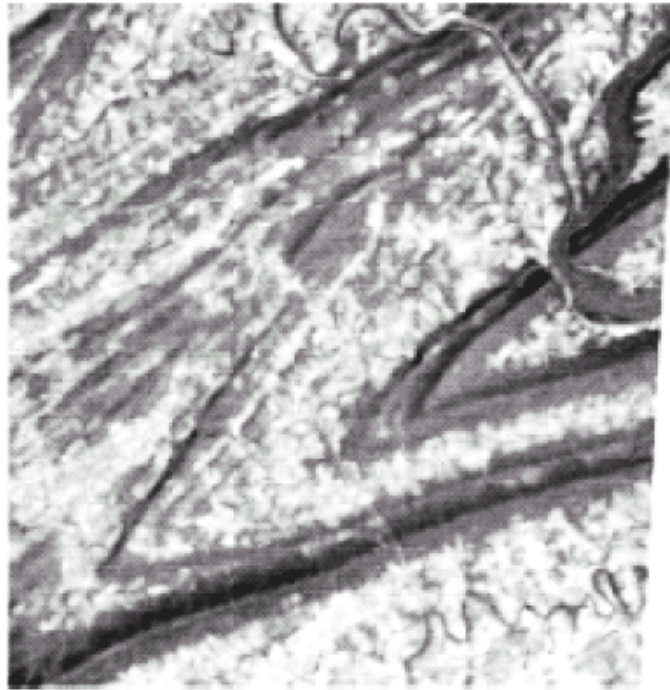
3.2 Senzory odraženého slunečního záření

Tyto senzory pracují se slunečním zářením, které bylo odraženo povrchem Země (obr. V.3.3). Kmitočtová pásma (odpovídající atmosférickým oknům), která poskytují užitečné informace, zahrnují ultrafialové, viditelné, blízké a střední infračervené záření. Tyto systémy jsou schopny odlišit různé materiály podle jejich spektrálních obrazů (pásem odrážených resp. pohlcovaných vlnových délek), které jsou dány jednak chemickým složením a jednak fyzikální strukturou těchto materiálů. Vzhledem k tomu, že se tyto systémy plně opírají o odražené sluneční záření, jsou schopné pracovat jen za plného slunečního svitu. Proměnlivost slunečního svitu (ale i proměnlivost vlastností atmosféry v různých denních i ročních dobách) může způsobit problémy s interpretací zaznamenaných obrazů. Dráhy družic jsou proto voleny tak, aby se družice pohybovaly co nejvíce nad osluněnou částí zeměkoule.

Systémy založené na senzorech odraženého slunečního záření představují nejčastěji používané prostředky dálkového průzkumu Země.

3.2.1 Senzory tepelného infračerveného záření

Tyto senzory snímají tepelné infračervené záření, emitované povrchem Země (a na něm se nacházejícími objekty; obr. V.3.4). Poskytují informace o tepelných vlastnostech materiálů, z nichž je povrch Země složen. Primárním zdrojem energie je i zde sluneční záření, které ohřívá povrch, a ten až následně vyzařuje část získaného tepla v podobě tepelného infračerveného záření. I v tomto případě je výsledek snímání závislý na denní době (teplota povrchu Země se v průběhu dne mění).

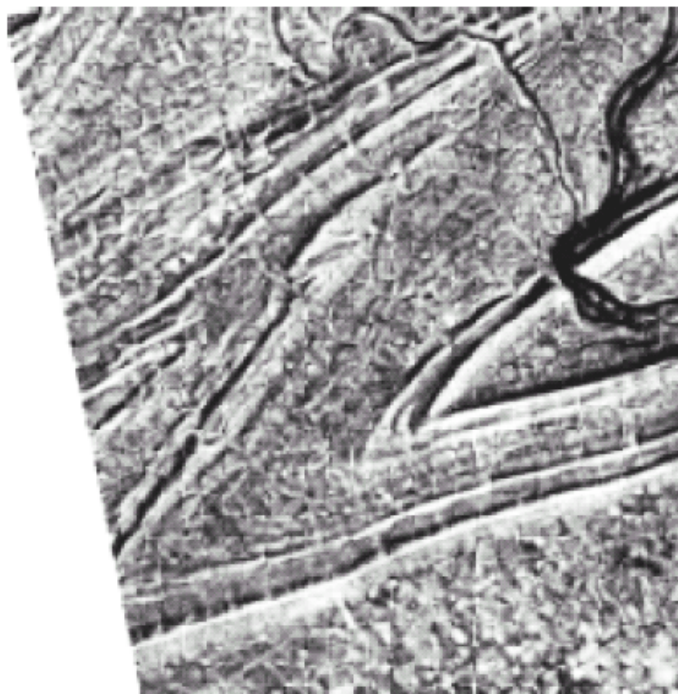


Obr. V.3.4 Ukázka obrazu pořízeného v oblasti tepelného infračerveného záření [245]. Z obrázku je patrné, v tomto případě lépe vyniká říční síť.

3.2.2 Radarové senzory

Radarové senzory představují *aktivní systémy* dálkového průzkumu Země – nosič v tomto případě aktivně vysílá elektromagnetické záření, které se odráží od povrchu

zemského a senzor registruje jeho odraženou část. Odražené záření nese informace o hrubosti povrchu, o obsahu vody v materiálech nacházejících se na povrchu a o tvaru povrchu (obr. V.3.5). Radarové systémy jsou ovlivněny částečným rozptylem mikrovlnného záření atmosférou, na druhé straně však vysílané signály procházejí i vrstvou mraků a umožňují provádět mapování i za ztížených meteorologických podmínek (velká oblačnost, například v tropech).



Obr. V.3.5 Ukázka obrazu pořízeného radarem [245].

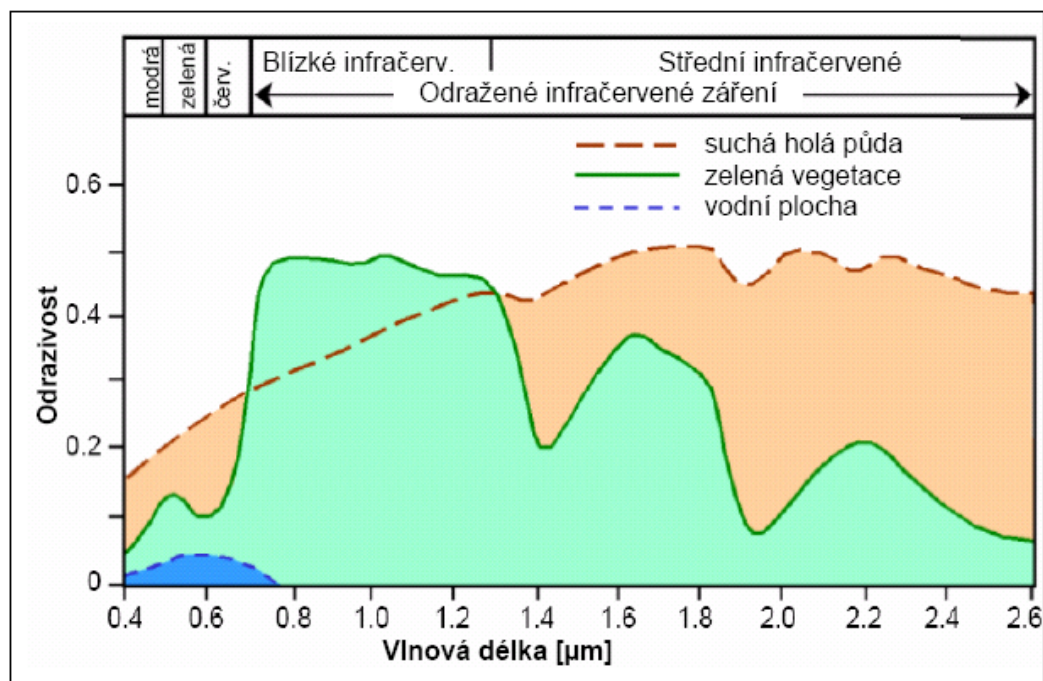
3.2.3 Laserové senzory

Laserové snímače pracují na obdobném principu jako senzory radarové, ale s tím rozdílem, že místo mikrovlnného záření využívají laserový paprsek. Umožňují získávat různé informace o povrchu zemském i o atmosféře Země, např:

- informace o reliéfu terénu, včetně všech objektů na něm se nacházejících (budovy, povrchové rozvody elektrické energie, jednotlivá patra zeleně apod.),
- informace o materiálu nacházejícím se na povrchu zemském (např. vyhledávání výskytu určitých látek v půdách),
- informace o složení atmosféry (např. detekce úniku metanu včetně určení prostorového rozložení jeho koncentrace),

- informace o prostorovém rozložení rychlosti proudění atmosféry ve sledované oblasti.

K těmto zařízením patří například lidar (z angl. LIght Detection And Ranging), dopplerovský laser nebo senzor využívající více laserových paprsků s různými vlnovými délkami. Nosičem je v těchto případech buďto vrtulník nebo pomalu letící letadlo. Podrobněji bude tato problematika probrána v samostatné kapitole V.8.



Obr. V.3.6 Křivky spektrální odrazivosti suché půdy, zeleně a vody [245].

3.3 Spektrální charakteristiky materiálů

Spektrální charakteristiky materiálů (angl. spectral signature), které jsou výsledkem selektivní absorpce slunečního záření těmito materiály, závislé na vlnové délce dopadajícího záření, jsou klíčem k rozpoznávání různých materiálů nacházejících se na povrchu Země. Vlastnost, která umožňuje kvantifikovat tyto spektrální charakteristiky, se nazývá *spektrální odrazivost* (angl. spectral reflectance). Jedná se o poměr mezi odraženou a dopadající energií, který je funkcí vlnové délky (a některých dalších parametrů, jako je drsnost povrchu, obsah vody apod.). Spektrální odrazivost materiálů je možné měřit jak laboratorně, tak i v reálných podmínkách

(tj. in situ). Získáme tak referenční hodnoty, které mohou být využity při interpretaci obrazů. Na obr. V.3.6 je ukázána spektrální odrazivost pro tři nejčastěji se vyskytující materiály: suchou půdu, zeleň a vodu.

Odrazivost suchých půd v pásmu od viditelné části spektra směrem k blízké infračervené části postupně narůstá, s vrcholem v oblasti střední infračervené části spektra. Lokální poklesy odrazivosti jsou dány vlastnostmi (pohltivostí) jílových minerálů.

Spektrální charakteristika vegetace je výrazně odlišná. Ve viditelné části spektra je odrazivost relativně malá, s menším vrcholem v oblasti zelené barvy. Díky tomu vidíme vegetaci zeleně. Nízká odrazivost je dána pohlcováním světelného záření chlorofylem. Zajímavým jevem je prudký nárůst odrazivosti na pomezí viditelné a blízké infračervené části spektra a relativně vysoká odrazivost v této části spektra. Ve střední infračervené části spektra odrazivost generelně klesá, s dvěma výraznými lokálními minimy danými pohltivostí vody v listech.

Hluboká čistá voda dobře pohlcuje všechny vlnové délky mimo viditelnou část spektra. Výsledkem je téměř nulová odrazivost v oblasti infračervené části spektra. Díky tomu lze na infračervených snímcích identifikovat vodní plochy poměrně snadno podle jejich černé barvy.

3.4 Získávání obrazů

Úroveň odražené energie přijímané senzorem na nosiči je výslednicí působení mnoha faktorů, jako je:

- intenzita dopadajícího záření,
- odrazivost materiálu na povrchu Země,
- vliv atmosféry,
- geometrické uspořádání zdroje záření, povrchu zemského a detektoru.

Výsledkem je velice komplexní signál, který je proměnlivý jak v prostoru, tak i v čase a navíc je silně závislý i na denní i roční době.

Energie odraženého elektromagnetického záření může být detekována a změřena buďto *citlivým filmovým materiálem* nebo prostřednictvím *sady elektronických senzorů*.

Světlo dopadající na *film* v něm vyvolává chemické změny, které se projeví zčernáním nebo zbarvením filmu v bodě dopadu. Intenzita zčernání nebo zbarvení je úměrná intenzitě dopadajícího záření. Výsledkem je *snímek*, který může být vizuálně interpretován.

Elektronický senzor při dopadu elektromagnetického záření generuje elektrický signál, jehož úroveň je přímo úměrná intenzitě dopadajícího záření. Signál z každého senzoru v sadě může být zaznamenán na záznamové zařízení a digitálně přenesen na Zemi. Výsledkem je v tomto případě *záznam*.

Obraz zaznamenaný elektronickým senzorem (nebo vzniklý naskenováním fotografického snímku) má podobu dvourozměrného rastru, jehož každé buňce (pixelu) je přiřazena hodnota odpovídající průměrné úrovni jasu plochy povrchu zemského reprezentované touto buňkou.

U obrazů rozlišujeme celkem čtyři různá rozlišení:

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

Prostorové rozlišení (angl. spatial resolution) je dané rozměry plochy, reprezentované jedním pixelem obrazu. Ty se běžně pohybují v intervalu tisíců metrů až desítek centimetrů.

Spektrální rozlišení (angl. spectral resolution) je dáno počtem snímaných tzv. *spektrálních pásem* (angl. band), tj. intervalů vlnových délek elektromagnetického záření. Dnes se běžně snímá 5 – 8 relativně širokých spektrálních pásem (v tom případě hovoříme o snímačích *multispektrálních*; angl. multispectral sensor; viz obr. V.3.7), ale existují i družice *hyperspektrální* (angl. hyperspectral sensor), které snímají desítky až stovky úzkých spektrálních pásem. Opačným extrémem jsou snímače *panchromatické* (angl. panchromatic), které snímají jediné široké (viditelné) spektrální pásmo. Družice pro dálkový průzkum Země jsou zpravidla vybaveny jak panchromatickým, tak i multispektrálním snímačem. Panchromatický snímač má obvykle vyšší prostorové rozlišení a poskytuje dobrý přehled snímané scény.

Radiometrické rozlišení (angl. radiometric resolution) je dáno počtem úrovní, do nichž může být převedena (zakódována) intenzita snímaného elektromagnetického záření (jinak také počet hodnot, které mohou být přiřazeny jednomu obrazovému pixelu). Dříve byly snímače schopné rozlišit 256 úrovní, ale u nejnovějších družic není výjimkou ani 4096 úrovní. Vysoké radiometrické rozlišení je výhodné především při digitálním zpracování multispektrálních a hyperspektrálních snímků.

Časové rozlišení (angl. temporal resolution) vyjadřuje, v jakém časovém intervalu je nosič schopen zajistit opakované snímání stejné oblasti. U nejnovějších družic se toto rozlišení pohybuje na úrovni prvních dnů, zatímco u starších družic to byly řádově týdny.



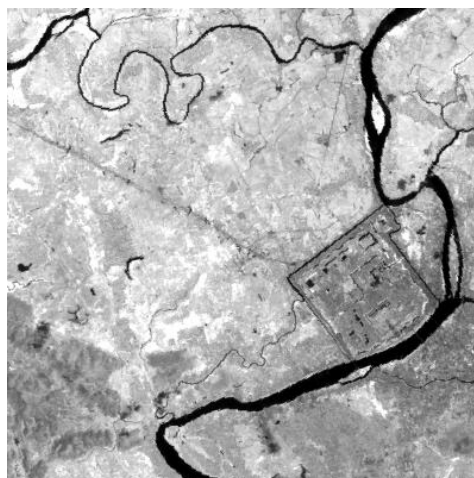
(a) (modrozelené světlo) Toto pásmo je užíváno ke studiu akvatických ekosystémů. Je vhodné pro monitorování sedimentů ve vodě, mapování korálových útesů a hloubky vody.



(b) (modré světlo) Má obdobné použití jako pásmo jedna, avšak pozorované objekty a jevy se zde neprojevují tak výrazně. Na druhé straně zde nepůsobí některé nepříznivé vlivy.



(c) (zelené světlo) Toto pásmo odpovídá oblasti světla pohlcovaného zelení (tzv. chlorofylová absorpce). Hodí se pro odlišení vegetace a půdního pokryvu a také pro studium zdravotního stavu vegetace.



(d) (blízké infračervené záření) V tomto pásmu pohlcuje voda téměř veškeré záření. Vodní plochy se zde proto jeví jako černé. Půdy a zeleň toto záření naopak dobře odrážejí. Hodí se pro mapování hranice voda/souš.



(e) (střední infračervené záření) Toto pásmo je velice citlivé na vlhkost. Proto se hodí pro vyhodnocování vlhkosti v půdách a vegetaci.



(f) (termální infračervené záření) Toto pásmo umožňuje měření povrchové teploty. Je využíváno pro geologické aplikace a pro měření tepelného stresu vegetace. Umožňuje také odlišit chladné mraky od teplého povrchu.



(g) (střední infračervené záření) Toto pásmo je rovněž použitelné pro vyhodnocování vlhkosti (i když pásmo 5 je přesněji jen vhodnější). Používá se i pro geologické aplikace a pro vyhodnocování termálního stresu vegetace.

Obr. V.3.7 Sedm obrazů znázorňujících data pořízená v sedmi spektrálních pásmech družicí Landsat ETM+ 21. dubna 2003 [103]. Zachycena je oblast města Hue ve Vietnamu. Z obrazů je patrné, že v každém spektrálním pásmu vystupují do popředí plochy s jiným pokryvem. Například na obrazech pořízených v některém z infračervených pásem výrazně vystupují vodní plochy, reprezentované černou barvou.



Obr. V.3.8 Ukázka rozvoje urbanizace ve městě Tracy, Kalifornie, mezi lety 1985 (vlevo) a 1999 (vpravo). Oba snímky byly pořízeny družicí Landsat TM [245].

3.5 Analýza a interpretace obrazů

Doposud jsme se zabývali základními principy a získáváním geodat dálkovým průzkumem Země v podobě obrazů. Nicméně až analýza a interpretace těchto obrazů, zaměřená na získávání smysluplných a relevantních informací, dává celé této technologii skutečný smysl. Analýza a interpretace obrazů dálkového průzkumu Země zahrnuje *identifikaci* a *zjišťování vlastností* různých objektů nebo jevů reálného světa, které mohou být obrazem zachyceny a které je možné odlišit od jejich okolí.

Identifikace objektů a jevů a jejich analýza a interpretace je prováděna buďto vizuálně na podkladě obrazů vytištěných na papíře (*analogový obraz*; angl. hard copy nebo analog imagery) nebo zobrazených na displeji (*digitální obraz*; angl. soft copy nebo digital imagery) nebo může být interpretace prováděna digitálně s využitím různých programových balíků.

Při vizuálním zpracování můžeme jak analogový, tak i digitální obraz zobrazit buďto černobíle nebo barevně. Barevný obraz zpravidla získáme kombinací až tří spektrálních pásem do jediného obrazu s tím, že každému pásmu přiřadíme jednu ze tří základních barev (červená, zelená, modrá; viz dále a obr. V.3.10).

Digitální zpracování je možné provádět jednak s cílem předpřipravit obrazy pro vizuální analýzu a interpretaci a jednak s cílem provést analýzu a interpretaci jako

takovou. I když je možné některé analýzy provádět plně automaticky, obvykle se čistě digitální zpracování nepoužívá, spíše se kombinují vizuální a digitální postupy. Právě jejich vhodnou kombinací se obvykle dosahuje nejlepších výsledků.

3.5.1 Prvky vizuální interpretace

Při vizuální analýze a interpretaci obrazů je naším cílem identifikovat zájmové objekty a zjistit jejich vlastnosti. Tyto objekty přitom musí být dobře odlišitelné od svého okolí. Odlišení je možné provádět na základě celé řady *prvků vizuální interpretace*. Jsou jimi *tón, tvar, velikost, vzor, struktura, stín a asociace*. S těmito prvky konečkonců každý pracuje podvědomě prakticky pořád. Kdykoliv sledujeme jakýkoliv obraz (a to i obraz okolního světa zobrazený na sítnici našeho oka), provádíme jeho vizuální interpretaci, ať už si toho jsme vědomi nebo ne.

Tón vypovídá o jasu nebo barvě studovanéh objektu v našem obraze. Tón je možné považovat za vůbec nejzákladnější prvek interpretace obrazů, umožňující odlišovat jednotlivé objekty od sebe. Na základě rozdílných tónů jsme rovněž schopni rozlišovat různé tvary, struktury a vzory objektů. Velikost objektu v obraze je závislá na měřítku tohoto obrazu. Pro zjištění skutečné velikosti objektu zájmu je nezbytné znát jeho rozměr v obraze a měřítko obrazu. Stíny nám poskytují informaci o relativní výšce objektů zachycených na obraze (například budov ve městě). Asociace popisují závislost výskytu určitých objektů na výskytu objektů jiných. Například pumpa se nachází vždy v blízkosti silnice, u hypermarketu je velké parkoviště apod.

Výhody vizuální interpretace lze shrnout takto (upraveno podle [201]):

- je tradiční, intuitivní,
- založená na znalostech a zkušenostech interpretátora,
- má malé nároky na technické a programové vybavení,
- využívá nejen barvu a jas, ale i geometrický a topologický obsah obrazu.

Nevýhody:

- při velkém objemu prací se obtížně provádí a je nákladná,
- je subjektivní,
- zpravidla je jen kvalitativní,
- obvykle interpretuje jen jeden, nejvýše však tři kanály současně,
- je silně omezená schopnostmi oka - nevnímá například malé rozdíly v kontrastu a jasu obrazů.

3.5.2 Digitální zpracování obrazů

V dnešní době jsou data dálkového průzkumu Země pořizována a zaznamenávána z valné většiny digitálně. Díky tomu se rozvíjí i digitální zpracování obrazů. To zahrnuje celou řadu operací, jako jsou transformace, korekce, digitální zvyšování kvality obrazů umožňující jejich lepší vizuální interpretaci, a dokonce i až automatickou klasifikaci zájmových objektů a zjišťování jejich vlastností. Různí dodavatelé tak poskytují systémy pro zpracování, analýzu a interpretaci obrazů spolu s potřebným technickým vybavením pro zpracování dat DPZ.

Většina běžných funkcí pro zpracování dat, implementovaných v těchto systémech, může být zařazena do jedné ze čtyř kategorií [62]:

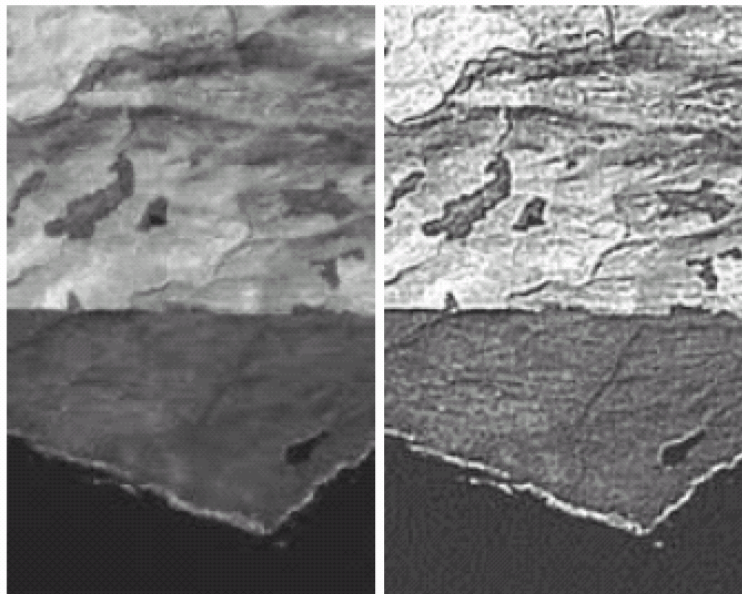
- předzpracování obrazů,
- zvyšování kvality obrazů,
- transformace obrazů,
- klasifikace a analýza obrazů.

Funkce *předzpracování obrazů* (angl. image preprocessing) zahrnují operace jako jsou radiometrické a geometrické korekce. *Radiometrické korekce* mají za úkol odstranit z obrazu vlivy nestejně citlivosti senzoru, vlivy atmosféry apod. *Geometrické korekce* odstraňují geometrická zkreslení způsobená vlivy proměnlivosti geometrie soustavy senzor-Země a převádějí obrazy do požadovaného kartografického souřadnicového systému. V obou případech se jedná o operace, které je nezbytné provést dříve, než začneme s obrazy dále pracovat.

Cílem operací pro *zvyšování kvality obrazů* (angl. image enhancement) je vylepšení vzhledu obrazů pro potřeby jejich vizuální analýzy a interpretace. Příkladem mohou být změny kontrastu a jasu, aplikace prostorových filtrů, způsobujících zvýraznění některých vzorů v obraze, zvýraznění hran (viz obr. V.3.9) nebo rozostření obrazu. Zpravidla jsou aplikovány na jednotlivé kanály multispektrálního obrazu samostatně.

Transformace obrazů (angl. image transformation) zahrnují operace v mnohém podobné operacím z předcházející skupiny, ale v tomto případě jsou uplatňovány na několik kanálů multispektrálního obrazu současně. Příkladem mohou být aritmetické operace aplikované na několik pásem, jejichž výsledkem je nový obraz, který zvýrazňuje některé objekty reálného světa ve scéně (například vodní plochy nebo oblasti s poškozeným lesem apod.). Jiným příkladem jsou analýzy hlavních komponent (angl. principal components analysis).

Operace *klasifikace a analýzy obrazů* jsou používány pro identifikaci a klasifikaci jednotlivých pixelů obrazu. Klasifikace je obvykle aplikována na vícepásmové obrazy a výsledkem je obraz, v němž je každý pixel zařazen do jedné z tříd na základě hodnot odpovídajících pixelů v jednotlivých pásmech původního obrazu.



Obr. V.3.9 Ukázka zlepšení vzhledu obrazu [62].

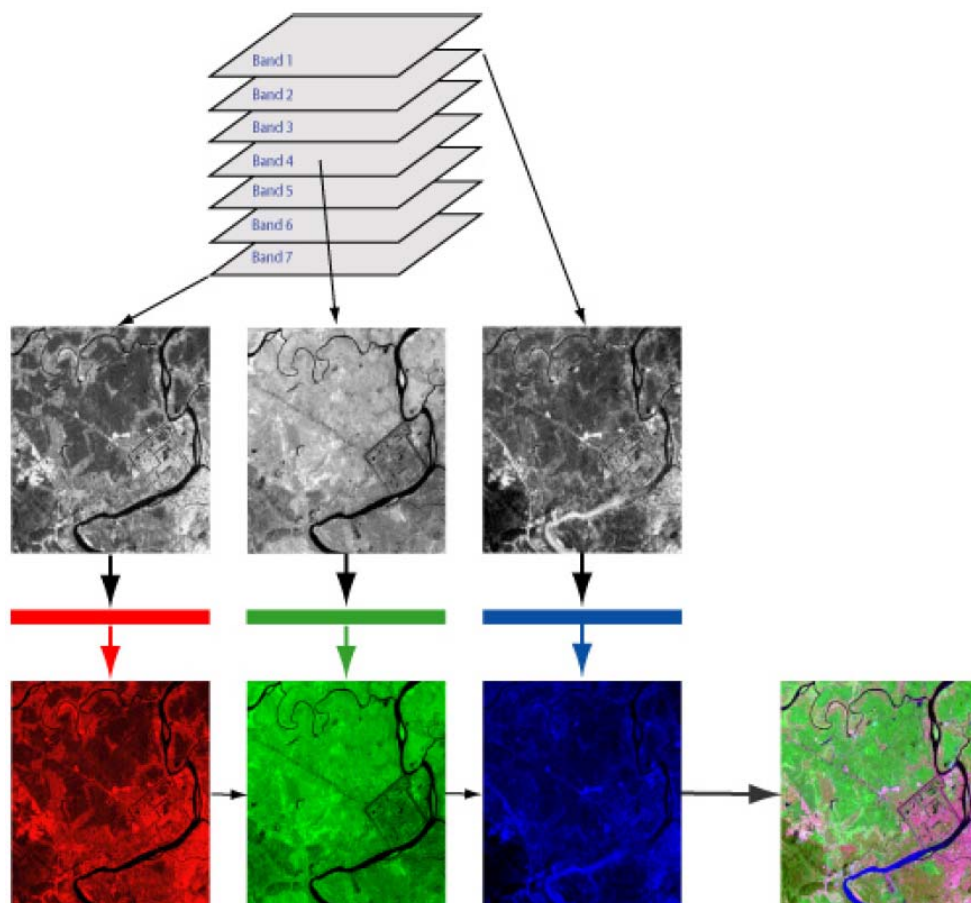
Digitální klasifikaci je možné provádět různými postupy. Může se jednat například o *řízenou klasifikaci* (angl. supervised classification), prováděnou především ručně s podporou počítače nebo o *neřízenou klasifikaci* (angl. unsupervised classification) prováděnou počítačem.

V případě *řízené klasifikace* operátor nejprve stanoví třídy, které chce v obraze identifikovat (např. vodní plocha, pole, les, zastavěná plocha), pak v klasifikovaném obraze vyhledá trénovací oblasti odpovídající jednotlivým třídám, počítač provede analýzu hodnot pixelů v jednotlivých pásmech pro každou trénovací oblast a pak ve výsledném obraze přiřadí každému pixelu třídu odpovídající kombinaci hodnot pixelů v jednotlivých kanálech původního obrazu.

V případě *neřízené klasifikace* operátor v nejjednodušším případě pouze rozhodne o počtu tříd a zbytek provede počítač automaticky. Problémem však je, že jednotlivé takto odvozené třídy mnohdy neodpovídají konkrétním třídám objektů reálného světa.

Výhody digitálního zpracování obrazů DPZ lze shrnout takto (upraveno podle [201]):

- je ekonomicky výhodné při zpracovávání velkých oblastí,
- je ekonomicky výhodné při opakovaném rutinním zpracovávání,
- poskytuje konzistentní výsledky,
- může současně zpracovávat libovolný počet kanálů,



Obr. V.3.10 Ukázka principu skládání obrazu v nepravých barvách (angl. false colour image) ze tří obrazů získaných v různých spektrálních pásmech, každému obrazu se přiřadí jedna ze základních barev (červená, zelená, modrá) a jejich složením a současným zobrazením vznikne výsledný obraz v nepravých barvách [103].

- umožňuje provádět interpretaci založenou na velice komplexních algoritmech,
- interpretace je zpravidla velice rychlá,
- zpracovávaná data jsou obvykle kompatibilní s dalšími digitálními daty (například s digitálními vektorovými topografickými mapami),
- umožňuje snadno zpracovávat a porovnávat různé varianty,
- interpretace je objektivní, kvantitativní.

Nevýhodou jsou zejména:

- nároky na nákladné programové a technické vybavení,



Obr. V.3.11 *Obraz v nepravých barvách, vzniklý složením pásem 4 (červená), 5 (modrá) a 3 (zelená; viz obr. V.3.7). V obraze je modře zobrazena zastavěná část města, hnědě (vlevo dole) oblast lesů a oranžová barva reprezentuje pastviny, křoviny a rýžová pole [103].*



Obr. V.3.12 *Obraz v téměř pravých barvách, vzniklý složením pásem 3 (červená), 1 (modrá) a 2 (zelená; viz obr. V.3.7). Složením těchto tří spektrálních pásem získáme barevnou kompozici, která se blíží barevnému snímku [103].*

- vyžaduje dobře proškolený personál,
- je nákladná v případě zpracování jen malé oblasti,
- je nákladná v případě jednorázových zpracování,
- obtížně se vyhodnocuje přesnost interpretace,
- data mohou být velice nákladná nebo i nedostupná,
- často vyžadují určitou míru předzpracování.

3.6 Družice pro dálkový průzkum Země

V tab. V.3.1 je uveden přehled některých v současné době aktivních družic spolu s jejich základními parametry.

3.7 Oblasti použití dálkového průzkumu Země

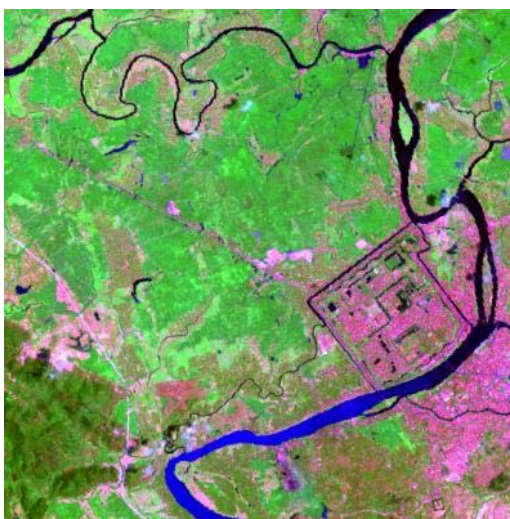
Družice pro dálkový průzkum Země používají celou řadu snímačů, pracujících na různých principech, s různým prostorovým rozlišením a citlivých na různá spektrální pásma. Tyto vlastnosti je předurčují pro širokou škálu oblastí aplikací, které mají specifické požadavky právě na spektrální, prostorové i časové rozlišení.



Obr. V.3.13 *Obrázek v nepravých barvách, vzniklý složením pásem 4 (červená), 2 (modrá) a 3 (zelená; viz obr. V.3.7). Tato barevná kompozice umožňuje dobře rozpoznat hranice vodních ploch a rozlišit jednotlivé typy vegetace. Rovněž zastavěná oblast města je dobře patrná [103].*



Obr. V.3.14 *Obráz v nepravých barvách, vzniklý složením pásem 4 (červená), 3 (modrá) a 5 (zelená; viz obr. V.3.7). Tato barevná kompozice je v případě dat družice Landsat ETM+ asi nejčastěji používanou. Umožňuje dobře rozpoznat hranice vodních ploch, lépe rozlišit jednotlivé typy vegetace a vyhodnotit i změny v rozložení vlhkosti půd. Pro zajímavost je možné snímek porovnat s obr. V.3.11, který vznikl složením stejných spektrálních pásem, ale s odlišným přiřazením barev [103].*



Obr. V.3.15 *Obráz v nepravých barvách, vzniklý složením pásem 7 (červená), 2 (modrá) a 4 (zelená; viz obr. V.3.7). Tato barevná kompozice je zajímavá tím, že zobrazuje vegetaci v odstínech zelené [103].*

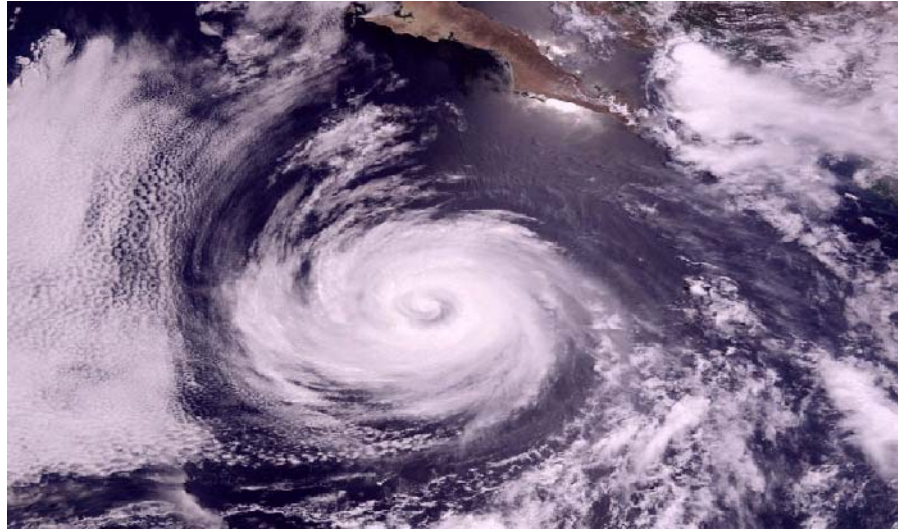
Název družice	Stát	Rok vypuštění	Typy dat	Počet kanálů	Rozlišení [m]
SPOT-2	Francie	1990	multispektrální	3	20
			panchromatický	1	10
ERS-1	ESA	1991	radar	1	26
			mulrispektrální	4	1000
ERS-2	ESA	1995	radar	1	26
			mulrispektrální	4	1000
SPOT-4	Francie	1998	multispektrální	4	20
			panchromatický	1	10
NOAA-15	USA	1998	multispektrální	5	1100
Landsat-7	USA	1999	multispektrální	6	30
				1	60
			panchromatický	1	15
IKONOS	Space Imaging	1999	multispektrální	4	4
			panchromatický	1	1
Terra	USA	1999	multispektrální	14	15,30,90
			multispektrální	4	275
			hyperspektrální	36	250,500,1000
EO-1	USA	2000	panchromatický	1	10
			multispektrální	9	30
			hyperspektrální	220	30
			hyperspektrální	256	250
QuickBird	DigitalGlobe	2001	multispektrální	4	2.44
			panchromatický	1	0.61
NOAA-M	USA	2002	multispektrální	5	1100

Tab. V.3.1 Příklady v současné době používaných družic pro DPZ [50].

Podívejme se na příklady alespoň několika oblastí aplikací, bez nároku na úplnost jejich výčtu.

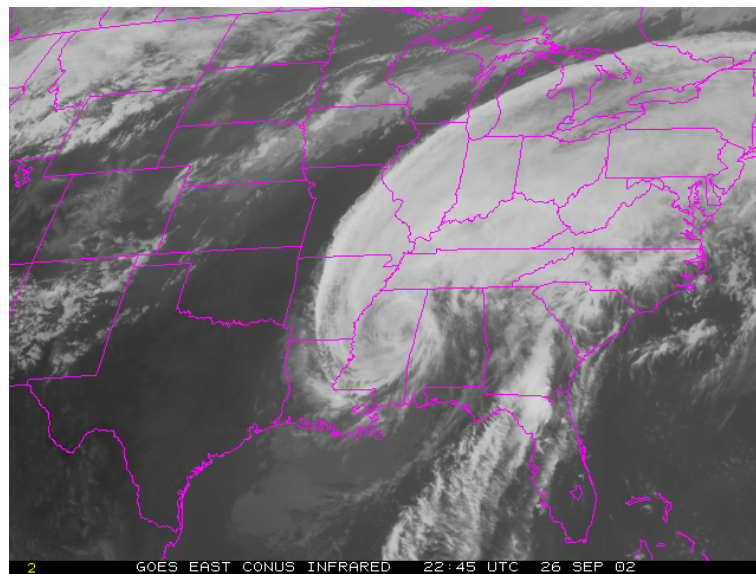
3.7.1 Meteorologie

Meteorologie stejně jako kterákoliv jiná věda staví na pečlivých a přesných měřeních předmětu svého studia – atmosféry. Vedle klasických pozorování in situ, prováděných na celém světě, se postupně naučila využívat i data získaná prostřednictvím umělých družic Země. První meteorologickou družici vypustily již 1. dubna 1960 Spojené státy americké [236], [79]. Od té doby se pozorování meteorologické



Obr. V.3.16 Snímek hurikánu Douglas z července roku 2002, pořízený družicí obíhající po polární dráze [230].

situace (ale i oceánů) z oběžné dráhy Země stalo samozřejmostí. Dnes Zemi obíhají meteorologické družice vypuštěné celou řadou zemí (USA, Rusko, Indie, Japonsko,



Obr. V.3.17 Snímek zachycující meteorologickou situaci nad východní částí Spojených států amerických, pořízený geostacionární družicí v infračerveném pásmu. Snímek je ze září roku 2002. Pro lepší orientaci jsou do scény zakresleny hranice jednotlivých států USA [231].



Obr. V.3.18 Snímek hurikánu Isabel, opět pořízený družicí obíhající po polární dráze [232].

Evropa). Meteorodružice jsou umísťovány nejčastěji buďto na polární dráhu nebo na geostacionární dráhu. Jejich data jsou běžně dostupná na Internetu. Zpracování získaných dat provádějí týmy špičkových odborníků, zapojených do mezinárodní sítě. V současné době se bezkontaktní pozorování jevů v troposféře provádějí jak z kosmického prostoru, tak i pozemními prostředky, například Dopplerovskými radary.

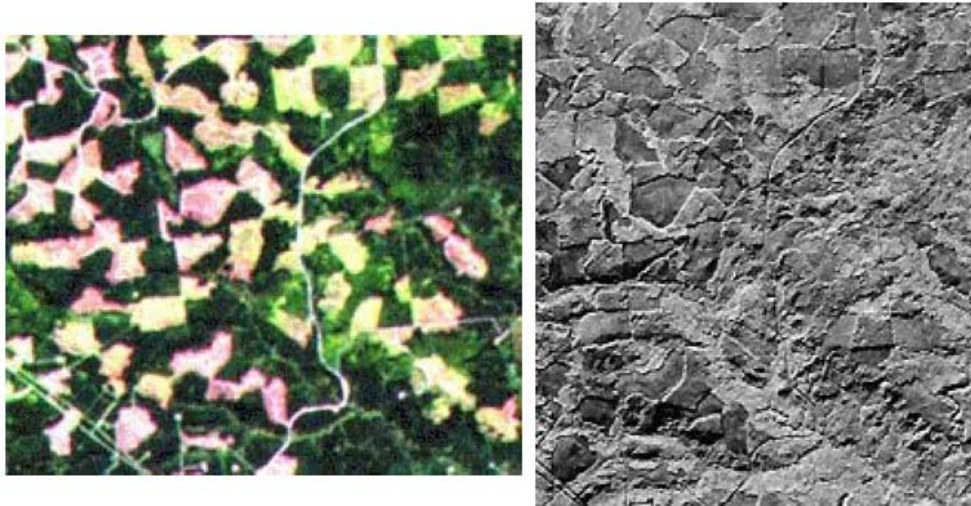
Na obr. V.3.16 až V.3.18 je uvedeno několik příkladů obrazů atmosféry, získaných různými družicemi. Z těchto scén je patrné, že meteorodružice se snaží zobrazovat najednou poměrně rozsáhlé oblasti a jejich prostorové rozlišení musí proto být relativně malé. Avšak vzhledem k tomu, že zachycují jevy v atmosféře (které jsou plošně rozsáhlé), nikoliv jevy na zemském povrchu, není to na závadu.

3.7.2 Zemědělství

Zemědělství představuje velice důležitou součást ekonomik všech zemí, bez ohledu na to, zda jsou rozvinuté nebo rozvojové. Je producentem potravin, které představují významnou obchodní komoditu. Efektivnost jejich produkce a jejich nezávadnost pro konzumenty jsou významnými faktory, které mohou být ovlivněny právě využitím dat dálkového průzkumu Země.

