



Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Hornicko-geologická fakulta



## ZÁKLADY GEOINFORMATIKY

Petr Rapant

Ostrava, 2014



Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Hornicko-geologická fakulta



## ZÁKLADY GEOINFORMATIKY

Petr Rapant

Ostrava, 2014



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## Obsah

Seznam zkratk	vi
Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	xi
1 Motto a jeho výklad	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
1.1 Platební karty	3
1.2 Mobilní telefony	3
1.3 Přijímače GNSS	3
1.4 Palubní navigační systémy v autech	5
1.5 Internet	6
1.6 Elektronické mýtné systémy	6
1.7 Kamerové systémy	3
1.8 A další systémy	7
2 Proč je prostor důležitý	9
2.1 Prostorové vztahy	12
2.2 Specifičnost prostorových dat z pohledu popisu prostoru	12
2.3 Specifičnost prostorových informací z technického hlediska	13
2.4 Shrnutí	13
3 Příklady využití	14
3.1 Produkty	14
3.1.1 Navigace vozidel v reálném čase	14
3.1.2 Nástroje pro sběr digitálních dat (GNSS apod.)	15
3.1.3 Systémy pro precizní zemědělství	17
3.1.4 Systémy pro řízení dopravy	17
3.1.5 Monitorovací systémy pro signalizaci živelných pohrom	19
3.2 Služby a aplikace	19
3.2.1 Analýza v prostoru rozmístěných zařízení, investic a zákazníků v bankovníctví, pojišťovnictví a obchodě	20
3.2.2 Optimalizace a řízení záchranných služeb	20
3.2.3 Analýza rozložení kriminality	22

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

3.2.4	Monitorování intenzity dopravy a stanovování poplatků za užití komunikací na základě hustoty dopravy .....	23
3.2.5	Modelování přírodních katastrof a jejich následků v reálném čase – svahových sesuvů, erupcí, zemětřesení, záplav, lesních požárů, hurikánů. ....	24
3.2.6	Analýzy v oblasti zdraví.....	25
4	Reálný svět a jeho poznávání. Modelový svět.....	26
4.1	Co můžeme v reálném světě pozorovat.....	26
4.2	Náhledy na reálný svět .....	27
4.2.1	Objektový náhled .....	28
4.2.2	Jevový náhled.....	31
4.2.3	Událostní náhled.....	32
4.2.4	Procesní náhled .....	33
4.3	Modelový svět .....	35
4.4	Prostředky pro popis reálného světa: ontologie, sémantika, syntaxe .....	36
5	Informatika a geoinformatika. Geoinformační technologie.....	38
5.1	Modely reálného světa v geoinformatice.....	38
5.1.1	Modelování objektů reálného světa v geoinformatice .....	38
5.1.2	Modelování jevů v geoinformatice .....	39
5.2	Informatika ve službách geoinformatiky.....	39
5.3	Geoinformační technologie .....	40
5.4	Mobilní geoinformační technologie .....	41
6	Historie, současnost a budoucnost geoinformatiky .....	42
6.1	Historie geoinformatiky po nástupu počítačů.....	42
6.2	Trendy vývoje geoinformatiky a geoinformačních technologií .....	44
6.2.1	Dlouhodobý trend – budování geoinformačních infrastruktur.....	46
6.2.2	Dlouhodobý trend – veřejností vytvářená prostorová data (crowdsourcing).....	47
6.2.3	Krátkodobý výhled.....	49
7	Pojmy data, informace, znalosti, moudrost; prostorová data, geodata, metadata, geoinformace.....	56
7.1	Data, informace, znalosti, moudrost.....	56
7.2	Prostorová data .....	60

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

7.2.1	Základní geodata .....	61
7.2.2	Aplikačně závislá geodata .....	62
8	Prostor v geoinformatice .....	64
8.1	Historie vývoje pojetí prostoru .....	64
8.2	Matematické prostory .....	65
8.2.1	Topologický prostor .....	66
8.2.2	Metrické prostory .....	67
8.2.3	Euklidovský prostor .....	68
9	Určování polohy v prostoru. Georeferencování .....	70
9.1	Způsob vyjadřování polohy .....	71
9.2	Prostorové referenční systémy pro přímé vyjádření polohy .....	72
9.2.1	Geografický souřadnicový systém .....	72
9.2.2	Geocentrický souřadnicový systém .....	73
9.2.3	Souřadnicové systémy kartografických zobrazení .....	73
9.2.4	Staničení .....	74
9.2.5	Souřadnicové systémy pro určování vertikální polohy .....	74
9.2.6	Prostorové referenční systémy používané v české republice .....	76
9.3	Nepřímé vyjádření polohy. Geokód .....	76
10	Čas .....	77
10.1	Časové jednotky .....	77
10.2	Časové stupnice .....	78
10.2.1	Solární čas .....	80
10.2.2	Siderický čas .....	81
10.2.3	Univerzální čas .....	81
10.2.4	Atomový čas .....	82
10.2.5	Univerzální koordinovaný čas .....	83
10.2.6	Časová pásma – pásmový čas .....	84
10.2.7	Jiné časové stupnice .....	86
10.3	9.2 Časové signály .....	87
11	Geoprvek. Složky popisu geoprvku .....	89
11.1	Geometrická složka popisu geoprvku .....	89



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

11.1.1	Prostor, v němž je geometrická složka definována .....	89
11.1.2	Určení polohy geoprisku v daném prostoru .....	90
11.1.3	Prostorové vlastnosti geoprisku .....	90
11.2	Tematická složka popisu geoprisku .....	90
11.3	Časová složka popisu geoprisku .....	91
11.4	Vztahová složka popisu geoprisku .....	92
11.4.1	Topologické vztahy .....	92
11.4.2	Časové vztahy .....	93
11.4.3	Metrické vztahy .....	93
11.4.4	Syntaktické vztahy .....	93
11.4.5	Vztah „je částí“ .....	94
11.4.6	Ostatní vztahy .....	94
11.5	Funkční složka popisu geoprisku .....	94
11.6	Kvalitativní složka popisu geoprisku, metadata .....	95
12	Prostorové modelování reálného světa .....	97
12.1	Základní pojmy z oblasti prostorového modelování .....	98
12.2	Členění prostorových modelů .....	100
12.3	Datové modely v geoinformačních systémech .....	101
12.4	Datové modely reprezentující objekty reálného světa .....	101
12.4.1	Vektorový datový model .....	102
12.5	Datové modely reprezentující jevy reálného světa .....	108
12.5.1	Podmínky pro tvar buněk .....	109
12.5.2	Členění dat v rastrovém datovém modelu .....	109
12.5.3	Faktory ovlivňující kvalitu zobrazení reálného světa v rastru .....	110
12.6	Geoinformační systém jako obraz reálného světa .....	112
13	Získávání geodat. Měření, vzorkování .....	116
13.1	Signály, informace .....	117
13.1.1	Deterministický popis signálu .....	117
13.1.2	Stochastický popis signálu .....	118
13.2	Některé pojmy z oblasti zpracování signálů .....	119
13.3	Dělení geodat .....	120



## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

13.4	Rozlišovací úrovně.....	121
13.4.1	Prostorová rozlišovací úroveň.....	122
13.4.2	Časová rozlišovací úroveň.....	123
13.4.3	Tematická rozlišovací úroveň.....	124
13.5	Proces získávání hodnot primárních geodat fyzikálně-chemických veličin.....	124
13.5.1	Vzorkování.....	125
14	Závěr.....	128
	Seznam literatury.....	129



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## Seznam zkratek

BIPM	- Mezinárodní úřad pro míry a váhy (fr. Bureau International des Poids et Mesures)
Bpv	- výškový systém baltský – po vyrovnání
CEN	- Evropská komise pro normalizaci (fr. Comité Européen de Normalisation)
DMR	- digitální model reliéfu
DPZ	- dálkový průzkum Země
ECEF	- geocentrický souřadnicový systém (angl. Earth Fixed, Earth Centred coordinate system)
ESRI	- Environmental Systems Research Institute
ETRS	- evropský terestrický referenční systém (angl. European Terrestrial Reference System)
FGDC	- Federal Geographic Data Committee
GIS	- geografický informační systém
GIT	- geoinformační technologie
GLONASS	- Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema
GMST	- Greenwichský střední siderický čas (angl. Greenwich Mean Siderial Time)
GMT	- Greenwichský střední čas (angl. Greenwich Mean Time)
GNSS	- globální navigační a polohový systém (angl. Global navigation satellite system)
GPS	- globální polohový systém (angl. Global Positioning System)
HAE	- geodetická výška (angl. height above ellipsoid)
IBC	- integrované bezpečnostní centrum
ICT	- informační a komunikační technologie (angl. information and communication technologies)
IERS	- Mezinárodní služba rotace Země (angl. International Earth Rotation Service)
IP	- internetový protokol (angl. internet protocol)
ISO	- Mezinárodní organizace pro normalizaci (angl. International Organization for Standardization)
LBS	- služby založené na znalosti polohy uživatele (angl. location based services)
MGIT	- mobilní geoinformační technologie
MHD	- městská hromadná doprava
MSL	- nadmořská výška (angl. height above mean sea level)
NASA	- National Aeronautics and Space Administration
NDIC	- Národní dopravní informační centrum
OASIS	- Organization for the Advancement of Structured Information Standards



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

OGC	- Open Geospatial Consortium
OMG	- Object Management Group
RODOS	- Rozvoj dopravních systémů
RUIAN	- Registr územní identifikace, adres a nemovitostí
S-42/83	- souřadnicový systém 1942
SELČ	- středoevropský letní čas
S-Gr95	- tíhový systém 1995
SI	- mezinárodní systém jednotek SI (fr. Système international d'unités)
S-JTSK	- Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
TAI	- atomový čas (fr. Temps Atomique International; angl. Atomic Time;)
UNIVAC	- UNIVERSal Automatic Computer
USNO	- United States Naval Observation
UT	- univerzální čas (angl. Universal Time)
UTC	- koordinovaný univerzální čas (angl. Universal Time Coordinated)
VGI	- veřejností vytvářená prostorová data (angl. volunteered geographic information)
VNIIFTRI	- Hlavní metrologické centrum ruských časových a kmitočtových služeb
W3C	- World Wide Web Consortium
WGS 84	- světový geodetický referenční systém 1984 (angl. World Geodetic System 1984)
WWW	- World Wide Web