Obrazy dálkového průzkumu Země mohou být využity pro mapování zemědělských ploch, klasifikaci plodin, zjišťování jejich výměř, zdravotního stavu porostu,

odhad výnosů, znečištění půd, dále mohou sloužit pro mapování půd, monitorování péče o půdu, monitorování uplatněných farmářských postupů, hodnocení erozního působení větru a vody apod. [9]. Získaná data mohou sloužit například jako podklad pro dotační politiku EU, dále mohou sloužit pro odhad výnosů, sledování šíření nemocí, hodnocení stavu půd apod.



Obr. V.3.19 Srovnání využitelnosti multispektrálního (vlevo) a radarového obrazu stejné oblasti při mapování odtěžených lesních ploch [62].

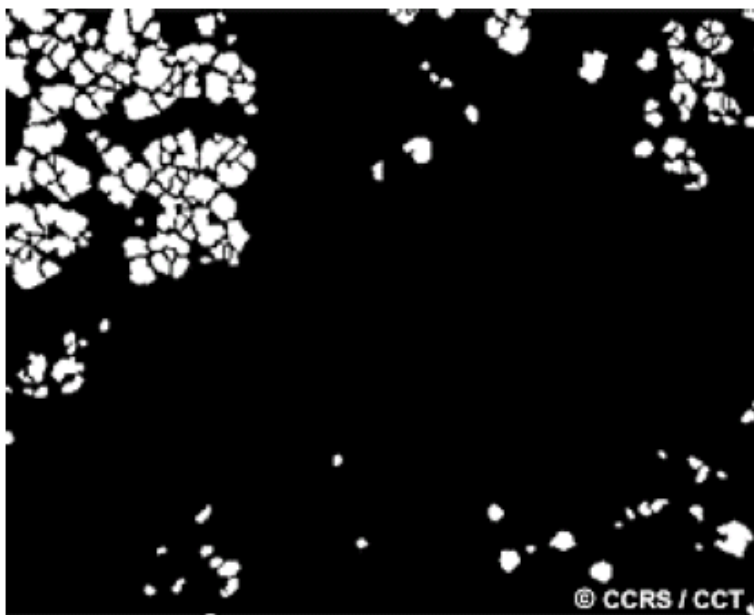
3.7.3 Lesnictví

Jako příklady aplikací DPZ v lesnictví lze uvést [9], [62]:

- mapování lesů,
- mapování vytěžených oblastí,
- monitorování odlesňování,
- monitorování zalesňování vytěžených oblastí,
- mapování škod způsobených lesními požáry,
- mapování dopravní infrastruktury (lesních cest),
- inventura druhového složení lesů,
- mapování zdravotního stavu lesů,
- apod.



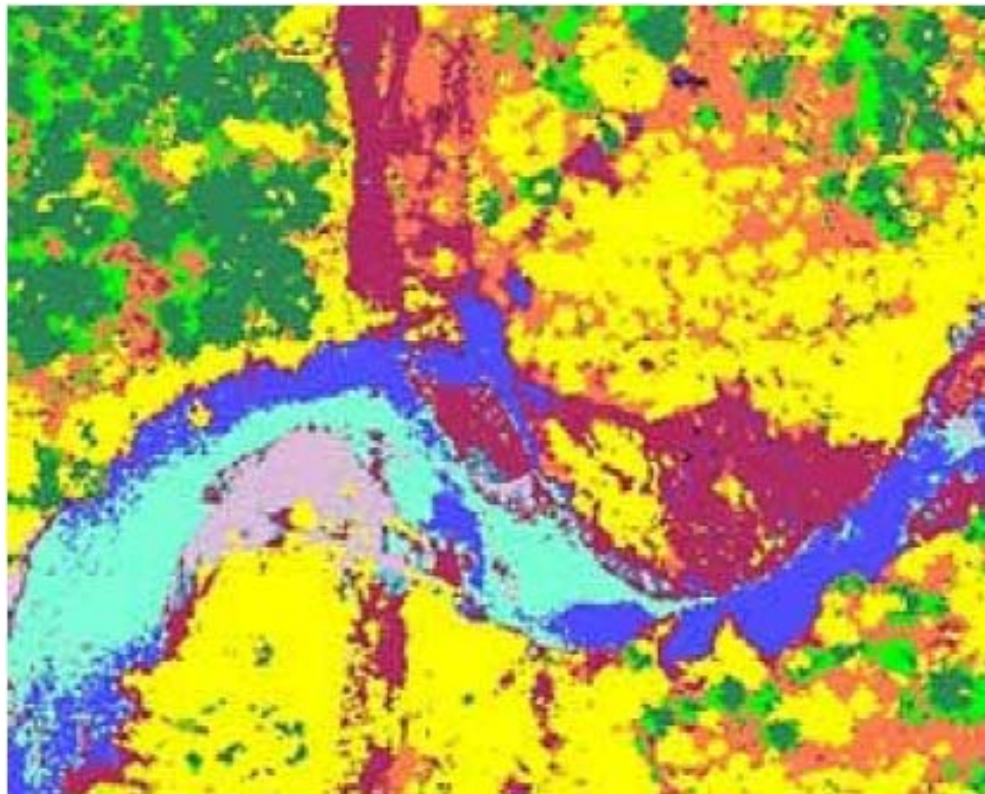
(a)



(b)

Obr. V.3.20 Ukázka využitelnosti hyperspektrálního obrazu pro počítání stromů a měření rozměrů korun stromů [62]. Z analýzy vyplynulo: rozloha stromového porostu je 9 ha, počet stromů je 520, hustota stromů je 58 na hektar, průměrná rozloha koruny stromů je 21.47 m².

Les je důležitým a nenahraditelným přírodním zdrojem, poskytujícím dřevo, přirozený úkryt pro zvěř, zadržujícím vláhu a plnícím celou řadu dalších úkolů v rámci různých ekosystémů. Proto péče o les, o jeho zdravotní stav, jeho pravidelnou hospodářskou úpravu patří k základním povinnostem společnosti. Les je dnes přirozenou součástí ekonomiky státu. Důležitou roli při plnění těchto úkolů hraje i dálkový průzkum Země.



Obr. V.3.21 Ukázka využitelnosti téhož hyperspektrálního obrazu pro analýzu druhového složení porostu [62]. Z analýzy vyplynulo: tmavě zelená – jehličnany, zelená – nízký porost, fialová – štěrky, žlutá – listnaté stromy, oranžová – suchá půda, červená – vlhká půda, světle modrá – voda, tmavě modrá – hluboká nebo čistá voda.

V lesnictví lze využít jak běžné multispektrální a spektrozónální obrazy, tak i radarové obrazy. Na obr. V.3.19 vidíme srovnání multispektrálního a radarového obrazu stejné oblasti. Z tohoto obrázku je patrné, že pro účely mapování odtěžených lesních ploch jsou použitelná oboje data.

Na obr. V.3.20 a V.3.21 je ukázáno využití hyperspektrálních dat pro podrobnější analýzu lesních porostů i velkých zalesněných oblastí.



Obr. V.3.22 Ukázka projevu geologických struktur na radarovém obrazu [62].

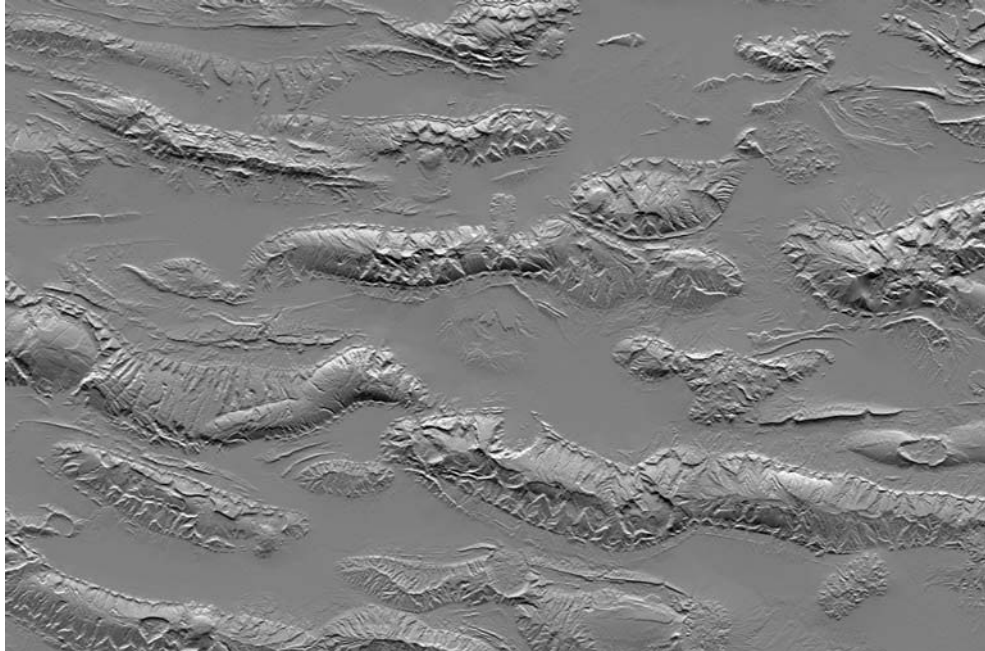
3.7.4 Geologie

Geologie se zabývá mapováním jak povrchové situace, tak i podpovrchových struktur zemské kůry. Cílem je jednak vysvětlení aktuálního geologického složení zemské kůry a jednak vysvětlení procesů, které k němu vedly. Na základě těchto znalostí pak vyhledává potenciální zdroje nerostných surovin. Vedle toho se zabývá také studiem potenciálních přírodních hrozeb, ohrožujících člověka i jím obývané přírodní prostředí. Jsou jimi například vulkanická činnost, zemětřesení, sesuvy půd. Tyto hrozby významně ovlivňují inženýrskou činnost v území, ale i každodenní život člověka.

DPZ se využívá pro získávání informací o struktuře přípovrchových partií zemské kůry. Multispektrální a zvláště hyperspektrální obrazy mohou poskytnout důležité informace o horninovém složení povrchu zemského. Radarové obrazy lze využít pro hodnocení topografie a hrubosti povrchu. Jedinou nevýhodou dálkového průzkumu Země z pohledu geologie je, že může být bez problémů využit převážně jen v aridních oblastech, kde neexistuje vegetační kryt a je proto možné přímo zjišťovat vlastnosti horninového masivu. Na obr. V.3.22 až V.3.24 je uvedeno několik ukázek.

Příkladem aplikací DPZ v geologii jsou:

- mapování povrchových ložisek,

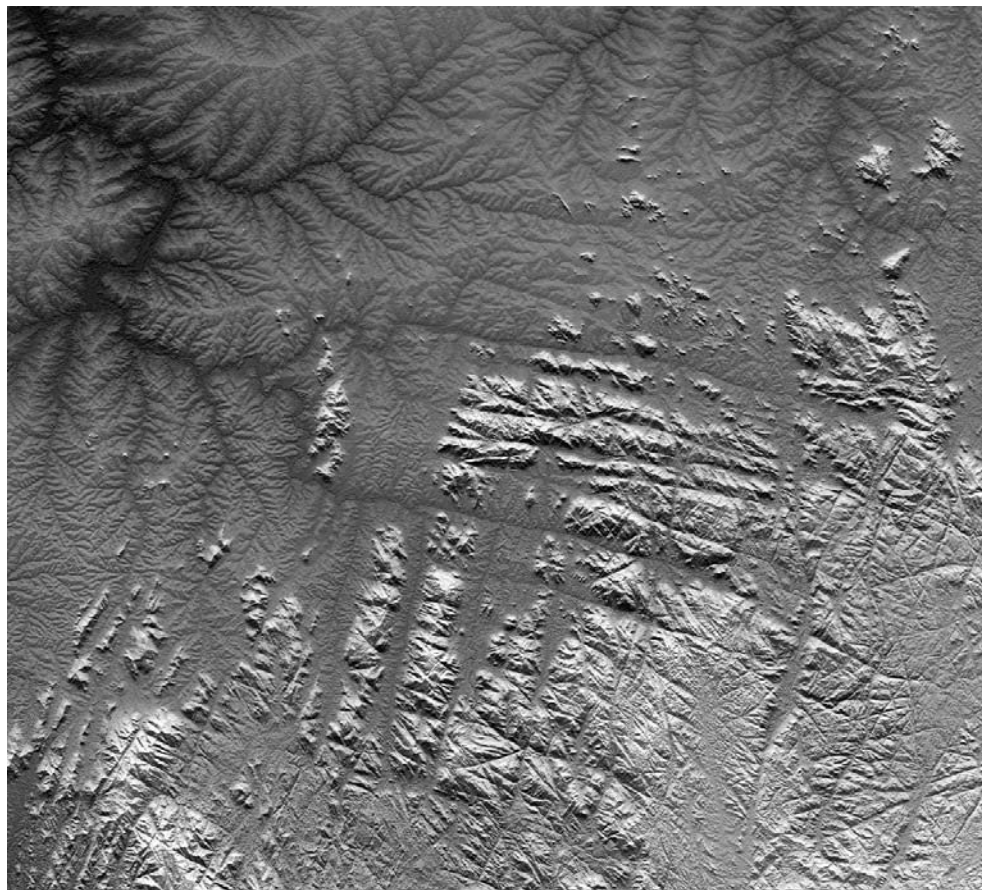


Obr. V.3.23 Oblast Zagros Mountains v Íránu, tak jak byla zachycena radarem v průběhu mise SRTM raketoplánu Endeavour v roce 2000. Scéna zachycuje geologické struktury v oblasti pokryté zvrstvenými sedimentárními horninami. Šířka scény je přibližně 100 km, ale zachycuje jen malou část takto utvářené oblasti. Oblast je silně tektonicky aktivní [302].

- litologické a strukturní mapování,
- průzkum a těžba nerostných surovin,
- environmentální geologie,
- geobotanika (využitelná především v humidních oblastech),
- mapování a monitorování sedimentace,
- mapování geohazardů,
- apod.

3.7.5 Hydrologie

Hydrologie se zabývá studiem povrchových vod Země, a to ať už existují v kapalném nebo pevném skupenství. Význačným rysem hydrologie je často velká dynamika studovaných procesů. S tím souvisí nároky na daleko vyšší frekvenci snímání dat DPZ ve studované oblasti. Neocenitelným pomocníkem je v této oblasti radar, který umožňuje získávat data bez ohledu na denní dobu i povětrnostní podmínky.



Obr. V.3.24 Oblast Godel Muontines na hranici mezi Nigérií a Kamerunem. Na obrázku jsou patrné dvě oblasti s výrazně odlišnou drenážní sítí, indikující odlišnou geologickou stavbu a tektoniku. Data byla pořízena raketoplánem Endeavour v průběhu Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) v roce 2000 [82].

Zvláště v případě povodní, kdy je nezbytné monitorovat postup záplav i v době, kdy nad postiženou oblastí stále ještě prší, výhody moderních radarových snímačů, schopných téměř každodenního snímání monitorované oblasti, obzvláště vyniknou.

Jako příklady aplikací DPZ můžeme uvést:

- mapování a monitorování mokřadů,
- hodnocení rozložení vlhkosti v půdách,
- monitorování sněhové pokrývky,
- monitorování ledových příkrovů,
- mapování a monitorování povodní,
- monitorování zavlažovacích kanálů a detekce úniků vody z nich,



Obr. V.3.25 Ukázka trojrozměrné vizualizace topografické mapy, vytvořené z dat získaných družicí Landsat. Digitální model reliéfu byl vytvořen z dat získaných v průběhu topografické mise raketoplánu Endeavour. Mapa zachycuje oblast Kapského Města [24].

- plánování zavlažování,
- apod.

3.7.6 Topografické mapování a mapování využití území

Obrazy pořízené družicemi i letecké snímky jsou velice významným prostředkem pro mapování povrchu zemského. Můžeme v nich identifikovat a kategorizovat různé přírodní i člověkem vytvořené, resp. vyvolané objekty a jevy. Dívat se na ně můžeme ze dvou různých (ale velice těsně povázaných) hledisek.

Za prvé můžeme popisovat vše, co se nachází na povrchu zemském, a to především z *pohledu geometrického*. Tímto problémem se zabývá *topografie*. Využívá přitom služeb především *gedézie* a *fotogrammetrie*. Výsledkem jsou *topografické mapy*.

Za druhé můžeme u identifikovaných objektů a jevů popisovat jejich *negeometrické vlastnosti*. Tímto problémem se zabývá *tematická kartografie* a výsledkem jsou *tematické mapy*. Příkladem tematických map, které se běžně vytvářejí s využitím dat a postupů dálkového průzkumu Země, jsou *mapy pokryvu území* (angl. land cover) a *mapy využití území* člověkem (angl. land use). Pokryv území a využití

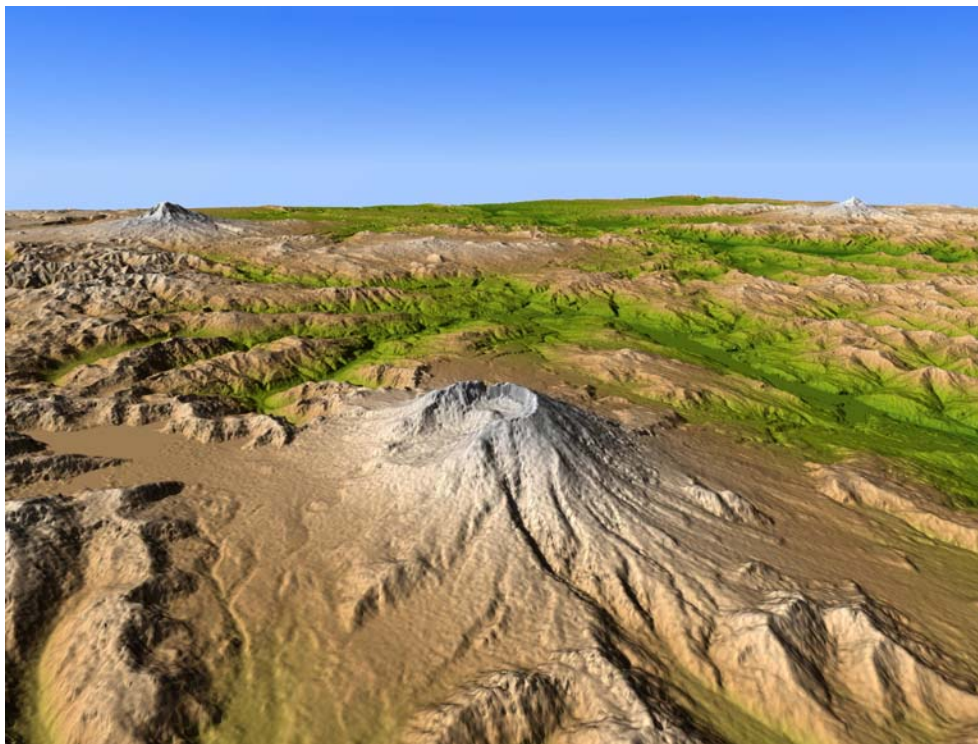
Kód	Typ pokryvu území – úroveň I	Kód	Typ pokryvu území – úroveň II
1	urbanizovaná a zastavěná půda		
2	zemědělská půda		
3	hornatá krajina		
4	zalesněná půda	41	listnatý les
		42	jehličnatý les
		43	smíšený les
5	voda	51	vodní tok nebo kanál
		52	jezero
		53	vodní nádrž
		54	záliv nebo delta řek
6	mokřiny		
7	pustiny		
8	tundra		
9	věčný sníh a led		

Tab. V.3.2 Ukázka první a částečně i druhé úrovně možné klasifikace pokrytí území [273].

území k sobě mají velice blízko. Druhé je silně podmíněno právě tím prvním.

Jak pro potřeby topografických map, tak i pro potřeby map pokryvu území a využití území je nezbytné objekty a jevy určitým způsobem systematicky třídit, klasifikovat. Pro třídění objektů a jevů jsou ve všech třech případech zpracovávány klasifikační tabulky, které mají zpravidla hierarchickou strukturu. V tabulce V.3.2 je ukázána první úroveň dělení pokryvu území a dále je zde částečně ukázána i druhá úroveň dělení pro některé vybrané typy první úrovně. Pro kompletní dělení je možné se podívat do [273].

Na obr. V.3.25 a V.3.26 je ukázka trojrozměrné vizualizace topografické mapy resp. podkladových dat.



Obr. V.3.26 Ukázka trojrozměrné vizualizace stínovaného digitálního modelu reliéfu obarveného dle nadmořské výšky (stupnice od zelené přes hnědou až k bílé), vytvořené z dat získaných v průběhu topografické mise raketoplánu Endeavour. Mapa zachycuje oblast sopky Svatého Helena [175].

Kapitola 4

Globální družicové navigační systémy

S používáním geoinformačních technologií je spojen jeden významný problém – určování aktuální polohy geoprvků. K určování polohy (a k navigaci) lze využívat různé fyzikální principy a na nich založené systémy. Mimo jiné lze k těmto účelům využívat i rádiové vlny. Na nich založené pozemní navigační systémy se začaly používat už na počátku 20. století.

Počátkem 60. let minulého století se objevily první systémy, umožňující určování polohy a navigaci pomocí příjmu radiových signálů vysílaných umělými družicemi Země. Světlo světa tak spatřila nová geoinformační technologie – *globální družicové navigační systémy* (angl. Global Navigation Satellite Systems, GNSS).

Globální družicové navigační systémy jsou schopné s omezeným počtem radiomajáků (reprezentovaných v tomto případě umělými družicemi Země) zajistit pokrytí celého povrchu zemského navigačními signály a umožňují tak určovat polohu kdekoliv na Zemi. Hlavní výhodou těchto systémů je, že umožňují určovat polohu v jednotném souřadnicovém systému společném pro celou zeměkouli. Tyto systémy pracují 24 hodin denně, bez ohledu na počasí a denní nebo roční dobu [105].

K nejrozšířenějším družicovým navigačním systémům patří systém *GPS* (z angl. Global Positioning System), vybudovaný a provozovaný armádou Spojených států amerických. Jedná se tedy o systém vojenský, který však byl částečně uvolněn i pro široké civilní využití.

Počet civilních uživatelů systému GPS lze dnes odhadnout na desítky milionů. Důvody tohoto nevšedního zájmu jsou v [224] shrnuty takto:

- relativně vysoká polohová přesnost, od desítek metrů až po milimetry,
- schopnost určovat i rychlost a čas s přesností odpovídající přesnosti polohové,
- dostupnost signálů kdekoliv na Zemi: na povrchu, na moři, ve vzduchu i v blízkém kosmickém prostoru,
- standardní polohová služba systému GPS je civilním uživatelům dostupná bez omezení, bez jakýchkoliv poplatků a její nejběžnější využívání je možné již při použití relativně levných přijímačů,
- je to systém pracující za každého počasí a dostupný 24 hodin denně,
- polohu i rychlost je možné určovat v třírozměrném prostoru.

Globální polohový systém byl navržen tak, aby umožňoval všem odpovídajícím způsobem vybaveným uživatelům přesné určování třírozměrné polohy a rychlosti pohybu a dále získávání přesného časového signálu.

4.1 Struktura systému GPS

Systém GPS je tvořen třemi základními segmenty:

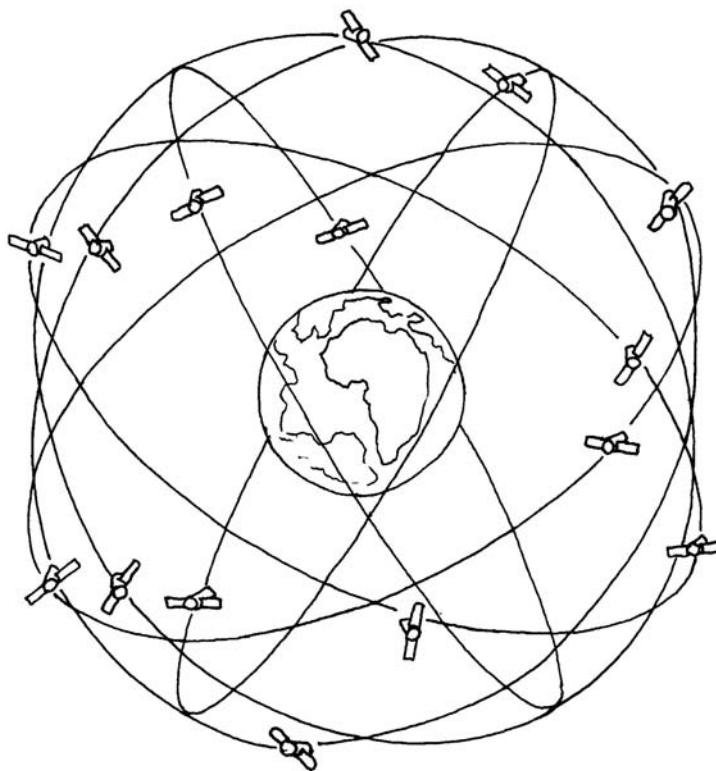
- kosmickým,
- řídicím,
- uživatelským.

Ačkoliv pro správnou funkci systému GPS jsou potřebné všechny tři segmenty, lze je do jisté míry považovat za nezávislé části, které jsou dohromady svázané jen přesným časem [1]. Přesný čas je konečným základním stavebním kamenem celého systému.

4.1.1 Kosmický segment

Kosmický segment je tvořen soustavou družic, rozmístěných systematicky na stálých oběžných drahách a vysílajících navigační signály.

Základní konstelace kosmického segmentu systému GPS sestává z 24 družic. Oběžné dráhy mají stálou polohu vůči Zemi. Oběžná doba družic je přibližně 12 hodin. Standardní konstelace je tvořena šesti oběžnými drahami se čtyřmi družicemi na každé z nich a sklon oběžné dráhy je okolo 55 stupňů vzhledem k rovníku (viz obr. V.4.1). Toto uspořádání garantuje, že na kterémkoliv místě na Zemi jsou trvale dostupné signály z minimálně čtyř družic po celých 24 hodin. Ve většině případů je však viditelných více družic, v ideálním případě až 11.



Obr. V.4.1 Kosmický segment systému GPS [211].

Družice systému GPS se mohou vyskytovat v nadhlavníku pouze v pásu mezi přibližně 60 stupni severní a jižní šířky. Pokud se pohybujeme dále směrem k pólům, jsou družice systému GPS stále dostupné, ale postupně se zhoršuje jejich geometrické uspořádání při měření [293].

Družice po vypuštění pracují prakticky nepřetržitě, s výjimkou krátkých přestávek vynucených potřebou provádění periodické údržby [272].

V současné době je v kosmickém segmentu umístěno celkem 29 družic (k 27.8.2006; obr. V.4.2) a všechny vysílají navigační signály.

4.1.2 Řídicí segment

Řídicí segment je zodpovědný za řízení celého globálního polohového systému. Z uživatelského hlediska je jeho hlavním úkolem aktualizovat údaje obsažené v navigačních zprávách vysílaných jednotlivými družicemi kosmického segmentu (viz dále). Řídicí segment je tvořen soustavou pěti *pozemních monitorovacích stanic* (angl. monitoring stations) umístěných na velkých vojenských základnách ame-

Geoinformatika a geoinformační technologie

GPS OPERATIONAL ADVISORY 119
SUBJ: GPS STATUS 29 APR 2005

1. SATELLITES, PLANES, AND CLOCKS (CS=CESIUM RB=RUBIDIUM):

A. BLOCK I : NONE
B. BLOCK II: PRNS 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15
PLANE : SLOT F6, D7, C2, D4, B4, C1, C4, A3, A1, E3, D2, F3, F1, D5
CLOCK : CS, RB, CS, RB, CS, RB, RB, CS, CS, CS, RB, RB, RB, CS
BLOCK II: PRNS 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
PLANE : SLOT B1, E4, C3, E1, D3, E2, F4, D1, A2, F2, A4, B3, F5, B2
CLOCK : RB, RB, RB, RB, RB, RB, RB, CS, CS, RB, RB, RB, RB, RB
BLOCK II: PRNS 31
PLANE : SLOT C5
CLOCK : RB

2. CURRENT ADVISORIES AND FORECASTS :

A. FORECASTS: FOR SEVEN DAYS AFTER EVENT CONCLUDES.

NANU	MSG DATE/TIME	PRN	TYPE	SUMMARY (JDAY/ZULU TIME START - STOP)
2005033	292040Z MAR 2005	21	FCSTMX	094/2230-095/1030
2005034	301838Z MAR 2005	11	FCSTMX	096/1945-097/0745
2005035	301847Z MAR 2005	14	FCSTMX	098/2130-099/0930
2005037	312040Z MAR 2005	21	FCSTRESCD	094/1600-095/0400
2005038	312044Z MAR 2005	14	FCSTRESCD	098/1400-099/0200
2005042	042150Z APR 2005	21	FCSTSUMM	094/1930-094/2141
2005043	052142Z APR 2005	11	FCSTRESCD	097/1400-098/0200
2005044	071339Z APR 2005	28	FCSTMX	101/1400-102/0200
2005045	071756Z APR 2005	11	FCSTSUMM	097/1526-097/1747
2005046	072013Z APR 2005	28	FCSTCANC	101/1400-/
2005047	081541Z APR 2005	14	FCSTCANC	098/1400-/
2005048	082249Z APR 2005	22	FCSTMX	103/1945-104/0745
2005049	082321Z APR 2005	20	FCSTMX	105/1700-106/0500
2005050	082325Z APR 2005	18	FCSTDV	104/1700-105/0500
2005052	140003Z APR 2005	22	FCSTSUMM	103/2111-103/2358
2005056	150017Z APR 2005	18	FCSTSUMM	104/1740-105/0026
2005057	152006Z APR 2005	20	FCSTSUMM	105/1747-105/1952
2005059	211319Z APR 2005	19	FCSTMX	115/1630-116/0430
2005060	221446Z APR 2005	08	FCSTMX	116/1330-117/0130
2005061	221450Z APR 2005	29	FCSTMX	118/1545-119/0345
2005062	221832Z APR 2005	14	FCSTMX	117/1145-117/2345
2005063	221836Z APR 2005	28	FCSTMX	119/1400-120/0200
2005064	252034Z APR 2005	19	FCSTSUMM	115/1724-115/2030
2005065	261512Z APR 2005	08	FCSTSUMM	116/1357-116/1504
2005066	271515Z APR 2005	14	FCSTSUMM	117/1224-117/1508
2005067	271902Z APR 2005	18	FCSTMX	122/1400-123/0200
2005068	271926Z APR 2005	03	FCSTDV	123/0430-123/1630
2005069	281225Z APR 2005	16	FCSTMX	124/1600-125/0400
2005070	281231Z APR 2005	23	FCSTMX	126/1416-127/0216
2005071	282227Z APR 2005	29	FCSTSUMM	118/1621-118/2220

B. ADVISORIES:

NANU	MSG DATE/TIME	PRN	TYPE	SUMMARY (JDAY/ZULU TIME START - STOP)
2005040	032310Z APR 2005	07	UNUSUFN	093/2238-
2005041	040924Z APR 2005	31	UNUSABLE	363/0042-094/0913
2005051	131730Z APR 2005	07	UNUSABLE	093/2238-103/1740
2005053	141619Z APR 2005	31	UNUSUFN	104/1635-/
2005055	141648Z APR 2005	31	UNUSUFN	104/1634-/

C. GENERAL:

NANU	MSG DATE/TIME	PRN	TYPE	SUMMARY (JDAY/ZULU TIME START - STOP)
2005039	011906Z APR 2005		GENERAL	/-/
2005054	141643Z APR 2005		GENERAL	/-/
2005058	152227Z APR 2005		GENERAL	/-/

3. REMARKS:

A. THE POINT OF CONTACT FOR GPS MILITARY OPERATIONAL SUPPORT IS THE GPS SUPPORT CENTER AT (719)567-2541 OR DSN 560-2541.

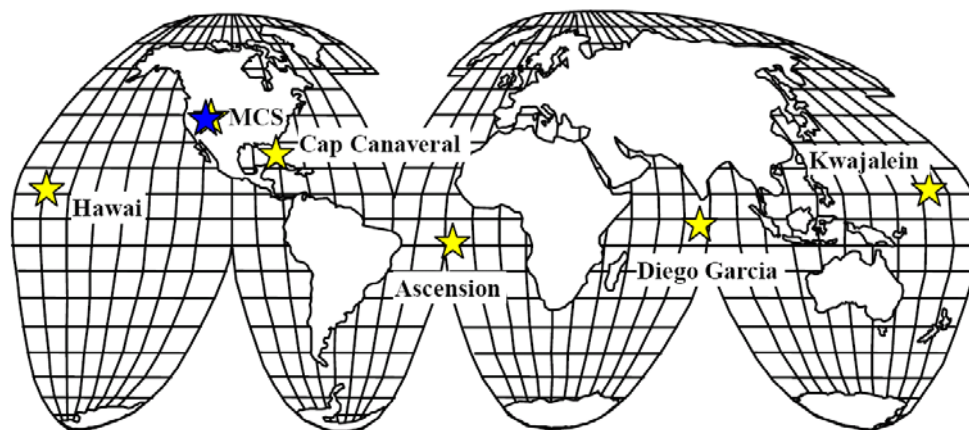
B. CIVILIAN: FOR INFORMATION, CONTACT US COAST GUARD NAVCEN AT COMMERCIAL (703)313-5900 24 HOURS DAILY AND INTERNET

HTTP://WWW.NAVCEN.USCG.GOV

C. MILITARY SUPPORT WEBPAGES CAN BE FOUND AT THE FOLLOWING

HTTP://WWW.SCHRIEVER.AF.MIL/GPS OR HTTP://WWW.SCHRIEVER.AF.MIL/GPSSUPPORTCENTER

Obr. V.4.2 Příklad zprávy o aktuálním družic rozmiřtěných v kosmickém segmentu GPS [253].



Obr. V.4.3 Mapa rozmístění stanic řídicího segmentu systému GPS [211].

rické armády (Havaj, Kwajalein, Diego García, Ascension a Colorado Springs). V Coloradu na letecké základně Schriever (Schriever Air Force Base) nacházející se v Colorado Springs je umístěna i *hlavní řídicí stanice* (angl. Master Control Station – MCS).

Kromě toho řídicí segment zahrnuje ještě tři *stanice pro komunikaci s družicemi* (angl. ground antenna), které jsou umístěny na vojenských základnách Kwajalein, Diego García a Ascension a které umožňují vysílat na družice údaje o jejich oběžných drahách, nastavovat hodiny, aktualizovat navigační zprávy a které umožňují také ovládání družic. Každá družice může obdržet aktualizované údaje i několikrát denně. Na obr. V.4.3 je mapa rozmístění stanic řídicího segmentu.

Pozemní monitorovací stanice jsou bezobslužné, jsou řízené dálkově z hlavní řídicí stanice. V podstatě se jedná o přesné přijímače GPS, doplněné o atomové hodiny. Tyto přijímače jsou schopné sledovat všechny aktuálně viditelné družice. Veškerá prováděná měření jsou kódová, dvoufrekvenční. Tyto stanice neprovádějí prakticky žádné zpracovávání přijatých dat, pouze určují prosté zdánlivé vzdálenosti k družicím a ty spolu s přijatými navigačními zprávami přenášejí do hlavní řídicí stanice [29]. Zde jsou na základě přijatých výsledků měření vypočítány přesné parametry oběžných drah (tzv. efemeridy) a korekce atomových hodin pro jednotlivé družice a následně jsou přeneseny na stanice pro komunikaci s družicemi, které minimálně jednou denně vysílají efemeridy a údaje o nastavení hodin na jednotlivé družice. Tyto družice pak vysílají prostřednictvím radiových signálů efemeridy svých oběžných drah a přesný čas do přijímačů GPS. Přesnost určení oběžných drah družic na hlavní řídicí stanici se pohybuje kolem 1.5 metru [178]. (Parametry oběžných drah družic jsou nezávisle určovány i jinými organizacemi, často na bázi fázových měření. Příkladem může být International GPS Service (IGS), která je schopná do čtrnácti dnů produkovat polohy družic na oběžných drahách s přesností až 3 cm

[178]).

Uvádí se, že v případě vojenského útoku je systém GPS vcelku málo zranitelný. Hlavní řídicí stanice je umístěna v opevněném bunkru ve Skalistých horách a má speciální ochranu. Družice jsou chráněny před elektromagnetickým impulsem vyvolaným kosmickým jaderným výbuchem. Navíc jsou tyto družice schopné dlouhodobého autonomního provozu (až 3 měsíce). Snadno zranitelné proto jsou jen pozemní monitorovací a komunikační stanice. Vzhledem k jejich velice jednoduché konstrukci však není problém je kdykoliv rychle obnovit.

4.1.3 Uživatelský segment

Uživatelský segment se skládá z přijímačů GPS, uživatelů a vyhodnocovacích nástrojů a postupů. Přijímače GPS provedějí na základě přijatých signálů z družic výpočty polohy, rychlosti a času. Pro výpočet všech čtyř souřadnic (x , y , z a t) je zapotřebí přijímat signály alespoň ze čtyř družic. Tyto přijímače jsou používány pro navigaci, určování polohy, měřičtví, určování přesného času, ale i pro jiné účely, jako je například studium parametrů atmosféry nebo studium pohybu kontinentálních desek.

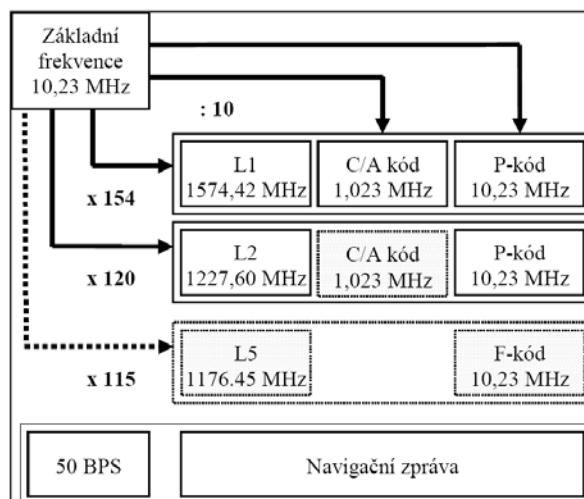
4.2 Signály vysílané družicemi GPS

Každý signál vyslaný družicí GPS je kombinací nosné vlny, dálkoměrného kódu a navigační zprávy.

Družice vysílají signály na dvou nosných frekvencích (obr. V.4.4). Frekvence $L1$ (1575,42 MHz, vlnová délka 19 cm) je modulována dvěma dálkoměrnými kódy. Jedná se o přesný nebo těž P-kód (angl. Precision nebo P-code), který může být pro vojenské účely zašifrován (a pak se označuje Y-kód) a hrubý/dostupný nebo těž C/A kód (angl. Coarse/Acquisition nebo C/A code), který není šifrovaný. Druhá frekvence označovaná $L2$ (1227,60 MHz, vlnová délka 24 cm) je modulována jen P-kódem (resp. jeho šifrovanou variantou – Y-kódem). Většina civilních přijímačů užívá pro měření pouze C/A kód.

Signály modulující první nosnou frekvenci $L1$ se označují jako signály *standardní polohové služby* (angl. Standard Positioning Service – SPS). Frekvence $L2$ je používána pro *přesnou polohovou službu* (angl. Precise Positioning Service – PPS) a umožňuje měřit zpoždění signálů při průchodu ionosférou. Je využívána jen speciálně vybavenými přijímači.

Kromě C/A a P-kódu je oběma nosnými frekvencemi přenášen ještě binární kód, obsahující *navigační zprávu*.



Obr. V.4.4 Schéma odvozování frekvencí jednotlivých signálů GPS (tečkovaně jsou vyznačeny civilní signály připravované v rámci modernizace) [212].

4.2.1 C/A kód

Jedná se v podstatě o pseudonáhodnou posloupnost 1023 nul a jedniček, která je svým charakterem blízká šumu (tzv. PRN kód; z angl. Pseudo Random Noise), ale je jednoznačně definovaná. Každá družice má přiděleno přesně svoji vlastní posloupnost nul a jedniček – svůj vlastní C/A kód. Družice jsou pak identifikovány svým PRN číslem, unikátním identifikátorem každého dálkoměrného kódu.

C/A kód má frekvenci 1,023 MHz, což vzhledem k jeho délce znamená, že se celá sekvence nul a jedniček opakuje každou milisekundu. C/A kód moduluje nosnou frekvenci $L1$.

Tento kód je běžně přístupný pro civilní aplikace a je proto používán civilními přijímači pro navigaci a mapování. C/A kód je základním signálem pro standardní polohovou službu.

4.2.2 P-kód

P-kód moduluje obě nosné frekvence. Opět se jedná o PRN kód, jehož celková délka je přibližně 266 dnů resp. 38,058 týdnů. Tento kód je rozčleněn na sedmidenní sekvence a každé družici je přiřazena jedna z nich. Teoreticky tedy tento kód umožňuje existenci až 38 současně vysílajících družic GPS. P-kód je vysílán frekvencí 10,23 MHz a opakuje se každých sedm dní.

P-kód umožňuje měřit zdánlivou vzdálenost mezi přijímačem a družicí s vyšší přesností, a to ze dvou důvodů [105]:

- díky použití rychlejšího a delšího kódu,
- díky možnosti měřit na obou nosných frekvencích L1 a L2, což umožňuje podstatně omezit vliv ionosféry.

4.2.3 Y-kód

Tento kód je možné považovat za šifrovaný P-kód. Rovnice pro dekódování Y-kódu jsou tajné, znají je pouze autorizovaní uživatelé. Jakmile se armáda rozhodne aktivovat Y-kód (jinak řečeno jakmile se armáda rozhodne šifrovat P-kód), civilní uživatelé nemohou využívat ani P-kód, ani Y-kód. Faktem je, že v současné době systém GPS vysílá Y-kód téměř nepřetržitě.

4.2.4 Navigační zpráva

Pro určování polohy přijímače GPS je nezbytné znát přesnou polohu vysílající družice v době odeslání dálkoměrného kódu. Ta se počítá na základě parametrů její oběžné dráhy, které sama družice vysílá v rámci tzv. *navigační zprávy* (angl. navigation message). Navigační zpráva obsahuje celou řadu údajů [105]:

- přesné parametry oběžné dráhy družice,
- přibližné parametry oběžných drah všech družic kosmického segmentu (tzv. almanach),
- údaje umožňující přesně korigovat čas vysílání družice,
- koeficienty ionosférického modelu,
- stav družice (angl. health) atd.

Na základě údajů získaných z navigační zprávy tedy můžeme spočítat přesnou polohu družice a přesný čas odeslání přijaté sekvence dálkoměrného kódu. Dále je možné z těchto údajů vypočítat přibližné korekce na ionosférickou refrakci pro případ, že není prováděno dvoufrekvenční měření.

Almanach obsahuje méně přesné parametry oběžných drah všech družic umístěných v kosmickém segmentu a údaje o stavu těchto družic. To umožňuje přijímači, aby při znalosti aktuálního almanachu byl schopen začít vyhledávat družice aktuálně viditelné v dané oblasti a mohl tak výrazně snížit dobu potřebnou pro zahájení určování polohy přijímačem.

Koeficienty ionosférického modelu používá přijímač pro přibližný odhad vlivu ionosféry na signály GPS pro kterýkoliv místo a kterýkoliv čas v případě, že neprovádí dvoufrekvenční měření.

Stav družice informuje uživatele o závadách na družici a o tom, zda a v jakém rozsahu je možné ji použít pro určování polohy.

Kromě výše uvedených dat jsou ještě přenášeny další systémové údaje.

4.3 Určování polohy a času

Kdykoliv chceme určovat polohu, resp. čas, musíme si nejprve definovat příslušné referenční systémy. V případě určování polohy je tímto referenčním systémem obvykle souřadnicový systém, v případě určování času pak časová škála. Pro systém GPS jsou standardně definovány oba referenční systémy a veškeré výpočty a určování polohy a času se primárně provádí právě v nich. Pokud požadujeme výsledky určování polohy a času v jiném souřadnicovém systému, resp. v jiné časové škále, musíme provést následnou transformaci mezi oběma referenčními systémy. Příjímače GPS umožňují přímo provádět transformace do celé řady běžně používaných souřadnicových systémů. Pokud však mezi nimi požadovaný systém není, je nezbytné transformaci provést až při následném zpracování. To je případ i u nás běžně používaného systému S-JTSK.

4.3.1 Souřadnicový systém

Pokud chceme pomocí GPS určovat polohu, pak si musíme nejprve definovat souřadnicový systém, v kterém se budeme pohybovat a k němuž budou vztaženy veškeré výpočty.

Příjímač GPS poskytuje určenou polohu v geografických souřadnicích vztažených k *Světovému geodetickému systému – 1984* (WGS-84; angl. World Geodetic System – 1984) a umí je v případě potřeby převést do některého běžného kartografického zobrazení. Problémem však je, že dnes ještě neexistuje příjímač GPS, který by měl standardně zabudované transformace do u nás běžně používaných souřadnicových systémů S-JTSK a S-42. Proto se tato transformace musí řešit až dodatečně pomocí převodních programů.

4.3.2 Nadmořská výška

Nadmořská výška H přepočtená z pravoúhlých souřadnic WGS-84 je vztažena k ploše referenčního elipsoidu a proto ji označujeme jako *výšku nad elipsoidem*. Pro mapování a technické práce nás však spíše zajímá nadmořská výška h , odpovídající *výšce nad geoidem*. Příjímače GPS jsou schopné poskytovat obě tyto výšky.

V rámci České republiky se výška geoidu nad elipsoidem N pohybuje přibližně v intervalu od 42.5 m na východě po 47 m na západě [105]. Z toho také vyplývá

rozdíl těchto dvou výšek a jeho případný dopad pro praxi. Podrobnější popis této problematiky lze nalézt v [200], [239].

4.3.3 Čas GPS

Čas GPS (angl. GPS Time) se řídí *hlavními kontrolními hodinami* (angl. Master Control Clock). S nimi jsou synchronizovány hodiny jednotlivých družic. Čas GPS se uvádí v týdnech (angl. Time of Week) a sekundách, které uplynuly od počátku systémového času, tj. 24:00:00 hodin dne 5. ledna 1980. Je synchronizován s časem UTC s přesností na jednu mikrosekundu. Rozdíl je jen v tom, že čas GPS nemá zabudovaný mechanismus přestupných sekund a proto se postupně rozchází s časem UTC. Navigační zpráva každé družice obsahuje údaje, které umožňují přepočítat čas GPS na čas UTC a eliminovat tak tento rozdíl.

4.3.4 Družicový čas

Družicový čas si udržuje každá družice samostatně. Za tímto účelem je každá vybavena čtyřmi (novější družice pouze třemi) atomovými hodinami (dvoje cesiové, dvoje rubidiové; přesnost atomových hodin je taková, že k odchylce 1 s může dojít až během jednoho milionu roků). Časy jednotlivých družic jsou sledovány pozemními monitorovacími stanicemi a v případě potřeby znovu nastaveny tak, aby se udržel rozdíl oproti času GPS pod jednu milisekundu. Navigační zpráva každé družice obsahuje údaje nezbytné pro korekci posunu mezi družicovým časem a časem GPS.

Největší jednotkou času, s níž systém GPS pracuje, je *týden* (angl. GPS week). Týdny se počítají od počátku systémového času GPS a pro jejich počítání je v systému vyhrazen desetibitový čítač, což znamená, že tento čítač je schopen čítat týdny až k číslu 1023 a pak dojde k jeho vynulování. Této situaci se říká *přetečení týdne* (angl. GPS week rollover). Poprvé k němu došlo o půlnoci z 21. na 22. srpna 1999. Této okolnosti byla věnována značná pozornost, byly obavy, že by mohlo dojít ke značným problémům především s aplikacemi, využívajícími systém GPS pro synchronizaci času. Problém přetečením týdne se dokonce přirovnával k problému s přechodem na rok 2000, který také vyvolával značné obavy. Nakonec se ale vše obešlo bez jakýchkoliv problémů. K příštímu přetečení týdne dojde v noci na 25. května 2019.

Kratší časové jednotky jsou odvozovány ze signálů, vysílaných družicemi, jako je navigační zpráva, C/A kód apod.

4.4 Principy měření

System GPS využívá pro určování polohy a času dva základní principy měření. Dále je popsána jejich konkrétní realizace.

4.4.1 Kódová měření

Kódová měření představují základní princip měření pomocí systému GPS. Přijímač na základě přijímaných signálů (v tomto případě konkrétně dálkoměrných kódů) určuje dobu šíření signálu z družice k přijímači. Z tohoto času je možné spočítat jeho vynásobením rychlostí šíření radiových vln tzv. *zdánlivou vzdálenost* (angl. pseudo-range) přijímače od družice.

Zdánlivou vzdáleností je výsledek měření označován proto, že je zatížen chybou hodin přijímače. Ten je vybaven jen levnými krystalovými hodinami, které jsou výrazně méně přesné, než atomové hodiny na družicích. Vzhledem k tomu, že odchylka hodin přijímače od času GPS není známá, je nezbytné ji určit, a to pokud možno co nejjednodušším způsobem. Tento problém bude probrán později.

4.4.2 Fázová měření

Fázová měření jsou, velice zjednodušeně řečeno, založena na spočítání počtu nosných vln, které se v okamžiku měření nacházejí mezi družicí a přijímačem, včetně zlomkové části vlny. Vlnové délky nosných vln jsou velice krátké: asi 19 cm v případě nosné vlny L1 a 24 cm v případě nosné vlny L2. Pomocí fázových měření můžeme proto určovat vzdálenost mezi družicemi a přijímačem s přesností až na milimetry. Problémem však je, že umíme velice přesně změřit zlomkovou část, ale obtížně určujeme celočíselný násobek vlnové délky. Fázová měření proto vykazují určitou *nejednoznačnost* (angl. ambiguity) rovnající se počtu celých vlnových délek nosné vlny, nacházejících se mezi přijímačem a družicí (proto se někdy označuje také termínem *celočíselná nejednoznačnost* – angl. integer ambiguity).

Pro nalezení celočíselného násobku vln byla vypracována celá řada postupů, umožňujících určit tuto hodnotu buďto při následném zpracování v kanceláři nebo i in situ při vyhodnocování v reálním čase. Obvykle jsou tyto metody založeny na faktu, že je hledáno pouze celočíselné řešení, protože desetinná část, jak již bylo řečeno, se určuje samostatně a velice přesně. Dnes je možné v literatuře nalézt např. metodu OTF (angl. On The Fly) nebo metodu Lambda [90], [129], [130], [149].

Jakmile jednou přijímač hodnotu celočíselné nejednoznačnosti určí, je již schopen průběžně sledovat změny fázového posunu a počtu celých vln a tím i vlastní polohu, resp. její změny (v případě mobilních stanic).

Pokud v důsledku oslabení signálu z nízko letící družice nebo v důsledku zastínění

antény (omylem rukou, jízdou v tunelu nebo podjížděním pod mostem, zastíněním stromy nebo domem, apod.) dojde k přerušení sledování nosné vlny, dojde k tzv. *fázovému skoku* (angl. cycle slip). V praxi to znamená, že přijímač musí začít nový cyklus měření, od určení fázového posunu až po nové určení počtu celých vln mezi ním a družicí.

4.4.3 Dopplerovská měření

Přijímač GPS může využít pro určování polohy i Dopplerův posun. Tato měření jsou ale spíše využívána k určování rychlosti, s jakou se přijímač pohybuje.

4.5 Metody měření a vyhodnocování

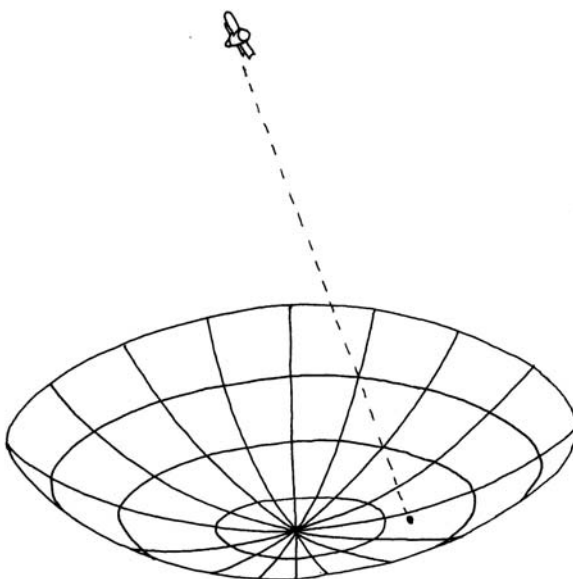
4.5.1 Určování absolutní polohy přímo v terénu

Absolutní poloha přijímače může být určena přímo v průběhu terénních měření pomocí zdánlivých vzdáleností získaných kódovými měřeními.

Předpokládejme nejprve, že hodiny družice i přijímače jsou skutečně synchronní a zanedbejme vlivy prostředí na šíření signálů (např. zpoždění signálu při průchodu ionosférou a troposférou). A dále předpokládejme, že neexistují ani žádné další vlivy, které by způsobily náhodné změny výsledků měření (náhodný šum apod.). Pak z jednoho změřeného zdánlivé vzdálenosti jsme schopni určit, že přijímač se musí nacházet někde na kulové ploše se středem v družici a poloměrem r_1 rovným vypočtené vzdálenosti (obr. V.4.5). Pokud současně provedeme stejné měření vzhledem k druhé družici, pak náš přijímač musí současně ležet i na povrchu kulové plochy se středem v druhé družici a poloměrem r_2 . Obě kulové plochy se protínají v kružnici (obr. V.4.6) a náš přijímač se tedy musí nacházet někde na této kružnici. Třetí současně změřená vzdálenost r_3 pak definuje třetí kulovou plochu, která se s touto kružnicí protne ve dvou bodech (obr. V.4.7). Jeden z těchto bodů může být ihned zanedbán, protože leží daleko ve vesmíru, takže současné měření vzdáleností ke třem družicím je teoreticky schopné poskytnout přesnou polohu v třírozměrném prostoru. Bohužel tak snadné je to opravdu jen teoreticky.

Prakticky, jak již bylo zmíněno, není synchronizace hodin družic a přijímače se systémovým časem družicového polohového systému tak dokonalá, takže je nezbytné celý postup určení polohy tomu přizpůsobit.

Posun hodin na družicích oproti systémovému času je známý, a proto je možné dodatečně časové údaje družic korigovat. Přesto však ještě zůstává neznámým časový posun ΔT hodin přijímače vůči systémovému času. Tento časový posun se prakticky projeví tak, že výpočty určené zdánlivé vzdálenosti r_1 až r_3 nejsou



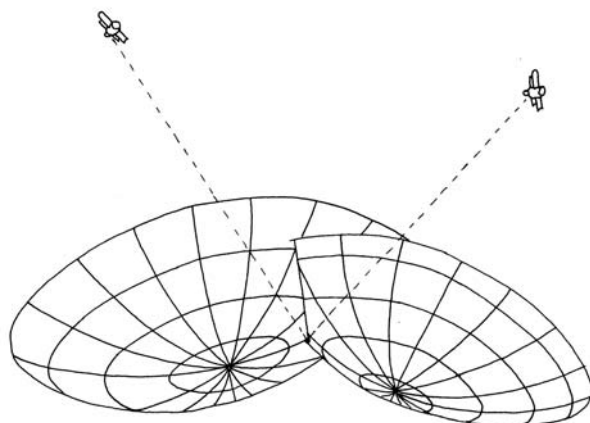
Obr. V.4.5 Možné polohy přijímače vzhledem k jedné družici – kulová plocha [211].

správné, liší se o vzdálenost, kterou urazí rádiové vlny za čas ΔT (viz obr. V.4.8), kde je problém pro lepší názornost převeden do roviny) a proto jejich průsečíkem není bod, ale „trojúhelník“. Pouze až když opravíme vypočtené vzdálenosti o hodnotu $c \cdot \Delta T$, můžeme určit polohu přijímače.

Takže nyní máme čtyři neznámé: souřadnice polohy přijímače X , Y a Z a dále časový posun hodin přijímače ΔT – ale jen tři měření. Jedinou cestou, jak situaci vyřešit, je přidat ještě jedno měření – měřit zdánlivé vzdálenosti přijímače ke čtyřem družicím a řešit pak soustavu čtyř rovnic o čtyřech neznámých:

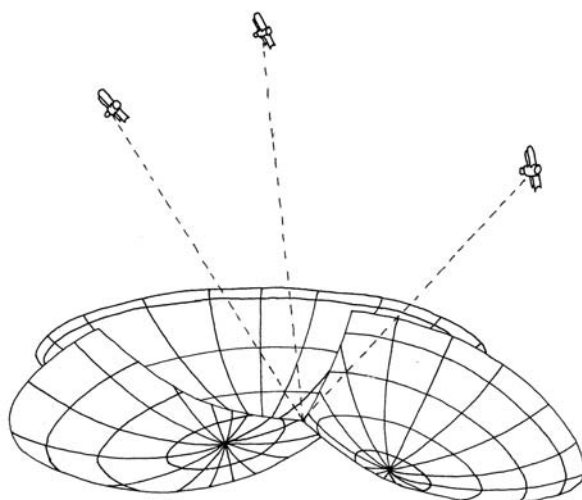
$$\begin{aligned} r_1 &= \sqrt{(X - x_1)^2 + (Y - y_1)^2 + (Z - z_1)^2} - c \cdot \Delta T \\ r_2 &= \sqrt{(X - x_2)^2 + (Y - y_2)^2 + (Z - z_2)^2} - c \cdot \Delta T \\ r_3 &= \sqrt{(X - x_3)^2 + (Y - y_3)^2 + (Z - z_3)^2} - c \cdot \Delta T \\ r_4 &= \sqrt{(X - x_4)^2 + (Y - y_4)^2 + (Z - z_4)^2} - c \cdot \Delta T \end{aligned}$$

Na levé straně rovnic jsou zdánlivé vzdálenosti přijímače k jednotlivým družicím, tak jak byly naměřené. X , Y a Z jsou souřadnice přijímače, které chceme určit, x_i , y_i a z_i jsou souřadnice jednotlivých družic v době měření zdánlivých



Obr. V.4.6 Možné polohy přijímače vzhledem k dvěma družicím – kružnice [211].

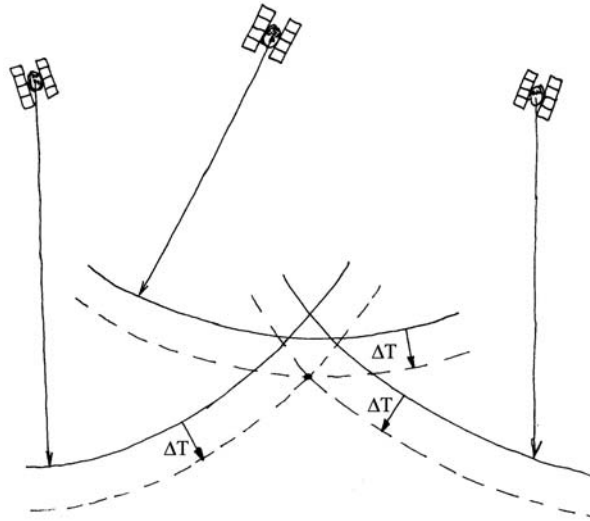
vzdáleností (získáme je výpočtem z údajů obsažených v navigačních zprávách jednotlivých družic), c je rychlost světla a ΔT je neznámý posun hodin přijímače oproti systémovému času, který chceme rovněž určit. Tyto rovnice musí být řešeny simultánně tak, aby přijímač mohl přímo poskytovat výstup v souřadnicích. Poloha je určována v geocentrických souřadnicích, bývá však zpravidla převáděna do geografických souřadnic. Obecně může být poloha převedena do souřadnic prakticky libovolného kartografického zobrazení.



Obr. V.4.7 Možné polohy přijímače vzhledem ke třem družicím – dva body [211].

4.5.2 Určování relativní polohy

Přijímače mohou rovněž být použity pro určování relativní polohy vzhledem k pevně známému bodu. Tento postup může být aplikován jak v reálném čase přímo při měření v terénu, tak i při následném zpracování v kanceláři (angl. postprocessing).



Obr. V.4.8 Vliv časového posunu hodin přijímače na přesnost měření [211].

Relativní určování polohy je založeno na kódových měřeních, která určitým způsobem opravuje (koriguje). Korekce se určují pomocí *referenčního přijímače* (angl. reference station nebo base station), který umísťujeme na bod o přesně známých souřadnicích. Z jeho měření je možné vypočítávat odchylku (chybu) přijímačem určené polohy od polohy skutečné. Zjištěné odchylky je možné přenášet jako tzv. *korekce* do druhého (pohyblivého) přijímače (angl. rover station) a použít je pro opravu jeho měření. Přitom se předpokládá, že oba přijímače jsou zatíženy přibližně stejnou velikostí geometrických a časových chyb a že většina běžných chyb se touto cestou vyruší (odečte).

Relativní určování polohy touto metodou dosahuje výrazně lepší přesnosti: v případě použití dálkoměrného kódu standardní přesnosti může být přesnost určování relativní polohy v ideálním případě i lepší než 1 metr (ale obvykle se pohybuje řádově v prvních metrech).

4.5.3 Přesná geodetická měření

Pokud provádíme přesná geodetická měření s požadovanou přesností řádově v centimetrech, jako je zaměřování *základěn* (angl. base lines), pak již nevystačíme s

měřeními odvozenými od sledování dálkoměrných kódů, ale je nezbytné použít fázová měření.

Fázová měření jsou prováděna několika (minimálně dvěma) přijímači současně v předem definovaných měřicích intervalech – tzv. epochách (angl. epoch) – (co 1s, co 15 s apod.) a vzhledem k několika (minimálně čtyřem) družicím. Po skončení měření jsou naměřená data přenesena do počítače a zpracována. Poloha měřených bodů se neurčuje přímým zpracováním naměřených dat, nýbrž z nich počítáme tzv. diference (jednoduché, dvojité či trojitě). Podrobnější výklad přesahuje rámec tohoto textu. Zájemce je možné odkázat na odbornou literaturu, zabývající se využitím systému GPS pro přesná geodetická měření, např. [152] a další.

4.6 Požadovaná přesnost GPS

Požadavky na přesnost GPS jsou definovány v tzv. Federálním radionavigačním plánu (angl. Federal Radionavigation Plan) a jsou rozlišeny na dvě základní úrovně poskytovaných služeb:

- standardní polohová služba,
- přesná polohová služba.

Standardní polohovou službu (SPS) mohou využívat uživatelé po celém světě bezplatně a bez omezení. Většina přijímačů je schopna signály vysílané v rámci této služby přijímat.

Požadavky na přesnost jsou nově definovány takto (pro pravděpodobnost 95 %) [271]:

- horizontální přesnost do 13 m,
- vertikální přesnost do 22 metrů,
- přesnost času do 40 nanosekund.

Přesnou polohovou službu (PPS) mohou využívat autorizovaní uživatelé, kteří vlastní na základě povolení kryptografické zařízení a odpovídající klíče a mají speciálně vybavené přijímače. Mezi tyto uživatele patří samozřejmě americká armáda a spřátelené armády, určité vládní agentury a vybraní civilní uživatelé, kteří získali speciální povolení vlády USA. Při udělování tohoto povolení jsou zvažovány následující podmínky:

- národní zájmy USA,
- schopnost uživatele zajistit utajení,
- nemožnost použití jiného způsobu měření.

4.7 Metody zpřesňování určování polohy a času

Již při návrhu systému GPS uvažovali konstruktéři o možných metodách zpřesňování určování polohy. Další postupy pak začaly vznikat po té, co byl systém uveden do provozu a začal být využíván především civilními uživateli, kteří neměli přístup k přesné polohové službě. Tyto metody mohou být buďto založeny na zvláštní organizaci a zpracování měření, nebo na využití dalšího technického vybavení. Do první skupiny patří například *průměrování*, do druhé skupiny *diferenční GPS*.

Některé z těchto metod (a případně je podporujících systémů) si popíšeme v následujících odstavcích. Tyto systémy jsou často označovány jako *rozšiřující systém* GPS (angl. augmentation). Zpočátku bylo cílem budování a používání těchto systémů pouze zvýšení přesnosti určování polohy, později, především s ohledem na aplikace mající přímý dopad na bezpečnost lidí, jako je letectví a železniční doprava, přibýly i cíle v oblasti monitorování *dostupnosti* a *integrity* signálů GPS.

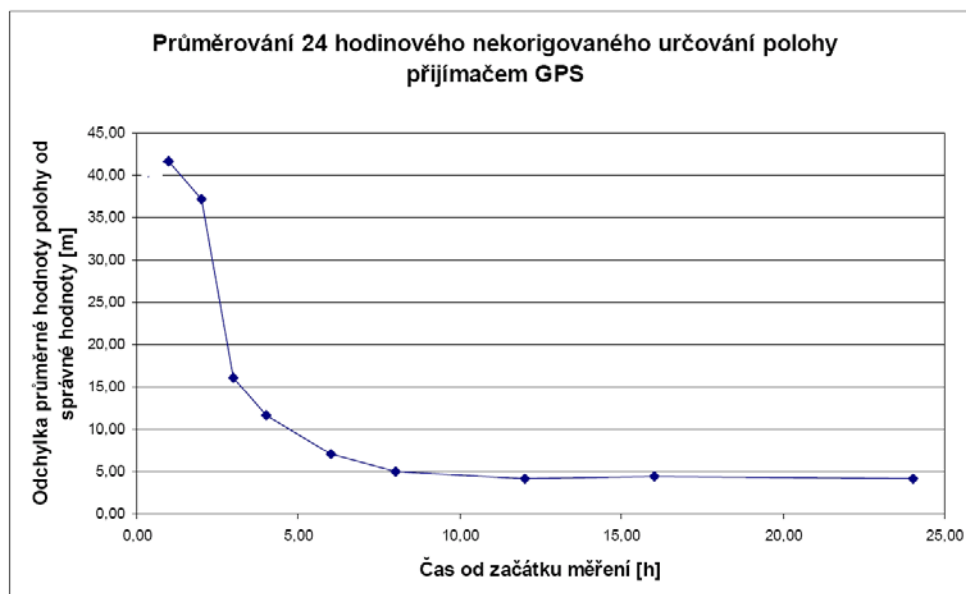
4.7.1 Průměrování

Vyhodnocování měření přijímači GPS průměrováním bylo vyvinuto již před mnoha lety. Výhodou tohoto postupu je, že není závislý na dalších zařízeních, jako je referenční stanice a můžeme tedy měřit jen jediným přijímačem. Nevýhodou je potřeba dlouhodobého měření na jednom bodě. V [76] je popsán princip a jsou zde uvedeny i výsledky praktického testování této metody. Princip měření a zpracování je vcelku jednoduchý: na bodě, jehož polohu chceme určit, provedeme mnohahodinové měření s frekvencí vzorkování 1 sekunda a z naměřených dat spočítáme průměrnou hodnotu. Praktické výsledky ukázaly, že po osmi hodinách měření již přesnost určení polohy nijak výrazně nestoupá (obr. V.4.9). Nutno podotknout, že tento pokus byl proveden v době, kdy byla aktivní selektivní dostupnost. Je pravděpodobné, že za stávajícího stavu (tedy bez SA) budou výsledky této metody ještě lepší.

4.7.2 Diferenční GPS

Diferenční GPS (angl. Differential GPS – DGPS) je založené principiálně na relativním určování polohy. Jde však dál a vytváří nezbytné technické a metodické zázemí pro relativní určování polohy. Umožňuje významné zvýšení přesnosti určování polohy v reálném čase.

Běžně se vyhodnocování diferenčních měření provádělo až dodatečně, proto nebylo možné tato měření použít např. pro potřeby navigace. Nicméně získané zkušenosti natolik prokázaly výhody tohoto postupu, že výrobci začali vybavovat své přijímače nezbytnými komunikačními kanály, umožňujícími přivádět do přijímače potřebné korekční údaje z referenční stanice a provádět toto zpracování v reálném



Obr. V.4.9 Grafické znázornění odchylky průměrné hodnoty polohy od skutečné polohy v závislosti na době měření (upraveno podle [76]).

čase. Navíc se po celém světě začaly organizovat služby, které provozují sítě referenčních stanic a zajišťují nepřetržité a veřejné vysílání korekčních údajů. Tyto služby vznikaly nejprve v oblasti lodní dopravy podél pobřeží a významných vnitrozemních vodních cest ve Spojených státech amerických, ale dnes se budují i jinde, např. na pobřeží Evropy, Číny apod. I když jsou tyto služby určené primárně pro navigaci, lze je dosti dobře využít i pro potřeby mapování.

Dalším krokem v rozvoji těchto služeb je budování sítí referenčních stanic a nezbytných vysílačů ve vnitrozemí.

V České republice bylo v roce 2004 zahájeno budování národní sítě referenčních stanic (Česká permanentní síť pro určování polohy – CZEPOS [126]), která je provozována v rámci resortu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK). Byla dobudována v roce 2006 a je složena především z referenčních stanic provozovaných resortem ČÚZK a umístěných na budovách katastrálních úřadů, ale zapojeny do ní jsou i stanice provozované externími subjekty z řad akademických institucí, např. VUT Brno, VŠB-TU Ostrava (obr. V.4.10) a ZČU Plzeň. Celkem se jedná o 26 referenčních stanic (22 resortních a 4 externí). Na obr. V.4.11 je znázorněno rozmístění stanic sítě CZEPOS.

V současné době je tato síť provozována jako národní a resortní, nicméně zapadá do rámce celoevropské sítě EUPOS a i její aktivní využívání u na národní úrovni nepochybně již brzy překročí hranice resortu ČÚZK. Potenciálními uživateli jsou záchranné služby, silniční, železniční, říční i letecká doprava, občané v rámci svých

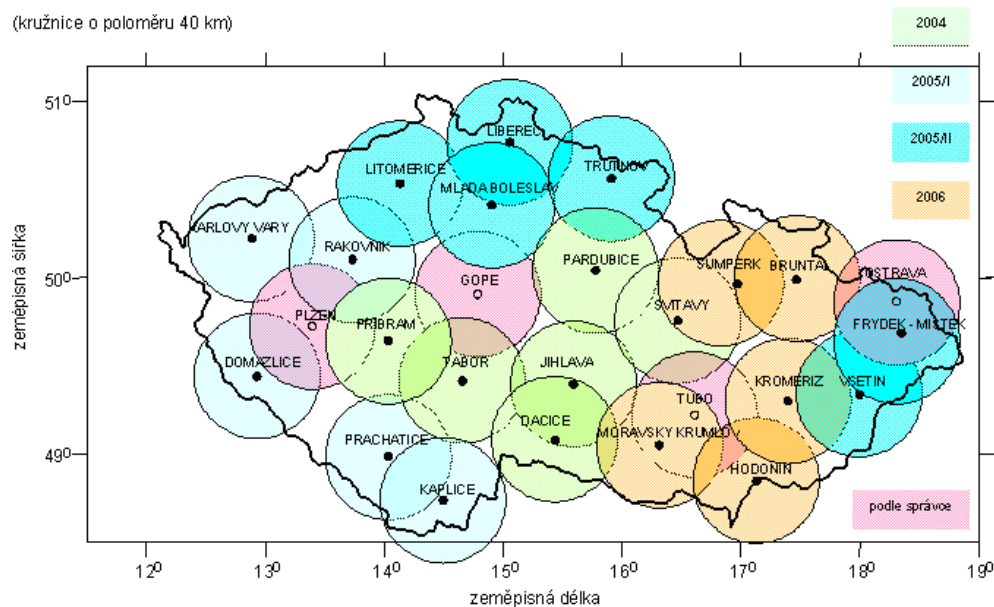


Obr. V.4.10 Ukázka referenční stanice GPS/GLONASS, vybudované na střeše hlavní budovy porubského areálu VŠB-TU Ostrava. Na obrázku je patrný pilíř s anténou a meteorologická čidla.

volnočasových aktivit apod.

Korekční údaje se na referenční stanici aktualizují zpravidla v intervalu sekund až prvních desítek sekund. Jejich platnost se udává do vzdálenosti maximálně prvních stovek kilometrů v případě kódových měření a maximálně první desítky kilometrů v případě fázových měření. Přesnost korekcí s rostoucí vzdáleností od referenční stanice klesá. Nicméně dnes jsou již vyvinuty postupy, umožňující zpřesnění korekcí i pro větší vzdálenosti od referenčních stanic. Podmínkou je, aby byla k dispozici alespoň tak hustá síť referenčních stanic, jakou nabízí například CZEPOS. Pak je možné z dat získaných těmito stanicemi vypočítávat korekce pro prakticky libovolné místo v oblasti pokrytí (v tomto případě Česka). Data z referenčních stanic jsou přenášena do centra, zde jsou zpracovávána a následně jsou pro jednotlivé uživatele generovány korekce v podobě tzv. *virtuálních referenčních stanic* (angl. virtual reference station): uživatel má dojem, že v místě, kde právě provádí měření, pracuje skutečná referenční stanice, jejíž korekce používá pro zpřesňování svých měření.

Pro přenos korekčních údajů od referenčních stanic k uživatelům je pro kódová měření definován standard RTCM SC-104, který dnes respektují všichni výrobci přijímačů i všichni provozovatelé sítí DGPS. V případě fázových měření je nezbytné



Obr. V.4.11 Rozmístění referenčních stanic sítě CZEPOS [126].

přenášet na pohyblivé stanice přímo data naměřená referenční stanicí. Vzhledem k jejich objemu již nepřichází v úvahu použití standardu SC-104 a proto se používají formáty odlišné, např. CMR2.

Následné zpracování – postprocessing

V počátcích budování sítě referenčních stanic není nezbytně nutné, aby tyto stanice vysílaly korekční údaje v reálném čase (samozřejmě pokud nejsou určené pro navigaci). V tom případě stačí, aby byla každá referenční stanice připojena k počítači PC připojenému k telefonu nebo Internetu. Každý uživatel se může snadno spojit s touto službou a přenést si korekční údaje pro časový úsek, kdy prováděl měření. Pak již jen stačí společně zpracovat data naměřená v terénu a data z referenční stanice a získat tak potřebné výsledky.

Zpracování v reálném čase

Pokud chceme získat přesné výsledky přímo v terénu, musíme využít zpracování v reálném čase. Znamená to, že musíme být nějakým komunikačním kanálem přímo napojeni na referenční stanici.

Pro přenos diferenčních korekcí mohou být použity různé cesty:

- radiomodemy,
- bezdrátové datové sítě,
- mobilní telefony,
- klasický telefon,
- počítačové sítě jako je Internet.

4.8 Oblasti využití GPS

System GPS je využíván v celé řadě oblastí. Mezi ně patří [212]:

- doprava,
- geodézie a mapování,
- zvládání krizových situací,
- pozemní aplikace,
- rekreace,
- vesmír,
- časové služby,
- vědecké aplikace,
- a celá řada dalších.

Podívejme se na některé z těchto oblastí podrobněji.

4.8.1 Aplikace GPS v oblasti dopravy

Doprava je dnes pravděpodobně jedním z největších civilních uživatelů služeb systému GPS (v celosvětovém měřítku). Družicová navigace pronikla do všech druhů dopravy, pozemní počínaje a kosmickou konče.

Aplikace v silniční dopravě

Silniční doprava využívá systém GPS pro pasivní sledování pohybu vozidel. Asi nejjednodušší je v této oblasti monitorování pohybu vozidel metodou černé skříňky. Do sledovaného vozidla se namontuje zařízení, které na záznamové medium ukládá polohu vozidla určenou v zadaném intervalu, např. jedné minuty. Po návratu vozidla zpět do firmy se nashromážděné záznamy přehrají do počítače a na obrazovce lze vykreslit trasu, po které se vozidlo ve sledované době pohybovalo, jízdní

časy, rychlost jízdy, rozložení a délku přestávek, dobu stání na určitém místě apod. Tento systém přináší netušené možnosti. Je znám například případ, kdy jedna firma před lety vyvinula takovýto systém pro velkou obchodní firmu. Ta jím vybavila vozidla svých obchodních cestujících a v krátké době se s celou řadou z nich rozešla, neboť po porovnání vykazovaných jízd se skutečností bylo zřejmé, že se tyto zaměstnanci nevěnují svým povinnostem. Typickou oblastí použití je sledování pohybu obchodních cestujících, sledování pohybu rozvážkových vozidel, vozidel služeb, vozidel městské hromadné dopravy apod.

O stupínek výš stojí aplikace, které opět jen monitorují pohyb vozidla, ale údaje o jeho poloze již přenášejí periodicky na dispečink. K přenosu dat je možné využívat různá media, klasickými GSM telefony počínaje, přes vlastní vyhrazené komunikační sítě až po družicové datové přenosy. Konkrétní použité přenosové médium je závislé na požadované frekvenci a objemu přenášených dat. Pokud je tímto systémem sledována např. mezinárodní kamionová doprava, kdy stačí mít údaje o pohybu vozidel řádově jednou za několik hodin, vystačíme nejspíš s jednoduchou komunikací pomocí telefonu GSM s využitím SMS zpráv. Pokud kamiony zajíždějí i do oblastí, které nejsou pokryty mobilními operátory, přichází v úvahu využití družicových datových sítí.

Takovýto systém umožňuje mnohem operativnější řízení využití vozového parku (angl. fleet management) a může poskytnout i některé další služby, které byly dříve nedostupné, jako je sledování pohybu vozidel s nebezpečným nákladem (například z hlediska dodržení stanovené trasy přesunu), sledování doručení nákladu adresátovi, operativní změnu trasy v závislosti na nových požadavcích na převoz zakázek apod.

Jiná situace nastane, pokud sledujeme např. pohyb vozidel převážejících nebezpečný náklad městem nebo pohyb vozidel policie a kdy je kladen požadavek na možnost velice detailního monitorování jejich pohybu s krokem řádově v sekundách. V takovém případě je potřebné v zájmové oblasti vybudovat nezbytnou komunikační infrastrukturu, umožňující v reálném čase přenášet aktuální polohy sledovaných vozidel. V centru je možné tyto údaje průběžně zobrazovat například na monitoru dispečera. Jako příklad lze uvést ostravské Centrum tísňového volání (CTV), které představuje sdružený dispečink hasičů, lékařské záchranné služby a městské a státní policie. Pro potřeby CTV se buduje právě takovýto systém. Jednotlivá vozidla všech těchto služeb jsou postupně vybavována přijímači GPS a údaje z nich se (po nezbytné korekci metodou DGPS) přenášejí v reálném čase do Centra. Zde se polohy jednotlivých vozidel zobrazují na digitální mapě města Ostravy. Po úplném dobudování tohoto systému budou dispečerů schopni operativněji organizovat zásahy řízených jednotek a samozřejmě i monitorovat pohyb služebních vozidel.

O další stupínek výš stojí systémy, umožňující nejen pasivně sledovat pohyb vozidla, ale i aktivně ovlivňovat jeho jízdní trasu. Těmto systémům se říká systémy *automatické lokalizace vozidel* (angl. Automatic Vehicle Location – AVL). Jsou založeny na využití vícero geoinformačních technologií (jako jsou GPS, geografické

informační systémy, digitální prostorové databáze apod.) a umožňují průběžně sledovat polohu vozidla, zobrazovat ji na mapě a navigovat řidiče při jízdě po předem (většinou automaticky) stanovené trase. Jízda s takovýmto systémem může vypadat například takto: řidič nasedne do vozidla, zapne svůj AVL systém a ten mu na obrazovce ukáže aktuální polohu. Po té řidič zadá adresu místa, kam chce dojet (a to například i v jiné části státu nebo i v jiné zemi) a dál se již jen řídí pokyny systému. Ten vždy včas před křižovatkou oznámí směr další jízdy (například odbočení doprava) a to jak vizuálně, tak i akusticky mluvenou řečí. Řidič se tak může plně věnovat řízení. Takovéto systémy jsou již dostupné, i když jejich cena se zatím pohybuje v řádu mnoha desítek tisíc korun. Nevýhodou systémů AVL je, že nejsou zatím schopné pružně reagovat na změny v silniční síti, na různé uzávěry, objízďky, dopravní zácpy apod. Na odstranění tohoto nedostatku se však intenzivně pracuje.

Na nejvyšším stupínku pomyslného žebříčku aplikací systému GPS v oblasti silniční dopravy stojí v současné době vyvíjené *inteligentní dopravní systémy* (angl. Intelligent Transport Systems – ITS) umožňující průběžné sledování vytížení dálniční sítě a průběžné informování jak záchranných a bezpečnostních služeb, tak i silničářů a samozřejmě i samotných řidičů vozidel o aktuální situaci. Jedná se o složitý komplex různých komunikačních, informačních, navigačních, monitorovacích a dalších systémů, jehož cílem je výrazně zvýšit bezpečnost a plynulost silniční dopravy. Mnohé z těchto systémů jsou opět založeny na využití přijímačů GPS. Například výše zmíněný systém AVL by jako součást ITS dostával aktuální informace o změnách průjezdnosti komunikací v oblasti, kterou vozidlo projíždí a mohl by tak dynamicky upravovat na počátku stanovenou jízdní trasu. Mohl by navést řidiče tak, aby objel místo nehody, dočasné uzavírky apod. ITS přitom musí zajistit fungování AVL systémů i v místech, kde jsou signály systému GPS nedostupné, jako jsou především dlouhé tunely, silnice vedené v úzkých a hlubokých zářezích, mohutné kovové mostní konstrukce apod.

Aplikace v železniční dopravě

Vedle silniční dopravy proniká využívání systému GPS i do dopravy železniční. Zde již však neexistuje tak pestrá škála aplikací. Budované systémy jsou zaměřeny na průběžné monitorování vlakových souprav s cílem zvýšit bezpečnost železniční dopravy a umožnit i lepší využití železniční sítě. Vytvářené aplikace se prakticky liší jen požadovanou přesností. Někteří provozovatelé železniční sítě se spokojí se znalostí polohy lokomotivy s přesností na desítky metrů (a obejdou se tak bez budování investičně i provozně nákladné sítě DGPS), jiní požadují přesnost pod 1 m, tak aby na základě určení polohy přijímačem GPS byli schopni rozhodnout o tom, po které koleji vícekolejně trati se vlak pohybuje.

Stejně jako v případě silniční dopravy i zde se předpokládá přenos informací o aktuální poloze lokomotivy na trati (a případně i posledního vagónu soupravy, aby bylo možné detekovat rozpojení soupravy) na dispečink, který pak může na obra-

zovce sledovat pohyby jednotlivých vlakových souprav, detekovat případné krizové stavy a vhodně na ně reagovat. Samozřejmě je archivace všech dat pro potřeby případného pozdějšího šetření mimořádných událostí.

Poněkud jinou aplikací může být sledování pohybu speciálních vagónů, které jsou díky svému obsahu hodny zvláštního zřetele.

Aplikace v lodní dopravě

V oblasti lodní dopravy se systém GPS používá velice intenzivně a již dlouhodobě pro potřeby navigace plavidel. Družicová navigace kromě průběžného určování aktuální polohy navíc umožňuje i optimální volbu trasy plavby a účinnou kontrolu případného narušení zón se zvláštním režimem, jako jsou výsostné vody států, oblasti se zakázaným rybolovem apod. GPS má svůj význam nejenom v námořní dopravě, ale i dopravě říční, samozřejmě pokud je k dispozici systém DGPS. Různé státy proto budují rozsáhlé podpůrné systémy diferenčního GPS, které dnes provádějí nejen šíření diferenčních korekcí, ale i kontrolu integrity signálů GPS. Příkladem může být systém DGPS provozovaný Pobřežní stráží USA a pokrývající svými signály východní i západní pobřeží USA a hlavní říční dopravní cesty. Takovéto systémy se však budují po celém světě. Jedním z posledních příkladů je vybudování sítě DGPS pro navigaci v oblasti Suezského průplavu.

Aplikace v letecké dopravě

Letecká doprava je z hlediska nároků kladených na navigační prostředky asi nejnáročnější. Proto se zatím systém GPS v oficiální civilní letecké dopravě příliš nevyužívá a letectví stále čeká až na dobudování speciálních rozšiřujících služeb, které zajistí potřebné monitorování integrity signálů GPS a včasné varování pilotů v případě zjištění problému. Takovýmito systémy by měl být americký WAAS a LAAS, evropský EGNOS a japonský MSAS. ICAO (z angl. International Civil Aviation Organisation) přitom klade důraz na to, aby byl zajištěn hladký přechod letadel mezi těmito systémy. Jejich zavedení bude představovat jednu z nejvýznamnějších inovací, umožňující lepší správu dopravních koridorů a nižší spotřebu paliva. GPS přijímače budou používány pro navádění letadel po celou dobu letu, startem počínaje a navedením na přistání konče. V poslední době jsou testovány dokonce i systémy, které umožňují automatické přistání letadel až s centimetrovou přesností. I když tyto systémy nebyly doposud schváleny pro praktické nasazení, dosavadní výsledky ukazují, že je možné GPS pro tyto účely použít (samozřejmě po zavedení výše uvedených rozšiřujících služeb).