## Seznam obrázků

Obr. 1 Ukázka vizualizace pohybu v prostoru i čase s využitím časoprostorové krychle .....	4
Obr. 2 Ukázka výstupu záznamu GNSS na Google Earth spolu s připojenými fotografiemi.....	5
Obr. 3 Elektronická kniha jízd .....	6
Obr. 4 Lokalizace počítače na základě IP adresy .....	7
Obr. 5 Výřez původní mapy Johna Snowa ukazuje shluky případů cholery ve čtvrti Soho v průběhu epidemie v roce 1854. Studna, která celou epidemii spustila, je umístěna na křižovatce Broad Street a Cambridge Street. Z mapy je patrné, jak si do ní značil počty úmrtí pomocí čárek u jednotlivých domů.....	9
Obr. 6 Ukázka navigace .....	15
Obr. 7 Princip dynamické navigace .....	15
Obr. 8 Ruční přijímač GNSS pro mapování .....	16
Obr. 9 Přenosný přijímač GNSS s tabletem pro mapování v terénu.....	16
Obr. 10 Systémy pro precizní zemědělství.....	17
Obr. 11 Národní dopravní informační centrum (NDIC) Ostrava .....	18
Obr. 12 Ukázka výstupu informací NDIC na portálu Mapy.cz .....	18
Obr. 13 Systém FLOREON+ .....	19
Obr. 14 Integrované bezpečnostní centrum – IBC Ostrava .....	20
Obr. 15 Celkový pohled na dispečerský sál IBC Moravskoslezského kraje.....	21
Obr. 16 Obr. Dispečeri hasičského záchranného sboru - příjem tísňových volání 112 a 150.....	21
Obr. 17 Analýza rozložení vražd ve městě Washington za listopad 2004 až listopad 2006....	22
Obr. 18 Ukázka monitorování rychlosti dopravy pomocí plovoucích aut v systému Floreon+ .....	23
Obr. 19 Výstup projektu RODOS – aplikace viaRODOS .....	24
Obr. 20 Ukázka jednoho z výstupů systému Floreon+: 3D pohled na simulovaná záplavová jezera.....	25
Obr. 21 Analýza výskytu zhoubného nádoru prostaty v Anglii a Walesu .....	25
Obr. 22 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.) .....	29
Obr. 23 Výsek hierarchie z Obr. 21, který je předmětem zájmu geoinformatiky .....	29
Obr. 24 Komponenty prostorového procesu a jejich vzájemný vztah .....	35
Obr. 25 Moorův zákon byl zformulován na počátku 60. let minulého století, platí již více než 45 let a předpokládá se, že ještě nějakou dobu platit bude .....	40
Obr. 26 Nielsenův zákon.....	40
Obr. 27 Ukázka výstupů systému SYMAP (Synagraphic Mapping Sytem).....	43

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obr. 28	Koncepce distribuovaného poskytování, dat, služeb i aplikací .....	47
Obr. 29	Ukázka OpenStreetMap .....	48
Obr. 30	Ukázka veřejností vytvářených prostorových dat na serveru WikiMapia .....	49
Obr. 31	Porovnání analogového (vlevo) a digitálního (vpravo) snímku.....	50
Obr. 32	Digitální model reliéfu (grid o straně buňky 10 m) odvozený z vrstevnic z mapy v měřítku 1: 24 000 .....	51
Obr. 33	Tatáž oblast jako na Obr. 31, tentokrát nasnímaná zařízením lidar. Na obrázku jsou dobře patrné detaily reliéfu terénu, zachycené i přes vegetační kryt .....	51
Obr. 34	Letecký snímek oblasti z Obr. 31 a Obr. 32.....	51
Obr. 35	Ukázka vyhodnocení poklesů terénu v důsledku hlubinné těžby uhlí v oblasti Karviné .....	52
Obr. 36	Ukázka družicového snímku Howerovy přehlady v USA pořízeného družicí GeoEye v roce 2009 .....	53
Obr. 37	Data, informace, znalosti a moudrost a jejich vzájemný vztah a vztah k informačnímu systému .....	57
Obr. 38	Mapa rozložení průměrné roční teploty na Zemi.....	58
Obr. 39	Mapa rozložení potenciální vegetace na Zemi.....	59
Obr. 40	Ukázka základních geodat z GIS města Ostravy .....	61
Obr. 41	Ukázka aplikačně závislých geodat; v tomto případě se jedná o ukázkou cenové mapy města Ostrava .....	62
Obr. 42	Ukázka výřezu cenové mapy na podkladě základních geodat .....	63
Obr. 43	Hierarchické členění matematických prostorů.....	64
Obr. 44	Prostorový referenční rámec na pracovním stole.....	71
Obr. 45	Geografický souřadnicový systém .....	72
Obr. 46	Geocentrický souřadnicový systém .....	73
Obr. 47	Vztah mezi výškou měřenou nad geoidem (tj. nadmořskou výškou) a výškou měřenou nad elipsoidem .....	75
Obr. 48	Mořský vodočet v Krošradtu.....	75
Obr. 49	Lokální poledník používaný v minulosti pro určování pražského času.....	79
Obr. 50	Rozdíl mezi solárním a siderickým časem.....	80
Obr. 51	Ukázka praktické realizace atomových hodin (HP 5071A).....	82
Obr. 52	Časová pásma (poslední aktualizace duben 2014).....	85
Obr. 53	Detail časových pásem v oblasti Indie.....	85
Obr. 54	Vztah času ke geometrické a tematické složce popisu geoprůvku. Proměny v čase jsou zde zachyceny jednotlivými verzemi geometrického a tematického popisu .....	92
Obr. 55	Univerzum diskurzu a jeho vztah k rámci, kontextu a účastníkům .....	99
Obr. 56	Schematické členění geodat popisujících geoprůvku ve vektorovém datovém modelu .....	103

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obr. 57 Základní stavební kámen geometrické složky popisu geoprvků ve vektorovém datovém modelu – vektor .....	103
Obr. 58 Základní geometrické prvky vektorového datového modelu a jejich reprezentace pomocí vektorů .....	104
Obr. 59 Špagetový datový model .....	105
Obr. 60 Topologický vektorový datový model .....	105
Obr. 61 Topologický vektorový datový model – jeden z možných způsobů uložení geometrické složky popisu geoprvků ve formě tabulek (viz Obr. 59) .....	106
Obr. 62 Tvary základních buněk rastru .....	108
Obr. 63 Schematické členění dat v rastrovém datovém modelu .....	109
Obr. 64 Vliv velikosti buňky rastru na výslednou reprezentaci zájmové oblasti v GIS .....	110
Obr. 65 Promítnutí reálného světa do GIS .....	112
Obr. 66 Vytvoření vnitřního (mentálního) modelu .....	114
Obr. 67 Promítnutí vnitřního modelu pozorovatele do mapy .....	114
Obr. 68 Převod mapy do GIS pomocí digitizéru .....	115
Obr. 69 Ukázka vyjádření daného signálu (nahore) jako součtu sinusových signálů s různou periodou a amplitudou. Čísla vpravo udávají frekvenci jednotlivých sinusových signálů v [Hz] .....	119
Obr. 70 Ukázka frekvenčního spektra signálu z Obr. 68 .....	120
Obr. 71 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 .....	120
Obr. 72 Vývoj množství získatelných detailních informací a informací o celku v závislosti na vzdálenosti pozorovatele od pozorovaného objektu reálného světa .....	123



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## Seznam tabulek

Tab. 1 Potenciální objemy databází GIS pro některé typické aplikace (objemy zaokrouhleny na nejbližší řády) .....	13
Tab. 2 Příklady prostorových vztahů geoprveků .....	67
Tab. 3 Ukázka části chronostratigrafické tabulky, reprezentující geologický čas .....	86
Tab. 4 Historická časová stupnice .....	87
Tab. 5 Příklady prostorových vztahů v reálném světě .....	92
Tab. 6 Transformace reálného světa do prostředí GIS .....	113

## 1 Místo úvodu

*Motto:*

*Člověk přestává být položkou v databázi  
a postupně se stává objektem existujícím  
a pohybujícím se v prostoru i čase.*

V současné době jsme svědky prudkého rozvoje informačních a komunikačních technologií určených pro běžné uživatele. Jedná se o mobilní telefony nejrůznějších kategorií, navigační systémy, tablety atd., u nichž navíc často dochází k integraci a tím i kumulaci funkcí. Mobilní telefony jsou tak schopné nejen zprostředkovat vlastní volání, pro které byly původně určeny, ale jsou často vybavené i přijímačem GNSS, fotoaparátem a kvalitní dotykovou grafickou obrazovkou, výkonným procesorem a velkou pamětí a dále potřebným programovým vybavením a jsou tak schopné i sběru dat o pohybu majitele telefonu, jeho navigování do cílové destinace i dokumentování jeho pohybu prostorem. Navíc se objevila celá řada iniciativ, které jsou zaměřeny na koordinaci sběru dat prostřednictvím této masy potenciálních přispěvatelů. Vznikly iniciativy jako OpenStreetMap ([www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)) nebo HD Traffic™ ([www.tomtom.com/hdtraffic](http://www.tomtom.com/hdtraffic)).

Stejně tak se prudce rozvíjejí i profesionální systémy pro efektivní a rychlý sběr dat o Zemi, jako je mobilní mapování (různá vozidla vybavená všemi myslitelnými senzory, pohybující se po silnici a mapující jejich okolí, případně obdobně vybavené batohy – například služba StreetView firmy Google (<https://www.google.com/maps/views/streetview?gl=cz&hl=cs>)), digitální snímání s vysokým prostorovým rozlišením povrchu zemského z letadel a umělých družic Země, laserové skenování povrchu Země pomocí pozemních i leteckých prostředků, sledování dopravy flotilami tzv. plovoucích aut, tj. aut vybavených přijímačem GNSS a připojením na Internet a průběžně oznamujícím svoji polohu a rychlost jízdy do centrály apod. Díky rozvoji těchto technologií objemy získávaných, shromažďovaných, ukládaných, analyzovaných a vizualizovaných dat, informací a znalostí o reálném světě, v němž se pohybujeme, narůstají v posledních letech geometrickou řadou.

Sbírána jsou samozřejmě dál i tradiční data, která zpracováváme počítačově již řadu desetiletí. 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 (Rapant et al. 2002). V posledním desetiletí se daří tento nedostatek řešit jednak díky mohutnému rozvoji budování



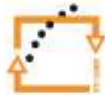
evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

různých bází geografických dat, které slouží jako lokalizační základ pro navazující data uložená v klasických databázích, a jednak díky vývoji zcela nových technologií, umožňujících zjišťovat aktuální polohu objektů reálného světa kdykoliv a prakticky kdekoliv na povrchu zemském a v přilehlém prostoru.