Jinou otázkou je využití systému GPS v oblasti rekreačního a amatérského létání. Zde je již k dispozici celá řada systémů, využitelných kluzáky a závěsnými padáky počínaje a malými sportovními letadly konče.

4.8.2 Aplikace GPS při mapování a v geodézii

Aplikace v oblasti geodézie a mapování se liší především nároky na přesnost určování polohy a tím i používaným principem měření. Při mapování v měřítku 1:10 000 a menším plně vyhovuje horizontální přesnost určování polohy kolem 1 m. Vystačíme proto s kódovými měřeními s pomocí diferenčního GPS. V případě měřických aplikací je situace jiná. Zde jsou na přesnost kladeny mnohem vyšší nároky (až řádově centimetry) a v tom případě již musíme provádět přesná fázová měření.

Aplikace v geodézii a měřictví

Do oblasti měřictví přinesly družicové polohové systémy zcela novou kvalitu, danou jejich možnostmi. Pomocí těchto systémů je možné provádět měření základen až na vzdálenost prvních desítek kilometrů bez potřeby přímé viditelnosti mezi koncovými body a bez potřeby měřit jakékoliv mezilehlé body. Dosažitelná přesnost měření je rovněž vynikající: až 1 cm \pm 1 ppm délky základny. Měřit lze téměř za jakýchkoliv světelných i povětrnostních podmínek.

Výhody a nevýhody využívání GPS v měřictví jsou shrnuty v [224]. K výhodám patří:

- není vyžadována přímá viditelnost mezi jednotlivými body,
- měření je téměř nezávislé na počasí, denní i roční době,
- při výběru míst pro měření nejsme vázáni na žádné existující geodetické sítě,
- nepřetržitý provoz,
- ekonomické výhody plynoucí z větší efektivity a rychlosti měření,
- snadné dosažení geodetické přesnosti,
- měření ve třech rozměrech.

Existují však i nevýhody, ke kterým patří:

- větší nároky na plánování měřické kampaně a na logistické zajištění,
- musí být zajištěna přímá viditelnost oblohy, jakékoliv překážky nelze tolerovat (nelze proto měřit v podzemí, v budovách, pod hustou vegetací apod.),
- trojrozměrné souřadnice určené přijímačem GPS musí být přepočítávány do národních prostorových referenčních systémů (horizontálních i výškových),
- přesnost GPS měření je často podstatně vyšší, než přesnost existujících zaměřených bodů,
- vysoké vstupní náklady,
- potřeba nových znalostí a zkušeností.

Používané techniky měření se dělí do dvou základních skupin:

- statické,
- dynamické.

Statické techniky měření. Statické měření je založeno na velice jednoduchém principu: Jeden přijímač je umístěn na bodě o známých souřadnicích, druhý na bodě, jehož souřadnice chceme zjistit a současně se provede cca jednohodinové měření (doba měření závisí na požadované přesnosti výsledku), které se pak zpracuje metodou dvojitých nebo trojitých diferencí. Měřit lze základny do délky 30 km s přesností řádově na centimetry.



Obr. V.4.12 Ukázka přijímače GPS použitelného pro mapování v terénu.

Dynamické techniky měření. Dynamické techniky měření jsou založené na poněkud odlišném principu: jeden přijímač je trvale umístěn na bodě o známých souřadnicích a druhý přijímač provádí měření v přilehlé oblasti, pohybuje se z bodu na bod. Jednotlivé metody se pak liší způsobem přesouvání pohyblivého přijímače.

Aplikace při mapování

Při mapování se nejčastěji používá diferenční kódové měření. Pro potřeby mapování firmy dodávají sestavy přijímačů GPS spolu s notebooky, případně digitálními záznamníky. Mapér se pohybuje po mapované oblasti, vždy se zastaví na místě, v kterém potřebuje zdokumentovat mapovaný geoprvek, do notebooku vloží potřebné údaje o geoprvcu (výchoz hornin, nález unikátní rostliny, ve městě například kanalizační vpusť nebo sloup veřejného osvětlení apod.). V průběhu vkládání údajů přijímač GPS určí polohu a ta je pak automaticky přenesena do notebooku a připojena k ručně vloženým informacím. Pro mapování v obtížně přístupném terénu je možné k tomuto kompletu ještě připojit laserový dálkoměr se sklonoměrem a kompasem, který umožňuje zaměřovat polohu i vzdálených nepřístupných objektů, nacházejících se buďto v neprůchodném terénu nebo třeba i v oploceném prostoru. V tom případě se přijímačem GPS určí aktuální poloha mapéra a ten pak zaměřením laserového dálkoměru na mapovaný objekt zjistí jeho polohu.

Pro jednodušší aplikace lze využít i přijímače vybavené barevným displejem (obr. V.4.12), schopné zobrazovat digitální mapu a zaznamenávat mapované prvky. Obvykle však mají problémy s vkládáním podrobnějších doprovodných dat, neboť nejsou vybaveny klávesnicí.

Mapovací aplikace zasahují do různých oblastí, jako je geologie, ekologie, urbanismus, inženýrské sítě, krizové situace apod.

4.8.3 Zvládání krizových situací

V oblasti záchranných služeb a krizového řízení je systém GPS neocenitelným pomocníkem jednak při lokalizaci postiženého místa, jednak při jeho případném operativním mapování, při sledování polohy zasahujících jednotek apod. Zvláště přínosný je systém GPS ve spojení s dalšími geoinformačními technologiemi, jako jsou geografické informační systémy, prostorové databáze apod. Takovéto systémy mohou na základě zjištění aktuální polohy poskytovat zasahujícím jednotkám potřebné informace např. o rizikových faktorech ohroženého území, o rozložení zdrojů nezbytných pro zasahující jednotky, o poloze sousedních jednotek, zkrátka celou řadu informací vázaných na aktuální polohu jednotky (viz obr. II.2.15).

4.8.4 Rekreace

S rostoucí dostupností přijímačů GPS (dnes je možné nejlevnější kompaktní přijímač pořídit již za cenu pod 5 000,- Kč) a také se vzrůstem přesnosti určování polohy po deaktivaci selektivní dostupnosti se očekává prudký nárůst využívání přijímačů GPS i pro rekreační účely. Vezmeme-li v úvahu, že dnes je běžně dostupná přesnost určování polohy jedním přijímačem kolem 15 m (ale většinou lépe)

a vezmeme-li v úvahu měřítko běžně používaných turistických map 1:50 000, pak je zřejmé, že tato přesnost (resp. lépe odchylka nebo chyba) odpovídá na mapě vzdálenosti 0,3 mm. Určovat tak přesně svoji polohu v terénu i na mapě pomocí běžných pomůcek turisty, jako je vlastní orientační smysl, případně i kompas nebo buzola, je prakticky nemožné.

Moderní navigační přijímače GPS obvykle poskytují uživatelům kromě určování polohy i celou řadu dalších služeb. Do paměti přijímače je možné například ještě před vlastní túrou v rámci domácí přípravy vložit souřadnice posloupnosti bodů (angl. waypoint), kterými chceme v terénu projít a přijímač nám pak při chůzi ukazuje směr od bodu k bodu spolu se vzdáleností k nejbližšímu bodu ve směru pochodu.

Jinou funkcí, kterou přijímače nabízejí, je postupné vkládání bodů v průběhu pochodu terénem. Přijímač je pak schopen navádět uživatele po trase zpět do výchozího bodu. Nebo je možné tyto body po návratu domů přehrát do počítače a na mapě si zobrazit trasu, po které jsme se pohybovali.

Další oblastí využití levných navigačních přijímačů je i rekreační létání na závěsných kluzácích, větroních, lehkých sportovních letadlech a podobně. Ale o tom jsme se již zmínili výše.

Zajímavou aplikací, která se objevila v literatuře, je i sledování pohybu cyklistů v terénu v oblasti se zvláštním režimem. Každý cyklista, vjíždějící do této oblasti, si musí zapůjčit přilbu, vybavenou přijímačem GPS a malou vysílačkou. Tím je omezen maximální počet cyklistů, kteří se mohou současně v této oblasti pohybovat. Správce může na digitální mapě sledovat pohyb cyklistů, kontrolovat zda se pohybují jen po povolených trasách, případně zda někde nedošlo k nehodě a pokud ano, zná přesně souřadnice tohoto místa a je schopen tam rychle vypravit pomoc.

4.8.5 Vědecké aplikace

GPS je vhodným nástrojem rovněž pro potřeby vědeckého bádání. Asi nejnámější oblastí tohoto typu jsou studie pohybu ker zemské kůry až do rozměrů kontinentů. Jinou oblastí je sledování vlastností atmosféry (ionosféry i troposféry), sledování vlivu atmosféry na šíření signálů GPS, monitorování pohybu svahů při sesuvech půdy, monitorování deformací velkých konstrukcí, jako jsou velké mosty, přehrady, výškové budovy apod.

4.8.6 Časové služby

Systém GPS je schopen poskytovat časový standard přesnosti, která není běžnými prostředky dostupná. Využití tohoto časového standardu je velice široké: počínaje přesnými fyzikálními měřeními a synchronizací fyzikálních pokusů na velké vzdále-

nosti (řádově tisíců kilometrů) přes synchronizaci datových spojů (která umožňuje dosáhnout díky lepšímu časovému sdílení přenosového média větší propustnosti přenosových tras), přes synchronizaci energetických soustav a platebních systémů až po synchronizaci základnových stanic mobilních operátorů.

4.8.7 Další oblasti aplikací

Vedle výše zmíněných existuje ještě nepřeberná škála dalších oblastí využití systému GPS. Zcela jsme pomínuli vojenské aplikace (například navádění různých zbraňových systémů na cíl, koordinace pohybu vojsk apod.), aplikace v oblasti životního prostředí, mobilních služeb, rybolovu, správy dopravních komunikací a celou řadu objevujících se aplikací (angl. *emerging application*). Bylo by velice obtížné se o všech zmínit, byť i jen ve stručnosti.

4.9 Další globální družicové navigační systémy

Vedle systému GPS dnes existuje i obdobný (rovněž vojenský) systém provozovaný Kosmickými silami Ruské federace. Nese název *GLONASS* (z rus. Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistema). Jeho struktura, technické řešení i výkonové parametry jsou podobné systému GPS. Co je však diametrálně odlišné, je stav tohoto systému. Vzhledem k ekonomickým problémům Ruska rozvoj systému v 90. letech stagnoval, kosmický segment postupně degradoval a počet aktivních družic se dlouhou dobu pohyboval kolem deseti družic. Teprve v poslední době se zdá, že se Rusku podaří systém znovu uvést do plného provozu. Koncem roku 2005 byla vypuštěna zatím poslední triáda družic, z nichž dvě byly již zcela nové generace – *GLONASS-M*. Do roku 2008 by měl být kosmický segment osazen 18 družicemi.

V té době by měl být uveden do plného provozu i zcela nový globální družicový navigační systém, který bude výhradně pod civilní kontrolou. Buduje ho Evropská unie a dostal název *Galileo*. Předpokládá se, že bude do plného provozu uveden rovněž v roce 2008. Přinese výrazné zvýšení kvality a spolehlivosti poskytovaných služeb, včetně možnosti poskytování služeb komerčních.

Kapitola 5

Mobilní geoinformační technologie

Jak již bylo uvedeno v úvodu, jsme dnes svědky bouřlivého rozvoje moderních informačních a komunikačních technologií, které umožňují uživateli, aby se odpoutal od své židle a svého počítače, opustil svoji kancelář a přitom neztratil kontakt se svým geoinformačním systémem. Rozvíjí se moderní telematika, družicové systémy určování polohy, moderní metody získávání geodat. Lidé si díky tomu stále naléhavěji uvědomují prostorové aspekty zpracovávaných dat a informací, prostorové aspekty svého jednání a rozhodování, prostorové aspekty svého bytí. Díky tomu vzrůstá jejich zájem o technologie, umožňující vhodně „uchopit“ prostorovou dimenzi a odpovídajícím způsobem s ní pracovat prakticky kdykoliv a kdekoliv. V tom jim mohou být nápomocny právě moderní *mobilní geoinformační technologie*.

V principu se jedná o integraci následujících komponentních technologií (upraveno podle [210]):

- malé přenosné počítače,
- programové vybavení pro geoinformační systémy,
- geodata,
- bezdrátové komunikační technologie,
- prostředky pro určování polohy,
- Internet,
- geoweb.

Každá z těchto komponentních technologií nabízí širokou škálu prostředků, umožňujících realizovat mobilní geoinformační technologie vyhovující velice různorodým požadavkům uživatelů a podmínkám jejich používání.



Obr. V.5.1 Přenosný počítač HP iPAQ 4100.

5.1 Malé přenosné počítače

Miniaturizace v oblasti výpočetní techniky již postoupila natolik, že dnes není problém mít doslova v kapse počítač, jehož výkon je i přes malé rozměry natolik



Obr. V.5.2 Přenosný počítač HP compaq TC1100.

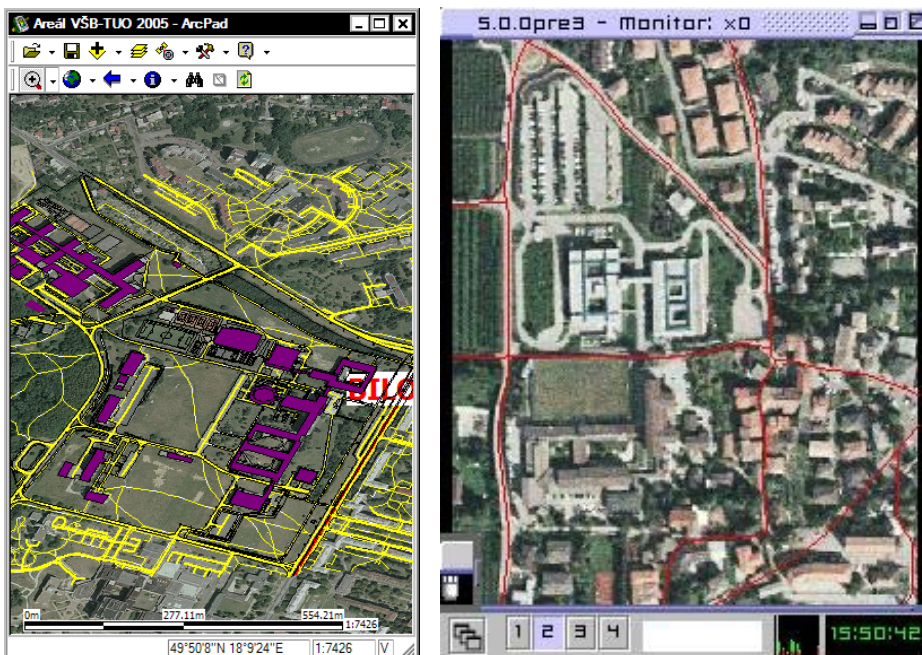


Obr. V.5.3 Přenosný počítač HP compaq TC1100 uzavřený ve speciálním pouzdře pro práci v terénu. Vlevo snímek pořízený v „laboratorních“ podmínkách, vpravo snímek z terénu. Modrá krabička v pravém horním rohu obou snímků je přijímač GPS, komunikující s počítačem prostřednictvím rozhraní bluetooth. Na levém snímku je vidět i speciální pero používané k ovládání počítače.

velký, že umožňuje provozování aplikací běžících nad operačním systémem s grafickým uživatelským rozhraním. Uživatelé nabízejí komfort, který si nijak nezadá s pohodlím poskytovaným stolním počítačem. Na ukázkou si uvedme dva příklady přenosných počítačů, které se již běžně používají. Prvním z nich je kapesní počítač třídy palmtop HP iPAQ 4100 (obr. V.5.1) a druhým počítač třídy TabletPC HP compaq TC1100 (obr. V.5.2).

První ze jmenovaných je vpravdě kapesní počítač, který umožňuje provozování zjednodušených verzí programů ze sady Microsoft Office, ale i zjednodušených verzí programů pro geoinformační systémy. Je vybaven i nezbytnými komunikačními rozhraními pro bezdrátovou komunikaci a v případě potřeby je možné ho rozšířit i o další moduly (například přijímač GPS). Běžně není vybaven klávesnicí, veškerá komunikace probíhá prostřednictvím grafického displeje citlivého na dotek, na němž je možné jednak vybírat příkazy z nabídek a jednak i psát buďto prostřednictvím na displeji zobrazené klávesnice, nebo s pomocí modulu pro rozpoznávání psaného písma. Vývoj již pokročil tak daleko, že se tyto počítače pomalu stávají běžnou součástí výkonnějších mobilních telefonů.

Druhý z výše uvedených počítačů již nabízí výkon na úrovni běžného stolního počítače. Pracuje s plnohodnotným operačním systémem a umožňuje spouštět plně verze programů tak, jak jsme tomu zvyklí na stolním počítači. Počítač může fungo-



Obr. V.5.4 Ukázky programů pro vizualizaci a sběr dat v terénu pro přenosné počítače. Vlevo je ukázka obrazovky komerčního produktu ArcPad firmy ESRI [280], vpravo je ukázka programu baby GRASS dostupného v režimu Open-Source [250].

vat jak s klávesnicí, tak i bez ní. Je vybaven velkým dotykovým grafickým displejem s rozlišením 1024x768 bodů, na němž je možné psát pomocí speciálního pera. V režimu bez klávesnice se stejně jako v předešlém případě ovládá pomocí nabídek grafického uživatelského rozhraní a i zde je možné psát jednak pomocí grafické klávesnice a jednak pomocí rozpoznávání textu psaného na displeji.

Oba počítače jsou určeny spíš k používání uvnitř budov, pro práci v terénu je nezbytné dovybavit je speciálním pouzdrům (obr. V.5.3).

5.2 Programové vybavení pro geoinformační systémy

V případě programového vybavení pro geoinformační systémy použitelného v rámci mobilních geoinformačních technologií je situace obdobná. I zde máme k dispozici jednak odlehčené verze, jednak můžeme používat i plné verze programů. Vše závisí právě na výkonnosti použitého přenosného počítače.

Pro méně výkonné jednotky (třídy palmtop) jsou k dispozici programy pro vizu-

alizaci a sběr dat v terénu jak v komerčním provedení (např. ArcPad firmy ESRI; obr. V.5.4) tak i programy dostupné v režimu OpenSource, jako je babyGRASS (obr. V.5.4). Tyto programy zpravidla nenabízejí analytické nástroje, a to jednak z důvodu nižší výkonnosti počítače a jednak z důvodu omezené kapacity paměťových médií. Umožňují však spolupráci s přijímačem GPS a s jeho pomocí mapování v terénu, resp. verifikaci již dříve pořízených dat. Vlastní geodata umožňují průběžně stahovat z mapového serveru prostřednictvím bezdrátových komunikačních kanálů a Internetu.

Jiná je situace v případě použití výkonnějších počítačů (třídy TabletPC). Zde si již můžeme dovolit použít kompletní programové balíky, jako je z komerčních například ArcView firmy ESRI nebo z OpenSource produktů například GRASS. Tyto programové balíky jsou schopné zpracovávat i velké objemy geodat, provádět nad nimi analýzy, provádět pokročilou vizualizaci výsledků analýz, jejich verifikaci se situací v terénu, umožňují i provádět mapování, průběžně předávat získaná geodata do centra a naopak stahovat nová geodata z centra prostřednictvím bezdrátového přístupu na Internet apod.

5.3 Geodata

Mobilní geoinformační technologie jsou schopné zpracovávat geodata jak v rastrové, tak i ve vektorové formě. Může se jednat například o vektorové mapy silniční sítě a zástavby, zobrazené na pozadí s digitální ortofotomapou. V případě méně výkonné verze počítače (a tím i programového vybavení) může dojít k vyloučení některých formátů zpracovávaných geodat a prakticky vždy dochází k omezení rozsahu geodat, která mohou být na počítači uložena a zpracovávána. Nicméně toto omezení nemusí být kritické, může být do značné míry eliminováno bezdrátovým připojením na Internet a stahováním potřebných geodat z, resp. odesláním nově pořízených nebo aktualizovaných geodat do centra.

I zde platí, že při využití výkonnější varianty počítače mnohá tato omezení padají.

5.4 Bezdrátové komunikační technologie

Komunikační technologie tvoří základní komponentu mobilních geoinformačních technologií. Bez nich může být využitelnost MGIT výrazně omezená. Pro spojení mobilní jednotky s centrem je možné použít širokou škálu prostředků:

- GSM modemy,
- datové přenosy v mobilních sítích (GPRS, HSCSD, EDGE atd.),

- bezdrátové sítě WiFi,
- na krátké vzdálenosti i Bluetooth nebo IrDA.

Pomocí těchto nástrojů je možné vybudovat komunikační kanál mezi mobilní jednotkou v terénu a centrem. Kvalita tohoto kanálu je dána jednak propustností zvoleného prostředku, jednak dostupností a kvalitou signálů v dané oblasti a jednak i schopností počítače a jeho operačního systému daný prostředek obsluhovat/využívat.

Nejlepší plošné pokrytí signálem (prakticky celostátní) určitě nabízí síť GSM, nicméně propustnost modemového spojení na bázi sítě mobilních telefonů je relativně malá. Takto vybudovaný datový kanál rozhodně není použitelný pro rozsáhlou výměnu dat. Stejně je to i se službami GPRS nebo EDGE. Jako perspektivní se jeví jen mobilní síť UMTS, kde by přenosové rychlosti mohly dosahovat až 2 Mb.s⁻¹. Jejich nevýhodou ale bude pokrytí jen určitých oblastí.

Naproti tomu nejlepší propustnost nabízejí sítě WiFi, ale jejich dostupnost je výrazně omezená. Jsou provozovatelné v relativně malé oblasti kolem přípojného bodu (řádově stovky metrů až první kilometry).

5.5 Prostředky pro určování polohy

Nezbytnou součástí mobilních geoinformačních technologií jsou i prostředky pro určování polohy. Nejčastěji se jedná o přijímač GPS, ale stále častěji se hovoří i o jiných prostředcích, jako jsou sítě GSM nebo bezdrátové sítě WiFi. Výhodou přijímačů GPS je relativně velká přesnost (za normálních okolností, tj. odkrytá obloha a dobrý výhled všemi směry, se může jednat až o první metry při použití jediného přijímače). Nevýhodou je nemožnost určování polohy v budovách, tunelech apod. Sítě GSM a WiFi naopak vykazují relativně menší přesnost (desítky metrů a hůře), avšak pracují i v budovách, tunelech, podzemních prostorách (samozřejmě za podmínky, že v těchto prostorách jsou dostupné signály daných sítí). V budoucnu se předpokládá dostupnost kombinovaných prostředků, spojujících výhody všech tří systémů.

5.6 Internet a geoweb

Internet lze označit s trochou nadsázky za všudypřítomný fenomén dnešní doby. Proto je logicky součástí i mobilních geoinformačních technologií. Ve spojení s geowebem (který jsme si popsali jako soubor technologií a postupů zpřístupňujících geodata v prostředí webu; podrobněji viz kap. V.7) umožňuje komunikaci mezi centrem a mobilními jednotkami v terénu resp. i mezi mobilními jednotkami v terénu,

budování aplikací typu klient-server i distribuovaných aplikací apod. Zajišťuje plynulé předávání dat získaných v terénu do centra a jejich publikování na webu pro všechny zájemce, provádění analýz nad geodaty, pokročilou vizualizaci apod.

5.7 Oblasti použití mobilních geoinformačních technologií

Mobilní geoinformační technologie je možné využít v celé řadě oblastí. Jedná se například o mapování v terénu, navigaci a sledování vozidel a nebezpečných nebo cenných nákladů, krizové služby a řízení rozsáhlých týmů distribuovaných ve velkých oblastech, osobní navigační systémy apod.

Jedním ze sektorů, kde se v poměrně blízké budoucnosti očekává nejbouřlivější vývoj, z větší části právě díky mobilním geoinformačním technologiím, je oblast volného času. Segment trhu pokrývající tuto oblast brzy přinese širokou škálu nových produktů a služeb, vycházejících ze skutečnosti, že není problém kdykoliv a kdekoliv určit polohu zákazníka, být s ním v trvalém spojení, poskytnout mu terminál velikosti mobilního telefonu, v reálném čase ho zásobovat potřebnými geodaty, pomáhat mu při orientaci v neznámém prostředí a v případě, že se dostane do neštěstí, vyrozumět o tom záchranné služby spolu s udáním jeho přesné polohy. První prototypy těchto služeb již existují: jedná se o již dříve zmíněné služby založené na znalosti polohy uživatele (LBS).

Kapitola 6

Digitální modely reliéfu

Digitální modely reliéfu (DMR; angl. Digital Terrain Model, DTM) jsou hojně používanou geoinformační technologií, využívanou pro reprezentaci reliéfu terénu v prostředí geoinformačních systémů. Umožňují reliéf nejen zobrazovat, ale také analyzovat, získávat o něm celou řadu informací a ty dále využívat v procesu rozhodování.

DMR představuje digitální popis a reprezentaci povrchu terénu pomocí dat a vhodného interpolačního algoritmu. Vzhledem k tomu, že převísle útesy a zlomy jsou v přírodě relativně vzácné, jsou topografické povrchy nejčastěji reprezentovány tak, že pro každou dvojici x a y existuje jediná hodnota z . DMR je proto spíše 2.5D model než 3D.

Digitální model reliéfu může reprezentovat i jiné povrchy, např. geologická rozhraní, nebo reprezentovat i různé veličiny, jako jsou koncentrace znečišťujících látek v půdě nebo podzemní vodě apod.

Myšlenka vytvoření digitální reprezentace reliéfu v počítači není nijak stará. Autorství se obvykle přisuzuje dvěma inženýrům z bostonského Massachusetts Institute of Technology (MIT), kteří koncem padesátých let minulého století vytvořili první programy, umožňující tvorbu a využívání digitálních modelů reliéfu. Jsou také autory vůbec první definice DMR [168]:

DMR je jednoduše statistickou reprezentací kontinuálního povrchu zemského prostřednictvím velkého počtu vybraných bodů o známých souřadnicích X , Y a Z v libovolném souřadnicovém systému.

V širším slova smyslu můžeme digitální model reliéfu definovat například takto (upraveno podle [209]):

Digitální model reliéfu je digitální reprezentací povrchu terénu, složenou z dat a interpolačního algoritmu, umožňujícího odvozovat nadmořské výšky v libovolných bodech nacházejících se uvnitř modelované

oblasti.

DMR dnes představují jednu z hlavních složek procesu zpracování geografických dat. Tvoří základ pro celou řadu aplikací.

6.1 Geoprvky používané pro popis reliéfu

Pro popis reliéfu lze v zásadě použít tři typy geoprvků (upraveno podle [203]):

- bodové,
- liniové,
- plošné.

U každého geoprvku můžeme zaznamenat celou řadu údajů, mezi něž patří mimo jiné i:

- horizontální poloha – souřadnice x a y ,
- nadmořská výška – souřadnice h ,
- doplňková informace – označme si ji I .

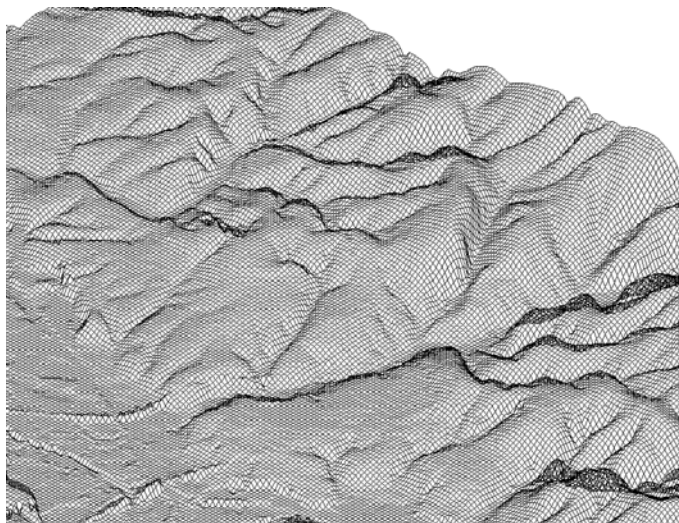
Popis kteréhokoliv z geoprvků musí z těchto informací obsahovat minimálně údaje o horizontální poloze a většinou i údaje o nadmořské výšce, má-li být tento geoprvek použitelný pro potřeby generování digitálního modelu reliéfu. Doplňková informace nám blíže specifikuje chování reliéfu terénu v těsném okolí geoprvku, pokud je toto chování něčím výjimečné (například vrchol, tj. bodový geoprvek, který je lokálním maximem apod.). Popis geoprvku může proto obsahovat doplňkovou informaci jen v některých případech.

Příkladem geoprvků bez doplňkové informace mohou být náhodně zaměřené body na reliéfu terénu, ve 3D zaměřené průběhy silnic a vodních toků apod. Příkladem geoprvků s doplňkovou informací mohou být vrchoły, dna, údolnice, hřbetnice, lomové linie, vrstevnice, hladiny jezer apod.

6.2 Zdroje dat pro DMR

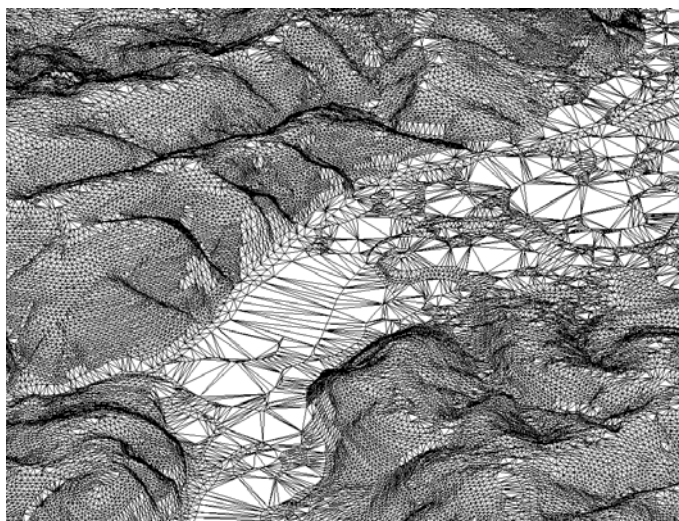
Geodata pro tvorbu digitálních modelů reliéfu lze získávat různými způsoby. K nejčastěji používaným patří:

- geodetická měření,
- laserové skenování (lidar),



Obr. V.6.1 Ukázka digitálního modelu reliéfu typu grid.

- měření GPS,
- fotogrammetrická měření,
- digitalizace vrstevnic,
- radarové záznamy,
- družicové záznamy,
- jiné zdroje.



Obr. V.6.2 Ukázka digitálního modelu reliéfu typu TIN.

Jednotlivé způsoby získávání geodat se liší cenou, přesností, dostupností a případně rychlostí jejich pořízení. Obecně lze říci, že způsoby uvedené v předešlém výčtu nejdříve jsou nejnákladnější, ale také nejpřesnější.

6.3 Datové modely používané pro DMR

Pro tvorbu digitálních modelů reliéfu se používají nejčastěji následující dva datové modely:

- grid,
- TIN.

6.3.1 DMR typu grid

Digitální model reliéfu typu *grid* je tvořen maticí pravidelně rozmístěných výškových bodů. Elementární jednotkou tohoto modelu je bod. S bodem však není možné provádět významnější analýzy reliéfu. Proto se nejmenší prvek, s kterým se obvykle pracuje, skládá ze čtveřice bodů, tvořících buňku gridu rozměru 2 x 2. Ta reprezentuje složitý povrch, protože ten může být mezi body zakřivený (čtyři body již nemusí ležet v rovině). Z tohoto důvodu je i styk mezi povrchy dvou sousedních buněk velice složitý [243]. DMR typu grid se někdy označuje jako rastrový DMR (obr. V.6.1).

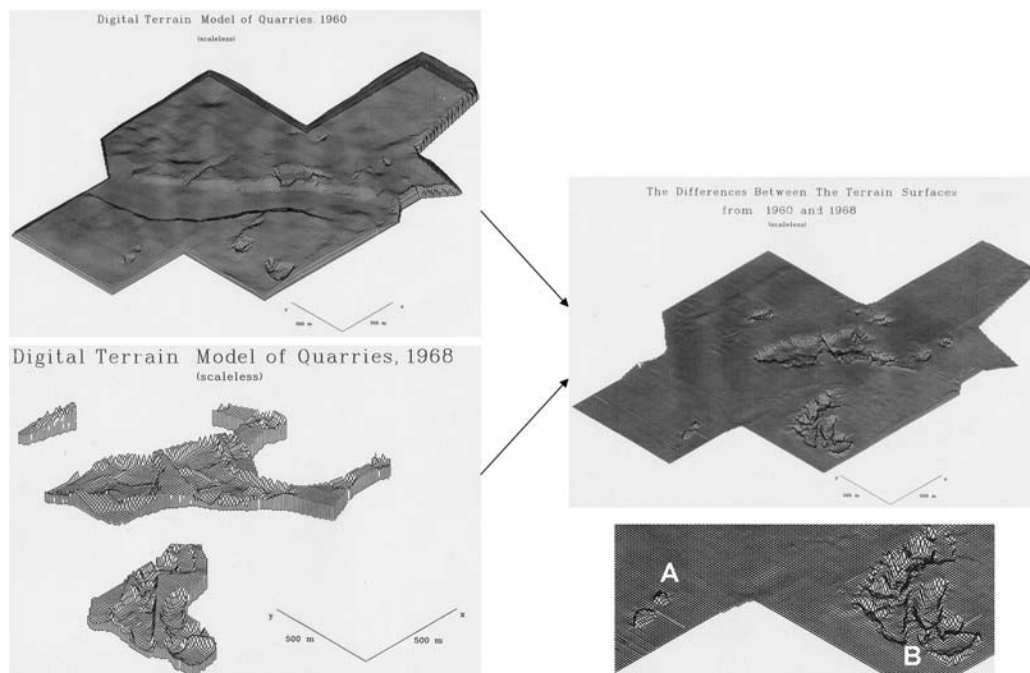
Hlavní nevýhodou gridu je příliš velká redundance dat. Rozměr základní buňky se obvykle volí tak, aby umožnil zachytit nejmenší požadovaný detail reliéfu. Z toho ovšem vyplývá, že na většině plochy je rozměr základní buňky zbytečně malý.

DMR typu grid je velice vhodný pro modelování relativně plochého reliéfu bez náhlých výškových změn.

6.3.2 DMR typu TIN

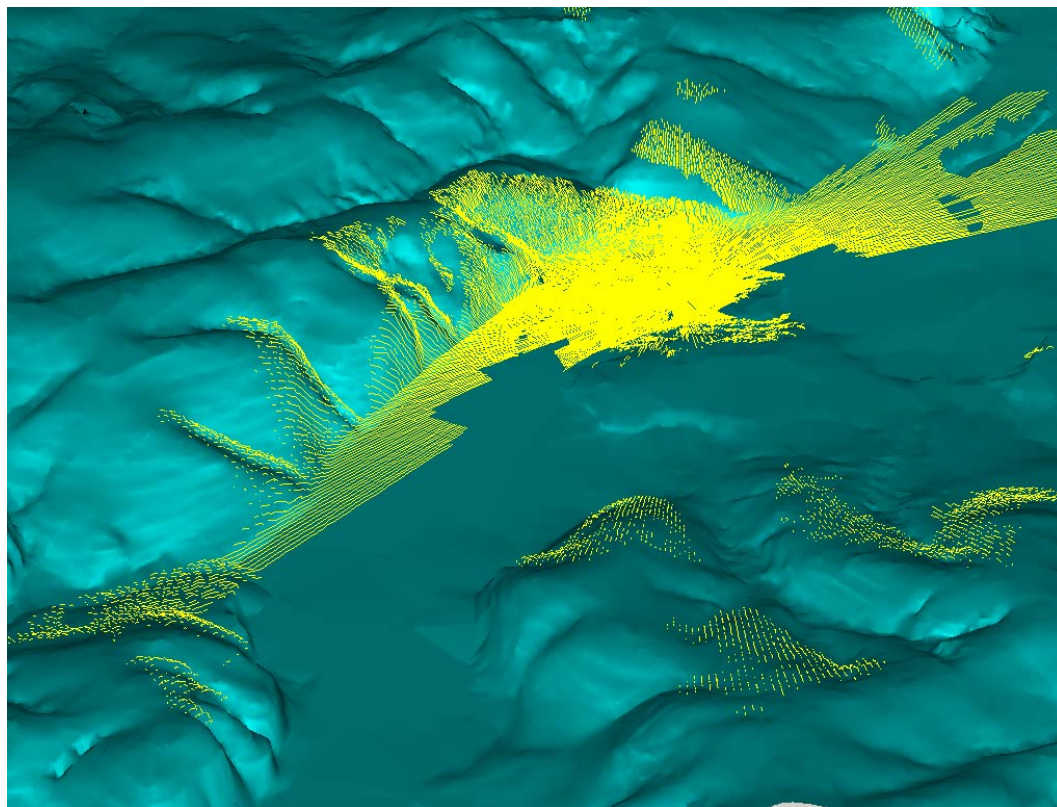
TIN (zkratka z angl. Triangular Irregular Network; nepravidelná trojúhelníková síť) je topologická struktura reprezentující reliéf terénu (nebo obecně i jiný povrch). Tato struktura byla vyvinuta jako mnohem přesnější a účinnější prostředek pro reprezentaci reliéfu. TIN může být zobrazen jako množina trojúhelníků, které spojují body reliéfu do spojitě plochy tvořené nepravidelnými trojúhelníkovými ploškami [162]. DMR typu TIN se někdy označuje jako vektorový DMR (obr. V.6.2).

Reprezentace reliéfu pomocí TIN má několik výhod oproti reprezentaci pomocí gridu. Především bylo dokázáno, že použití TIN vede k přesnější reprezentaci reliéfu při menších nárocích na paměť a dále, že generování TIN reprezentace reliéfu



Obr. V.6.3 Ukázka objemových výpočtů s využitím DMR. V levé části obrázku jsou ukázky DMR zachycující reliéf terénu v oblasti s těžbou štěrků, platných v roce 1960 a 1968. V pravé části je nejprve uveden DMR vzniklý odečtením stavu v roce 1968 od stavu v roce 1960. Oblasti s plochým průběhem reprezentují reliéf beze změn, zahloubené části reprezentují těžbu a naopak vystupující části zaplnění (zavezení) dříve vytěžených prostor (oblasti A a B) [202].

může být provedeno mnohem rychleji než generování gridu. TIN navíc může reprezentovat téměř jakýkoliv povrch, včetně „děr“ (např. nepřístupná místa, kde není možné provést výšková měření), nepravidelných hranic a svislých povrchů. Rozlišení detailů reprezentovaného povrchu je omezeno pouze rozlišením původních dat. Jediný případ, kdy nedává uspokojivé výsledky, je plochý reliéf. V takové situaci jsou totiž trojúhelníkové plošky téměř horizontální a i malá změna výšky jednoho z bodů (vrcholů trojúhelníka) má za následek poměrně značné změny v průběhu vrstevnic.



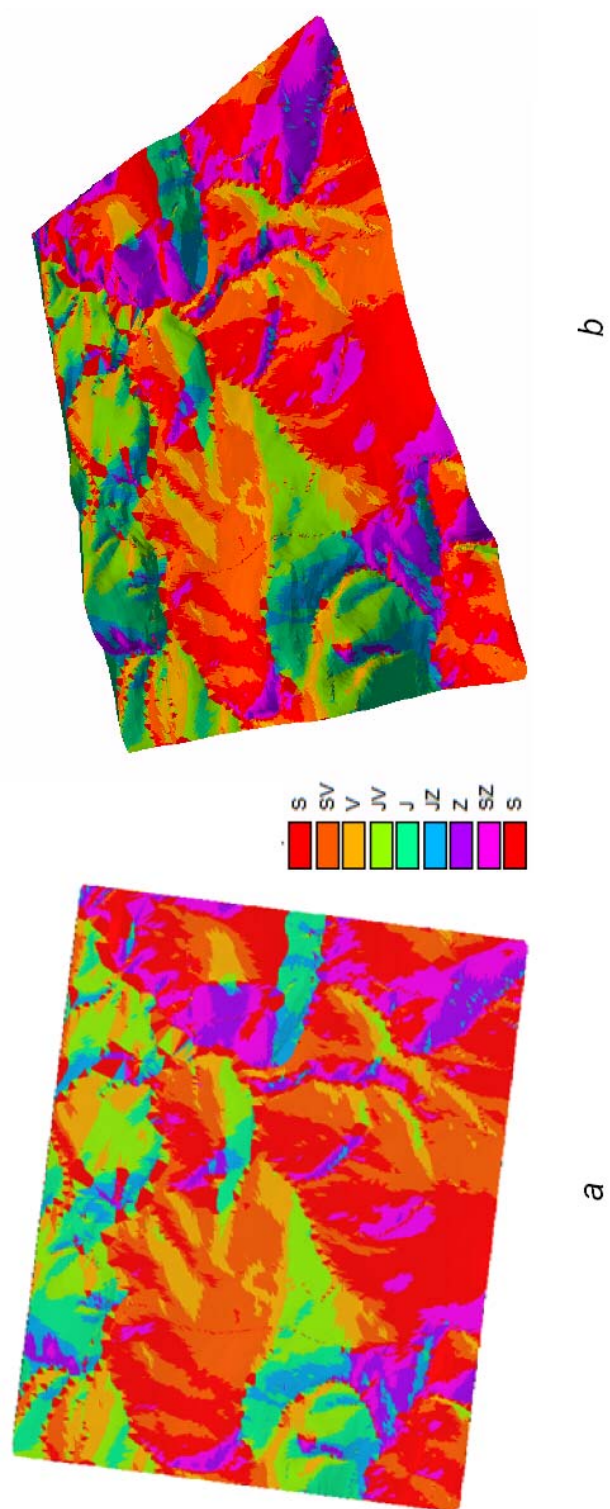
Obr. V.6.4 Ukázka analýzy viditelnosti.

6.4 Analytické úlohy řešené nad DMR

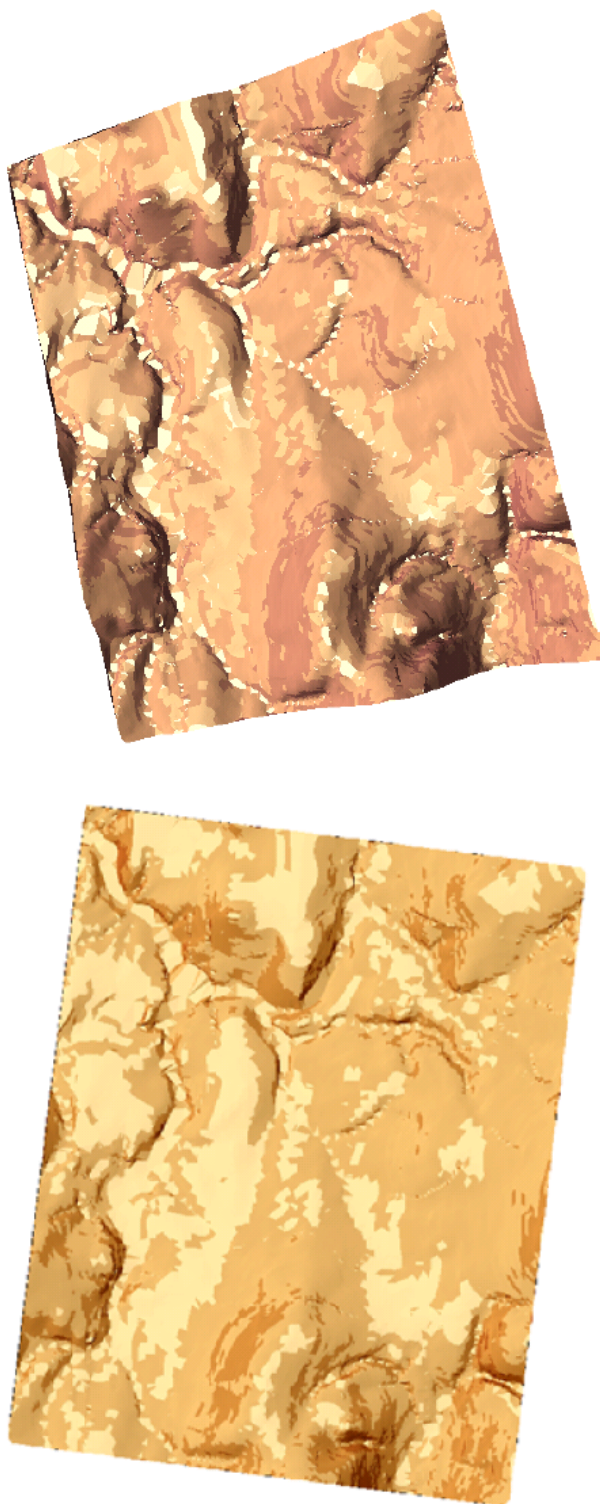
DMR jsou sice běžnou součástí geoinformačních systémů a jejich digitálních databází, ale získávání informací z nich vyžaduje specializované techniky, které jsou odlišné od postupů běžně používaných pro práci s geodaty.

Analytické úlohy prováděné nad digitálními modely reliéfu lze rozdělit do následujících skupin:

- objemové výpočty,
- analýzy viditelnosti,
- analýzy orientace a velikosti sklonu svahů,
- analýzy drenážních sítí, odtokových poměrů, povodí apod.



Obr. V.6.5 Výsledky analýzy orientace svahů zobrazené v rovině (a) a v prostoru (b).



a

b

Obr. V.6.6 Výsledky analýzy velikosti sklonu svahů zobrazené v rovině (a) a v prostoru (b).

6.4.1 Objemové výpočty

Jednou z běžných analýz prováděných na digitálních modelech reliéfu jsou *objemové výpočty*. Např. při návrhu nové dálnice je mnohdy nezbytné přemístit velké objemy hornin, a to ať už při vytváření zářezů v existujícím terénu nebo při vytváření násypů. Nebo je možné pomocí DMR spočítat objem přehradní nádrže, objem vydobyté horniny z lomu, objem odpadů navezených na skládku, objemové změny v důsledku eroze půdy apod. Většinou se postupuje tak, že se počítá objem prostoru omezeného dvěma povrchy – dvěma digitálními modely reliéfu nebo objem prostoru omezeného digitálním modelem reliéfu a danou referenční úrovní (obr. V.6.3).

6.4.2 Analýzy viditelnosti

Při analýzách DMR lze řešit i otázky viditelnosti, tj. lokalizaci a zjištění oblasti terénu, viditelné z určitého bodu (obr. V.6.4). Takovéto analýzy jsou velice užitečné pro potřeby navigace, hodnocení vzhledu krajiny, vojenského hlídkování a průzkumu, pro generování map viditelnosti při analýzách rozmístění různých zařízení (jako vysílačů, radarů, pozorovatelů apod.). Existují však i pokročilejší varianty, které řeší otázky typu: „Jak rozmístit daný počet vysílačů tak, aby bylo signálem pokryto co největší území?“ nebo „Jak rozmístit vysílače a jak mají být vysoké, aby bylo pokryto co největší území při zachování daného rozpočtu?“, nebo „Jak rozmístit vysílače a jak mají být vysoké, aby bylo pokryto celé území s co nejnižšími náklady?“.

Pro analýzu viditelnosti lze použít jak rastrové, tak i vektorové DMR. Avšak výsledky získané z rastrového DMR obvykle nedosahují potřebné kvality, protože jako viditelná jednotka je zde používána celá buňka gridu. A to přináší známé problémy: čtyři body obvykle neleží v rovině a výsledek analýzy viditelnosti buňky je proto velice zjednodušený. Proto je pro tyto účely vhodnější TIN model.

6.4.3 Analýzy orientace a velikosti sklonu svahů

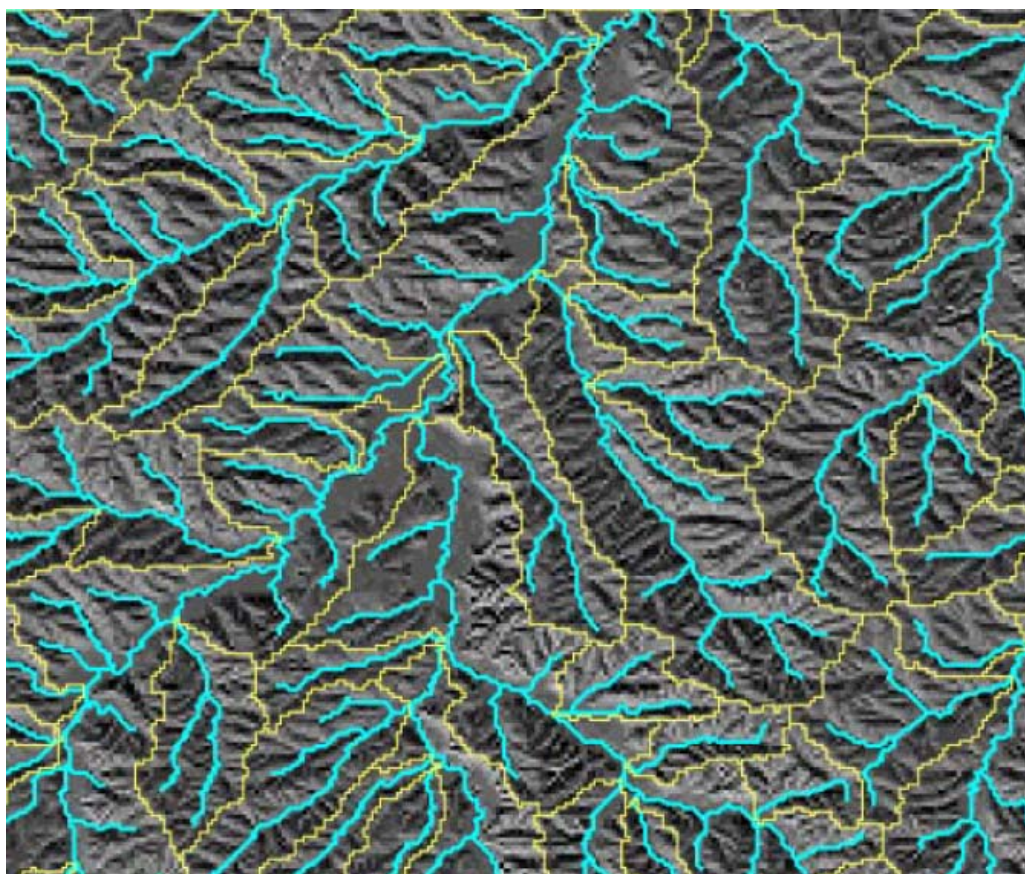
Analýzy orientace (obr. V.6.5) a velikosti sklonu svahů (obr. V.6.6) se snáze provádějí nad DMR typu TIN. Každá trojúhelníková ploška představuje rovinu, pro kterou lze poměrně snadno určit její spádnici (a z ní zjistit sklon svahu) i normálu, která umožňuje určit orientaci svahu. V případě DMR typu grid je situace komplikovanější. Zpravidla se pro určování hledaných parametrů používá klouzavé okno velikosti 3x3 buňky. Z výšek okrajových buněk okna se určují hledané parametry pro centrální buňku.

Tento typ analýz má velký význam pro územní plánování i pro architekturu krajiny. V územním plánování umožňuje vymezit oblasti vhodné pro daný způsob

využití území, jako je výstavba vinic (jižní svahy), obytných a průmyslových zón apod. V případě architektury krajiny umožňuje hodnotit ohrožení území erozními účinky stékajících vod a na podkladě těchto informací navrhnout vhodná protierozní opatření, která ochrání území a přitom do něj vhodně zapadnou.

6.4.4 Analýzy drenážních sítí, odtokových poměrů, povodí apod.

Při těchto analýzách je cílem zjistit odtokové poměry modelovaného území, odvodit průběh drenážní sítě (tedy trasy kumulovaného odtoku srážek z území; obr. V.6.7), zjistit plochy povodí a průběhy rozvodnic a případně i vyhledat uzavřené deprese v území, které se budou při stékání srážek postupně zaplňovat a teprve poté dojde k přetoku a odtoku srážkových vod dále. V případě dobré znalosti těchto informací lze dokonce zkonstruovat i hydrograf odtoku srážek pro kterýkoliv bod drenážní



Obr. V.6.7 Ukázka výsledku analýzy povodí a drenážních sítí. Žlutě jsou vyznačeny rozvodnice, modře drenážní síť [171].

sítě.

Tyto analýzy lze provádět jak nad DMR typu TIN, tak i grid. V případě DMR typu grid jsou postupy provádění těchto analýz jednodušší a jejich přesnost je přitom dostačující.

6.5 Metody vizualizace DMR

Metody vizualizace digitálních modelů reliéfu lze rozdělit do tří základních skupin:

- *ortografické metody vizualizace*, tj. kolmý pohled na modelovaný reliéf,
- *izometrické metody vizualizace*, tj. izometrický pohled na modelovaný reliéf,
- *pokročilé metody vizualizace*, zpravidla zavádějící do vizualizované scény některé další parametry, jako je odrazivost povrchu, mlžný opar, stíny apod.

V dalším textu se budeme zabývat pouze prvními dvěma skupinami metod. Třetí skupina je záležitostí specializovaných vizualizačních programů.

6.5.1 Ortografické metody vizualizace DMR

Ortografických metod vizualizace existuje několik:

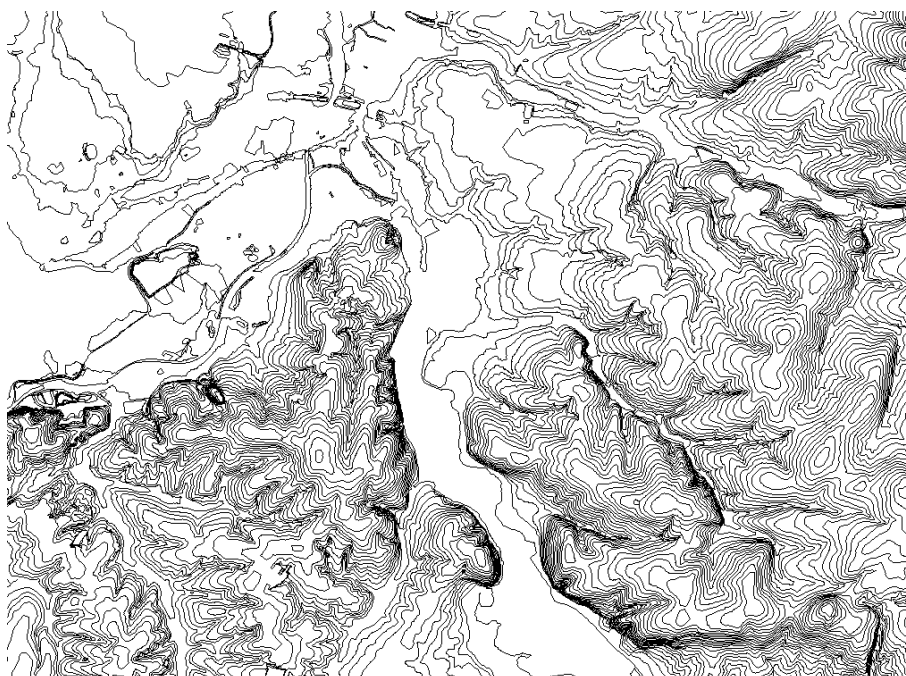
- vizualizace pomocí vrstevnic,
- vizualizace obarvováním,
- vizualizace stínováním.

Vizualizace pomocí vrstevnic (obr. V.6.8 a) je založena na vygenerování vrstevnicového plánu z digitálního modelu reliéfu. Při vykreslování je možné vrstevnice vyhlazovat, ale obecně se tento postup nedoporučuje. Vrstevnicový plán je možné vygenerovat jak z DMR typu TIN, tak i grid.

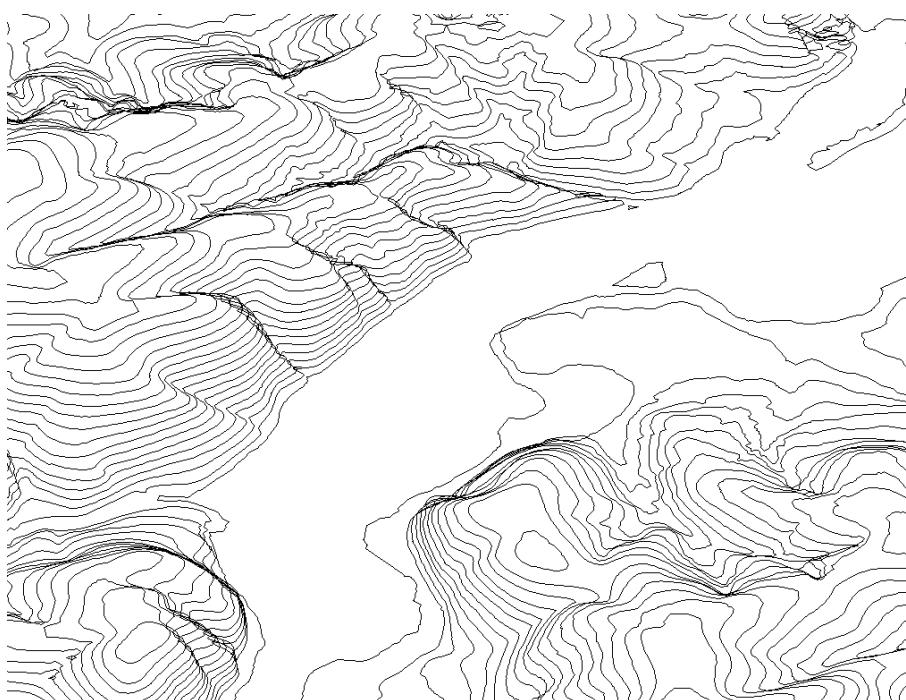
Vizualizace obarvováním (obr. V.6.9 a) je založena na přiřazování barev jednotlivým pixelům obrázku DMR ze zvolené barevné škály v závislosti na nadmořské výšce. Zpravidla se používá barevná řada tmavě modrá – světle modrá – tmavě zelená – světle zelená – světle hnědá – tmavě hnědá – bílá (obvykle používaná na topografických mapách). Může však být použita i jednobarevná škála tvořená odstíny zvolené barvy (např. šedé).

Vizualizace stínováním (obr. V.6.10 a) je založena na přiřazování odstínů zvolené barvy (zpravidla šedé) jednotlivým pixelům obrázku DMR v závislosti na úhlu sevřeném dopadajícími paprsky světla a normálou k tečné rovině osvětlovaného

svahu. Svah, na nějž dopadají paprsky kolmo, je zobrazen bílou barvou, naproti tomu odvrácený svah je znázorněn tmavě šedě. Zdroj světla se umísťuje zpravidla na severozápadě, 10-35° nad obzorem. Osvětlený reliéf vypadá velice plasticky.

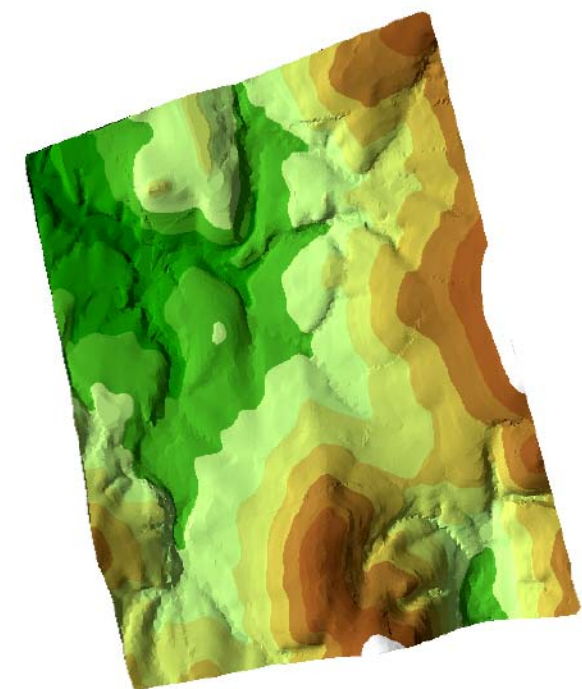


(a)

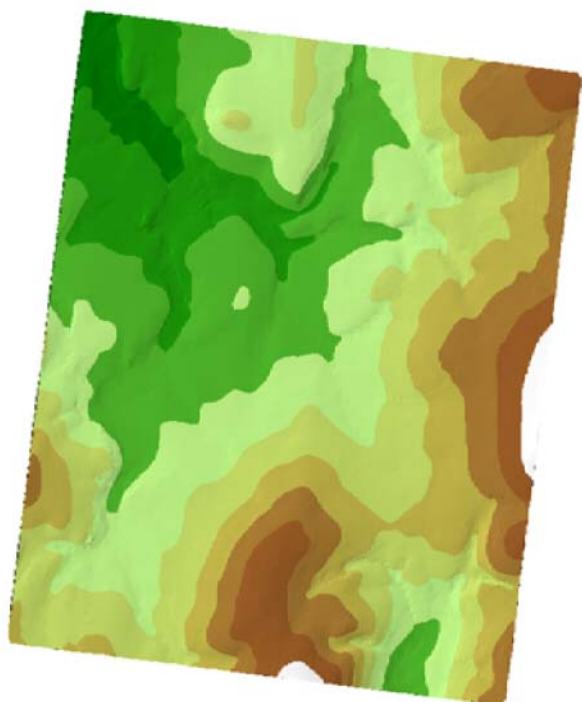


(b)

Obr. V.6.8 Vizualizace DMR pomocí vrstevnic v rovině (a) a v prostoru (b).

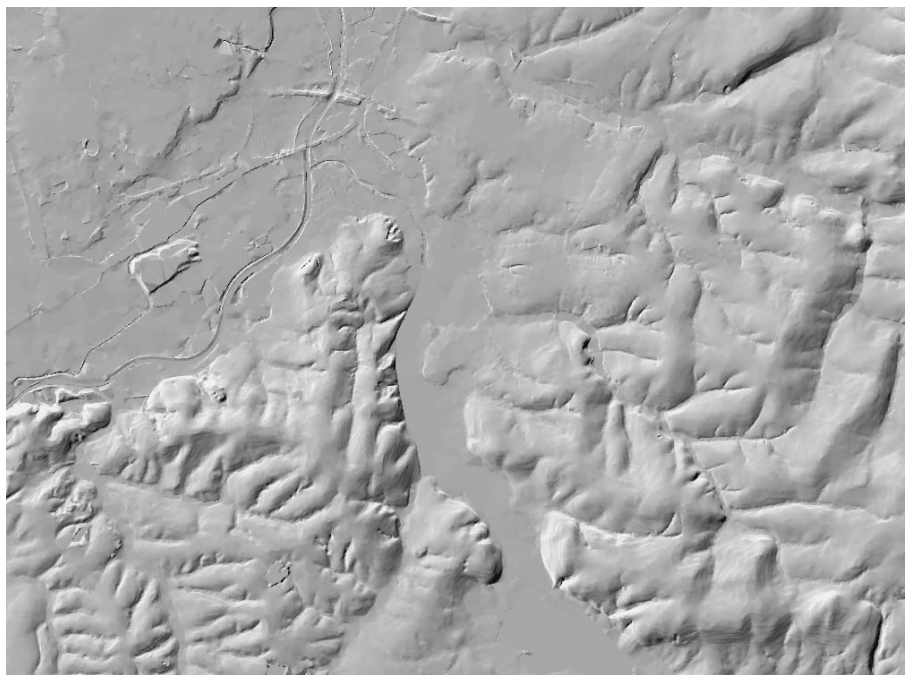


b

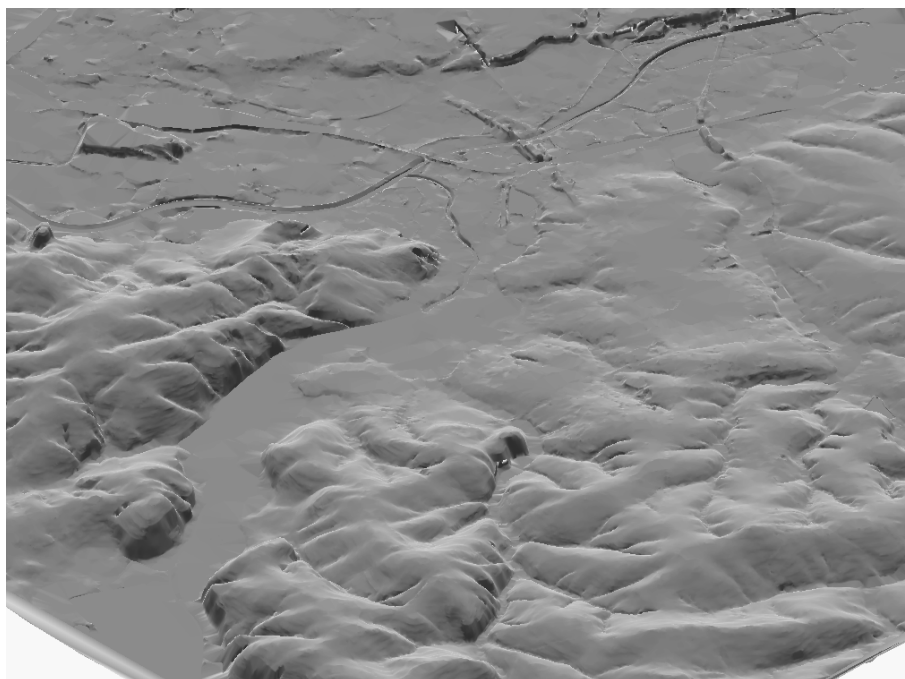


a

Obr. V.6.9 Vizualizace DMR pomocí obarvování v rovině (a) a v prostoru (b).



(a)



(b)

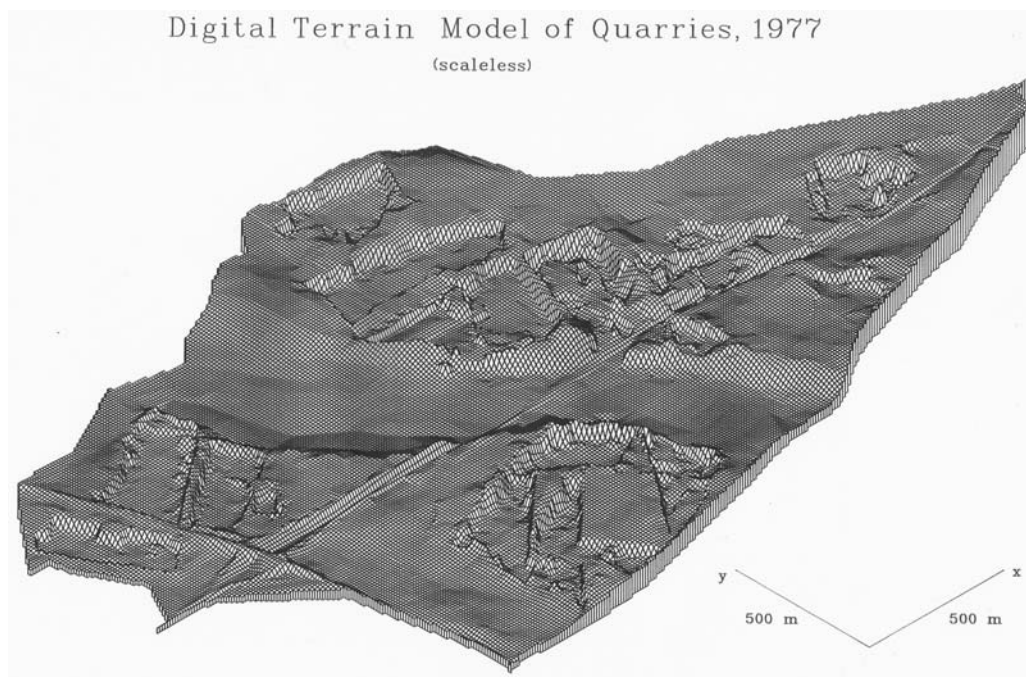
Obr. V.6.10 Vizualizace DMR stínováním v rovině (a) a v prostoru (b).

6.5.2 Izometrické metody vizualizace DMR

Izometrických metod vizualizace digitálních modelů reliéfu existuje rovněž celá řada:

- vizualizace pomocí vrstevnic (obr. V.6.8b),
- vizualizace obarvováním (obr. V.6.9b),
- vizualizace stínováním (obr. V.6.10b),
- vizualizace pomocí sítě vertikálních řezů (obr. V.6.11).

Z tohoto výčtu je zřejmé, že pro izometrickou vizualizaci máme k dispozici stejné metody, jako v případě ortografických metod, s tím rozdílem, že výsledek je zobrazen při šikmém pohledu. Navíc nám přibyla pouze *vizualizace pomocí sítě vertikálních řezů* (obr. V.6.11), založená na dvou systémech navzájem kolmých vertikálních řezů. Výsledkem je drátový model průběhu reliéfu tvořený dvěma navzájem kolnými soustavami profilů terénu.



Obr. V.6.11 Vizualizace DMR pomocí sítě vertikálních řezů [202].

6.6 Oblasti využití DMR

Digitální modely reliéfu jsou využívány jak samostatně, tak i jako součást rozsáhlejších aplikací. S DMR se můžeme nejčastěji setkat v těchto oblastech:

- stavitelství, územní plánování a urbanismus,
- hydrologické a hydrogeologické modelování,
- hodnocení a hodnocení eroze v krajině,
- dálkový průzkum Země a fotogrammetrie,
- povrchové dobývání surovin a skládky,
- vojenství,
- a další.

6.6.1 Stavitelství, územní plánování a urbanismus

Digitální modely reliéfu a nástroje počítačové grafiky jsou dnes běžnou metodou nejen pro vizualizaci terénu, ale i pro hodnocení dopadu lidských zásahů (např. výstavby budov, přehrad, dálnic, nebo změny vegetačního pokryvu – kácení a vysazování lesů) na krajinu. V takovém případě je terén kombinován s vegetačním pokryvem a se stavbami a zobrazen s využitím vizualizačních technik.

U modelů malých měřítek se pro zobrazení krajinných prvků většinou používají jen polygony promítnuté na povrch terénu, zatímco při použití větších měřítek již lze pracovat s třírozměrnými prvky nebo soubory prvků (domy, les ...).

Vedle vizualizací se digitální modely reliéfu používají i pro některé analýzy. Například v souvislosti s realizací velkých staveb, především liniových, se běžně provádějí objemové výpočty zářezů, násypů, stavebních jam apod. Dále se DMR využívají jako zdroje cenných informací pro územní plánování. Zde se pracuje především s výsledky analýz sklonu a orientace svahů.

6.6.2 Hydrologické a hydrogeologické modelování

Pro potřeby hydrologického modelování se DMR používají při tvorbě srážko-odtokových modelů, kde je DMR cenným zdrojem informací o drenážní síti, velikosti povodí, existenci lokálních depresí apod. Dobře sestavený digitální model reliéfu, doplněný i o informace o pokryvu terénu, umožňuje generovat i hydrogramy, které ukazují, jak se bude měnit křivka odtoku srážek v daném bodě.

V případě hydrogeologického modelování se DMR používají pro modelování průběhu geologických rozhraní a případně i průběhu hladiny podzemní vody. Poskytují

vstupní údaje pro potřeby sestavování hydrogeologických modelů a mohou být i vhodným nástrojem vizualizace výsledků modelování (viz obr. III.4.12, III.5.1 a III.5.2).

V [939 ION] je popsán způsob 3D zobrazování DMT spolu s ukázkami praktických výstupů, znázorňujících postup lomu v terénu a různé způsoby umístění přehrad v terénu. Z 3D reprezentace pak lze hodnotit jednak dopad na okolní krajinu, jednak lze takto odhalit i některé chyby v návrhu daného objektu. [135 McL] Zobrazení silnice v terénu, včetně doprovodných staveb, plánování krajiny - analýza vlivů lidské činnosti. Zobrazení terénu s novými stavbami, s upravenými lesy, přehradou ...

6.6.3 Hodnocení a hodnocení eroze v krajině

V zájmové oblasti je možné provádět opakovaně sběr dat pro tvorbu DMR. Z rozdílu digitálních modelů terénu je možné posoudit, kde došlo k erozi půd a kde došlo naopak k její následné akumulaci. V podstatě se využívá postupů objemových výpočtů s tím, že vytvářené digitální modely reliéfu musí být velice přesné (ve vertikálním směru až milimetry), protože změny způsobené erozí jsou obvykle sice plošně rozsáhlé, ale ve vertikálním směru nijak dramatické. V současné době se zdá, že by pro tyto úlohy mohl být velice vhodným zdrojem dat lidar. Bohužel z finančních důvodů je pro tyto účely zatím nedostupný.

6.6.4 Dálkový průzkum Země a fotogrammetrie

V dálkovém průzkumu Země se digitální modely reliéfu využívají jednak pro geometrické korekce snímků a jednak i pro korekce radiometrické. Další možné použití souvisí s vizualizací dat DPZ jejich promítnutím na digitální model reliéfu. Zejména pro potřeby vizuální interpretace mohou být tyto postupy zajímavé. V případě fotogrammetrie se DMR používá především pro generování ortofotosnímků.

6.6.5 Povrchové dobývání surovin a skládky

Digitální modely reliéfu jsou velice užitečným nástrojem při povrchové těžbě surovin. Například hnědouhelné doly běžně provádějí opakované letecké snímkování lomů s následným vyhodnocením objemů vytěžené suroviny, případně odtěžené skrývky. Na obr. V.6.3 a V.6.9 jsou ukázky výstupů z hodnocení těžby šterků a následné skládkové činnosti v jedné oblasti v Dánsku [202].

6.6.6 Vojenství

Vojenské využití digitálních modelů reliéfu sahá od průzkumu (až špionáže) až po simulaci pokrytí území signály nepřátelských radarů s cílem vyhledat hluchá místa, kde by mohly vrtulníky nepozorovaně proklouznout na území nepřítele, plánování bitevních polí, simulace a řízení palby apod.

Zajímavou (a netradiční) aplikaci představuje systém automatického navádění raket s plochou dráhou letu na cíl. Rakety jsou vybaveny databází reliéfu terénu podél dráhy letu a dále radarem, který umožňuje průběžně zjišťovat aktuální stav. Naměřené údaje se v určitých předem stanovených oblastech porovnávají s databází, zjišťuje se odchylka trasy oproti původnímu plánu a je možné provést potřebnou korekci dráhy letu bez nebezpečí minutí cíle. Zatímco signály GPS je možné technickými prostředky ovlivnit (např. rušit), provedení rozsáhlých zásahů do reliéfu terénu je nemyslitelné a díky tomu tento systém vykazuje vysokou spolehlivost.

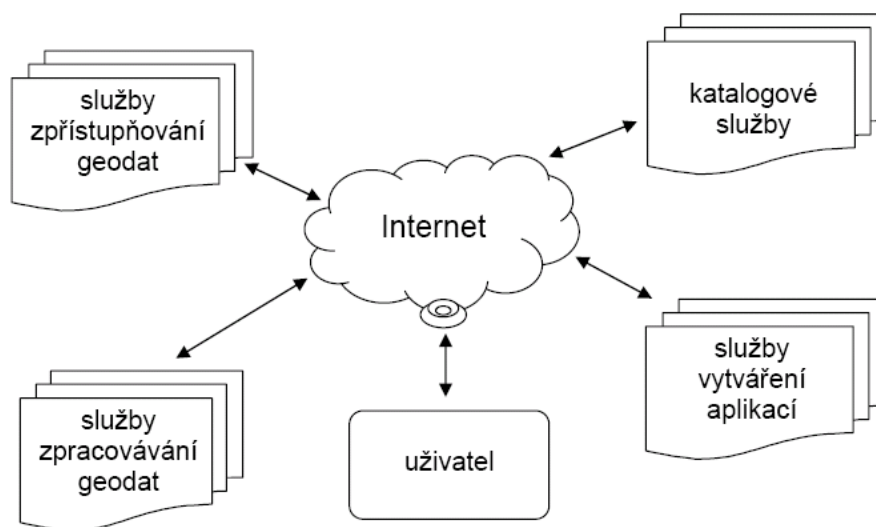
6.6.7 Jiné aplikace

Vedle výše zmíněných existuje celá řada dalších možných aplikací a využití DMR, například při budování sítí mobilních operátorů, při budování radiových datových sítí, při správě přírodních zdrojů, při hodnocení přírodních i jiných rizik (sesuvy půd, poklesy poddolovaných území, stékání těžkých jedovatých nebo výbušných plynů po terénu apod.). V literatuře je možné nalézt celou řadu příkladů.

Kapitola 7

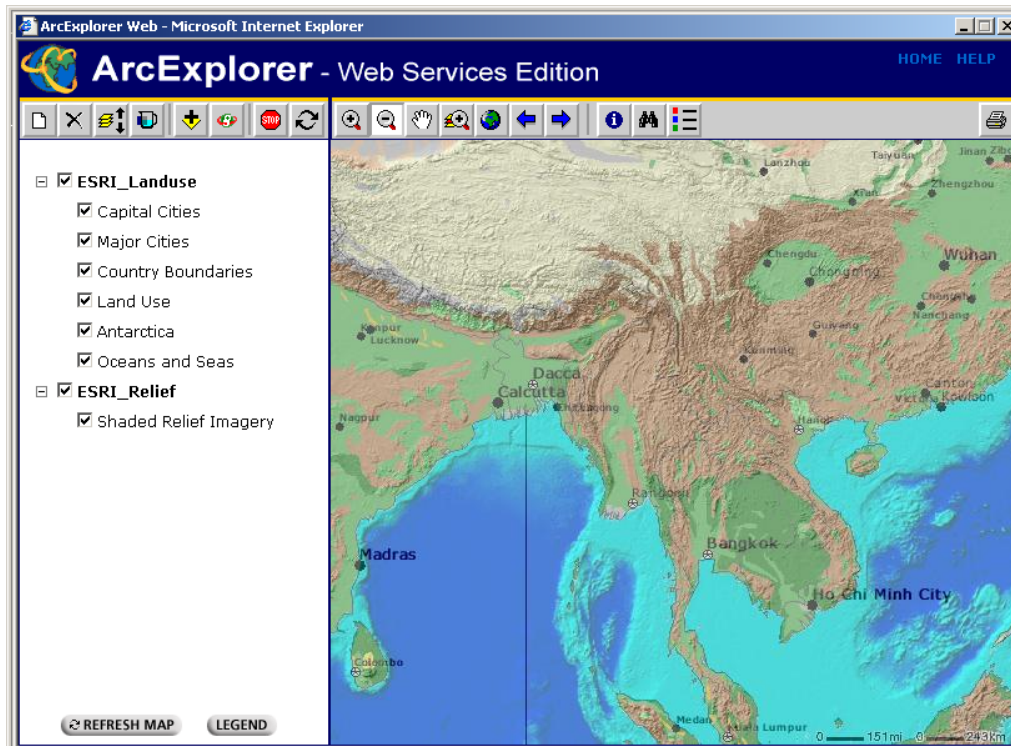
Geoweb

Rozvoj služby WWW (World Wide Web) přinesl především možnost zpřístupnění informací velkému počtu potenciálních uživatelů. Geoinformatika a geoinformační technologie nemohly zůstat stranou hlavního proudu informační dálnice, vedoucí přes Internet a především službu WWW (která se využívá i v prostředí intranetu). Proto byly vyvinuty technologie a postupy, které umožňují zpřístupnění geodat v prostředí webu. Vznikla tak nová kvalita poskytování služeb na Internetu. Tuto skutečnost dobře vystihuje označení *geoweb*. Geoweb navíc umožňuje prostorová data a informace nejen zpřístupňovat, nýbrž také zpracovávat prostřednictvím různých služeb, přístupných opět v prostředí Internetu. Zpřístupnění a analýza geodat prostřednictvím webu minimalizuje náklady na vybavení počítačů koncových uživatelů



Obr. V.7.1 Organizační schéma geowebu [210].

a umožňuje tak rozšířit jednoduchým způsobem počty těchto uživatelů.



Obr. V.7.2 Ukázka mapové služby [5].

Technologickou základnou geowebu jsou tzv. *webové služby* (angl. web service). Tato technologie byla původně vyvinuta obecně pro zpřístupňování služeb v prostředí webu na Internetu. Vzhledem k její úspěšnosti byla adaptována i do prostředí geoinformačních systémů. Například konsorcium OGC vyvinulo několik specifikací webových služeb, určených pro zpřístupňování geodat.

Webové služby v prostředí geowebu můžeme rozdělit do několika kategorií:

- služby pro zpřístupňování geodat,
- služby pro zpracovávání geodat,
- katalogové služby,
- služby pro vytváření aplikací.

Na obr. V.7.1 je uvedeno schéma geowebu složeného z webových služeb výše zmíněných kategorií.

7.1 Služby pro zpřístupňování geodat

Do této kategorie patří služby, které jsou určeny pro zpřístupňování různých geodat, zpravidla v podobě map, používaných buďto pro potřeby vizualizace (obr. V.7.2) jako podklad pro zobrazování jiných geodat nebo jako datové sady vstupující do analýz. Těmto službám se někdy také říká *mapové servery* nebo *mapové služby* (angl. web map service). Tyto služby mohou sloužit i pro vizualizaci jiných geodat, než která jsou aktuálně dostupná na serveru (například výsledků analýz).

7.2 Služby pro zpracovávání geodat

Služby pro zpracovávání geodat zpřístupňují uživateli různé nástroje pro zpracování prostorových dat, jako jsou například transformace souřadnic, změny formátu, různé analytické funkce apod. Každá služba má jasně definovaný formát vstupních dat a popřípadě i parametrů, které ovlivňují způsob provedení dané operace, a také formát výstupních dat. Služby je možné i řetězit, je možné je navazovat na mapové služby (a to jak na vstupu, tak i na výstupu) a vytvářet tak ucelené aplikace, které se však neprovádějí na lokálním počítači, nýbrž distribuovaně v prostředí Internetu.

7.3 Katalogové služby

Katalogové služby představují zcela odlišnou kategorii služeb. Neprovádějí žádné operace s geodaty, neposkytují uživateli žádné nástroje, z nichž by se přímo sestavovala jakákoliv aplikace. Ale přesto je jejich úloha nezastupitelná.

Katalogové služby totiž představují nástroj umožňující jednak sestavovat seznamy datových sad a služeb dostupných v prostředí Internetu spolu se základními metadaty o nich, a jednak vyhledávat v těchto seznamech datové sady a služby odpovídající požadavkům uživatele nebo požadavkům jiné služby.

Bez jejich existence by nemohly existovat ani služby pro vytváření aplikací a tím ani koncept geowebu jako takový.

7.4 Služby pro vytváření aplikací

Tato kategorie služeb je pro běžného uživatele asi nejzajímavější: tyto služby umožňují uživateli zadat požadavek na komplexní zpracování a případně i zadat postup zpracování a tato služba sestaví datové zdroje a služby tak, aby jejich postupným provedením získal uživatel požadovaný výsledek. Služba přitom může paralelně řešit i tak důležité otázky, jako je dokumentace kvality výsledku, stanovení ekonomické

náročnosti zpracování (cenu stanovenou jako součet poplatků za použití dat a služeb) apod. Navíc by mohla uživateli nabízet i více variant řešení, např. s různou kvalitou výsledku a tomu odpovídající různou cenou. Uživatel se pak může rozhodnout, zda si vybere variantu levnější i za cenu nižší kvality nebo potřebuje kvalitní výsledky i za cenu vyšších nákladů. Následující příklad ukazuje možný scénář práce v prostředí geowebu.

Příklad: Uživatel chce nalézt parcely v Ostravě – Porubě, vhodné pro výstavbu rodinného domku a vyhovující následujícím kritériím: parcela s výměrou minimálně 1.500 m², nacházející se ve vzdálenosti maximálně 500 m od silnice první třídy a 800 m od nejbližší základní školy.