Podíváme-li se jen do dnes platné legislativy, snadno zjistíme, že záznamy o nás existují v celé řadě různých databází. Jen se narodíme a už získáváme záznam v matrice a registru obyvatel, vstupujeme do databází zdravotní pojišťovny a správy sociálního zabezpečení, později vstupujeme do informačních systémů různých bank, pojišťoven, mobilních operátorů, různých evidencí (např. evidence vozidel, katastr nemovitostí) atd. Za celý život jich mohou být i desítky. V každé z databází existujeme jako položka obsahující mimo jiné jméno, příjmení datum narození, rodné číslo a – adresu bydliště. Ta umožňuje nalézt na mapě místo, kde bydlíme.

Pro spravování těchto dat se používají běžné databázové systémy, které umožňují efektivně ukládat, zpracovávat a analyzovat uložená data ... až na jednu výjimku, a tou je právě adresa. Stávající databázové systémy umí například vyhledat všechny lidi z Ostravy, bydlící na ulici Opavská. Umí je spočítat, ale už neumí ukázat, kde se na této ulici jejich bydliště nachází. A co už vůbec neumí je zodpovědět například jednoduchý dotaz: *Kolik lidí bydlí ve vzdálenosti do 500 m od zastávky MHD Poruba Vozovna?* Přitom tato informace by byla velice užitečná například pro Dopravní podnik Ostrava z pohledu dimenzování přepravních kapacit. To je první problém.

Druhým problémem je, že se v místě bydliště nezdržujeme trvale, 24 hodin denně, nýbrž naopak většinu dne trávíme zpravidla mimo bydliště – v práci, ve škole, v kině, na výletě, na dovolené ... A celá řada našich aktivit je tudíž spojena s jinými místy v prostoru. To stávající databáze popsat neumí.

A třetím problémem je, že se občas stěhujeme, ale zapomeneme změnu bydliště nahlásit – a pak v databázi zůstane zcela nesprávný (neaktuální) údaj a jakékoliv analýzy s ním provedené nutně musí poskytnout chybný výsledek.

Ale situace se mění ...

*Člověk přestává být položkou v databázi ...*

Dnes jsou běžně dostupné technologie, které umožňují průběžně zjišťovat aktuální polohu člověka prakticky kdykoliv a kdekoliv na Zemi ...

*... člověk se stává objektem existujícím a pohybujícím se v prostoru i čase.*

K těmto technologiím patří například:

- platební karty,



- mobilní telefony,
- přijímače GNSS,
- palubní navigační systémy v autech,
- Internet,
- elektronické mýtné systémy,
- kamerové systémy,
- a další.

Podívejme se, jak tyto technologie mohou mapovat naše chování v prostoru i čase a co díky tomu mohou o nás prozradit.

### 1.1 Platební karty

Každá platba platební kartou, kterou provedeme, je plně lokalizována, tj. je k ní připojena identifikace provozovny, kde k platbě došlo, a čas provedení platby a dále je uvedena i zaplacená částka.

Získáme-li výpis všech transakcí jedné platební karty (a tím i jedné osoby) např. za celý rok, můžeme studovat prostorové chování majitele karty. Například si můžeme vykreslit počet resp. frekvenci návštěv konkrétní provozovny za rok, nebo celkovou utracenou částku v dané provozovně. Možností je celá řada a každá z nich nám může leccos vypovědět o časoprostorovém chování majitele platební karty ...

*... člověk se stává objektem existujícím a pohybujícím se v prostoru i čase.*

### 1.2 Mobilní telefony

Mobilní telefony lze lokalizovat v prostoru. Přesnost sice není nijak vysoká, v ideální situaci mnoho desítek metrů v hustě zastavěných oblastech, ale i řádově kilometry v oblastech s nízkou hustotou osídlení, ale i tak je možné ze sledování polohy mobilního telefonu vyčíst zajímavé informace. Každý uživatel mobilního telefonu si může vyžádat u mobilního operátora výpis svých telefonních hovorů za časový interval. Každý z hovorů je lokalizovatelný v prostoru i čase. Na podkladě těchto dat si opět můžeme vykreslit mapu svého chování v prostoru i čase ...

*... člověk se stává objektem existujícím a pohybujícím se v prostoru i čase.*

### 1.3 Kamerové systémy

Když v roce 2005 zaútočili teroristé na londýnské metro, procházela policie trpělivě záznamy ze stovek kamer, rozmístěných po městě, vytipovávala podezřele se chovající osoby, sledovala jejich pohyb a opakovaný výskyt v místech, kde došlo k výbuchům, až nakonec vytipovala pachatele a pozatýkala je. Byla to úmorná mravenčí práce. Ale přinesla ovoce.





evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Dnes existují algoritmy pro vyhodnocování chování osob snímaných kamerou a jejich identifikaci v reálném čase. Lze si představit situaci, kdy budou signály ze všech videokamer ve městě, případně i v dopravních prostředcích, svedeny do jednoho superpočítače, který bude v reálném čase vyhodnocovat chování snímaných lidí, upozorňovat policii na potenciálně problematické osoby, sledovat průběžně jejich pohyb po městě apod. Tím mohou významně přispět ke snížení kriminality v monitorovaných oblastech.

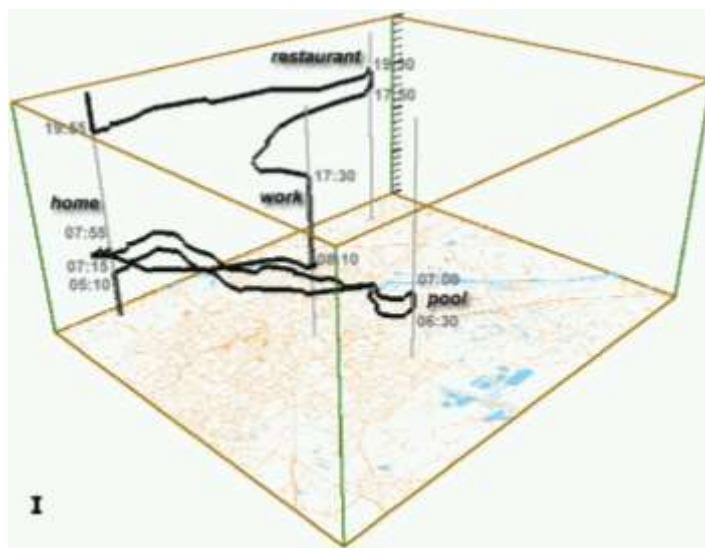
*Tyto systémy se však mohou i mýlit, jak ukazuje případ člověka, který byl takovým systémem vyhodnocen jako potenciálně nebezpečný na jednom letišti, a i když následná detailní osobní prohlídka podezření nepotvrdila, zůstává tento člověk registrovaný v systému a při příchodu na letiště je již automaticky brán na osobní prohlídku.*

Realizace takových systémů nepochybně povede ke zvýšení bezpečnosti obyvatel, ale chtěj nechtěj tyto kamerové systémy budou sledovat i ostatní obyvatele ...

*... člověk se stává objektem existujícím a pohybujícím se v prostoru i čase.*

### 1.4 Přijímače GNSS

Hodně lidí dnes běžně využívá přijímače GNSS např. v rámci svých turistických aktivit. Může se jednat například o turistické nebo cyklistické přijímače, nebo tzv. GNSS trackery, které jsou malé, často v podobě přívěšku na klíčkách a jsou schopné zaznamenávat prakticky každý krok majitele po celý den (s výjimkou situací, kde není zajištěna přímá viditelnost na oblohu, např. v budovách). S využitím záznamů z přijímače GNSS si můžeme vykreslit tzv. časoprostorovou krychli (angl. space time cube (Kraak 2003); Obr. 1), znázorňující trajektorii pohybu v prostoru i čase.

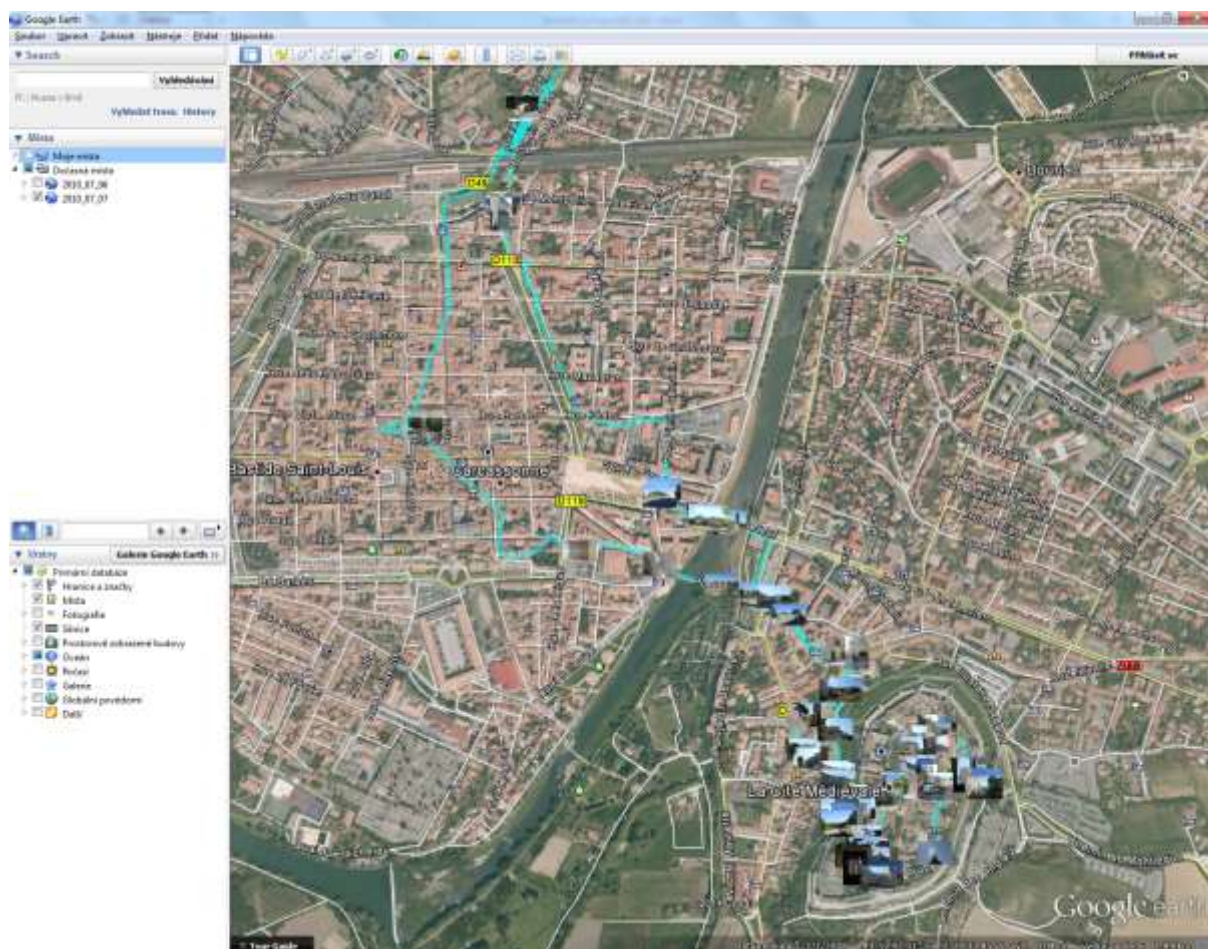


Obr. 1 Ukázka vizualizace pohybu v prostoru i čase s využitím časoprostorové krychle (převzato z (Kraak, 2003))

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Záznamy z těchto přijímačů je navíc možné propojovat s fotografiemi pořízenými digitálním fotoaparátem v době činnosti přijímače GNSS. Data z těchto zařízení je možné snadno zobrazit na mapě a propojit s fotografiemi, například prostřednictvím služby Google Maps (Obr. 2) ...