Jak by mohl vypadat postup: Uživatel se prostřednictvím Internetu připojí na službu pro vytváření aplikací a zadá své požadavky (první sloupec reprezentuje dotazy systému, druhý odpovědi uživatele):

Dotaz systému:	>Odpověď uživatele:
Požadavek:	výběr
Čeho:	parcely
Kritérium:	obec
Která:	Ostrava – Poruba
Další kritérium:	velikost:
Hodnota:	> 1.500 m ²
Další kritérium:	vzdálenost
Od čeho:	silnice 1. třídy
Hodnota:	< 500 m
Další kritérium:	vzdálenost
Od čeho:	základní škola
Hodnota:	< 800 m
Další kritérium:	ne.

Po té služba začne sestavovat vlastní aplikaci. Nejprve na základě tohoto zadání určí, která geodata a které služby budou zapotřebí pro vyřešení zadaného úkolu:

<i>geodata:</i>	<i>vrstva parcel,</i> <i>vrstva hranic obcí,</i> <i>vrstva silnic 1. třídy,</i> <i>vrstva základních škol,</i>
<i>služby:</i>	<i>vyber polygony,</i> <i>vystřihni linie,</i> <i>vystřihni body,</i> <i>vystřihni polygony,</i> <i>překryj polygony,</i> <i>obalová zóna kolem bodů,</i> <i>obalová zóna kolem linií.</i>

Z těchto stavebních kamenů služba sestaví model řešení úkolu – viz obr. V.7.3. Na to začne v katalogové službě vyhledávat zdroje potřebných geodat a odpovídající webové služby a začne je postupně dle modelu vyvolávat, předávat jim vstupní geodata a parametry a přebírat výsledky zpracování. To vše tak dlouho, až bude vygenerován požadovaný výsledek. Uživatel se může rozhodnout, zda mu výsledek stačí nebo zda bude pokračovat dále ve zpracování.

V tomto příkladě byly záměrně opomenuty některé činnosti, které by spíš komplikovaly výklad. Jedná se například o výběr nejvhodnějšího datového zdroje, nejlevnější služby apod.

Výše uvedený příklad demonstruje možnosti geowebu, poskytuje však jen pohled „zvenčí“. Aby bylo tento koncept možné opravdu realizovat, je nezbytné vyřešit celou řadu problémů, které jsou skryty v pozadí a které běžný uživatel neuvidí. Jedná se v první řadě o programové vybavení pro jednotlivé typy služeb (tj. katalogy, služby vytváření aplikací atd.), dále o vyřešení ekonomického modelu a jeho účtování, modelování kvality výsledku apod. Jedná se o problémy náročné, jejich řešení je otázkou ještě poměrně dlouhého času.

Kapitola 8

Lidar

Lidar (z angl. Light Detection And Ranging, LIDAR) je jednou z nejmladších technologií určených k získávání 3D dat o objektech a jevech nacházejících se na Zemi. Zpravidla se používá pro skenování zemského povrchu, staveb, podzemních prosotr, ale jsou známé i aplikace z oblasti detekce úniku metanu, měření rychlostního pole v atmosféře, měření mraků apod. [138], [292], [87], [275], [296]. V dalším textu se zaměříme především na skenování zemského povrchu.

Vývoj lidarů byl zahájen před cca 15 lety [43]. Od té doby se postupně rozvíjí v široce použitelnou technologii. Jejím masovému rozšíření zatím brání jak velká technologická náročnost výroby potřebných zařízení, tak i velká náročnost zpracování získaných dat. Proto zatím existují jen jednotlivé více či méně prototypové aparatury. Z toho následně vyplývají velké náklady spojené s jeho užitím.

Vlastnosti a možnosti lidarů ho však jednoznačně předurčují pro roli jedné z nosných technologií získávání prostorových dat. Tohoto postavení by měl lidar dosáhnout již během několika příštích let.

8.1 Princip lidarů

Lidar pracuje na obdobném principu jako radar, pouze místo radiových vln používá světelné záření. Vzhledem k výrazně kratší vlnové délce použitého záření je však výsledné technické řešení zcela odlišné. Výhodou je vyšší přesnost určování polohy bodů, od nichž se záření odrazí.

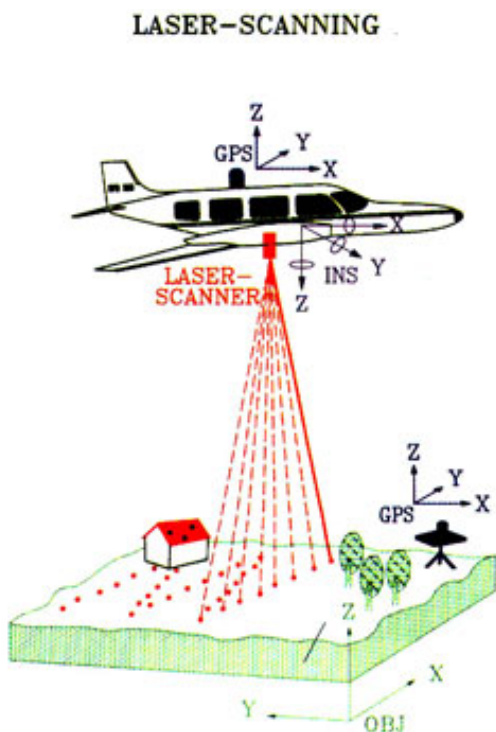
Lidar se skládá z laseru, optické soustavy, mechanické soustavy, která zajišťuje vychylování laserového paprsku tak, aby opisoval na terénu dráhu určitého tvaru, dále z detektoru odraženého záření, přesných hodin a zařízení pro učování přesné polohy nosiče a jeho orientace v prostoru [43], [87]. Celý komplet je doplněn počítačem a je nainstalován na nosiči, kterým je zpravidla buď to pomalu letící letadlo

nebo vrtulník.

Princip lidarů je velice jednoduchý. Světelný paprsek generovaný laserem umístěným na nosiči je optickou soustavou soustředěn do velice úzkého paprsku a ten je zpravidla mechanickým zařízením vychylován zpravidla napříč směru letu nosiče (obr. V.8.1). Paprsek opisuje po terénu stopu, jejíž tvar je závislý na způsobu vychylování paprsku. Může se jednat o klasické řádky, ležící napříč směru letu nebo o vzor, který je možné nazvat „cik-cak“, dále se může jednat o podélné řady bodů a konečně může paprsek opisovat po terénu i spirálu.

Laser obvykle pracuje v pulzním režimu. Jeden cyklus měření vypadá přibližně takto:

Laser vyšle světelný impuls, palubní počítač zaznamená čas vyslání světelného impulsu, polohu nosiče a jeho orientaci v prostoru (natočení, naklopení a naklonění) a dále úhel, pod kterým vychýlí mechanická soustava světelný paprsek. Dále již detektor zaznamenává příchod záření odraženého od překážek na zemském povrchu (stromy, stavby, vedení vysokého napětí, reliéf terénu apod.). Počítač zaznamenává čas příchodu odrazů a jejich intenzitu a z časového rozdílu mezi vysláním a příjmem světelného impulsu, ze známé polohy nosiče a jeho orientace v prostoru a ze známé polohy vychylovací soustavy spočítá polohu bodu, od něhož došlo k odrazu.



Obr. V.8.1 Schéma lidarů [87].



Obr. V.8.2 Rastrový obraz vytvořený z intenzit odražených signálů. Znárodněna je část města Memmingen v Německu. Prostorové rozlišení rastru je 0,5 m na pixel [117].

Jakmile je ukončeno měření, je mechanická soustava nastavena do nové polohy, laseru je dán pokyn vyslat další světelný impuls a cyklus měření se opakuje. Za sekundu jich zařízení vykoná řádově první desítky tisíc. Díky tomu může lidar získávat velice hustou síť bodů, které vytvářejí tzv. *mračno bodů*, které se pak musí následně zpracovat.

Je nezbytné ještě poznamenat, že i když je paprsek velice úzký, je vždy rozbíhavý a na povrchu vykresluje stopu, jejíž šířka může být v závislosti na výšce letu až několi desítek centimetrů. Díky tomu může dojít k situaci, že se jeden impuls může odrazit i od několika povrchů (například střechy domu a terénu vedle domu nebo částečně od stromu, částečně od pod ním rostoucího keře a částečně opět od terénu).

8.2 Charakteristika získaných dat

Z měření lidarem získáme mračno bodů reprezentujících místa v prostoru, od nichž byl zaregistrován odraz. Tyto body jsou rozmístěny v 3D prostoru, mají své třírozměrné souřadnice a mohou k nim být vztaheny i další informace.

Vedle polohy bodů je možné využít i údaje o intenzitě odraženého záření. Každému bodu je možné přiřadit např. stupeň šedi úměrný této intenzitě. Získáme pseudosnímek, zněhož můžeme interpolací odvodit jistou obdobu rastrového obrazu [43]. Na tomto snímku je možné dobře odlišit plochy s vysokou odrazivostí od ploch s nízkou odrazivostí (obr. V.8.2). Musíme si však být vědomi skutečnosti, že laser generuje záření určité vlnové délky a odrazivost se proto vztahuje jen k této vlnové délce. Lidary nejčastěji využívají infračervené lasery, pracující v pásmu blízkého infračerveného záření. Toto záření není téměř vůbec odráženo vodními plochami. V rastrovém obraze odvozeném z měření takovýmto lidarem je proto možné dobře odlišit vodní plochy, avšak na druhou stranu není možné vyhodnocovat reliéf dna ani v případě poměrně mělkých nádrží. Pokud je zájem i o vyhodnocení reliéfu dna, je nezbytné použít laser generující záření s vlnovou délkou odpovídající modrozelenému světlu. V takovém případě je možné v čiré stojaté vodě měřit reliéf dna až do hloubky cca 50 m. Skutečný hloubkový dosah je však zpravidla omezen především zakalením vody a jejím případným pohybem (prouděním).

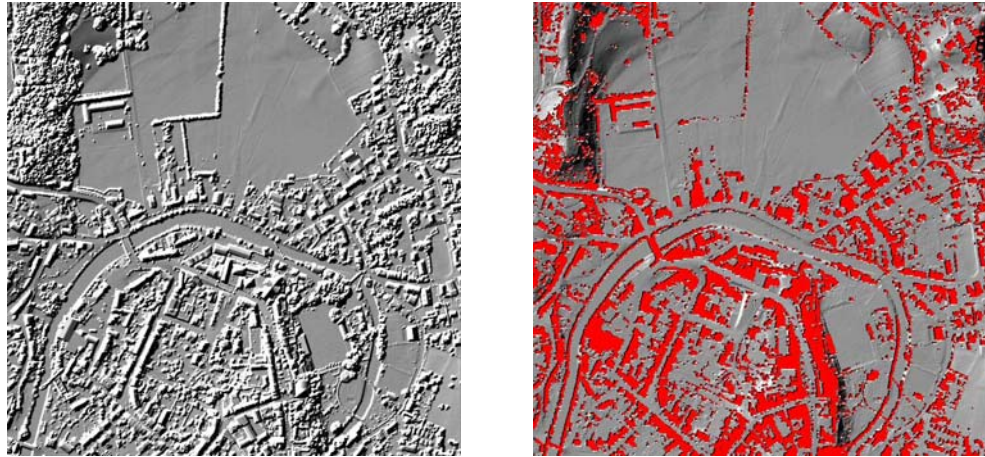
Někdy je lidar doplněn i detektorem viditelného záření nebo digitální fotokomorou. Z jejich záznamu je možné jednotlivým bodům přiřadit „barvu“ odpovídající barvě povrchu, od něhož došlo k odrazu. Výsledkem je zobrazení mračna bodů způsobem, který umožňuje vizuální interpretaci výsledků měření (obr. V.8.7). Některé snímače dokonce umožňují zaznamenat zvláště odražené červené, zelené a modré světlo a infračervené záření, jejichž primárním zdrojem není lidar, nýbrž Slunce. Jako pátý kanál můžeme k těmto datům připojit i údaj o intenzitě odraženého záření generovaného laserem lidaru. Takto pořízená data je možné zpracovávat klasifikačními postupy známými z dálkového průzkumu Země.

8.3 Zpracování dat

Primární data získaná lidarem jsou vcelku nepřehledná, s původním mračnem bodů se špatně pracuje a i pouze vizuální interpretace je dosti obtížná. Proto je zapotřebí tato data zpracovat. K dispozici máme celou řadu postupů, které jsou již z velké části automatizované.

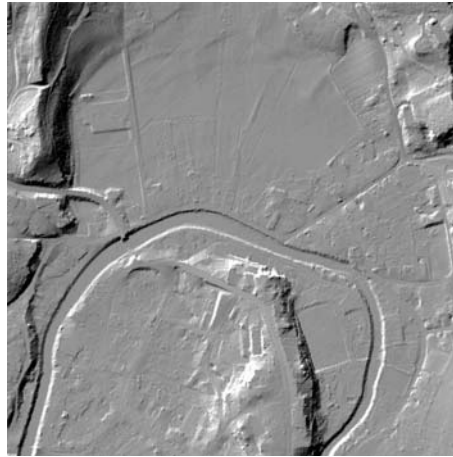
Základní metody zpracování dat lze rozdělit do dvou skupin [43]:

- *filtrace*, jejímž cílem je z mračna bodů vybrat jen ty, které odpovídají odrazům od zvolené plochy, zpravidla reliéfu terénu nebo korun stromů,



(a)

(b)



(c)

Obr. V.8.3 Na tomto obrázku je ukázán původní digitální model povrchu (včetně zeleně a zástavby; část a), digitální model reliéfu s mezerami po odstraněných budovách a případně husté zeleni (část b) a finální model reliéfu získaný zapněním mezer interpolací (část c) [267].

- *klasifikace*, jejímž cílem je roztrždit body do předem definovaných tříd, odpovídajících odrazům od jednotlivých povrchů v krajině se vyskytujících.

8.3.1 Filtrace

Tak jak se vyslaný paprsek záření šíří od lidarů směrem k povrchu, může se jeho část odrazit od různých povrchů. Cílem filtrace je vybrat body, které se odrážejí od

určitého povrchu. Nejčastěji se filtrací odsraňují všechny body, znamenající odrazy od objektů nad reliéfem terénu, jako je zeleň (stromy, keře), budovy a jiné stavby, vedení vysokého napětí, ale třeba i auta a lidé pohybující se po povrchu.

Při ruční editaci mračna bodů by bylo relativně snadné určit, které body nás zajímají a které nikoliv. Nicméně vzhledem k tomu, že zpracovávané mračno zahrnuje řádově miliony bodů, ale i více, nepřichází ruční zpracování z praktických důvodů v úvahu. Musí se proto zvolit automatizované postupy, umožňující provést filtraci efektivně a dostatečně spolehlivě. Používají se například morfologické filtry, filtry založené na porovnávání sklonů apod. Blíže je tato problematika popsána například v [43].

8.3.2 Klasifikace

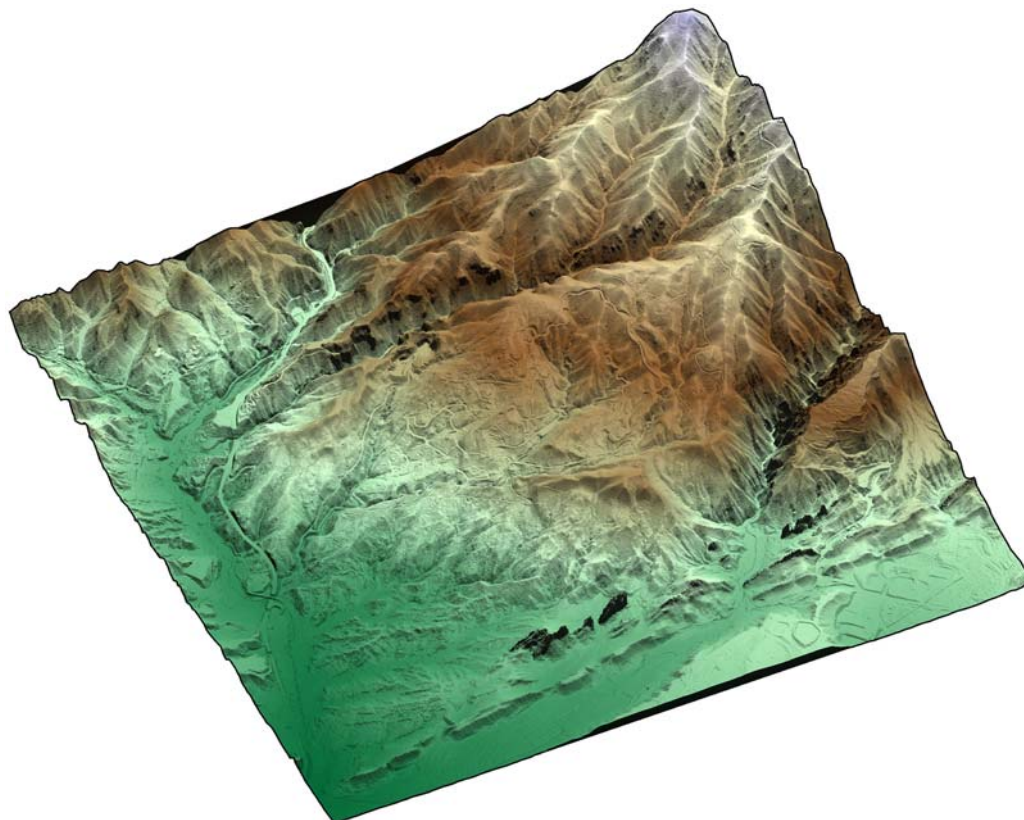
Klasifikací se rozumí roztřídění jednotlivých bodů do tříd podle typu povrchu, od něhož k odrazu došlo. Klasifikace tedy pracuje prakticky se všemi body, jejich počet neredukuje. Minimální sadu tříd tvoří trojice terén, vegetace a budovy, ale často se používá i detailnější členění: hrubé chyby, body pod úrovní terénu, body na terénu, komunikace, nízká vegetace, vysoká vegetace, budovy, výšková vedení (například vysokého napětí).

Jednotlivé body lze klasifikovat jednak podle výškových poměrů v jejich okolí a jednak podle jejich odrazivosti případně i spektrálních charakteristik získaných speciálními snímači.

Klasifikace je prováděna v několika krocích s tím, že v každém kroku se klasifikují jen body jedné třídy. Další krok již pracuje jen se zbývajícimi body. Jako první se zpravidla klasifikují hrubé chyby (body významně se výškově odchylující od všech okolních bodů). Následuje vyčlenění bodů ležících na terénu, dále bodů ležících pod terénem, bodů reprezentujících vegetaci a nakonec se klasifikují body reprezentující odrazy od budov a komunikací. V případě potřeby je možné klasifikovat i body reprezentující sloupy a dráty nadzemního vedení (obr. V.8.10).

8.4 Aplikace lidarů

Primárním účelem lidarů je tvorba digitálního modelu povrchů, resp. z něho odvozeného digitálního modelu reliéfu. Výhodou lidarem získaných dat je vysoká hustota bodů (běžně i 1 bod na m²), jinými prostředky prakticky nedosažitelná (minimálně z ekonomických důvodů). Díky tomu lze z dat lidarů generovat různé produkty, využitelné v široké škále aplikací.



Obr. V.8.4 Digitální model reliéfu oblasti Manitou Springs. Je natolik detailní, že na něm jsou patrné jednotlivé silnice, šplhající po úbočích, přehrady a další stavby [163].

8.4.1 Tvorba digitálního modelu reliéfu

Tvorba digitálního modelu reliéfu představuje primární oblast aplikací lidarů. Jeho výhodou proti dnes nejběžnějšímu způsobu získávání dat leteckou fotogrammetrií je jednak snadno dosažitelná vyšší hustota bodů popisujících průběh reliéfu a jednak, a to především, jeho aplikovatelnost i v zalesněných oblastech. Díky šířce stopy paprsku vždy existuje jistá pravděpodobnost, že alespoň jeho část projde korunami stromů, dopadne na povrch terénu a odrazí se zpět k detektoru. Díky velké hustotě bodů je proto možné z dat zrekonstruovat i průběh reliéfu terénu skrytého pod hustým lesním porostem (viz. obr. II.2.4 a II.2.5). V této situaci obvykle fotogrammetrie selhává.

Průběh reliéfu terénu se z mračna bodů získá jeho zpracováním vhodnou filtrací a klasifikací. Oblasti, v nichž nezůstaly žádné body (například v místě odstraněných budov) se přibližný průběh terénu získá interpolací. Na obr. V.8.3 je ukázán původní digitální model povrchu (včetně zeleně a zástavby), digitální model reliéfu.



Obr. V.8.5 Ukázka dat získaných lidarem a multispektrálním skenerem (červená-zelená-modrá-blízké infračervené záření). Pomocí digitálního modelu povrchu, vygenerovaného z dat získaných lidarem, je možné z multispektrálních dat vygenerovat skutečné ortofotosnímky, kdy stěny domů jsou svislé a automobily nejsou nijak posunuté. Vlevo je ukázka barevného ortofotosnímku, vpravo ukázka barevného infračerveného snímku [222]. Oba snímky znázorňují levý horní roh obr. V.8.2.

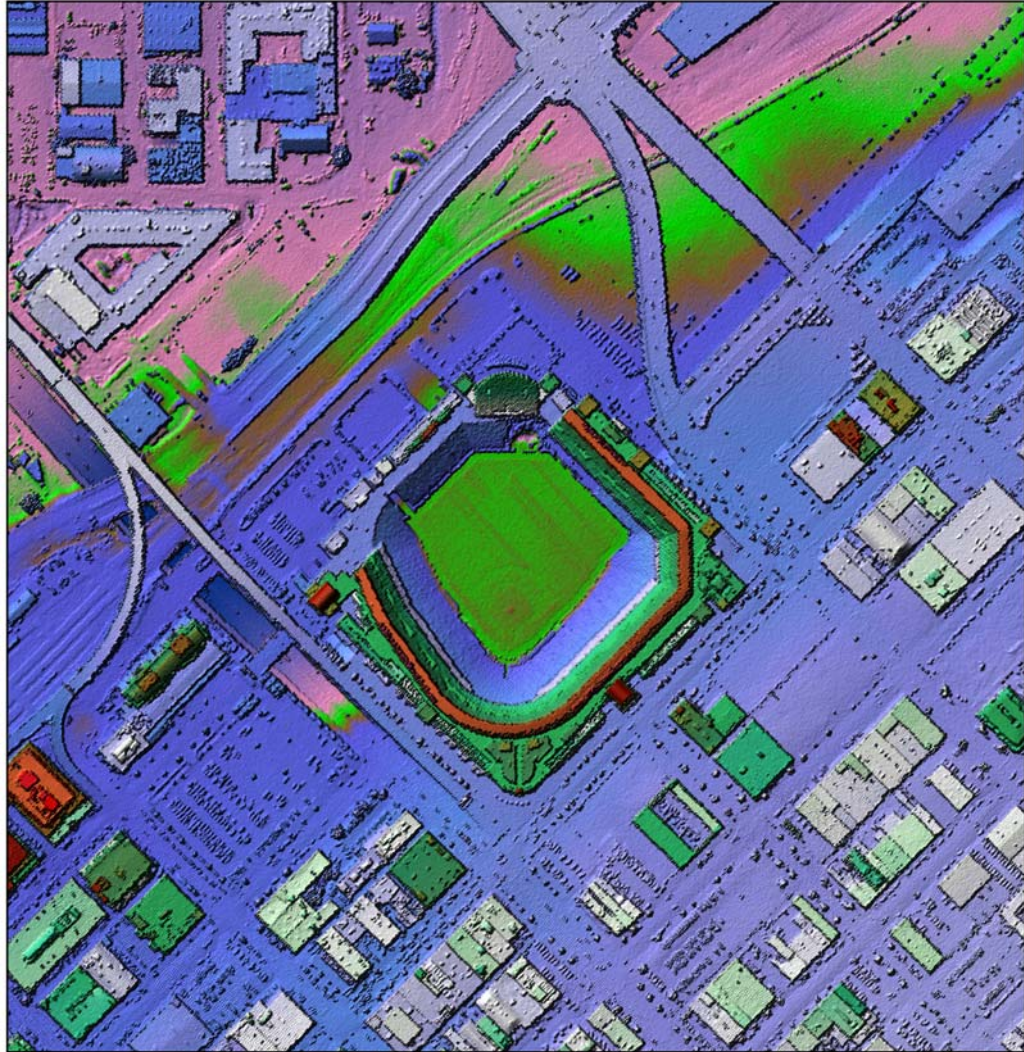
éfu s mezerami po odstraněných budovách a případně husté zeleni a finální model reliéfu získaný zapněním mezer interpolací.

Výsledný digitální model reliéfu je využitelný v celé řadě oblastí. Vzhledem k vysoké míře detailnosti a relativně vysoké vertikální přesnosti [123] je vhodný pro různé hydrologické aplikace, dá se využít při generování ortofotosnímků (obr. V.8.5), své využití nalezne i při korekcích multi-spektrálních a zpřesňování hyperspektrálních dat [43].

8.4.2 Tvorba 3D modelů měst

Při vhodném zpracování lze z mračna bodů získaných lidarem vyčlenit body, reprezentující povrchy budov a reliéf terénu. Tyto body je možné vyhladit, vygenerovat nad nimi trojúhelníkovou síť a vytvořit tak prostorový model zástavby (obr. V.8.6). Ten je možné využít například při provádění detailních studií šíření znečištění ovzduší v urbanizovaných oblastech, vlivu zástavby na šíření zvuku generovaného silniční dopravou apod.

Nebo je možné na tento model promítnout ortofotosnímky (obr. V.8.8) a případně i snímky fasád jednotlivých budov. Získáme tak velice realistický model

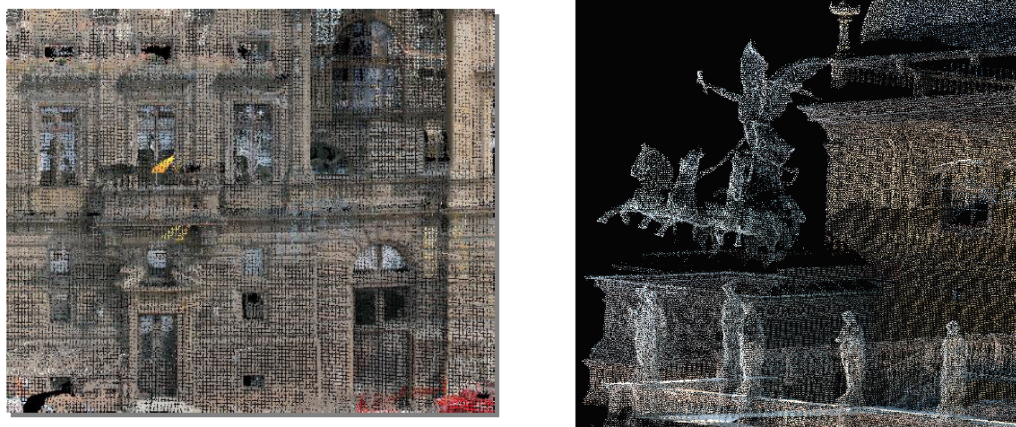


Obr. V.8.6 3D model baseballového stadionu [163].

městské zástavby, využitelný například pro potřeby vizualizace města v prostředí Internetu, pro potřeby vizuální analýzy (např. dopadu výstavby nových budov nebo jiných architektonických zásahů na vzhled města) nebo pro doplnění scén virtuální reality.

8.4.3 Tvorba dokumentace a 3D modelů budov

Pozemní varianta lidarů se často používá pro tvorbu dokumentace historických budov a vytváření jejich 3D modelů. V tomto případě se využívá možnosti obar-



Obr. V.8.7 Ukázka skenování fasád budov pozemním laserovým skenerem (lidarem), provedeným firmou Geodis Brno, s.r.o. na Starém Městě v Praze. (Publikováno s laskavým svolením firmy Geodis Brno, s.r.o.)

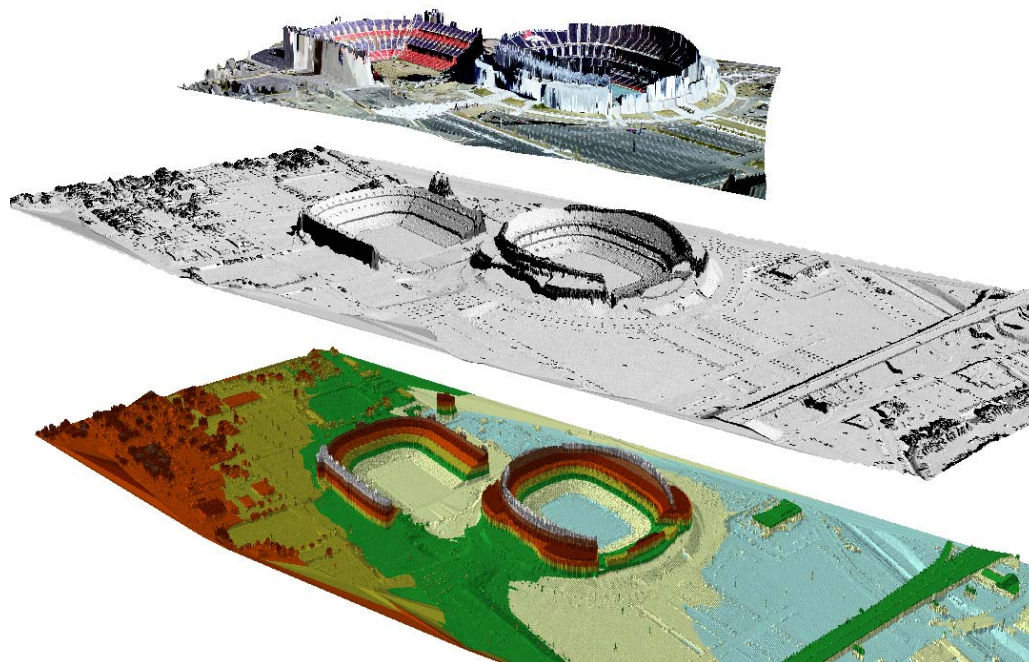
vení jednotlivých bodů skutečnou barvou povrchu, od něhož k odrazu došlo. Na obr. V.8.7 je ukázka výsledku skenování fasád budov na Starém Městě v Praze, prováděného pracovníky firmy Geodis Brno, s.r.o. pro potřeby památkářů. Kromě vizualizace, dokumentace a archivace stavu budov je možné tato data využít i pro tvorbu jejich 3D modelů, které mohou být v tomto případě i relativně velmi detailní.

8.4.4 Tvorba diferenčních modelů

Lidar je možné použít i pro opakované snímání stejného území. Vytvořené digitální modely povrchu je možné následně zpracovávat tak, že se prostě odečtou a místa, kde došlo v období mezi snímáními k výrazným změnám (např. v důsledky výstavby nových budov nebo demolice těch starých, v důsledku skládkové činnosti nebo naopak těžby, v důsledku vodní eroze apod.), objeví se v rozdílovém digitálním modelu hodnoty odlišné od nuly.

Diferenční modely je proto možné využít pro sledování změn v území, ať už jsou způsobeny člověkem nebo přírodními procesy:

- monitorování změn zástavby,
- monitorování skládkové činnosti (včetně vyhledávání černých skládek),
- monitorování svahových pohybů,
- monitorování postupu povrchové těžby,
- monitorování erozní činnosti vody,



Obr. V.8.8 Ukázka různého zpracování digitálního modelu reliéfu, vytvořeného z dat lidarů. Uprostřed je původní digitální model povrchu, nahoře je potažený ortofotosnímek a dole je naopak obarvený podle nadmořské výšky reliéfu [163].

- monitorování nánosu sedimentů po záplavách apod.

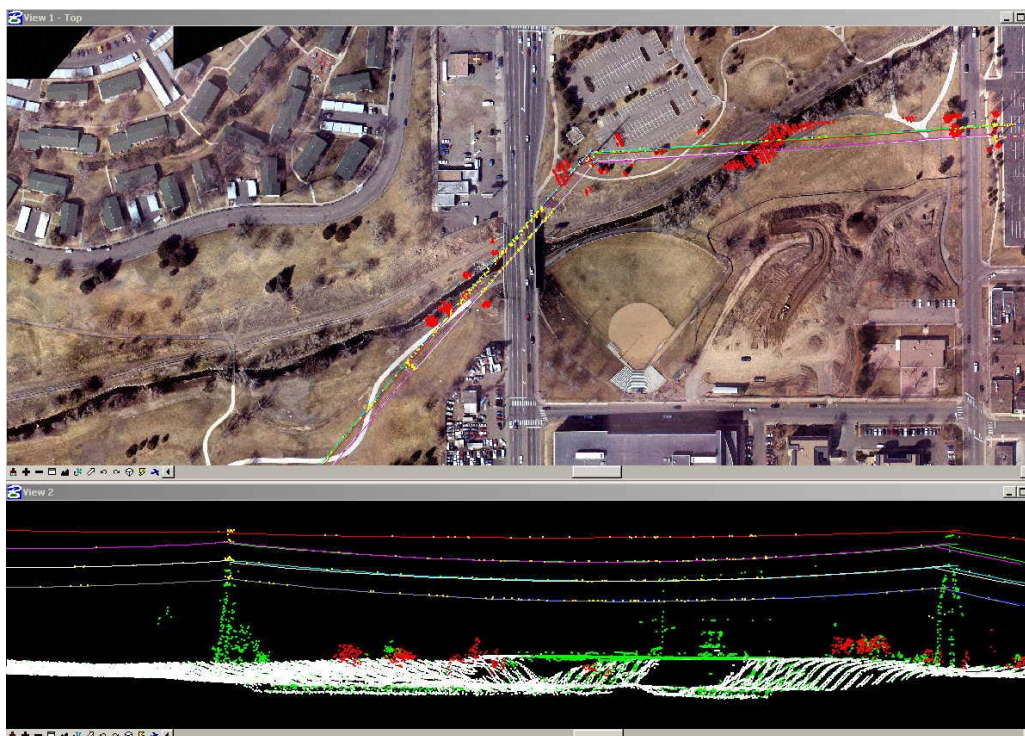
Tato oblast aplikací je umožněna vysokou vertikální přesností naměřených dat.

8.4.5 Mapování průběhu nadzemních vedení

Mapování průběhu nadzemních vedení, jako jsou rozvody vysokého a velmi vysokého napětí, lidarem se může zdát z pohledu hustoty snímaných bodů a průměru vodičů jako nereálná. Nicméně když si uvědomíme průměr stopy paprsku na povrchu, která je vždy větší než průměr vodičů a skutečnost, že vodiče elektrického vedení mají poměrně vysokou odrazivost, je jasné, že při vhodném uspořádání mapování (např. let vrtulníku s lidarem podél vedení a v relativně malé výšce, tak aby snímané body pokrývaly prostor velice hustě) je možné získat uspokojivé výsledky. A praktické pokusy použitelnost této metody plně prokázaly (viz obr. V.8.9).

Výhodu tohoto mapování je, že je podrobně zmapováno celé vedení, jeho pro-

storový průběh, průhyb, výška nad terénem apod. a stejně jsou vymapovány i jednotlivé stožáry, vegetace pod vedením, stavby nacházející se v blízkosti vedení atd. (obr. V.8.10). Na základě těchto dat je možné vyhodnotit stav vedení, jeho potenciální ohrožení vzrostlými stromy, výstavbu černých staveb v zakázané zóně apod. [43].



Obr. V.8.9 Ukázka prostorového 3D mapování průběhu vedení velmi vysokého napětí s využitím lidarů [163].

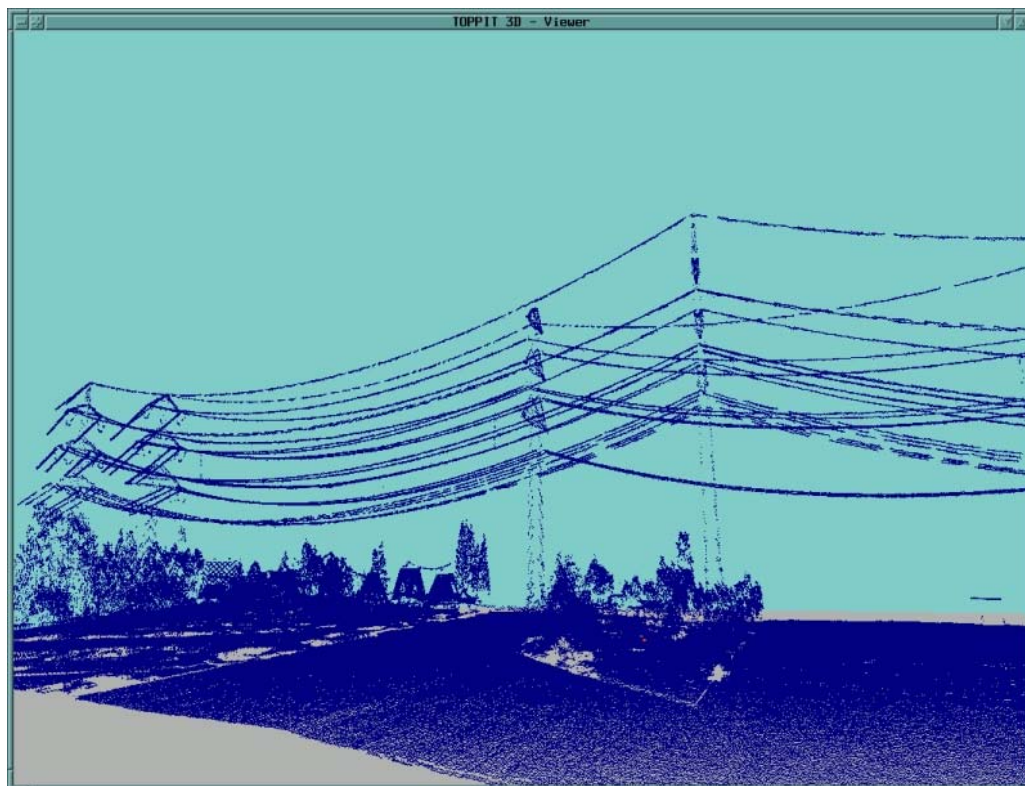
8.4.6 Mapování vegetace

Při mapování vegetace, zvláště lesních porostů, se s výhodou využívá možnosti vícenásobného odrazu paprsku lidarů od povrchů nacházejících se v různých výškách. Díky tomu je možné mapovaný porost rozdělit na jednotlivá patra, vyhodnocovat objem biomasy v nich, vyhodnocovat i druhové složení, počítat stromy apod.

8.4.7 Mapování vodních ploch

Při mapování pobřežních vod a mělkých vodních ploch (do hloubky cca 50 m) se používají speciální lidarů, vybavené dvojicí laserů generujících záření dvou odliš-

ných vlnových délek. První leží v pásmu infračerveného záření. To je vodou zcela pohlcováno. Díky tomu lze ve výsledném obraze velice dobře odlišit březní resp. záplavovou čáru. Hladina jako taková se projeví mračnem bodů vykazujících velice nízkou odrazivost. Naproti tomu se nedovíme nic o dnu pod hladinou. Druhý laser proto emituje záření v oblasti viditelné části spektra (zpravidla zelené nebo modrozelené barvy), které vodou prochází a může tedy dosáhnout dna a odrazit se zpět k detektoru. I v tomto případě registrujeme více odrazů. První je od hladiny, další může být od objektů ve vodě nebo od zákalů a poslední bývá zpravidla ode dna (pokud není zákal příliš hustý). Právě zakalení vody je faktorem, který může použitelnost této metody výrazně omezit až znemožnit.



Obr. V.8.10 Ukázka mapování průběhu vedení vysokého napětí a pod ním se nacházející vegetace [267].

8.4.8 Mapování úniků plynů z produktvodů

Lidar je možné použít i pro mapování úniků plynů z produktvodů, zásobníků, technologií apod. (obr. V.8.11). I v tomto případě se využívá dvojice laserů s různými vlnovými délkami emitovaného záření. Jeden je volen tak, aby emitoval záření daným plynem pohlcované a druhý tak, aby jeho záření plynem procházelo

bez ovlivnění. Pokud vyslaný impuls projde mrakem uniklého plynu a odrazí se od překážky (např. povrchu terénu) zpět k detektoru, lze z rozdílů intenzit odražených záření vyhodnotit koncentraci plynu v mračnu. Při vhodném uspořádání měření je možné vyhodnocovat i prostorové rozložení mračna plynů [119], [142], [217].



Obr. V.8.11 Ukázka využití diferenčního absorpčního lidarů pro detekci úniků metanu z potrubí [251].

Kapitola 9

Nově nastupující geoinformační technologie

Vedle klasických výše uvedených geoinformačních technologií stojí alespoň za stručnou zmínku geoinformační technologie, které patří k tzv. *nově nastupujícím* (angl. emerging technologies). Jsou to technologie vycházející ze zcela nových, doposud nevyužívaných principů, postupů nebo technik, jsou teprve na počátku svého vývoje a svoji pevnou pozici mezi geoinformačními technologiemi si musí teprve vydobýt. K těmto technologiím můžeme zařadit mimo jiné:

1. prostorové multiagentové systémy,
2. buněčné automaty,
3. časoprostorové ontologie,
4. prostorové myšlení.

Všechny mají společné to, že jsou předmětem intenzivního výzkumu a vývoje, jejich potenciál významně přispět k využívání aplikací geoinformačních technologií laickou veřejností je značný a jsou do nich proto vkládány značné naděje. Jejich základem jsou obvykle již existující poznatky i praktické zkušenosti s využíváním obdobných technologií v oblasti klasické informatiky a jejich aplikací. Novinkou je právě jejich rozšíření o možnost práce s prostorem (s výjimkou buněčných automatů – viz dále).

Prostorové multiagentové systémy je možné využít k modelování a simulaci procesů, probíhajících především mezi objekty reálného světa, zatímco buněčné automaty jsou (na stávajícím stupni rozvoje) vhodnější především k modelování a simulaci procesů ovlivňujících jevy reálného světa. Je to dáno především pojetím prostoru, které v současné době využívají. Nicméně další vývoj může tuto dnešní hranici setřít a umožnit jejich využívání v obou doménách.

V dalším textu si stručně probereme první dvě z těchto technologií, protože i když jsou dnes předmětem intenzivního výzkumu, jsou již některé výsledky prakticky využívány. Zbývající jsou stále ještě především výzkumnou záležitostí, proto se jimi nebudeme zabývat.