*... člověk se stává objektem existujícím a pohybujícím se v prostoru i čase.*



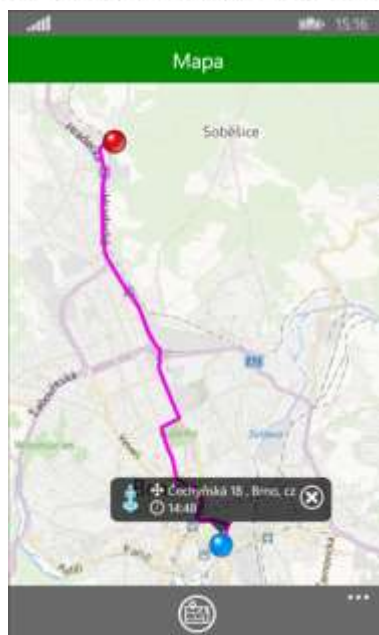
Obr. 2 Ukázka výstupu záznamu GNSS na Google Earth spolu s připojenými fotografiemi

### 1.5 Palubní navigační systémy v autech

Tyto systémy jsou založeny na přijímači GNSS a jsou často vybaveny i funkcí záznamu ujeté trasy. Dají se mimo jiné využít i jako Elektronická kniha jízd (Obr. 3). Platí o nich prakticky to samé, co platí pro přijímače GNSS ...

*... člověk se stává objektem existujícím a pohybujícím se v prostoru i čase.*

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 3 Elektronická kniha jízd

<http://www.windowsphone.com/cs-cz/store/app/autogps-logbook/5bc1fd99-357e-496d-8a1b-e6ad4e1218f3>

## 1.6 Internet

Všechna zařízení, která se připojují do Internetu, mají přidělenou unikátní adresu (tzv. IP adresu), která je registrovaná a co je pro nás podstatné, je i lokalizovatelná v prostoru (Obr. 4). Proto se například při spuštění služby Google Earth natočí zeměkoule k uživateli místem, ve kterém se právě nachází. Nebo se díky tomu zahraniční webová stránka automaticky přeměruje na českou verzi ...

*... člověk se stává objektem existujícím  
a pohybujícím se v prostoru i čase.*

## 1.7 Elektronické mýtné systémy

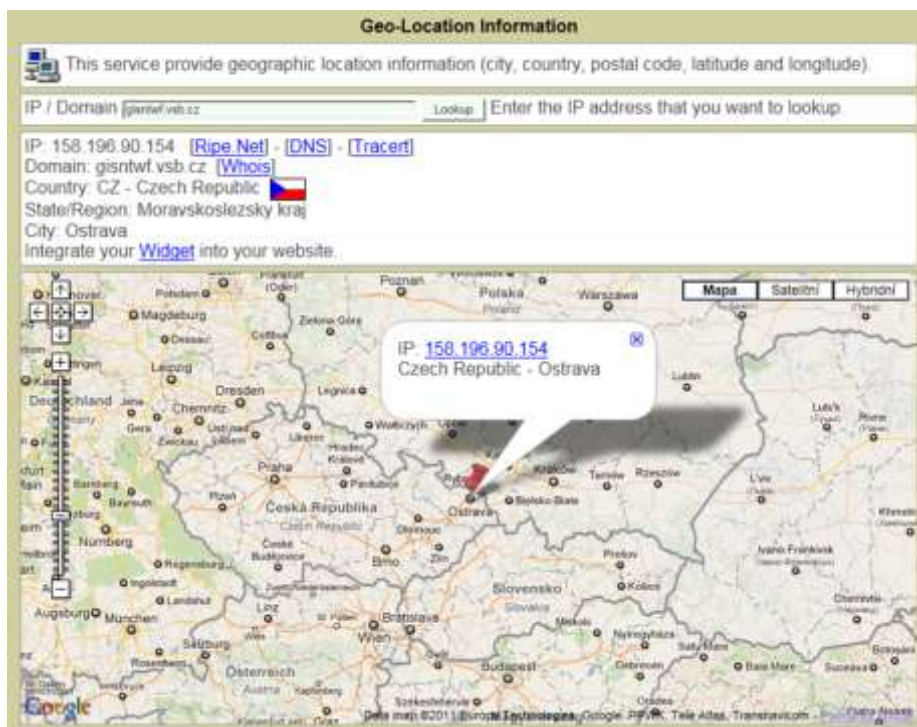
S rozvojem mýtných systémů se objevuje další technologie schopná sledovat naše chování v prostoru i čase na velice detailní úrovni. Dnes se běžně mluví o poplatcích z mýtného systému pro vozidla s hmotností nad 3,5 tuny. Používají se dva základní principy: sledování pohybu vozidel pomocí mýtných bran nebo sledování pomocí přijímačů GNSS. Druhý přístup je považován za perspektivnější, zvláště ve vazbě na budovaný evropský systém Galileo.

Zatímco v prvním případě je možné sledovat pouze pohyb vozidel na té části infrastruktury, která je vybavena mýtnými branami, v druhém případě je možné sledování prakticky kdekoliv. Je jen otázkou času, kdy se tento systém rozšíří na celé území České republiky a bude sledovat pohyb jakýchkoliv vozidel. Důvod pro zavedení bude jednak ekonomický (zvýšit příjmy Fondu dopravní infrastruktury) a jednak regulatorní: změnou tarifu dle denní doby bude možné regulovat chování obyvatel. Pokud budou poplatky za užití komunikace v době dopravní špičky



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

výrazně vyšší, než mimo špičku, bude řada obyvatel motivována k tomu, aby v době dopravní špičky omezila své jízdy.



Obr. 4 Lokalizace počítače na základě IP adresy (<http://www.netip.de/search?querv=gisntwf.vsb.cz>)

Co to znamená z našeho pohledu. Provozovatel mýtného systému bude měsíc sbírat detailní informace o pohybu našeho vozidla. Následně má např. 14 dní na vystavení faktury, občan dalších 14 dní na uhrazení nebo odvolání, provozovatel má 30 dní na reakci na odvolání ... suma sumárum, v systému budou po dobu minimálně 3 měsíců existovat velice detailní informace o pohybu daného vozidla.

Lze si představit, co by taková data mohla znamenat například pro marketingové společnosti. Jak by se například měnila cena za pronájem reklamní plochy u pozemní komunikace v závislosti na čase a množství vozidel, která se aktuálně po komunikaci pohybují.

... člověk se stává objektem existujícím a pohybujícím se v prostoru i čase.

## 1.8 A další systémy

Uvedli jsme si jen ty dnes nejběžnější systémy, ale mohou existovat i další a každopádně v blízké budoucnosti budou další technologie určitě vznikat. Cílem této kapitoly nebylo uvést kompletní výčet možností lokalizace osob a zařízení, spíš jen ukázat, že dnes je opravdu možné sledovat na velice detailní úrovni pohyb kohokoli a čehokoliv jak v prostoru, tak i v čase.



### INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

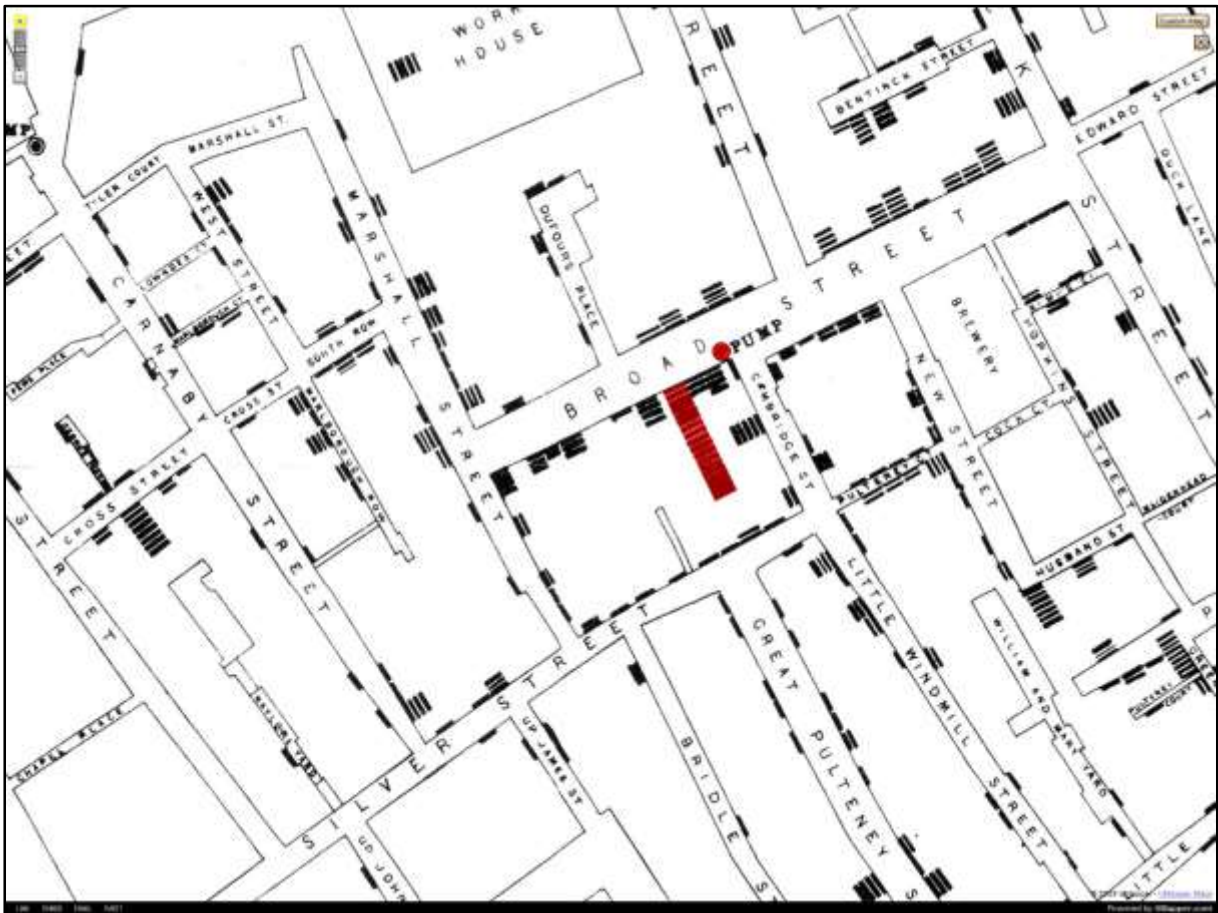
Již dnes vznikají nepředstavitelné objemy takovýchto dat a je proto zapotřebí mít k dispozici i efektivní technologie pro jejich ukládání, zpracování, analýzu i vizualizaci. Takové technologie a postupy nabízí právě geoinformatika.

## 2 Proč je prostor důležitý

Na úvod si uveďme jednu ukázkou z historie.

*Příklad na úvod: Uprostřed 19. století zažívalo oblast Soho v Londýně příliv obyvatel při neexistenci nezbytného kanalizačního systému. Jednotlivé domy měly žumpy, které však neměly dostatečnou kapacitu a začaly přetékat. V důsledku toho došlo ke kontaminaci zdrojů vody a vznikům epidemií cholery.*

*31. srpna 1854 vypukla velká epidemie cholery přímo v Soho. Celkem tehdy zemřelo 616 lidí. Lékař John Snow tehdy spojil výskyt cholery právě se znečištěnou pitnou vodou. Využil k tomu informace o bydlišti obětí. Vytvořil si jednoduchou mapu (Obr. 5), zaznamenávající místa výskytu nemocných a jednoduchou analýzou ukázal, že zdrojem nákazy je studna nacházející se na Broad Street (Steven 2006).*



Obr. 5 Výřez původní mapy Johna Snowa ukazuje shluky případů cholery ve čtvrti Soho v průběhu epidemie v roce 1854. Studna, která celou epidemii spustila, je umístěna na křižovatce Broad Street a Cambridge Street. Z mapy je patrné, jak si do ní značil počty úmrtí pomocí čárek u jednotlivých domů.

<http://www.umapper.com/maps/view/id/43438/>



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

*Doktor Snow provedl prostorovou analýzu – vzal v potaz skutečnost, že případy nákazy a úmrtí na cholera jsou svázány s místy v prostoru – adresami bydliště nakažených a umřelých lidí a dal ji do souvislosti se zdrojem pitné vody, nacházejícím se prakticky ve středu zasažené oblasti. Jeho prostorová analýza se stala milníkem v lékařství.*

Vše, co člověk dělá, vše co se děje v přírodě, vždy probíhá v určitém prostoru, prostorovém kontextu, daném topologií i metrikou daného prostoru, ale i dalšími přírodními a technickými faktory. Pokud chceme všechny tyto aktivity popsat, musíme si nejprve vytvořit popis prostoru, v němž probíhají – musíme nejprve získat *prostorová data*. Proč neřekneme pouze data? Proč považujeme za nezbytné explicitně uvést, že se jedná o data *prostorová*? Je to dáno zvláštní povahou těchto dat, vyplývající z povahy prostoru v něm se vyskytujících jevů, které popisují.

Pro vysvětlení této zvláštnosti si uveďme paralelu dvou informačních systémů: jeden bude zpracovávat vystavené faktury, druhý znečištění životního prostředí.

Nejprve se tedy podívejme na informační systém pro zpracování vystavených faktur. Pro každou fakturu můžeme ukládat celou řadu dat, například:

- číslo faktury,
- datum vystavení,
- datum splatnosti,
- datum uhrazení,
- uhrazená částka,
- identifikace plátce,
- apod.

Z těchto dat můžeme zjistit například počet vystavených faktur, vyhledat faktury uhrazené po datu splatnosti, faktury neuhrazené daným plátcem, průměrnou fakturovanou částku za určité období apod. Naopak nemá smysl se ptát, jaká je vzájemná závislost například mezi datem vystavení faktury a fakturovanou částkou, nebo zda lze nalézt nějaký systematický vztah mezi po sobě jdoucími fakturami. A je nezbytné poukázat ještě na jednu skutečnost: jednou uložená data o faktuře už se prakticky nemění (s výjimkou oprav chyb).

Výsledky relevantních dotazů se zobrazují nejčastěji v podobě tabulek. Podmínkou správné funkce informačního systému, tj. správnosti odpovědí, však je, že máme do informačního systému vloženy *všechny* vystavené faktury. Výsledky jsou pak poskytovány prakticky se 100% spolehlivostí.

V případě informačního systému o životním prostředí zpracováváme data získaná při měření znečištění půd těžkými kovy. Data získáváme chemickým rozbořem vzorků půd odebraných v náhodně zvolených místech sledovaného území. Pro každý vzorek je možné ukládat například následující data:



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- souřadnice místa odběru vzorku  $x$ ,
- souřadnice místa odběru vzorku  $y$ ,
- koncentrace olova,
- koncentrace zinku,
- apod.

Nejprve předpokládejme, že budeme tato data zpracovávat stejně jako v předešlém případě, tedy bez ohledu na jejich prostorovou povahu. Tzn., že souřadnice  $x$  a  $y$  budeme brát jen jako „dva další sloupceky v tabulce“. Z uložených dat si v takovém případě můžeme například vyhledat místo s největší nebo nejmenší koncentrací olova či zinku, a to je tak asi všechno. Jiné dotazy by byly buďto nesmyslné samy o sobě (například vypočítat si průměrnou hodnotu souřadnice  $x$ ), nebo by vracely nesmyslné hodnoty (například vypočítání průměrné koncentrace olova v půdách v celé oblasti). Při tomto přístupu z tabulky nezískáme například představu o rozložení koncentrací těžkých kovů v prostoru, což nás nejspíš bude zajímat. Navíc ani nejsme schopni odhadnout koncentraci znečišťujících látek v místech, v nichž nemáme odebraný vzorek.

Pokud ale budeme s těmito daty pracovat jako s *prostorovými*, tzn., že souřadnice  $x$  a  $y$  *nebudeme* brát jen jako „dva další sloupceky v tabulce“, ale jako polohy bodů v prostoru, otevírá se nám široká škála možností práce s daty. Jsme schopni vyhodnocovat závislosti změny koncentrací těžkých kovů na poloze, zjišťovat trendy vývoje znečištění v prostoru apod. A jsme schopni například i vykreslit mapu rozložení znečištění v celé oblasti. Z ní pak můžeme zjistit předpokládané znečištění prakticky v libovolném místě, bez ohledu na to, zda zde máme nebo nemáme odebraný vzorek půd. Nebo data propojit s jinou databází prostorových dat, například s mapou rozložení průmyslu v oblasti, a zjišťovat potenciální zdroje sledovaného znečištění. To vše ale nebude fungovat správně, pokud k prostorovým datům nepřidáme ještě něco navíc: *znalosti o povaze a chování studovaných prostorových jevů a znalosti prostorového kontextu.*

Neopomenutelnou vlastností prostorových dat je jejich zastarávání. Například hodnota znečištění v daném bodě není neměnná. Naopak se s časem vyvíjí: znečištění může narůstat díky pokračujícímu přísunu znečišťujících látek, nebo naopak klesat díky přirozené schopnosti prostředí odbourávat znečištění. Data je proto nezbytné sbírat opakovaně v určitých časových intervalech, jejichž délka by se měla odvíjet od očekávané rychlosti změn.

Dalším problémem je, že výsledné hodnoty nemůžeme považovat za 100% správné, protože pro celou řadu míst (dokonce jejich drtivou většinu) nemáme získána data, nýbrž hodnoty studovaného faktoru pouze *odhadujeme* z nejbližších známých hodnot. Je to něco, co si lidé běžně neuvědomují. Pro srovnání – zkusme si představit, že v předešlém případě, tj. v případě informačního systému o vystavených fakturách, budeme mít k dispozici třeba jen každou desátou fakturu, nebo jen náhodně vybraných sedmdesát pět faktur z tisíce a budeme mít za úkol nachystat výstupy, které dokonale popíší platební morálku plátců, umožní spočítat celkovou uhrazenou částku, vytipovat plátce, kteří se pravidelně opožďují s platbami apod. To



by asi moc dobře nefungovalo a podnik opírající se o takový informační systém by brzy zkrachoval.

V případě prostorových dat se však v takové situaci ocitáme pořád, naopak nejsme nikdy schopni dosáhnout 100% pokrytí zájmové oblasti prostorovými daty a i ta, která máme, nemusí být zcela aktuální. Není to možné z důvodů ekonomických, ale mnohdy ani technických.

*Ale přesto musíme na podkladě prostorových dat rozhodovat.*

## 2.1 Prostorové vztahy

Pomocí prostorových dat studujeme prostorové vztahy:

- metrické – vzdálenosti, velikosti, plochy,
- geometrické – úhly, tvary,
- topologické – co s čím sousedí, co je s čím propojeno apod.

Abychom mohli tyto vztahy studovat, musíme vědět, v jakém souřadnicovém systému jsou prostorová data pořízena, znát jeho parametry a vědět, jaké výpočty v něm lze provádět. Například vyhodnocovat úhly z geografických souřadnic aniž bychom si uvědomili, že musíme pracovat na povrchu koule, a tedy že musíme použít tzv. sférickou trigonometrii, nemůže vést ke správným výsledkům. Rovinné souřadnicové systémy jsou svázány s tzv. kartografickými zobrazeními (obecně jsou to matematické postupy jak zobrazit křivý zemský povrch na rovném listu papíru). Ta mohou zachovávat buďto tvary (resp. úhly), nebo délky (vzdálenosti), nebo plochy. Nikdy nezachovávají tyto tři charakteristiky současně.

## 2.2 Specifičnost prostorových dat z pohledu popisu prostoru

Představme si budovu skládající se z místností, v nichž jsou rozmístěna jednotlivá zařízení (stoly, židle, počítače ...), tvořící inventář. V informačním systému můžeme inventář popsat jednoduchou tabulkou, obsahující inventární číslo, název, cenu a název místnosti, v níž je daná položka inventáře umístěna. Z tabulky snadno zjistíme, kde se která položka inventáře nachází a které položky inventáře se nacházejí v dané místnosti, ale už se nedozvíme, kde přesně se daná místnost nachází a co bude znamenat přemístění položky inventáře (např. těžkého trezoru) mezi dvěma místnostmi.