9.1 *Prostorové multiagentové systémy*

Prostorové multiagentové systémy (angl. Spatial Multi-Agent System) představují slibnou technologii využitelnou pro modelování prostorových procesů v prostředí geoinformačních systémů. Může tedy do budoucna přispět k systematickému zahrnutí procesního náhledu na reálný svět do geoinformatiky a geoinformačních systémů.

9.1.1 Agent

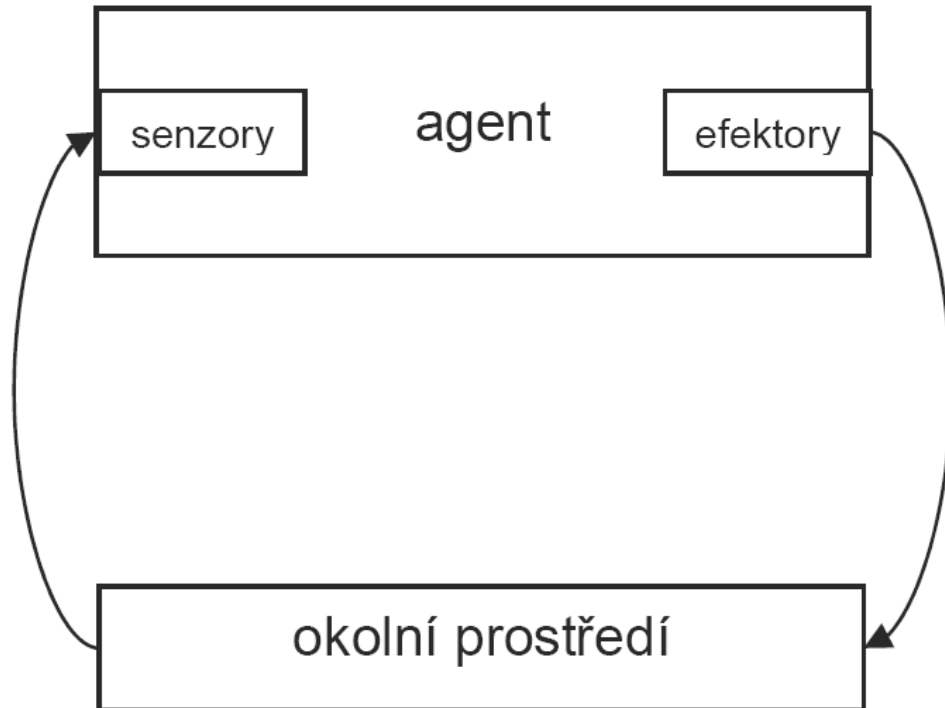
Pojem *agent* (angl. agent) se v literatuře objevil poprvé někdy v 60. letech minulého století. V podstatě označoval autonomní systém, schopný vnímání svého okolí, komunikace s ním a také samostatného rozhodování o svých příštích akcích. Od té doby teorie agentů výrazně pokročila, v současné době se mluví spíše o multiagentových systémech, řeší se problémy spolupráce, kooperace, koordinace, negociace, ale i soutěžení (resp. soupeření) velkých skupin agentů, podílejících se na plnění zadaného úkolu. Než se pustíme do víceagentových systémů, podívejme se nejprve na pojem agent jako takový.

Agentem může být cokoliv, co vnímá své (okolní) prostředí prostřednictvím senzorů a působí na toto prostředí prostřednictvím efektorů ?? (viz obr. V.9.1). Agenty jsou umístěny v určitém prostředí a v jeho rámci jsou schopné autonomních akcí ?. Autonomie a začlenění do prostředí jsou dvěma klíčovými vlastnostmi agentů ??

Jedna z mnoha exaktních definic agenta zní takto (převzato z ??):

Agent je fyzická nebo virtuální entita, která:

- je schopna vykonávat činnosti v prostředí, v němž se nachází,
- může komunikovat přímo s jinými agenty,
- je řízena množinou trendů (vyjádřených ve formě individuálních cílů nebo ve formě funkce přežití/uspokojování, kterou se snaží optimalizovat),
- má své vlastní zdroje,
- je schopna vnímat své okolní prostředí (i když v omezeném rozsahu),
- má pouze částečnou reprezentaci tohoto prostředí (a někdy i vůbec žádnou),



Obr. V.9.1 Konceptuální schéma vzájemné interakce agenta a okolního prostředí [?].

- má své dovednosti a může nabízet i služby,
- může být schopna samoreprodukce,
- jejíž chování směřuje k uspokojování svých cílů, s ohledem na jí dostupné zdroje a dovednosti a v závislosti na svých vjemech, své reprezentaci a přijatých komunikacích.

Následující charakteristiky by měly být typické pro agenty vykazující inteligenci ??:

- *Autonomie*: aby mohl být agent považován za inteligentní, měl by být schopen fungovat bez jakékoliv přímé intervence zvenčí a měl by mít kontrolu nad svými vlastními akcemi a svými interními stavy.
- *Sociální schopnost*: agent by měl mít schopnost interakce s jinými agenty nebo dokonce s člověkem. Agenty interagující s jinými agenty vyžadují jistý druh komunikačního jazyka agentů.
- *Reaktivita*: agent by měl být schopen vnímat své okolí. Co je nejdůležitější, agenty musí být schopné reagovat adekvátně na změny, které se v prostředí projevují.

- *Proaktivita*: agent by měl mít schopnost nejen reagovat na změny ve svém okolí, nýbrž měl by mít i chování zaměřené na dosažení cíle, které ovlivňuje akce agenta. V jistém slova smyslu má agent zabudovaný účel.

9.1.2 Multiagentový systém

V nejjednodušším případě modelování reálného světa můžeme pracovat i jen s jediným agentem, popisujícím/modelujícím jediný systém. Nicméně běžnější je situace, kdy reálný svět modelujeme prostřednictvím sady agentů, modelujících různé relativně samostatné podsystémy a také relace a interakce mezi nimi. V takovém případě mluvíme o *multiagentových systémech*.

Teorie multiagentových systémů je poměrně mladou vědní oblastí bez ustálených obecných paradigmat ???. Je však zřejmé, že multiagentový systém je tvořen sadou agentů, které představují aktivní prvky modelovaného systému, dále sadou objektů, které nevyvíjejí žádné aktivity, nicméně svojí existencí ovlivňují chování agentů, vše existuje v určitém prostředí, které zprostředkovává interakce mezi agenty i objekty a svými vlastnostmi rovněž ovlivňuje chování agentů, resp. je jimi ovlivňováno, dále agenty a objekty vstupují do celé řady vzájemných vztahů (relací) a nakonec i platí, že prostředí svými charakteristickými vlastnostmi vymezuje i možné interakce mezi agenty navzájem, ale také mezi agenty a objekty. Vzhledem k tomu, že se zabýváme modelováním prostorových systémů, je prostředí, v němž agenty a objekty existují, obecně prostorové, tj. každému agentu nebo objektu je možné přiřadit polohu v prostoru, agenty i objekty mohou vstupovat do vzájemných prostorových vztahů, mohou mít prostorové vlastnosti. Vzhledem k tomu, že multiagentové systémy pracují obvykle v diskretních časových krocích, je vhodné považovat i prostor za diskretní. Z tohoto předpokladu a ze skutečnosti, že modelovaná oblast má zpravidla jasné vymezení pak vyplývá, že počet poloh (míst), které mohou agenty zaujímat, je konečný. Z důvodu jednoznačnosti určování polohy se obvykle vyžaduje, aby v jednom místě mohl být situován (umístěn) nejvýše jeden agent.

Za multiagentový lze proto považovat takový systém, který se skládá z následujících komponent (upraveno podle ??, ??):

- *Prostředí E* , jehož jednou z vlastností může být i prostorovost, tj. může se jednat o prostor, který je obecně n -rozměrný.
- *Množina objektů O* . Tyto objekty jsou situované, tj. v kterémkoliv okamžiku je možné objektu přiřadit polohu v E . Objekty jsou zpravidla pasivní, mohou být vnímány, vytvářeny, odstraňovány a modifikovány agenty.
- *Množina agentů A* . Agenty jsou podmnožinou objektů ($A \subseteq O$) a jsou schopné vykonávat určité akce — představují aktivní entity systému.
- *Množina polí F* . Agenty mohou šířit do svého okolí prostřednictvím prostředí E signály v podobě polí a jiná pole mohou naopak vnímat.

- *Množina míst L* určujících možné polohy objektů (z množiny O) v prostoru, tj. v prostředí E .
- *Množina relací R* , které vzájemně spojují objekty a také agenty.
- *Množina operací Op* , dávajících agentům schopnost vnímat, manipulovat, vytvářet, odstraňovat objekty z O a reprezentujících především akce agentů.
- *Množina operátorů U* , reprezentujících aplikace operací z Op na prostředí a reakcí světa na tento pokus o jeho modifikaci. Operátory U jsou nazývány zákony univerza.

Takto lze definovat obecný multiagentový systém, který může být i prostorový.

9.1.3 Situovaný multiagentový systém

Situovaný multiagentový systém (angl. Multi-Agent Situated System; MASS) umožňuje zavést popis *situovaných* (tj. mimo jiné lokalizovaných) *agentů*, tj. agentů citlivých na svoji polohu, na své prostorové vztahy a vlastnosti, které určují různá omezení interakcí agentů (například možnost vzniku interakce jen do určité vzdálenosti od sebe) i schopnosti provádět určité akce a vstupovat do privilegovaných kooperačních vztahů. Situovanost reflektuje polohu a s ní související lokální prostorové vztahy mezi agenty navzájem i mezi agenty a objekty.

Prostřednictvím této situovanosti je situovaný agent umístěn do lokálního kontextu, který je agent schopen vnímat, který má svoji prostorovou dimenzi a v kterém může vykonávat své činnosti ??.

Výsledkem je, že vedle obecných vlastností agentů, popsanych výše, vykazují agenty v MASS ještě další specifické vlastnosti ??:

- *Agenty jsou lokalizované*: každý agent je spojen s místem v prostoru MASS a *chování agenta je silně ovlivněno jeho polohou v topologické struktuře tohoto prostředí*.
- *Interakce agenta v MASS jsou prostorově závislé*: chování agenta je ovlivněno jinými agenty, a to jednak bezprostředně jejich přítomností (resp. blízkostí) a jednak jimi vysílanými signály, které mohou agenty vnímat i na značné vzdálenosti. Oba typy interakcí jsou silně závislé na struktuře prostoru prostředí (tj. na topologické struktuře míst). Přítomnost agenta je vnímána pouze v jeho bezprostředním okolí (sousedství), zatímco jimi vysílané signály se šíří v závislosti na topologické struktuře prostředí.
- *Chování agenta*: jak stav agenta, tak i jeho poloha a tím i prostorové vztahy mohou být změněny agentem samotným na základě mechanismu *vjemplánování-akce* (angl. perception-deliberation-action). Takže každý agent tvořící MASS po přijetí signálů vyslaných jinými agenty vybere akci, kterou

má provést (v závislosti na svém stavu, poloze, prostorových vlastnostech a vztazích a na typu) a provede ji. Výsledkem této akce může být i změna polohy *jiného objektu*.

- *Heterogenita*: agenti jsou charakterizované typem, který určuje jejich citlivost na vjemy a jejich schopnosti. MASS je tedy heterogenním systémem agentů, v němž koexistují a interagují agenti s různými vlastnostmi a schopnostmi. Prostředí agentů může být navíc popsáno vícevrstevnou topologickou strukturou, která je tvořena vícenásobnými, heterogenními a vzájemně propojenými topologickými prostory. Výsledkem může být až *vícevrstvý situovaný multiagentový systém*.

Agent $a \in A$ v MASS můžeme popsat trojicí ??:

$$(s, l, \tau)$$

kde

- τ je typ agenta,
- $s \in \Sigma_\tau$ znamená stav agenta a může nabývat jedné z hodnot specifikovaných pro daný typ agenta,
- $l \in L$ je místem v prostoru, kde se agent nachází.

9.1.4 Prostředí v MASS

Výše jsme si uvedli, že prostředí MASS budeme považovat za prostorové. Některé základní vlastnosti prostoru a to, jak objekty existují a interagují v prostoru, je součástí *zákonů universa* tohoto prostředí. Z nich lze uvést například (upraveno podle ??):

1. *Každý agent je lokalizovaný* (tj. má svoji polohu) na stanoveném místě.
2. *Agent se může v jednom okamžiku nacházet právě na jednom místě*.
3. *Agenty se mohou pohybovat z místa na místo* (tj. jejich pohyb reprezentujeme diskrétním způsobem); tyto pohyby musí sledovat určenou trasu a mohou být i jinak omezeny.
4. *Na jednom místě může být nejvýše jeden agent*. V prostoru není možné umístit dva objekty (například dvě auta) na jedno místo (například na jedno parkovací stání).
5. *Území jakožto použitelný zdroj je součástí modelu; využití území (resp. prostoru, tj. místa) budeme uvažovat jednoduchého typu a exkluzivní*, tj. každé místo prostoru smí být využito jen jediným způsobem (tj. dané místo může být pouze silnicí, nebo jen parkovištěm, trávníkem apod.).

Tato pravidla vyjadřují podstatu prostoru a prostorových rozhodování: rozhodnutí o pohybu vyžadují splnění pravidel č. 1, 2 a 3; rozhodnutí o umístění a rozmístění jsou založena navíc na pravidlech č. 4 a 5.

Určité problémy může v některých situacích vyvolávat pravidlo č. 4. Je zřejmé, že pokud naše „místo“ bude reprezentovat například parkoviště o kapacitě 100 stání a nás přitom nezajímá, kde přesně které auto stojí, pak striktní dodržení tohoto pravidla znamená, že parkoviště bude vždy zet prázdnotou. V takovém případě je možné zavést následující modifikaci tohoto pravidla:

4. a, *Každé místo má definovanou konečnou kapacitu, která je větší než nula.*
4. b, *Na jednom místě může být nejvýše tolik agentů, kolik odpovídá kapacitě tohoto místa.*

V některých situacích může být tato úprava potřebná. Zvláště v případě vícevrstvého topologického prostoru se tomuto opatření nevyhneme. Na určité úrovni rozlišení je parkoviště jedním místem, o úroveň níže se však rozpadá na jednotlivá stání, reprezentovaná jednotlivými místy. V běžných situacích ale budeme předpokládat platnost původní verze tohoto pravidla.

Jinými slovy, prostředí E je tvořeno množinou L míst uspořádaných v síti. Každé místo $l \in L$ může obsahovat nejvýše jeden agent a je definováno trojicí ??:

$$(a_l, F_l, L_l)$$

kde

- $a_l \in A \cup \perp$ je agent nacházející se v místě l ($a_l = \perp$ když se v l nenachází žádný agent, tj. místo l je prázdné),
- $F_l \subset F$ je množina polí aktivních v místě l ($F_l = \emptyset$ když v l není aktivní žádné pole),
- $L_l \subset L$ je množina míst přiléhajících k místu l .

Při tomto pohledu může být prostředí E chápáno i jako orientovaný graf míst l .

9.1.5 Komunikace mezi agenty v MASS

Agenty spolu mohou komunikovat v zásadě dvěma způsoby:

- přímo prostřednictvím zasílání zpráv,
- nepřímým prostřednictvím šíření polí.

Při *přímé komunikaci prostřednictvím zpráv* může mezi agenty existovat přímé spojení (a v tom případě pro svoji komunikaci nepotřebují prostředí) nebo si tyto zprávy zasílají prostřednictvím prostředí, které pak musí garantovat převzetí zprávy od odesílatele, její doručení adresátovi a případně předání zpět odpovědi.

V případě *komunikace prostřednictvím polí* je tato komunikace neadresná, příjemci informace se vybírají zpravidla na základě vzdálenosti (tedy prostorových kritérií) a na základě jejich citlivosti na dané pole (jinými slovy na základě kritéria, které říká, zda mají o tuto informaci zájem).

Pole působící v MASS mohou být generována agenty MASS, mohou být importována z jiného MASS nebo z vnějšku, tj. v případě otevřeného systému mohou mít zdroj mimo lokální prostor. Každé pole MASS je charakterizováno množinou hodnot, kterých může nabýt v průběhu šíření prostorem. Šíření nastává dle difusní funkce, která popisuje pole a která specifikuje, jak se jeho hodnoty šíří prostorem v závislosti na jeho struktuře. Dále jsou definovány funkce porovnávání pole a skládání pole, které umožňují manipulaci s tímto polem.

Podle povahy interakce s prostředím a svými sousedy se agenty dělí na ??:

- výhradně komunikující agenty (angl. purely communicating agent),
- výhradně situované agenty (angl. purely situated agent).

Výhradně komunikující agent obvykle nemá žádné vjemy sousedních agentů, nýbrž je s nimi přímo propojen a jen s nimi přímo komunikuje podle daného protokolu. Z prostorového hlediska ho budeme považovat za nepohyblivého agenta, který nevykonává žádný pohyb, neustále zůstává na stejném místě (a díky tomu může mít vytvořeny pevné vazby s přilehlými agenty).

Výhradně situovaný agent obvykle nekomunikuje přímo prostřednictvím zpráv, nýbrž prostřednictvím polí, která šíří do svého okolí. Tyto agenty reagují na sebe navzájem prostřednictvím senzorů a změn, které vyvolávají v prostředí. Z prostorového hlediska je jejich typickou vlastností pohyb z místa na místo, jedná se tedy o pohyblivé agenty.

9.1.6 Výhradně komunikující MAS

Za určitých okolností mohou MAS vykazovat zvláštní vlastnosti. Například může dojít k situaci, kdy [FER99]:

$$A = O$$

tj. systém je tvořen výhradně agenty a navíc tyto agenty mohou být navzájem propojené, takže interagují přímo, bez účasti prostředí. V tom případě platí, že

$$E = \emptyset$$

Jinými slovy, tím, že jsou agenty spojeny do stabilní struktury a komunikují přímo, existence prostředí v takovémto MAS pozbývá významu.

V tomto případě relace R mezi agenty definují síť: každý agent je přímo propojen s jinými (okolními) agenty. Tyto systémy mohou být nazvány *výhradně komunikující MAS* (angl. Purely Communicating MAS).

Tím, že zde neexistuje prostředí, neuplatňují se samozřejmě ani žádné zákony univerza, tj.

$$U = \emptyset$$

a rovněž množina míst je prázdná, tj.

$$L = \emptyset$$

Na druhou stranu výhradně komunikující MAS může ve vícevrstevném MASS vytvářet potřebné *prostředí* pro výše ležící vrstvu situovaných agentů.

9.1.7 Propojení MASS a GIS

Tvorba komplexních modelů, které spojují části implementované v prostředí MASS s částmi implementovanými v prostředí GIS, vyvolává celou řadu koncepčních i technických problémů. Pro lepší porozumění této problematice je vhodné si zavést určité systematické členění možných přístupů k jejímu řešení. Jedno z možných členění je navrženo i v [BRO04]:

1. vztahy na základě identity,
2. vztahy kauzální,
3. vztahy časové,
4. vztahy topologické.

Ad 1, Vztahy na základě identity. Definování vztahu identity mezi agentem v MASS a geoprvkem nebo geoprvky v GIS umožňuje, aby GIS mohl ukládat geometrické a tematické vlastnosti geoprvků a aby MASS mohl reprezentovat chování agenta a asociovaného geoprvku (geoprvků). Díky tomu se mohou:

1. geoprvky asociované s agenty pohybovat a měnit a
2. atributy uložené v GIS a asociované s agenty měnit.

Geoprvky asociované s agenty mohou být ukládané v GIS jako polygony, linie i body. Agent může být asociován s jediným geoprvkem (kardinalita 1:1) nebo

s více geoprvky (kardinalita 1:N). V daném modelu mohou existovat i geoprvky, které nejsou asociovány s žádným agentem a naopak. Možným příkladem vztahů na základě identity jsou automobily reprezentované agenty v MASS s definovanými pravidly pohybu, které mohou být mapovány v GIS jako body s atributy. Body se mohou pohybovat, jakmile se pohybují i vozidla a jejich atributy se mohou měnit ve shodě se změnami u vozidel (např. při změně množství paliva v nádrži). Tak jak se model vyvíjí, mohou agenty aktualizovat svoje vlastní polohy, tvary nebo atributy vyžádáním si změn v databázi GIS nebo na displeji. V MASS (tj. bez jakékoliv interakce s geoprvky v GIS) může chování agenta interagovat (tj. ovlivnit nebo být ovlivněno) s jinými agenty, bez ohledu na to, zda mají asociované geoprvky. Pro některé typy prostorových interakcí může být výhodné využít GIS pro výpočet prostorových vztahů. Pro prezentování vztahů na základě identity je nezbytné softwarové mapování pro identifikaci ID geoprvků/ů v databázi GIS asociovaných s každým agentem a naopak. MASS musí být schopen poslat zprávu GIS, která požaduje provedení změny v poloze nebo attributech geoprvků, které jsou zobrazeny na displeji nebo uloženy v databázi.

Ad 2, Vztahy kauzální (příčinné). V mnoha modelech mají agenty schopnost provádět akce, které ovlivňují geoprvky nebo jejich atributy, a to i za situace, kdy neexistuje žádný vztah na bázi identity mezi agentem a geoprvkem (geoprvky), který je jím ovlivňován (tzv. neagentové geoprvky). Agenty mohou provádět akce, jejichž výsledkem jsou změny polohy nebo atributů geoprvků, nebo mohou provádět akce, které mění hodnoty atributů v nějakém poli (např. v rastru). Aby bylo možné implementovat tento typ vztahu, v němž stav GIS ovlivňuje chování agentů a naopak chování agentů ovlivňuje stav GIS, musí mít agenty k dispozici informace z GIS. To může vyžadovat, aby byly agenty v MASS schopné dotazovat GIS na geoprvky (z nichž některé mohou být asociovány s jinými agenty) s danými polohovými nebo atributovými charakteristikami.

Ad 3, Vztahy časové. Protože MASS umožňují mnohem bohatější reprezentaci času a mají lepší mechanismy pro implementaci dynamických procesů a vztahů v různých časových měřítcích a škálách, měla by být jakákoliv koordinace časování událostí mezi MASS a GIS řízena společným časovým rámcem udržovaným MASS. Toto může být implementováno buďto přímým zasíláním požadavků, aby GIS prováděl aktualizace v daných časových krocích (specifikovaných MASS) nebo komunikováním časových referencí (kroků) směrem ke GIS dle aktuálních potřeb. Nejjednoduššími případy jsou ty, kdy je dynamika systému plně reprezentována v MASS a GIS je primárně využíván jako databáze a grafický vizualizační nástroj. Tento případ je zvláště užitečný v situaci, kdy jsou všechny dynamické jevy synchronní. Pak mohou být obě komponenty (tj. MASS i GIS) aktualizovány najednou a změny mohou být šířeny k jiným agentům (a na displej) ve stejnou chvíli. Jsou-li aktualizace asynchronní, mohou vzniknout problémy spojené s rychlostí šíření změn v systému.

Ad 4, Vztahy topologické. Pohyb geoprvků, způsobený ať už interními procesy s nimi asociovaných agentů nebo procesy jiných agentů, může vyžadovat základní informace o fyzickém světě nebo o prostorových vztazích mezi geoprvkem. Rozhodnutí o tom, zda je konkrétní pohyb žádoucí nebo fyzicky možný, může vyžadovat informace o:

1. topologických pravidlech specifikovaných pro sadu geoprvků ve vztahu buď k jiným geoprvkům nebo mezi nimi samými, nebo
2. prostorových asociacích mezi geoprvkem tak, jak jsou určeny výpočty vzdáleností, nákladů na interakce nebo viditelnosti.

Protože GIS má k dispozici mnohem sofistikovanější reprezentace prostoru, topologie a prostorových vztahů, měla by být identifikace těchto interakcí provedena v GIS. Například pohyb vozidla na určité místo nemusí být možný, protože se tam již nachází například budova nebo jiné vozidlo, případně tam nevede žádná cesta apod.

Je zřejmé, že ne všechny modely využívají všechny výše zmíněné vztahy.

9.1.8 Oblasti aplikací prostorových multiagentových systémů

Multiagentové systémy jsou vhodné pro modelování a simulaci systémů složených z jednotlivých jasně definovaných komponent. Jinými slovy, hodí se pro prostorové modelování a simulaci vycházející z objektového náhledu na reálný svět.

Multiagentové systémy se používají například v rámci projektu *Logika a inteligence pro multiagentové systémy* [220]. Projekt sám je zaměřen hlavně na otázky logiky a inteligence, nicméně jako testovací oblast byla zvolena silniční doprava. V rámci projektu proto vzniká multiagentový systém, schopný simulovat reálné situace ze silniční dopravy a řešit je s využitím nejmodernějších poznatků logiky a umělé inteligence [214].

Modelováním silniční dopravy s využitím multiagentových systémů se zabývají i jiní autoři (viz např. pracovní seminář *Agents in Traffic and Transportation* [300]). V [15] jsou zmíněny aplikace v oblasti předpovídání povodní, plánování využití území, rozmisťování prostředků, adaptivním plánování buněk sítí mobilních operátorů, simulaci dopravy.

9.2 Buněčné automaty

Buněčné automaty (angl. cellular automata) představují zajímavý prostředek určený pro simulaci prostorových procesů. Na rozdíl od multiagentových systémů je

prostorovost základní vlastností buněčných automatů. Z tohoto pohledu mají tedy ke geoinformatice relativně blíže. Nicméně jejich pojetí prostoru je velmi jednoduché. Z pohledu jejich začlenění mezi geoinformační technologie bude nezbytné zobecnit jejich pojetí prostoru a přizpůsobit je i k modelování a simulaci procesů, ovlivňujících nejen jevy, ale i objekty reálného světa.

Buněčný automat je složen z *buněk* (angl. cell) uspořádaných obecně do n -rozměrné *mřížky* (angl. lattice). Každá buňka má stanovená *pravidla* chování (angl. rule). Tato pravidla umožňují odvodit *stav* (angl. state) buňky po dalším *časovém kroku* na základě jejího předešlého stavu a stavů *okolních buněk* (angl. neighbourhood). Buněčné automaty jsou *diskrétní dynamické systémy*. *Diskrétní* znamená, že jak v prostorové, tak i v časové i atributové doméně (= vlatnosti buňky) mohou nabývat jen *konečné množiny stavů*. Základní myšlenkou buněčných automatů je (stejně jako u multiagentových systémů) simulace systémů „zdola“, tj. nepopisujeme systém jako celek, nýbrž popisujeme chování a interakce jednotlivých buněk a chování celku vyplne ze vzájemných interakcí těchto buněk.

Krásný příklad „buněčného automatu“ byl uveden v [233]. Je jím hlediště na stadióně plném fanoušků, generujících známou mexickou vlnu. Každý fanoušek představuje jednu „buňku“ buněčného „automatu na mexické vlny“. Každá buňka-fanoušek se může nacházet ve dvou stavech:

(stojí, sedí)

Okolí fanouška je definováno velice jednoduše: tvoří ho soused vlevo. Pravidla chování fanouška jsou rovněž velice jednoduchá:

- 1. Pokud fanoušek vlevo stojí a ty sedíš, postav se.*
- 2. Pokud fanoušek vlevo sedí a ty stojíš, posad se.*
- 3. V jiných případech nedělej nic.*

Na základě tohoto jednoduchého popisu lokálního chování buňky-fanouška vyvstane zajímavé globální dynamické chování celého hlediště, generujícího mexické vlny obíhající z levého konce stadiónu na pravý.

Buněčné automaty byly poprvé navrženy Johnem von Neumannem a Stanislawem Ulamem na koci 40. let minulého století. Do širšího povědomí však vstoupily až na konci 60. let, kdy John J. Conway vyvinul známou počítačovou simulaci – Hru života (angl. Game of Life). Novou vlnu zájmu o buněčné automaty vyvolal až koncem 80. let nástup dostatečně výkonných počítačů, umožňujících simulaci reálných systémů. Od té doby vznikla celá řada široce akceptovaných aplikací pro simulaci dynamických systémů [233].

9.2.1 Struktura buněčného automatu

Buněčný automat je popsán následujícími pojmy:

1. buňka,
2. mřížka,
3. okolí,
4. pravidlo.

Ad 1, Základním stavebním kamenem buněčného automatu je *buňka*. Buňka má svoji polohu, vlastnosti a stav. Aktuální stav buňky je definován hodnotami jejich vlastností.

Ad 2, Buněčný automat je tvořen rozsáhlou sadou buněk, které jsou uspořádány do prostorové *mřížky*. Nejjednodušším případem je jednorozměrná mřížka, v níž jsou buňky seřazeny v jedné linii (připomínají korále navlečené na šňůrce). Velkou výhodou takového automatu je vizualizace: můžeme ji provést v podobě rastru, kde jednotlivé řádky reprezentují stavy buněk po jednotlivých časových krocích. Výsledný obrázek dobře ukazuje, jak se stavy buněk vyvíjely v čase. Na druhou stranu tato varianta nabízí jen omezené možnosti z hlediska simulování reálných procesů.

Častěji se ale používají buněčné automaty, kde jsou buňky uspořádány do pravidelné dvoj- nebo trojrozměrné mřížky. Vizualizace průběhu simulace je poněkud obtížnější, ale dnešní prostředky dynamické geovizualizace již nabízejí dostatečně pružné nástroje, umožňující řešit i tento problém.

Ad 3, Každá buňka sousedí v mřížce s řadou dalších buněk. Tyto buňky vytvářejí *okolí* dané buňky. Toto okolí může být definováno různými způsoby [233]:

- jako sada buněk mající s centrální buňkou společnou hranu, tzv. *von Neumannovo okolí*,
- jako sada buněk, majících s centrální buňkou společný alespoň vrchol, tzv. *Moorovo okolí*,
- jako sada buněk nacházejících se do určité vzdálenosti od centrální buňky, tzv. *rozšířené Moorovo okolí*.

Problém s definováním okolí nastává na hranicích mřížky. Zde by teoreticky ani v jednom případě neexistovalo úplné okolí. Situaci je možné řešit dvěma způsoby [233]:

- buďto se do okolí započtou buňky z protilehlé hrany,
- nebo se buňky na hranici „zrcadlí“, tj. započtou se buňky ze zrcadlového obrazu mřížky podél hranice mřížky.

Častěji se používá první z obou řešení.

Ad 4, Chování buněk se řídí *pravidly*. Tato pravidla přitom popisují pouze *lokální* interakci mezi buňkou a jejím okolím. Pravidla jsou závislá na aktuálním stavu dané buňky a všech buněk v jejím okolí. Pokud bychom chtěli napsat pravidla pro všechny možné případy, můžeme se snadno dostat do téměř neřešitelné situace: např. v případě dvoujzerného buněčného automatu, v němž mohou buňky nabývat stavu 1 a 0 a který pracuje s Moorovým okolím, čítá úplná množina pravidel 536 870 912 variant [233].

9.2.2 Oblasti aplikací buněčných automatů

Jedním z relativně často používaných produktů pro modelování různých prostorových procesů pomocí buněčných automatů je SWARM (z angl. swarm = hejno, roj, hemžit se, rojit se) [256]. Je to otevřený, volně dostupný modelovací nástroj, umožňující modelovat děje v dvoujzerném i tříjzerném prostoru, rozděleném pravidelnou mříží na síť čtvercových nebo krychlových buněk. Nejedná se o hotové simulační prostředí, ale spíše o sadu knihoven, s jejich pomocí lze naprogramovat požadovanou simulační úlohu.

Buněčné automaty se používají například k simulaci šíření tepla v prostředí, k simulaci šíření znečištění v ovzduší, urbanistickému modelování [25], modelování ekosystémů [27], modelování v oblasti využití území [164], simulaci umělého života [235], šíření požárů v lesích i urbanizovaných oblastech [301] apod.

Potenciál buněčných automatů v oblasti prostorového modelování a simulace je velký, a proto je možné očekávat, že buněčné automaty budou poměrně brzy integrovány do geoinformačních systémů a stanou se jednou z nosných geoinformačních technologií.

Kapitola 10

Další geoinformační technologie

Vedle výše zmíněných geoinformačních technologií, které představují nejčastěji používané zástupce, případně technologie nově se objevující, existuje ještě celá řada dalších. Lze z nich vyjmenovat například digitální fotogrammetrii, videometrii, prostorové značkovací jazyky, prostorové a časové ontologie, databázové systémy s prostorovou dimenzí, prostorové dotazovací jazyky a mnoho dalších. Jejich byť i jen stručné představení překračuje rámec tohoto textu.

Literatura

- [1] Ackroyd, N., Lorimer, R.: Global Navigation. A GPS User's Guide. Second Edition. Lloyd's of London Press Ltd. London, 1994. 196 stran.
- [2] —: Agent Definition. http://www.engin.umd.umich.edu/~pslomka/agent_definition.htm. (23.7.2004).
- [3] Albrecht, J., Kemppainen, H.: A framework for defining the new ISO standard for spatial operators. Kopie referátu předneseného na konferenci GISRUK'96.
- [4] —: Aplikovaná matematika II. Státní nakladatelství technické literatury. Praha, 1978.
- [5] —: Introducing ArcExplorer Web. NASA Mars Imagery Map. ESRI. Redlands, 2002. <http://www.geographynetwork.com/maps/arcexplorerweb.html>. (9.11.2002).
- [6] 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.
- [7] Aronoff, S.: Geographic Information Systems: A Management Perspective. WDL Publications. Ottawa, 1989.
- [8] 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.
- [9] Avery, T. E., Berlin, G. L.: Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation. Fifth edition. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1992. 472 str.
- [10] Bandini, S., Manzoni, S., Simone, C.: Dealing with Space in Multi-Agent Systems: a model for Situated MAS. AAMAS'02, Bologna, 2002. Str. 1183-1190.

- [11] Barr, R.: Data, information and knowledge. GIS Europe, č. 3, roč. 5, 1996. Str. 14-15.
- [12] Berry, J. K.: Fundamental Operations in computer-assisted map analysis. Int. Journal of GIS, č. 2, roč. 1., 1987. S. 119-136.
- [13] Bernhardsen, T.: Geographic Information Systems. 318 s. Viak IT and Norwegian Mapping Authority. Arandal 1992.
- [14] Berild, S.: Conceptual Modelling – some fundamentals. The National Agency for School Improvements, Swden, 2004. 14 str.
- [15] Bernon, C. et al.: Applications of Self-Organising Multi-Agent Systems: An Initial Framework for Comparison. Informatica, The International Journal on Computing and Informatics. Vol. 30, No. 1, 2006. Str. 73-82. <http://ai.ijs.si/informatica/>. (31.8.2006).
- [16] Bičík, I. a kol.: Příroda a lidé Země. Učebnice zeměpisu pro střední školy. Nakladatelství České geografické společnosti, s.r.o. Praha, 2001. 135 str.
- [17] —: A picture tour of the Time section. Bureau International des Poids et Mesures. Paříž, 2002. http://www.bipm.fr/cgi-bin/pt_SECT?MAPF=/5/navig530.html&SECTION=TAI. (15.11.2002).
- [18] Breakiron, L. A.: Cesium Atomic Clocks. U.S. Naval Observatory. Time service Department, 2002. <http://tycho.usno.navy.mil/cesium.html> (15.11.2002).
- [19] Brewster, C., O'Hara, K.: Knowledge Representation with Ontologies: The Present and Future. IEEE Intelligent Systems. January/February 2004. Str. 72-81.
- [20] —: Enciklopaedia Britannica. Enciklopaedia Britannica, Inc., 2004. <http://www.britannica.com>. (23.4.2004).
- [21] Brůna, V.: Role geoinformatiky při archeologickém výzkumu v Egyptě. Ročenka GeoInfo 2005. Ročník XI. Str. 39-41.
- [22] Buchar, P.: Matematická kartografie 10. 2. přeprac. vydání. C[2c7]VUT Praha, 2002. 203 str.
- [23] 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.
- [24] —: Cape Town, South Africa, Perspective View, Landsat Image over SRTM Elevation. Planetary Photojournal, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology. <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA04961>. (16.2.2005).

- [25] —: Cellular automata. An overview of cellular automata. http://www.geosimulation.org/geosim/cellular_automata.htm. (31.8.2006).
- [26] —: CEN/TC 287 N 441, Geographic information - Fundamentals – Overview; WG 1, ze dne 1995-12-05.
- [27] Chen, Q.: Cellular automata and artificial intelligence in ecohydraulics modelling. Doctoral disertation. WL / Delft Hydraulics, 2004. <http://www.onderzoekinformatie.nl/en/oi/nod/onderzoek/OND1307349/>. (31.8.2006)
- [28] —: Concep, Theory and Model. Dissertation Guide. Thames Valley University, 2004. <http://brent.tvu.ac.uk/dissguide/hm1u0/hm1u0text3.htm>. (26.6.2004).
- [29] —: Control Segment. 1998. <http://www.laafb.af.mil/SMC/CZ/homepage/control/index.html>.
- [30] —: Coordinated Universal Time UTC. <http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/earthhor/utc/UTC.html> (18.11.2002)
- [31] Corcoran, L.: GIS life-cycle concept: key to planning data conversion. GIS Europe, October, 1992. Str. 27-30.
- [32] Crawford, I. M.: Marketing Research and Information Systems. (Marketing and Agribusiness Texts – 4). FAO UN, Roma, 1997. <http://www.fao.org/docrep/W3241E/w3241e00.htm>. (6.5.2005).
- [33] —: Názvosloví kartografie. ČSN 73 0406. ČNI, Praha, 1984.
- [34] —: Názvosloví v geodézii a kartografii. ČSN 73 0401. ČNI, Praha, 1990.
- [35] Čačko, J., Bílý, M., Bukoveczky, J.: Meranie, vyhodnocovanie a simulácia prevádzkových náhodných procesov. VEDA, Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, Bratislava, 1984. 210 str.
- [36] Čapek, R., Mikšovský, M., Mucha, L.: Geografická kartografie. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 1992. 373 str.
- [37] DaCosta, R.: Object database technology in GIS. Mapping Awareness & GIS in Europe, č. 3, roč. 7, 1993. Str. 44-45.
- [38] Dana, P. H.: Geodetic Datum Overview. The Geographers Craft Project, Department of Geography, The University of Colorado at Boulder, 1999. <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/datum/datum.html>

- [39] PIA06663: Davenport Ranges, Northern Territory, Australia, SRTM Shaded Relief and Colored Height. Planetary Photojournal, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology. <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA06663>. (16.2.2005).
- [40] —: Definition: Time scale. 1996. http://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-037/_5475.htm (26.8.2002).
- [41] Demel, J.: Grafy a jejich aplikace. Academia, nakladatelství AV ČR. Praha, 2002. 257 str.
- [42] Deren, L., Jianya, G.: An unified data structure based on linear quadtrees. EARSeL Advances in Remote Sensing, č. 3, roč. 1, 1992. Str. 1-13.
- [43] Dolanský, T.: Lidary a letecké laserové skenování. Acta Universitatis Purkynianae, 99. UJEP Ústí nad Labem, 2004. 100 str.
- [44] Douglas, D. N.: Developing Spatial Data Infrastructure: The SDI Cookbook. Version 1.1, 15 May 2001. GSDI, 2001. 154 str.
- [45] —: LIDAR DATA Elevation Models DSM Digital Surface Model special models. TopoSys GmbH, 2005. <http://www.toposys.com/toposys-en/lidar-data/elevation-models-dsm.php>. (1.4.2005).
- [46] —: LIDAR DATA Elevation Models DTM Digital Terrain Model terrain surface. TopoSys GmbH, 2005. <http://www.toposys.com/toposys-en/lidar-data/elevation-models-dtm.php>. (1.4.2005).
- [47] Duben, J.: Objektové modely podniku. Grada Publishing. Praha, 1996. 200 s.
- [48] Duckham, M., Goodchild, M. F., Worboys, M. F.: Foundations of Geographic Information Science. Taylor & Francis. Londýn, 2003. 257 str.
- [49] Duží, M., Snášel, V.: Teorie pojmu a inteligentní ontologie. In: Sborník referátů z konference Znalosti 2003. Ed. Tomáš Skopal, Ostrava, 2003. Str. 222-231
- [50] —: Earth Observatlon Sateiliets: Current. 18.2.2005. <http://www.ersc.wisc.edu/resources/EOSC.html>. (9.3.2005).
- [51] Egenhofer, M., Herring, J.: High-level spatial data structures. In: Maguire, D., Goodchild, M., Rhind, D. (eds.): Geographical Information Systems. Principles and Applications. Vol. 1. Longman, London, 1992. Str. 227-237.
- [52] —: European Territorial Management Information Infrastructure (ETeMII). <http://www.ec-gis.org/etemii/>. (24.8.2006).