Na druhou stranu můžeme mít vytvořený 3D model budovy se všemi místnostmi i položkami inventáře. Můžeme se tak kdykoliv kteroukoliv místnost zobrazit a podívat se, které položky inventáře se v ní nacházejí, případně si prohlédnout trasu přesunu trezoru mezi místnostmi a posoudit tak, jak bude jeho přesunutí náročné.

Tento 3D model budovy však již nebude reprezentován jednoduchou tabulkou, kterou je možné si kdykoliv snadno prohlédnout. Prostorová data popisující budovu ve 3D budou velice složitá, komplexní, složená z různých bodů, linií, polygonů i těles, náročná na pořízení, na sestavení do modelu, na údržbu i prohlížení.

### 2.3 Specifičnost prostorových informací z technického hlediska

Logley et al. (2011) uvádí řadu důvodů, proč je i z technického hlediska nezbytné považovat prostorová data za speciální typ dat (upraveno):

- prostorová data jsou multidimenzionální povahy – poloha čehokoliv je udávána běžně minimálně dvojicí souřadnic,
- mají velice komplexní povahu,
- jsou často značně objemná – viz Tab. 1,
- v prostředí počítače mohou být ukládána různými způsoby, přičemž zvolený způsob ukládání může zásadním způsobem ovlivnit rychlost práce s nimi,
- uložení prostorových dat často znamená nejen prostý zápis hodnot do jednoduché databáze, ale i odvození a uložení dalších prostorových dat, popisujících například vzájemné prostorové vztahy (tzv. topologii),
- vyžadují použití speciálních analytických postupů, zohledňujících jejich prostorovou povahu,
- jejich zpracování může být časově velice náročné,
- mohou být reprezentována v různých měřítkách (1 : 1 000 000 stejně jako 1 : 10 000),
- běžně jsou promítnuta do roviny, přestože popisují povrch Země, který je zakřivený a nerovný,
- při jejich vizualizaci je často nezbytné vyhledat v databázi a zpracovat velké objemy prostorových dat.

Tab. 1 Potenciální objemy databází GIS pro některé typické aplikace (objemy zaokrouhleny na nejbližší řády; převzato z (Logley et al. 2011))

Řád		Příklad
1 megabajt	1 000 000	Datová sada malého projektu
1 gigabajt	1 000 000 000	Síť ulic velkého města nebo malého státu
1 terabajt	1 000 000 000 000	Reliéf povrchu celé Země (souše), rozlišení 30x30 m
1 pentabajt	1 000 000 000 000 000	Družicový snímek povrchu celé Země, rozlišení 1x1 m
1 exabajt	1 000 000 000 000 000 000	Budoucí 3D reprezentace celé Země, rozlišení 10 m

### 2.4 Shrnutí

Člověk je zvyklý pohybovat se v prostoru, vnímat prostor, uvažovat o prostoru, proto má i přirozenou tendenci toto prostorové uvažování převést i do počítačového prostředí. Tento úkol však bohužel není zcela triviální, člověk na něm bude pracovat ještě dlouhou dobu, nicméně už dnes může mít (a už i má) k dispozici alespoň zjednodušené reprezentace prostoru v počítačovém prostředí. Uživatelé těchto reprezentací však musí také učinit důležitý krok – uvědomit si úskalí těchto zjednodušených reprezentací, pracovat s nimi adekvátně a nemít přehnaná očekávání jejich možností.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### 3 Příklady využití geoinformačních technologií

Nástup geoinformačních technologií do každodenního života společnosti s sebou přinesl vznik celé řady nových produktů, služeb a aplikací.

#### 3.1 Produkty

Mezi nejznámější produkty patří například:

- Navigace vozidel v reálném čase
- Nástroje pro sběr digitálních dat (GNSS apod.)
- Systémy pro precizní zemědělství
- Osobní navigační systémy pro nevidomé
- 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
- Systémy pro řízení dopravy
- Mobilní kancelář s připojeným notebookem, přijímačem GNSS a mobilním telefonem
- Monitorovací systémy pro signalizaci povodňových stavů a jiných živelných pohrom

O vybraných z nich se zmíníme podrobněji.

##### 3.1.1 Navigace vozidel v reálném čase

Palubní navigační systémy (Obr. 6) jsou dnes běžnou součástí aut všeho druhu. Jsou k dispozici nejen jako vestavěná zařízení, ale i jako zařízení přenosná, případně jsou k dispozici i programy pro navigaci v chytrých telefonech. Tyto navigace jsou nepochybně užitečné a hodně řidičům pomáhají, mají ale i své limity. Ty se objevují ze dvou důvodů:

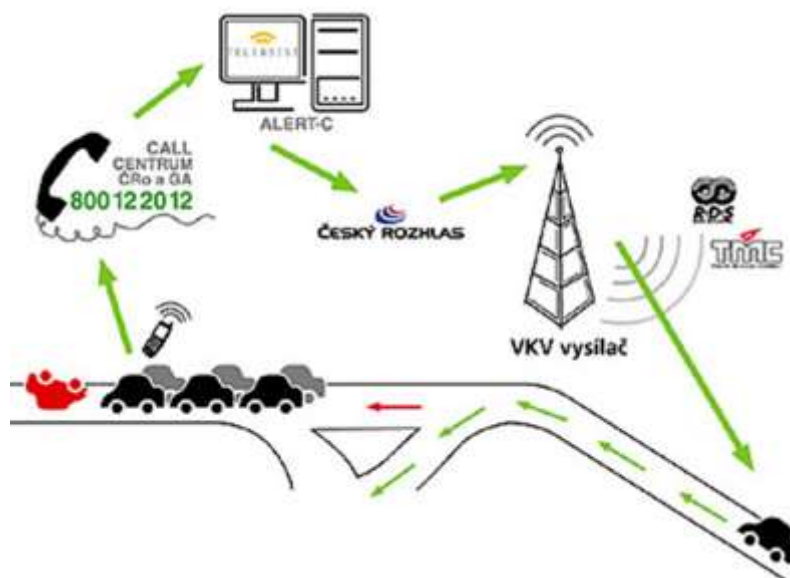
- Navigační mapy v zařízeních jsou velice bohaté na informace o silniční síti (obsahují veškeré informace nejen o průběhu silnice, ale i o dopravním značení, řazení na křižovatkách apod.). Tyto informace se ale ve světě průběžně mění, takže pokud mapy pravidelně neaktualizujeme, postupně zastarávají a navigace nás může vést třeba do protisměru v jednosměrné ulici apod.
- Doprava je dynamický proces, dochází k uzavírkám z důvodu oprav a rekonstrukcí, ke kolonám, kongescím apod. To jsou situace, které běžná navigace není schopná při návrhu trasy zohlednit a tak nás může navést do neprůjezdné oblasti. teprve až tam dorazíme, můžeme jí zadat vyhledání jiné trasy.

Oba případy jsou nepříjemné. První z nich se snaží výrobci vyřešit například tak, že se navigační mapa nestahuje přímo do zařízení, ale je umístěna na serveru, trasa se vyhledává na serveru a do navigace se přeneše výsledek hledání spolu s aktuální mapou podél vyhledané trasy. Podmínkou ale je trvalé připojení na Internet. Problémy prvního druhu se tím minimalizují, ale i tak je nelze odstranit úplně – aktualizace map na serveru bude vždy pokulhávat o minimálně o několik týdnů, ale spíše měsíců za reálným stavem.



Obr. 6 Ukázka navigace (<http://gps-navigace.heureka.cz/tomtom-xl-2-iq-routes-europe/galerie/>)

Druhý případ se snaží vyřešit tzv. *dynamická navigace*. V tomto případě je navigační systém podporován speciální infrastrukturou, která sbírá informace o aktuálním stavu dopravy, přenáší informace o dopravních komplikacích do palubní navigace a ta dynamicky přepřelánovává trasu jízdy tak, aby se těmto komplikacím vyhnula, a to i za cenu o něco delší trasy. Této infrastruktuře se říká RDS-TMC a její koncept je znázorněn na Obr. 7.



Obr. 7 Princip dynamické navigace ([http://www.rds-tmc.cz/cz/global\\_assistance.html](http://www.rds-tmc.cz/cz/global_assistance.html))

### 3.1.2 Nástroje pro sběr digitálních dat (GNSS apod.)

Miniaturizace elektronických zařízení se promítla i do oblasti sběru digitálních dat. Většinou se jedná o kombinaci přijímače GNSS a malého počítače vybaveného vhodným programovým vybavením a případně i digitální mapou mapované oblasti. Nejmenší zařízení jsou zpravidla

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

integrována do jednolitého zařízení, odolného povětrnostním vlivům a schopného přečkat trochu hrubější zacházení. Běžně se vejdou do ruky. Jsou to zpravidla levnější a méně přesná zařízení, sloužící pro potřeby mapování s přesností v řádu horních decimetrů (Obr. 8).



Obr. 8 Ruční přijímač GNSS pro mapování (<http://www.trimble.com/mappingGIS/geo-7-series.aspx>)

Větší zařízení zpravidla obsahují samostatný přijímač GNSS poskytující možnost přesnějšího měření (s přesností až na centimetry) doplněný tabletem pro ovládání přijímače a sběr dat v terénu (Obr. 9). Sestava může být ještě doplněna ležrovým dálkoměrem pro zaměřování vzdálených bodů.



Obr. 9 Přenosný přijímač GNSS s tabletem pro mapování v terénu ([http://www.gaugesandgadgets.com/GRX2 Sokkia RTK Network Rover Kit GNSS GPS Surveying Construction GIS System Carlson Supervisor Tablet PC SurvCE Collector-8-75-288.html](http://www.gaugesandgadgets.com/GRX2_Sokkia_RTK_Network_Rover_Kit_GNSS_GPS_Surveying_Construction_GIS_System_Carlson_Supervisor_Tablet_PC_SurvCE_Collector-8-75-288.html))



### 3.1.3 Systémy pro precizní zemědělství

V současné době existují systémy pro zemědělce, které například umožňují průběžně vyhodnocovat množství sklizené plodiny kombajnem. Z těchto dat je možné vytvořit mapu úrodnosti polí a použít ji například pro dynamické dávkování hnojiv při následném obdělávání půdy (Obr. 10).



Obr. 10 Systémy pro precizní zemědělství

[http://web2.mendelu.cz/af\\_217\\_multitext/ke\\_stazeni/produkce/Precizni%20zemedelstvi.pdf](http://web2.mendelu.cz/af_217_multitext/ke_stazeni/produkce/Precizni%20zemedelstvi.pdf)

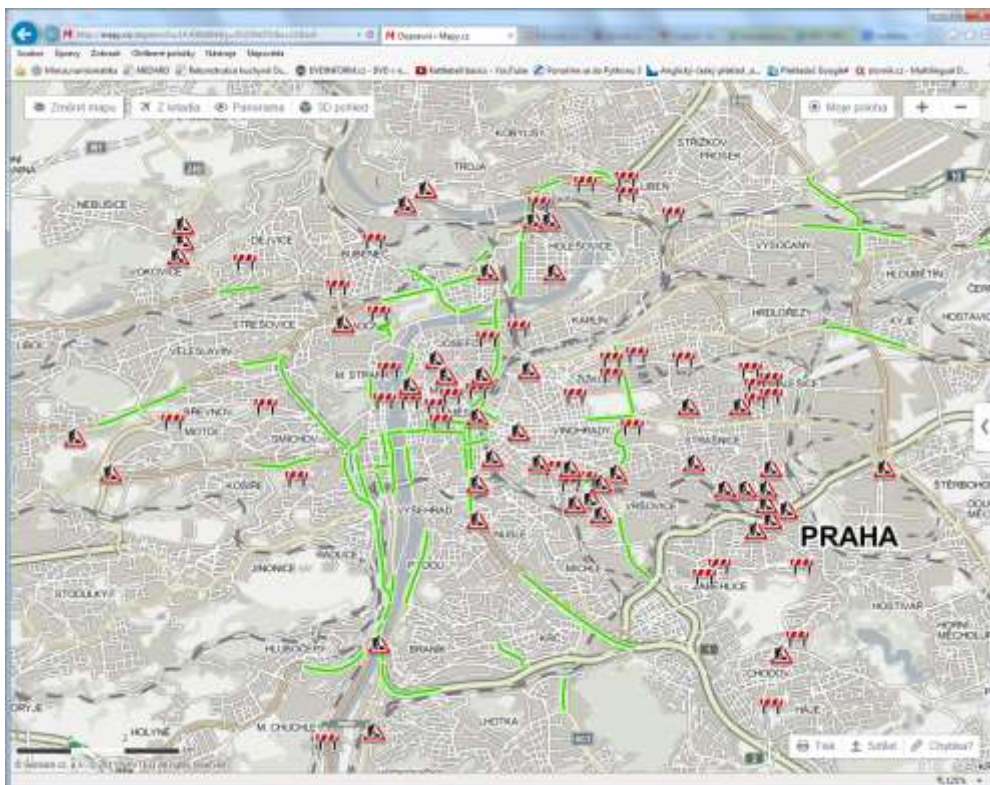
### 3.1.4 Systémy pro řízení dopravy

Silniční doprava je prostorový proces – probíhá v prostoru. Dnes existuje celá řada systémů pro monitorování dopravy, počínaje kamerovými, přes různé systémy snímačů umístěných na silniční infrastruktuře (indukční smyčky, radary, inteligentní kamery apod.) až po možnost sledování pohybu určitého množství tzv. *plovoucích aut*. Jsou to auta vybavená přijímačem GPS průběžně sledujícím jejich polohu a rychlost pohybu a dále modemem GSM přenášejícím aktuální data do centra. Ze všech těchto dat je možné vyhodnocovat aktuální dopravní situaci, případně i dopravu vhodným způsobem usměrňovat. Jedním ze subjektů, zabývajících se takovou činností, je Národní dopravní informační centrum v Ostravě (Obr. 11). Jeho výstupy slouží mimo jiné i pro službu RDS-TMC, ale jsou vizualizované i prostřednictvím různých mapových portálů (Obr. 12).

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 11 Národní dopravní informační centrum (NDIC) Ostrava  
(<http://www.dopravniinfo.cz/narodni-dopravni-informacni-centrum>)

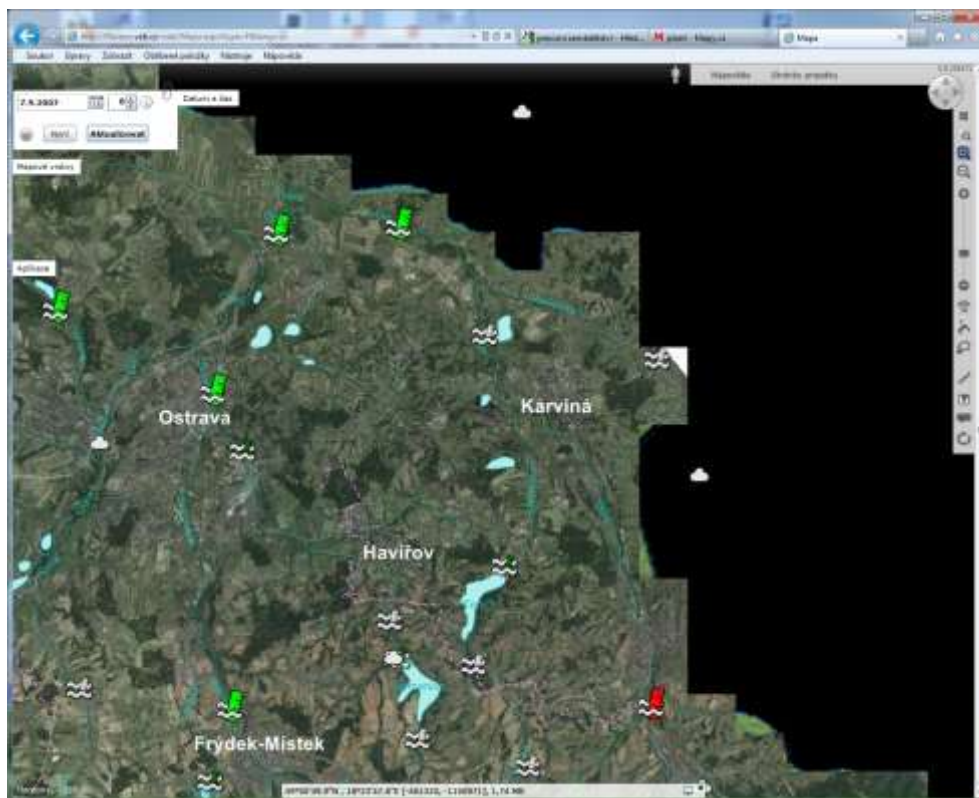


Obr. 12 Ukázka výstupu informací NDIC na portálu Mapy.cz (<http://mapy.cz>)



### 3.1.5 Monitorovací systémy pro signalizaci živelných pohrom

Stát provozuje celou řadu služeb, jejich cílem je monitorovat přírodní prostředí v České republice a případně upozorňovat na možné krizové situace. Patří k nim například Český hydrometeorologický ústav a dále správci jednotlivých povodí. Tyto subjekty sbírají data o aktuálních srážkách a úrovních hladin na jednotlivých tocích a na podkladě těchto dat pak vydávají v případě potřeby výstrahy, upozorňující na možný výskyt například přívalových srážek nebo povodní. Na Obr. 13 je ukázka výstupu nadstavbového systému, který je vyvíjen na VŠB-TU Ostrava. Jedná se o systém Floreon+, který přijímá aktuální data z ČHMÚ a správce Povodí Odry a z těchto dat se snaží predikovat až na 72 hodin dopředu možnost vzniku povodní. Tyto informace jsou neveřejné a jsou k dispozici Hasičskému záchrannému sboru Moravskoslezského kraje jako podklad pro jejich rozhodování. Na Obr. 20 je ukázka výstupu 3D vizualizace potenciálního záplavového jezera.



Obr. 13 Systém FLOREON+ (<http://floreon.vsb.cz/base/>)

## 3.2 Služby a aplikace

Příkladem služeb a aplikací založených na geoinformačních technologiích mohou být:

- Analýza v prostoru rozmístěných zařízení, investic a zákazníků v bankovníctví, pojišťovnictví a obchodě
- Marketing a zjišťování profilu zákazníků
- Optimalizace a řízení záchranných služeb





evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- Analýza rozložení kriminality
- Monitorování intenzity dopravy a stanovování poplatků za užití komunikací na základě hustoty dopravy
- Modelování přírodních katastrof a jejich následků v reálném čase – svahových sesuvů, erupcí, zemětřesení, záplav, lesních požárů, hurikánů.
- Využívání přírodních zdrojů ohleduplné k životnímu prostředí
- Turismus - optimalizace a rozmístování zdrojů
- Analýzy v oblasti zdraví



Obr. 14 Integrované bezpečnostní centrum – IBC Ostrava  
(<http://www.hzsmsk.cz/index.php?ID=2501>)

### 3.2.1 Analýza v prostoru rozmístěných zařízení, investic a zákazníků v bankovníctví, pojišťovnictví a obchodě

Zde lze uvést jako příklad povodňové mapy, které si nechaly vypracovat pojišťovny v České republice v reakci na katastrofální povodně v letech 1997 a 2002. Na tyto mapy je možné se podívat na adrese <http://www.cap.cz/kalkulacky-a-aplikace/povodnove-mapy>. Podle potenciální hrozby povodně je území ČR rozděleno do několika kategorií, od těch nejohroženějších až po oblasti bez rizika. V nejohroženějších oblastech pojišťovny odmítají riziko povodně pojistit, v méně ohrožený je pojištění možné, ale s příplatkem odvíjejícím se od míry rizika.

### 3.2.2 Optimalizace a řízení záchranných služeb

V Ostravě vybudoval Hasičský záchranný sbor MSK Integrované bezpečnostní centrum (Obr. 14), kde jsou v jednom společném prostoru (Obr. 15) soustředěny základní složky

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Integrovaného záchranné systému ČR: Hasičský záchranný sbor ČR, zdravotnická záchranná služba, Policie ČR a také Městská policie. Na Obr. 16 je ukázka dispečerského pracoviště Hasičského záchranného sboru. Uprostřed je vidět obrazovka s geografickým informačním systém Moravskoslezského kraje, který tvoří páteř celého Integrovaného bezpečnostního systému.