- [53] —: European Territorial Management Information Infrastructure (ETeMII). White Paper. 2001. <http://egeols222.egeo.sai.jrc.it/etemii/whitepaper.html> (28.10.2002).
- [54] —: The OpenGISTM Abstract Specification. Topis 5: Features. Version 4. Open GIS Consortium, Inc., 1999. 45 str.
- [55] Ferber, J.: Multi-Agent Systems. An Introduction to Distributed Artificial Intelligence. Addison Wesley Longman Ltd., New York, 1999. 509 str.
- [56] —: Fighting forest fires from space. ESA Portal, 21 February 2001. http://www.esa.int/export/esaCP/ESATJW5JC_Protecting_2.html
- [57] Fonseca, F., Davis, C., Camara, G.: Bridging Ontologies and Conceptual Schemas in Geographic Information Integration. In: Geoinformatica, vol. 7, No 4. Kluwer Academic Publishers, 2003. Str. 355-378.
- [58] Fotheringham, A. S., Wegener, M. (eds.): Spatial Models and GIS. New Potential and New Models. GISDATA Series, no. 7. Taylor and Francis. Londýn, 2000. 279 str.
- [59] 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.
- [60] Frank, A. U.: Different types of „times“ in GIS. In Egenhofer, M. J. a Golledge, R. (eds): Spatial and temporal reasoning in geographic information systems. Oxford University Press. Oxford, 1998. str. 40 – 62.
- [61] Frank, A. U., Bittner, S., Raubal., M.: Spatial and Cognitive Simulation with Multi-agent Systems. COSIT, Vienna, 2001.
- [62] —: Fundamentals of Remote Sensing. A Canada Centre for Remote Sensing Remote Sensing Tutorial. A Canada Centre for Remote Sensing. Natural Resource Canada. 258 str. ftp://ftp2.ccrs.nrcan.gc.ca/ftp/ad/MAS/fundamentals_e.pdf. (14.1.2005).
- [63] Gahegan, M., Roberts, S. A.: An intelligent, object-oriented geographical information system. Int. Journal of GIS, č. 2, roč. 2., 1988. Str. 101-110.
- [64] Gahegan, M.: Fundamental spatial concepts. Spatial data structures and algorithms. Geography 480 Spatial Data Structures And Algorithms Syllabus přednášek.
- [65] —: GALILEO: Yes, at last!. Tisková zpráva. EU, Brusel, 26.4.2002. http://www.europa.eu.int/rapid/start/cgi/guesten.ksh?p_action.gettxt=gt&doc=IP/02/478|0|AGED&lg=EN

- [66] Gambis, D.: Information on UTC – TAI. Bulletin C. International Earth Rotation and Reference Systems Service. Paříž, 2005. <http://hpiers.obspm.fr/eoppc/bul/bulc/> (1.5.2005).
- [67] —: Geomatics – A Working Definition. The Geoide Network. University of Laval, 2001. <http://www.geoide.ulaval.ca/Public/an/accueil/quoi.html>
- [68] —: Videometrie – polohově umístěné video. Reklamní materiál firmy Geodis Brno, s.r.o. Brno, 2002. <http://www.geodis.cz> (9.11.2002)
- [69] —: GeoMedia Web Map. Expand your GIS horizons. Ukázkový příklad. Intergraph. Huntsville, 2002. <http://maps1.intergraph.com/Manitoba/Map.asp> (9.11.2002)
- [70] —: Geologie. Geologie na webu, 2004. <http://www.gweb.cz> (14.3.2004)
- [71] —: Geoinformatics. University of West Hungary, Sopron, 1995. <http://geo.cslm.hu/geoinfo/geoinfor.html>
- [72] —: Geomatics. University of Florida. 1998. <http://www.surv.ufl.edu:443>
- [73] —: Geomatics. Team Canada – Geomatics. Natural Resources Canada, Ottawa, 1998. <http://www.geocan.nrcan.gc.ca/geomatics/html/gen-g01.html>
- [74] —: GE Smallworld Network Inventory. End-to-end solutions for the communication industry. LOGIS Development, Bukurešť. <http://www.logis.ro/products/cni.pdf>. (12.8.2006).
- [75] —: GI2000: Towards a European Policy Framework for Geographic Information. A Discussion Document, 15 May 1996. <http://www2.echo.lu/gi/gi2000/en/gi2000dd.html>.
- [76] Gilbert, C.: Averaging GPS Data Without Applying Differential Correction. Earth Observation Magasin, February, 1995. Str. 44 – 46.
- [77] —: Geographic Information Network In Europe. <http://www.ec-gis.org/ginie> (10.10.2002)
- [78] —: GIS. Račte vstoupit. <http://gama.fsv.cvut.cz/~safarik/dpz/labor/vyuka/prednaskyGIS/1uvod.ppt>. (1.5.2005).
- [79] —: The global weather satellite system. <http://www.eumetcal.org/euromet/english/satmet/s3310/s3310001.htm>. (19.2.2005).
- [80] —: Global Monitoring for Environment and Security. <http://gmes.jrc.it> (10.10.2002)

- [81] Goodchild, M. F.: Unit 002 – What is Geographic Information Science? NCGIA Core Curriculum in Geographic Information Science. University of California Santa Barbara, 1997. <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/u002/u002.htm>
- [82] —: PIA04954: Gotel Mountines, Nigeria and Cameroon, SRTM Shaded Relief plus Height as Brightness. Planetary Photojournal, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology. <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA04954>. (16.2.2005).
- [83] Gould, M., Herring, J. R.: Redefining GIS. In: Konečný, M. (ed.): GI in Europe: Integrative, Interoperable, Interactive. 4th AGILE conference on geographic information science. Brno, 2001. str. 615 – 620.
- [84] Gregory, I.: A place in history: a guide to using GIS in historical research. Chapter 5: Time in historical GIS. 5.1 Introduction. History Data Service. Essex, 2002. <http://hds.essex.ac.uk/g2gp/gis/sect51.asp> (16.11.2002)
- [85] Gregory, I.: A place in history: a guide to using GIS in historical research. Chapter 5: Time in historical GIS. 5.3 Time in GIS. History Data Service. Essex, 2002. <http://hds.essex.ac.uk/g2gp/gis/sect53.asp> (16.11.2002)
- [86] Gregory, I.: A place in history: a guide to using GIS in historical research. Chapter 5: Time in historical GIS. 5.4 Methods of handling time in historical GIS. History Data Service. Essex, 2002. <http://hds.essex.ac.uk/g2gp/gis/sect54.asp> (16.11.2002)
- [87] Gross, S. B.: LIDAR (Light Detection and Ranging). LIDAR Mapping Technology at SBG. <http://www.sbgmaps.com/lidar.htm>. (1.4.2005).
- [88] Gruber, T. R.: A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. Knowledge Acquisition 5(2), 1993. In: Svátek, V.: Ontologie a WWW. Brno, 2002.
- [89] —: Global Spatial Data Infrastructure. <http://www.gsdi.org> (10.10.2002)
- [90] Han, S., Rizos, C.: Comparing GPS Ambiguity Resolution Techniques. . GPS World, October, 1997. Str. 54 – 61.
- [91] Harvlant, M., Buzek, L.: Nauka o krajině a péče o životní prostředí. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 1985. 132 str.
- [92] Hejný, M., Kulich, I., Tvarožek, J.: Čo je topológia? ALFA, Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava, 1983. 239 str.

- [93] 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.
- [94] Higgins, R. J.: Digital Signal Processing in VLSI. Analog Devices. Prentice Halls, Englewood Cliffs, 1990. 613 str.
- [95] —: History of time differences between TAI and UTC. U.S. Naval Observatory. Time service Department, 2002. <ftp://maia.usno.navy.mil/ser7/tai-utc.dat> (15.11.2002)
- [96] Hojovec, V., Daniš, M., Hájek, M., Veverka, B.: Kartografie. Geodetický a kartografický podnik, Praha, 1987. 660 str.
- [97] Horák, J., Šimek, M.: Využití geografických informačních systémů v analýzách trhu práce. Materiál pro jednání poradního sboru ředitele Úřadu práce v Ostravě, 8 stran. Ostrava, 2000. http://gis.vsb.cz/gacr_pan/Clanky/UPsbor.html. (16.5.2005).
- [98] Horák, J.: Zpracování dat v GIS. Skripta PGS. VŠB-TU Ostrava, 2002. 24 str.
- [99] Horák, J.: Analytické funkce GIS. Skripta PGS. VŠB-TU Ostrava, 2002. 54 str.
- [100] Horák, J.: Prostorové analýzy s aplikacemi na trhu práce. Habilitační práce. VŠB-TU Ostrava. Ostrava, 2002. http://gis.vsb.cz/Publikace/Doc_Prace/Horak/HP_Horak.pdf. (11.12.2003).
- [101] Horák, J.: Prostorová analýza dat. Učební text pro předmět Prostorová analýza dat. VŠB-TU Ostrava, 2002. <http://gis.vsb.cz/PAD>. (28.12.2004).
- [102] Horáková, B, Horák, J, Růžička, J, Duchoslav, T. MIDAS — katalog geodat veřejné správy do praxe (Metadata, metainformační systémy a standardizace; MIDAS a MIDASLite), Učební materiál v. 1.0, Ostrava, 2003.
- [103] Horning, N.: Remote Sensing and Geographis Information Systems Facility. Remote Sensing Resources. Remote Sensing Guides. Center for Biodiversity and Conservation, American Museum of Natural History, 2004. http://cbc.rs-gis.amnh.org/guides/basic_concepts/pixels_bands_channels.html. (4.3.2004).
- [104] Horáková, B.: Directive INSPIRE (Proposal). Seminár NGII a metainformačné systémy. SAGI, Zvolen, 2005. http://www.sagi.sk/Portals/0/horakova_02_05.pdf. (18.8.2006).

- [105] Hrdina, Z., Pánek, P., Vejražka, F.: Rádiové určování polohy. (Družicový systém GPS). Vysokoškolské skriptum, ČVUT Praha, 1996. 267 stran.
- [106] 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.
- [107] Husfeld, D.: *Astronomical Time Keeping*. Mnichov, 1996. <http://www.maa.mhn.de/Scholar/times.html>. (26.8.2002).
- [108] Huxhold, W. E.: *An Introduction to Urban Geographic Information Systems*. Oxford University Press. New York, Oxford, 1991. 337 str.
- [109] Chou, Y.: *Exploring Spatial Analysis in Geographic Information Systems*. OnWord Press. Santa Fe, 1997. 474 str.
- [110] —: Chronostratigrafická tabulka. GEO WEB. Geologický informační server. 2003. <http://www.gweb.cz/clanky.asp?cmd=show&id=27>. (16.5.2005).
- [111] —: International Earth Rotation and Reference Systems Service. (IERS). 2004. <http://www.iers.org/>. (11.5.2004).
- [112] Ihde, J.: Spatial reference by coordinates for GIS (concepts and status of relevant standards – ISO & CEN). In: *Spatial Reference Systems for Europe. Proceedings and Recommendations*. Joint Research Centre, Spatial Applications Institute. Marne – La Vallée, 1999. str. 57-65.
- [113] —: *Image Processing and Analysis*. 2002. <http://www.ldeo.columbia.edu/res/fac/rsvlab/Notes3.pdf>. (16.5.2005).
- [114] —: *The Infrastructure for Spatial Information in Europe*. <http://www.ec-gis.org/inspire> (10.10.2002).
- [115] —: *INSPIRE Proposal. Proposal of a Directive of European Parliament and of the Council establishing an infrastructure for spatial information in the Community (INSPIRE)*. SEC(2004) 980. Full text of the proposal. 2004 . <http://www.ec-gis.org/inspire> (19.8.2006).
- [116] —: *Focus: Transformation of the PC Platform*. Intel Corporation, 2002. <http://www.intel.com/update/archive/issue2/focus.htm> (21.10.2002).
- [117] —: *LIDAR DATA Intensity Data TopoSys Falcon system laser pulse elevation model*. TopoSys GmbH, 2005. <http://www.toposys.com/toposys-en/lidar-data/intensity-data.php>. (1.4.2005).
- [118] Ireland, P.: Europe at the digital crossroads - part 2. *GIS Europe*, č. 3, roč. 3, 1994. Str. 42-45.

- [119] Iseki, T., Tai, H., Kimura, K.: A portable remote methane sensor using a tunable diode laser. *Measurement Science and Technology. OP Electronic Journals*, 1999. <http://www.iop.org/EJ/abstract/0957-0233/6/302>. (5.3.2004).
- [120] —: International Organization for Standardization. <http://www.iso.org> (10.10.2002)
- [121] —: Geografická informace – Vyjádření prostorových referencí souřadnicemi. ČSN ISO 19 111. Česká technická norma. Český normalizační institut, Praha, 2003.
- [122] .—: Geografická informace – Referenční model. ČSN ISO 19 101. Česká technická norma. Český normalizační institut, Praha, 2003.
- [123] —: Issue 37: Quality Control of Light Detection and Ranging (LIDAR) Elevation Data in North Carolina for Phase II of the NCFMP. North Carolina Cooperating Technical State Mapping Program. 18.4.2004.
- [124] —: IST Workprogramme 2001. CORDIS, Luxembourg, 2001. <http://www.cordis.lu>
- [125] Ivánová, I.: Data quality in spatial datasets. PhD. theses. STU Bratislava, 2006. 115 str.
- [126] Janda, K.: Česká permanentní síť pro určování polohy – CZEPOS. Zeměměřický úřad, Praha, 2005. <http://czeapos.cuzk.cz>. (9.3.2005).
- [127] Jaroslavskij, L., Bajla, I.: Metódy a systémy číslicového spracovania obrazov. Alfa, Bratislava, 1989. 526 s.
- [128] Jianya, C.: A unified data structure and object-oriented data model in GIS. Disertační práce. DTU Lyngby, 1992. 112 str.
- [129] Jonge, P. J. de: Ambiguity resolution. TU Delft, 1998. <http://www.geo.tudelft.nl/mgp/lambda/index.html>.
- [130] Jonge, P. J. de: Papers on precise GPS positioning. TU Delft, 1998. <http://www.geo.tudelft.nl/mgp/lambda/lila.html>.
- [131] Karbo, M. B.: About CPUs. KarbosGuide.com, 1996-2002. <http://www.karbosguide.com/hardware/module3a1.htm> (28.10.2002).
- [132] Karpíšek,: Druhy času. ČVUT, 2003. <http://bimbo.fjfi.cvut.cz/~karpisek/kalendar/astro/casdruhy.htm>
- [133] Karpíšek,: Jak popisujeme průběh času. ČVUT, 2003. <http://bimbo.fjfi.cvut.cz/~karpisek/kalendar/astro/caspopsis.htm>

- [134] Karpíšek,; Časové signály. ČVUT, 2003. <http://bimbo.fjfi.cvut.cz/~karpisek/kalendar/astro/cassignl.htm>
- [135] Karpíšek,; Internetový čas. ČVUT, 2003. <http://bimbo.fjfi.cvut.cz/~karpisek/kalendar/astro/casinet.htm>
- [136] Karpíšek,; Čas z pohledu přírodních a společenských věd. ČVUT, 2003. <http://bimbo.fjfi.cvut.cz/~karpisek/kalendar/astro/caszvedy.htm>
- [137] Kauppi, R.: Einführung in die Theorie der Begriffssysteme. Acta Universitatis Tampereensis, Ser. A, Vol. 15. Tampere, 1967.
- [138] Kavaya, M. J.: LIDAR Tutorial. What is LIDAR? NASA, 1999. http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/sparcle/sparcle_tutorial.html. (1.4.2005).
- [139] Kocan, M.: Metoda není metodologií. Databázový svět – informační portál ze světa databázových technologií. <http://www.dbsvet.cz/view.php?ciloclanku=2004050303>. (12.7.2004).
- [140] Kolejka, J.: O přítomnosti a budoucnosti map. Exkluzivní rozhovor s prezidentem ICA Milanem Konečným. Ročenka GeoInfo 2005. Ročník XI. Str. 37-38.
- [141] Kolář, J.: Geografické informační systémy 10. Vysokoškolské skriptum. Vydavatelství ČVUT Praha, 1997. 150 stran.
- [142] Kopica, M. a kol.: Methane detection system. Institute of Optoelectronics, Military University of Technology, Varšava, 2004. <http://imik.wip.pe.edu.pl/lasers/strona1.htm>. (5.3.2004).
- [143] 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.
- [144] Kostecký, J.: Description of a Procedure of Transformation Between Geodetical Coordinates and Planar (Cartographic) Coordinates in „Krovak“ Projection. VUGTK Zdiaby.
- [145] Kučera, L.: Kombinatorické algoritmy. SNTL. Praha, 1983. 288 s.
- [146] Kuhn, W., Worboys, M., Timpf, S.: Spatial Information Theory. Foundations of Geographic Information Science. Proceedings of International Conference COSIT 2003. Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg 2003. 399 str.
- [147] Kuna, M.: Archeologický potenciál Čech: riziko archeologického výzkumu. Grant GA ČR. ZČU Plzeň, 2000. <http://www.kar.zcu.cz/vyzkum/apc/>. (5.4.2005).

- [148] Kuneš, J. a kol.: Základy modelování. SNTL – Nakladatelství technické literatury. Praha, 1989. 263 str.
- [149] Lachapelle, G., Cannon, E., Lu, G.: P-code Versus C/A-code for Ambiguity Resolution on the Fly. GPS World, February, 1993. Str. 48 – 49.
- [150] Lang, A.: Methodology, Methodics, Methods. University of Bern, 1998. <http://www.psy.unibe.ch/ukp/langpapers/spec/08430meth.htm>. (19.7.2004).
- [151] Laurini, R., Thompson, D.: Fundamentals of Spatial Information Systems. The APIC series. Number 37. Academic Press, London, 1994. 680 stran.
- [152] Leick, A.: Introducing GPS Surveying Techniques. ACSM Bulletin, July/August, 1992.
- [153] —: Literature Review. <http://www soi.city.ac.uk/~dmm/phd/progress/litrevdraft.pdf>
- [154] Longley, P. A. a kol.: Geographic Information Systems and Science. John Wiley and Sons. Chichester, 2001. 454 str.
- [155] Luetjens, J.: Willkommen im “Abakus-OnLine-Museum”. <http://www.joernluetjens.de/sammlungen/abakus/abakus.htm> (7.10.2002).
- [156] Maguire, D.J.; Goodchild, M.F.; Rhindt, D.W.: Geographical Information Systems.; Vol. I: Principles. Vol. II: Applications. Longman Scientific&Technology. London, 1991.
- [157] Marjomaa, E.: Concepts Are Legisigns. A Peircean Approach to Conceptual Modelling Terminology. <http://www.cs.joensuu.fi/~marjomaa/papers/calgary.htm>. (20.5.2004).
- [158] Matsakis, D.: Systems of Time. U.S. Naval Observatory. Time Service Department, 2002. <http://tycho.usno.navy.mil/systime.html> (26.8.2002).
- [159] Matsakis, D.: Hydrogen Masers. U.S. Naval Observatory. Time service Department, 2002. <http://tycho.usno.navy.mil/maser.html> (15.11.2002).
- [160] McDonell Jr., P. W.: Introduction to Map Projections. Marcel Dekker, Inc.. New York, 1979.
- [161] McDonell, R., Kemp, K.: International GIS Dictionary. 111 s. GeoInformation International, Cambridge, 1995.
- [162] McKenna, D. G.: The INWARD spiral method. In: AutoCarto 8. Proceedings of Eighth International Symposium on Computer-Assisted Cartography. 1987. Str. 670 – 679.

- [163] —: GIS/LIDAR/Survey: LIDAR Data Samples. Merrick & Company. <http://www.merrick.com/servicelines/gis/lidarsamples.aspx>. (22.4.2005).
- [164] Messina, J.P. et al.: The application of cellular automata modeling for enhanced landcover classification in the Ecuadorian Amazon. Proceedings of the 4th International Conference on GeoComputation, Fredericksburg, 1999. http://www.geocomputation.org/1999/081/gc_081.htm. (31.8.2006).
- [165] —: Metodologie vědy. <http://nb.vse.cz/kfil/win/atlas1/metodol.htm>. (15.7.2004).
- [166] —: Metodologie. http://eamos.pf.jcu.cz/amos/kat_tv/externi/antropomotorik/metodologie/stranky/metodologie.html. (15.7.2004).
- [167] Michal, P.: Metodologické aspekty geografie. Metodické centrum Banská Bystrica, 1992. 57 str.
- [168] Miller, C.L., Laflamme, R.A.: The digital terrain model. - Engineer. and Remote Sensing, 24, 1958. Str. 433-442.
- [169] Miller, M.: Internate Time. 2003. <http://btom.com/sidebar/time.html>
- [170] Minol, J. L., Green, P., Arnab, S.: Navigation Application with Mobile Telephony: Shortest-path. GISdevelopment.net, 2002. <http://www.gisdevelopment.net/technology/lbs/techlbs008pf.htm> (10.10.2002).
- [171] —: Modeling Watershed Geomorphology. MicroImages, Inc. Lincoln, 2005. <http://www.microimages.com> (30.4.2005). 20 str.
- [172] Monnet, B. J.: Information Market Observatory (IMO). Geographic information systems in Europe: Problems and potential. Lucemburk, 1995. <http://www.ie.bilkent.edu.tr/~akgul/Gis/9502fn1.html>. (13.6.2006).
- [173] Moos, P.: Informační technologie. Vydavatelství ČVUT Praha. Praha, 1993. 200 stran.
- [174] —: Moore's law. Webopedia.com. 22.3.1998. http://www.webopedia.com/TERM/M/Moores_law.html (21.10.2002).
- [175] —: Mount Saint Helens, Washington, USA, SRTM Perspective: Shaded Relief and Colored Height. Planetary Photojournal, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology. <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA06668>. (16.2.2005).
- [176] Navarrete, T., Blat, J.: VideoGIS: Segmenting and indexing video based on geographic information. In: 5th AGILE Conference on Geographic Information Science. Palma, 2002.

- [177] Nečas, J. (ed.) a kol.: Aplikovaná matematika I. Nakladatelství technické literatury. Praha, 1977. 1137 str.
- [178] Nelson, R. A.: The Global Positioning System. A National Resource. 1999. http://www.atcourses.com/global_positioning_system.htm.
- [179] Netopil, R.: Fyzická geografie 1. Učbnice pro vysoké školy. SPn. Praha, 1984. 272 str.
- [180] —: Národní geoinformační infrastruktura České republiky. Program rozvoje v letech 2001 – 2005. NEMOFORUM, Praha, 2001. <http://www.vugtk.cz/~nemoforum/adr03/dokum/ngii.rtf>
- [181] Nicholls, J.: Euclidean space. 4.1.2003. <http://www.naturaltheology.net/Development/AtechPages/euclideanSpace.html>
- [182] Nieto, A., Dagdelen, K.: Development of Dump Edge and Vehicle Proximity Warning System Using GPS and Wireless Network Communications to Improve Safety in Open Pit Mines. 31st APCOM Conference, 2003. Symposium Series S31, Cap Town.
- [183] Nielsen, J.: Nielsen's Law of Internet Bandwidth. 19.4.1998. <http://www.useit.com/alertbox/980405.html> (21.10.2002).
- [184] —: Nařízení vlády č. 116/1995 Sb. ze dne 19. dubna 1995, kterým se stanoví geodetické referenční systémy, státní mapová díla závazná na celém území státu a zásady jejich používání. Sbírka zákonů, Česká republika, ročník 1995, částka 30 ze dne 14. července 1995. str. 16271629.
- [185] —: OGC Interoperability Program. Open Geospatial Consortium, 2002. <http://www.opengeospatial.org/ogc/programs/ip>. (24.8.2006).
- [186] —: Open Geospatial Consortium. <http://www.opengeospatial.org> (24.8.2006)
- [187] Ogleby, C. (ed.): Reference notes on plane surveying. <http://www.sli.unimelb.edu.au/Horizons/Documents/intro.html>
- [188] —: Our complete brochure for undergraduates. The Department of Geomatics, University of Newcastle upon Tyne. 1998. <http://www.ncl.ac.uk/~nsurv/ugadbroc.htm>.
- [189] Pajares, A. H.: GPS Data Processing. 4.1 Reference Coordinate Systems. 1998. <http://maite152.upc.es/~manuel/tdgps/node17.html> (26.8.2002).
- [190] Pang, M. Y. C., Shi, W.: Development of a Process-Based Model for Dynamic Interaction in Spatio-Temporal GIS. GeoInformatica, vol. 6, No. 4, 2002. Str. 323-344.

- [191] Peltzer, G. a kol.: The Mw 7.6 Manyi (Tibet) Earthquake Surface Displacement Field. 3-track mosaic of ERS interferometric data. JPL, 1999. <http://www-radar.jpl.nasa.gov/sect323/InSar4crust/manyi/> (28.3.2004).
- [192] Peponis, J.: 3rd Space Syntax Symposium – overview of space syntax. Georgia Tech Atlanta, 2000. http://undertow.arch.gatech.edu/homepages/3sss/what_is_ss.htm (7.3.2004).
- [193] Peuquet, D.J.: It's about time: A conceptual framework for the representation of temporal dynamics in Geographic Information Systems. *Annals of the Association of American Geographers* 84, 1994. Str. 441-61.
- [194] Pokorný, J., Halaška, I.: Databázové systémy. Vysokoškolské skriptum. Vydavatelství ČVUT, Praha, 2003. 148 str.
- [195] Poupa, M.: Vše o času. Atomové hodiny. 2003. <http://home.zcu.cz/~poupa/ptb.html>. (14.3.2003).
- [196] Prchalová, J.: Použití metod GIS pro analýzu vývoje krajiny – využití archivních leteckých snímků. Doktorská dizertační práce. VŠB-TU Ostrava, 2006. 150 str.
- [197] —: PSLC - Example 1. PSLC, 2002. <http://duff.geology.washington.edu/data/raster/lidar/example1.htm>.
- [198] —: QuickBird Image of the Day Archive. DigitalGlobe, 2002. <http://www.digitalglobe.com/?goto=gallery/downloads>.
- [199] 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.
- [200] Ramesh, S. a kol.: Surface Interpolation Techniques to Convert GPS Ellipsoid Heights to Elevations. *Surveying and Land Information Systems*, č. 2, 1993. Str. 133 – 144.
- [201] Ramsey, R. D.: Digital image analysis vs. visual interpretation. Utah State Univerzity, 1996. <http://leupold.gis.usu.edu/Geography-Department/rsgis/Remsen1/imganal/imganal.html>. (18.8.2006)
- [202] Rapant, P., Suk, M.: DTMs and Volume Computations of Waste Disposal Sites and Open Pit Mines. In: Sborník referátů mezinárodní konference EGIS/MARI'94, Paříž, 1994. Str. 2072-3.
- [203] Rapant, P.: Digitální modely terénu. Skripta PGS. VŠB-TU Ostrava, 1996. 61 str.

- [204] Rapant, P.: Geografické informační systémy - oč běží? Sborník referátů z konference GIS Ostrava 96. VŠB-TU Ostrava, Ostrava, 1996. Str. 97-103.
- [205] 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.
- [206] Rapant, P.: Problémy spojené se zavedením času do databází GISů. Referát přednesený na mezinárodní konferenci GIS v zemědělství a lesnictví 97.
- [207] 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.
- [208] Rapant, P.: Geografické informační systémy. Habilitační práce. VŠB – TU, Ostrava, 1998.
- [209] Rapant, P.(ed.): Pracovní návrh první části výkladového slovníku pro oblast geoinformatiky. Škola, příloha časopisu GeoInfo, roč. VIII, č. 2, červen 2001. 15 str.
- [210] Rapant, P., Horák, J., Peňáz, T., Ružička, J.: Aktuální trendy vývoje v oblasti geoinformatiky a geoinformačních technologií. Sborník vědeckých prací VŠB-TU, řada HGF. VŠB-TU Ostrava, 2002. ISBN 80-248-0196-5, ISSN 0474-8476. Str. 87-100.
- [211] Rapant, P.: Družicové polohové systémy. VŠB-TU Ostrava, 2002. 200 str. ISBN 80-248-0124-8. http://gis.vsb.cz/Publikace/Knizni_Publikace/DNS_GPS/DNS_GPS.pdf. (18.8.2006)
- [212] Rapant, P. a kol.: Družicové navigační a polohové systémy. Učební texty pro distanční vzdělávání. VŠB-TU Ostrava, 2003. 200 str.
- [213] Rapant, P.: Geoinformation Technologies for Intelligent Transport Systems. In: Sborník semináře „Intelligent Transportation Systems“, Žilinská univerzita, Žilina, 2003. 15 str.
- [214] Rapant, P.: Prostor v multiagentových systémech modelujících prostorové procesy. Rukopis článku. VŠB-TU Ostrava, 2006. 30 str.
- [215] Rase, D., Björnsson, A., Probert, M., Haupt, M. F.: Reference Data and Metadata Position Paper. INSPIRE RDM Position Paper. EUROSTAT, 2002. 45 str.
- [216] Reischl, G.: Sběratelé elektronických dat pod lupou. Edice Knižní klub. Euromedia Group, k.s., Praha, 2001. 256 str.

- [217] Reichardt, T. A., Devdas, S., Kulp, T. J.: Evaluation of Active and Passive Gas Imagers for Transmission Pipeline Remote Leak Detection. Wayne Einfeld Laboratories, Albuquerque, NM, 2004.
- [218] —: Real-Time Emergency Management via Satellite. MacDonald Dettwiler & Satellite Systems, 2002. <http://www.remsat.com/gallerysimulations.html>. (9.11.2002)
- [219] —: The Research process or Methodology. Dissertation Guide. Thames Valley University, 2004. <http://brent.tvu.ac.uk/dissguide/hm1u0/hm1u0text4.htm>. (26.6.2004).
- [220] —: Research Laboratory of Intelligent Systems. Logic and Artificial Intelligence for multi-agent systems. <http://labis.vsb.cz/lablis/index.php>. (31.8.2006).
- [221] —: Reunion Island. NASA, 1995. <http://southport.jpl.nasa.gov/pio/srl2/sirc/renis.html> (27.3.2004).
- [222] —: LIDAR DATA RGB and CIR True Ortho Images elevation data digital image line scanner. TopoSys GmbH, 2005. <http://www.toposys.com/toposys-en/lidar-data/rgb-and-cir-true-ortho-images.php>. (1.4.2005).
- [223] 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.
- [224] Rizos, C.: 5.1.2 GPS Satellite Surveying: Some Considerations. Factors Influencing the Adoption of GPS for Land Survey Applications. 1999. http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/chap5/512.htm.
- [225] Roper, C.: Introduction to the ETeMII White Paper. Landmark Information Group, 2001. http://egeols222.egeo.sai.jrc.it/etemii/reports/wp_intro.pdf (28.10.2002).
- [226] Russell, S., Norvig, P.: Artificial Intelligence – A Modern Approach. Prentice Hill International, Inc. 1995. (In [FRA01]).
- [227] Růžička, J.: Metadata pro prostorová data. Doktorská disertační práce. Ostrava. 2002.
- [228] Růžička, J., Duchoslav, T.: Seminář „Metadata a metainformační systémy“, Ostrava 2003. <http://gis.vsb.cz/seminarMetadata/Index.php>.
- [229] —: San Francisco. DigitalGlobe, 2002. http://www.digitalglobe.noc/imgs/quickbird/iod/san_francisco_1280x1024.jpg

- [230] —: Satellite Meteorology. UW-Madison, 2004. http://cimss.ssec.wisc.edu/satmet/Satellite_Meteorology.htm. (19.2.2005).
- [231] —: Satellite Meteorology. UW-Madison, 2004. http://cimss.ssec.wisc.edu/satmet/Satellite_Meteorology2.htm. (19.2.2005).
- [232] —: Satellite Meteorology. Hurricanes. UW-Madison, 2004. http://cimss.ssec.wisc.edu/satmet/modules/wild_weather/satmet_wild_weather.htm. (19.2.2005).
- [233] Schatten, A: Cellular Automata Tutorial. Osobní stránka. 1999. <http://www.schatten.info/info/ca/ca.html>. (29.8.2006).
- [234] —: Science Daily. Your link to the latest research news. <http://www.sciencedaily.com>. (14.5.2004).
- [235] Summers, J.: Jason's Life Page. <http://entropymine.com/jason/life/>. (31.8.2006).
- [236] Short, M. N., Sr.: Remote Sensing Tutorial. Section 14: The Water Planet – Meteorological, Oceanographic and Hydrologic Applications of Remote Sensing. NASA. http://rst.gsfc.nasa.gov/sect14/Sect14_4.htm. (19.2.2005).
- [237] Schneider, D. J.: Remote Sensing of the Global Environment. Michigan Technological University, 2004. <http://www.geo.mtu.edu/rs/> (2.3.2004).
- [238] Schindler, J., Ministr, J.: Metody a techniky systémové analýzy a projektování informačních systémů. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. <http://spbi.hgf.vsb.cz/html/clan12.htm>. (12.7.2004).
- [239] Schwarz, K. P., Sideris, M. G.: Heights and GPS. GPS World, February, 1993. Str. 50 – 56.
- [240] Sietzen, F. Jr.: High-Growth Jobs Initiative. Geospatial Solutions, 2004. <http://www.geospatial-online.com/geospatialolutions/article/articleDetail.jsp?id=96795>. (1.5.2005).
- [241] —: Chapter 2. Signal Theory. 2002. <http://w3.impa.br/~ipcg/c02/slides/main.pdf>. (13.5.2004).
- [242] .—: Chapter 8: Significance of Information Technology: Trends in IT. National Science Foundation, Division of Science Resources Statistics. Arlington, 2002. <http://www.nsf.gov/sbe/srs/seind102/c8/c8s1.htm>. (22.3.2004).
- [243] Silber, A. T.: A geographic information system utilizing the triangular irregular network as a basis for hydrologic modelling. In: AutoCarto 8. Proceedings of Eighth International Symposium on Computer-Assisted Cartography. 1987. Str. 129 – 136.

- [244] Slouková, D.: R. Carnap – Logická metoda analýzy, rekonstrukce a výstavby vědy. Učební text. Vysoká škola ekonomická, Praha, 2004. <http://nb.vse.cz/~sloukova/FIL102/8car.htm>. (15.7.2004).
- [245] Smith, R. B.: Introduction to Remote Sensing of Environment. MicroImages, Inc. Lincoln, 2001. <http://www.microimages.com> (7.3.2004). 32 str.
- [246] 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.
- [247] Snyder, J. P.: Flattening the Earth: Two Thousand Years of Map Projections. Chicago University Press, 1993.
- [248] Sochor, J.: Počítačová grafika. MU Brno, 1999. <http://www.fi.muni.cz/~sochor/P010>
- [249] —: Spatial Data Representation. 2004.
- [250] Stankovič, J., Neteler, M., Flor, R.: Experimental Mobile Wireless GRASS Based GIS for Handheld Computers Running GNU/Linux. Proceedings of the Open source GIS – GRASS user conference 2002, Trento, 2002. http://www.ing.unitn.it/~grass/conferences/GRASS2002/proceedings/proceedings/pdfs/Stankovic_Jan.pdf. (5.4.2005).
- [251] Stearns, S. V.: Airborne Assessment of Pipeline Integrity. GeoIntelligence, April, 2005. 5 str.
- [252] Streit, U.: Introduction to Geoinformatics. Institute for Geoinformatics of the University of Muenster, Germany. Version 2.0. <http://castafiore.ini-muenster.de/vorlesungen/Geoinformatics/index.html>. (3.7.2002).
- [253] —: SUBJ: GPS STATUS 29 Aug 2000. <ftp://ftp.navcen.uscg.mil/gps/status.txt>
- [254] Svátek, V.: Ontologie a WWW. VŠE, Praha, 2002. <http://nb.vse.cz/~svatek/onto-www.pdf>. 35 str. (13.3.2004).
- [255] Swartout, B.: 1997. In: Svátek, V.: Ontologie a WWW. Brno, 2002. http://www.datakon.cz/datakon02/d02_svatek.pdf. (11.5.2004).
- [256] —: SWARM development group. 2006. http://www.swarm.org/wiki/Main_Page. (31.8.2006).
- [257] —: Encyklopedie informačních technologií. VUT Brno, 2002. <http://www.teleinform.cz>
- [258] —: Terms and definitions from CEN/TC 287 Geographic information. Source: ISO/TC 211/PT Terminology secretariat, 1996-05-22

- [259] —: Terminologický slovník geodézie, kartografie a katastra. Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky a Český úřad zeměměřický a katastrální. Bratislava, 1998. 544 str.
- [260] —: The Context of European Geographic Information Infrastructure (EGII). WWW dokument: <http://www2.scho.lu/gi/gi2000/en/c1.html>
- [261] —: The Context of European Geographic Information Infrastructure (EGII). <http://www2.scho.lu/gi/gi2000/en/c1.html>
- [262] —: Thiessen Polygon Application Toolkit v5.0. Hunter GIS, 2001. http://www.hunter-gis.com/ws_solutions/TK_Thiessen/TK_Thiessen.htm. (16.4.2005).
- [263] Thurston, J.: GALILEO, GLONASS and NAVSTAR: A Report on GPS for GIS People. GIS vision Magazine. GIScave, April, 2002.
- [264] —: Time Scales. NPL Time Metrology. National Physical Laboratory, Teddington, 2002. http://www.npl.co.uk/time/time_scales.htm. (26.8.2002).
- [265] —: Time Zone Map. 2004. http://www.cia.gov/cia/publications/factbook/reference_maps/pdf/time_zones.pdf. (3.4.2004).
- [266] —: Topologická pravidla v geodatabázi ArcGIS. ESRI, ARCDATA Praha s.r.o., 2004. <http://www.arcdata.cz/download/doc/TopologiePlakat-9.1.pdf>. (8.8.2006).
- [267] —: Topographische Systemdaten. TopoSys, 2005. <http://www.toposys.de>. (30.4.2005).
- [268] Torrens, P. M.: How Cellular Models of Urban Systems Work. (1. Theory). Centre for Advanced Spatial Analysis. Working papers Series. University College London, 2000. 68 str. http://www.casa.ucl.ac.uk/how_ca_work.pdf. (31.8.2006).
- [269] Uhlíř, J., Sovka, P.: Číslicové zpracování signálů. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1995. 328 str.
- [270] —: UNIVERSUM. Všeobecná encyklopedie. 8. díl/R-So. Odeon, Praha, 2001. 656 str.
- [271] —: On Global Navigation Satellite Systems (GNSS). Report to COPUOS. Forty-seven session. UNISPACE III. Action Team. Vienna, 2-11 June 2004.
- [272] —: United States Naval Observatory (USNO). Automated Data Service (ADS). Block II Satellite Information. 1998. <ftp://tycho.usno.navy.mil/pub/gps/gpsb2.txt>

- [273] —: Urban and Lan Use Applications: From Los Angeles to Beijing. Some Basic Principles and Examples. Remote Sensing Tutorial Page 4-1. http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect4/Sect4_1.html. (9.3.2005).
- [274] —: Universal Time (UT). Definition. 1996. http://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-039/_5712.htm. (28.6.2002).
- [275] Vaughan, G. a kol.: Atmospheric Physics: LIDAR. The Department of Physics, University of Wales, Aberystwyth, 2000. <http://users.aber.ac.uk/ozone/lidar.html>. (1.4.2005).
- [276] Veverka, B.: Teorie systémů a kybernetika. Skripta ČVUT v Praze. Ediční středisko ČVUT. Praha 1989.154 str.
- [277] Veverka, B.: Topografická a tematická kartografie. Skripta ČVUT v Praze. Vydavatelství ČVUT. Praha, 1995. 202 str.
- [278] Veverka, B.: Topografická a tematická kartografie 10. 1. vydání. Skripta ČVUT v Praze. Vydavatelství ČVUT. Praha, 2001. 202 str.
- [279] Veverka, B.: Topografická a tematická kartografie 10. Dotisk 1. vydání. Skripta ČVUT v Praze. Vydavatelství ČVUT. Praha, 2004. 220 str., 184 obr.
- [280] Vojtek, D.: ArcPad obrazovka.
- [281] Vossen, G.: Data models, database languages and database management systems. Addison-Wesley, Wokingham, 1991.
- [282] Voser, S. A.: The Internet Collection of Map Projections and Reference Systems for Europe. In: Spatial Reference Systems for Europe. Proceedings and Recommendations. Joint Research Centre, Spatial Applications Institute. Marne – La Vallée, 1999. str. 66-73.
- [283] Voženílek, V.: Aplikovaná kartografie I. Tematicé mapy. Vysokoškolská skripta. UP Olomouc, 2001. 188 str.
- [284] Vrana, R.: Historical data as an explicit component of land information systems. Int. Journal of GIS, č. 1, roč. 3., 1989. Str. 33-50.
- [285] —: Všeobecná encyklopedie v osmi svazcích. Sv. 7 ř/š. Encyklopedie Diderot, Praha, 1999. 428 str.
- [286] Walter, J. a kol.: Operační výzkum. 192 s. SNTL/ALFA. Praha, 1973.
- [287] Walford, N.: Geographical Data Analysis. John Wiley & Sons, 1995. 458 str.

- [288] —: Merriam-Webster Online Dictionary. Merriam-Webster, Inc., 2004. <http://www.merriam-webster.com>. (23.4.2004).
- [289] —: Welcome to Geomatics Engineering! Geomatics Engineering Newsletter. <http://www.ensu.ucalgary.ca>
- [290] Weyns, D., Holvoet, T.: Model for Simultaneous Actions in Situated Multi-Agent Systems. In Schillo, M. et al. (eds.): MATES 2003. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003. Str. 105-118.
- [291] —: What is Universal Time? U.S. Naval Observatory. Astronomical Application Department, 2002. <http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/UT.html> (26.8.2002).
- [292] —: What is LIDAR. What can you do with LIDAR? <http://www.lidar.com>. (1.4.2005).
- [293] —: What is GPS? 1994. <http://www.garmin.com/aboutGPS/>.
- [294] —: What is Geomatics? Data Services International, 1998. <http://www.netfx.iom.net/dsi/geomatics.htm>
- [295] —: When should we introduce Leap second in UTC? 2002. <http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/earthor/utc/leapsecond.html> (26.8.2002).
- [296] Wicks, D. E.: Emerging trends in mapping using LIDAR and Digital Camera Systems. GISdevelopment.net. <http://www.gisdevelopment.net/technology/survey/ma03162pf.htm>. (29.3.2005).
- [297] —: Wikipedia. The Free Encyklopedia. 2004. <http://en.wikipedia.org>. (24.4.2004).
- [298] —: Wireless Newsletter. <http://www.gps-wireless.org/newsletter.asp>.
- [299] Wooldridge, M.: Intelligent Agents. In: G. Weiss (ed.), Multiagent systems – A modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. MIT Press., Cambridge, MA, 1999. Str. 27-77. (In [FRA01]).
- [300] —: Workshop on Agents in Traffic and Transportation. Conference Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2004. <http://ki.informatik.uni-wuerzburg.de/~kluegl/att2004/abstracts.htm>. (31.8.2006).
- [301] Xie, M. et. al.: Application of Cellular Automata to Simulation of the Spread of a Fire on a City Site. Proceedings Artificial Intelligence and Applications, 2003. <http://www.actapress.com/PaperInfo.aspx?PaperID=15022>. (31.8.2006).

- [302] —: PIA04956: Zagros Mountines, Iran, SRTM Shaded Relief. Planetary Photojournal, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology. <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA04956>. (16.2.2005).
- [303] Zeiler, M.: Modeling our World. The ESRI Guide to Geodatabase Design. ESRI, Redlands, 1999. 199 str.
- [304] Zlatanova, S.: 3D GIS for Urban Development. Doktorská disertační práce. Graz University of Technology. Graz, 2000. 222 str.

Autor: Petr Rapant
Institut geoinformatiky, 548
Název: Geoinformatika a geoinformační technologie
Místo, rok, vydání: Ostrava, 2006, 1. vydání
Počet stran: 513
Vydala: VŠB - Technická univerzita Ostrava
Tisk: Institut geoinformatiky
Náklad: 15 ks

Nepronějné.

ISBN 80-248-1264-9