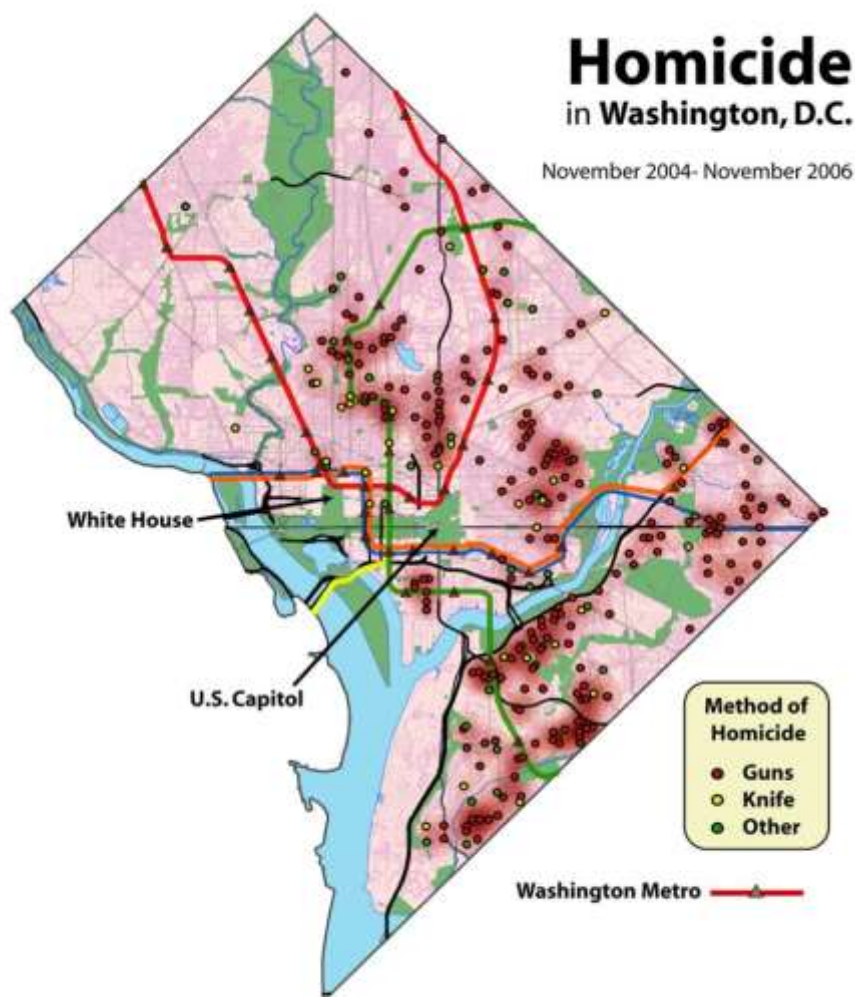
Obr. 15 Celkový pohled na dispečerský sál IBC Moravskoslezského kraje (<http://www.hzmsk.cz/index.php?ID=2501>)



Obr. 16 Obr. Dispečeri hasičského záchranného sboru - příjem tísňových volání 112 a 150 (<http://www.hzmsk.cz/index.php?ID=2501>)

### 3.2.3 Analýza rozložení kriminality

Ve světě se běžně provádějí prostorové analýzy rozložení kriminality (Obr. 17) a studují se možné souvislosti mezi koncentrací kriminálních činů a výskytem rizikových faktorů v území (sociální situace obyvatelstva, výskyt rizikových zařízení, například nočních klubů a heren apod.). Na základ toho je pak možné navrhnout vhodná opatření, která by snížila počet kriminálních činů v dané lokalitě. Jiným výstupem analýzy může být identifikace určitých periodických vzorů v opakování výskytu určitého typu kriminálních činů. Před časem proběhla tiskem zpráva, že v jednom městě ve Spojených státech amerických dostávají policisté každý den při nástupu do služby mapku se zakreslenými rizikovými místy na daný den a upozornění na potenciální druh kriminality, která by se v těchto lokalitách mohla v průběhu jejich služby vyskytnout.



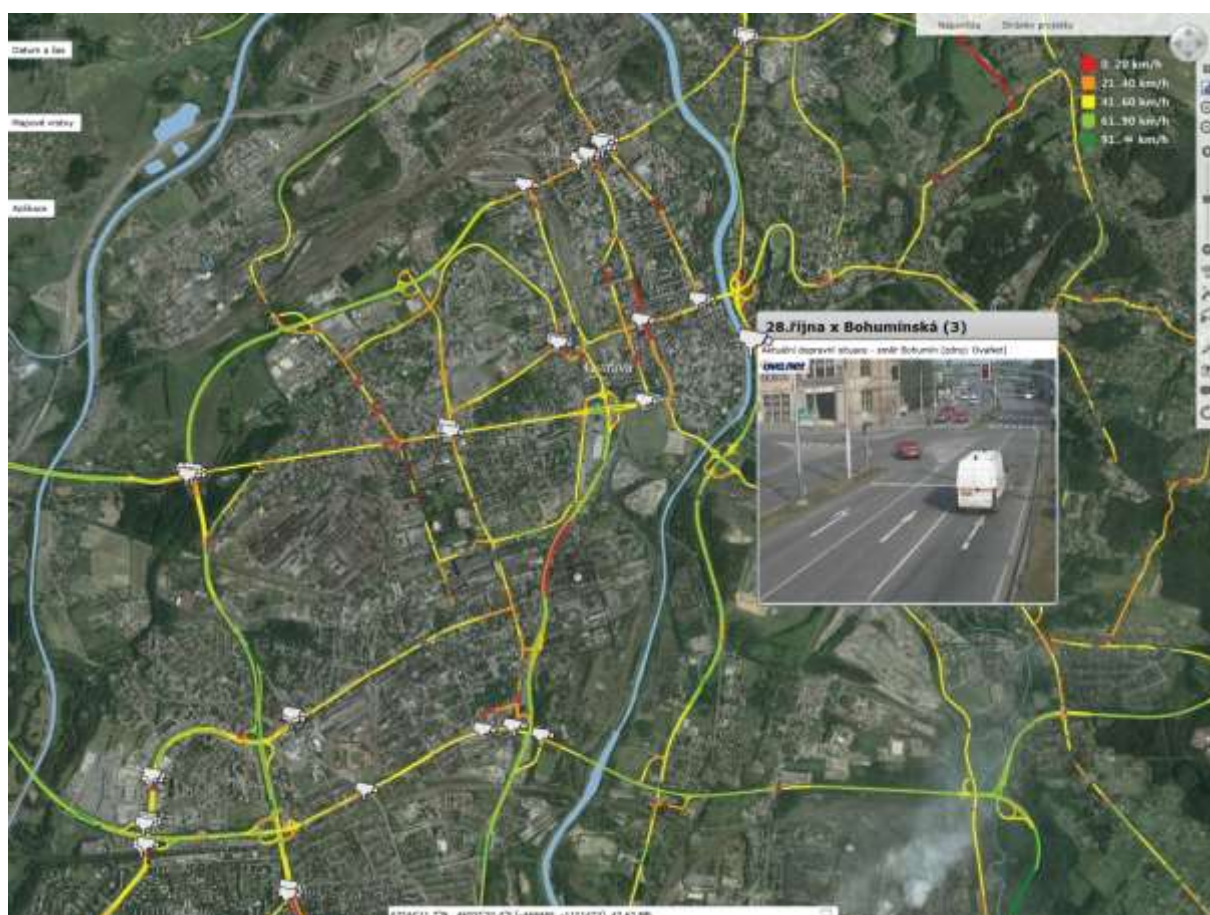
Obr. 17 Analýza rozložení vražd ve městě Washington za listopad 2004 až listopad 2006  
<http://en.wikipedia.org/wiki/File:DChomicides.jpg>



### 3.2.4 Monitorování intenzity dopravy a stanovování poplatků za užití komunikací na základě hustoty dopravy

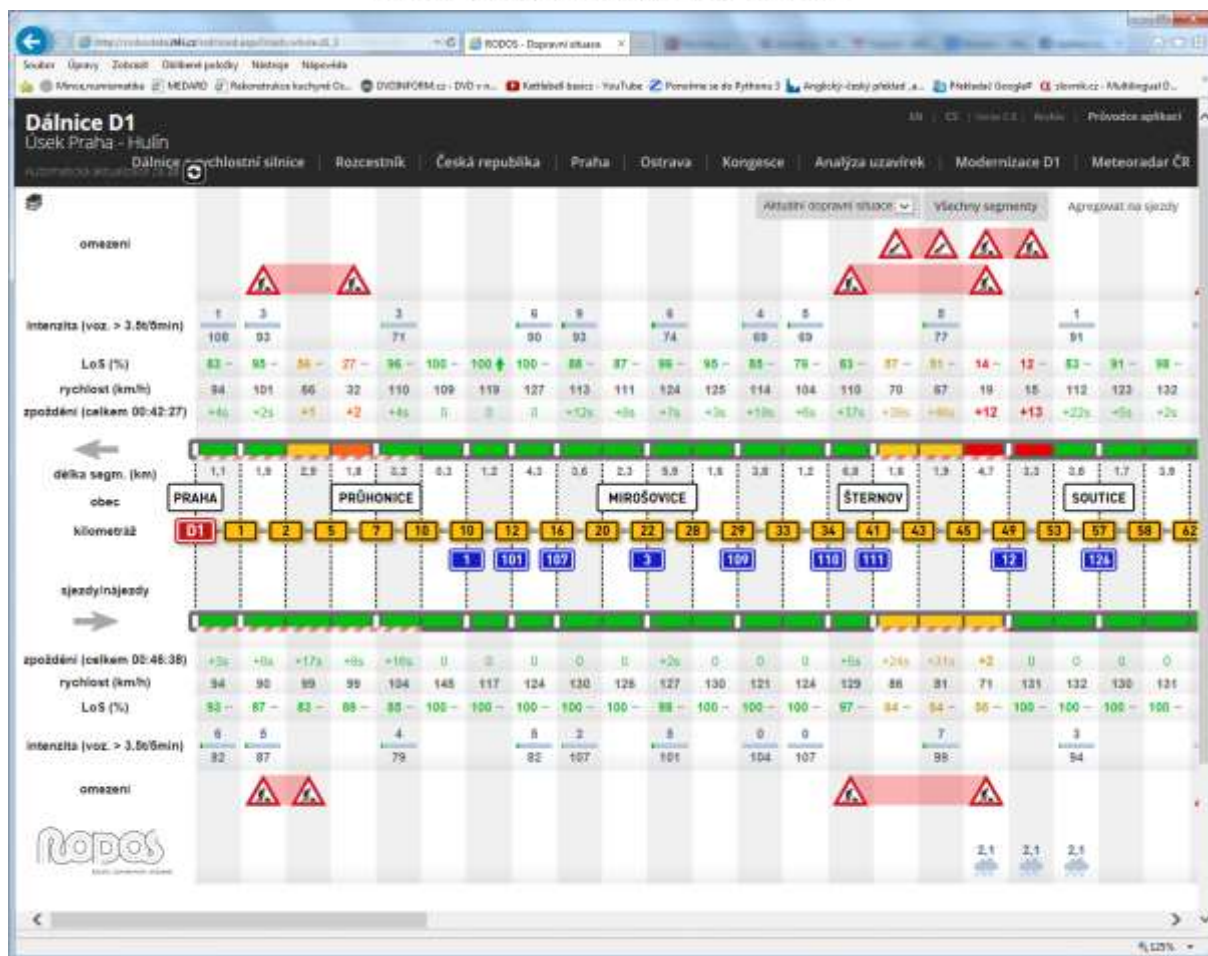
Výše jsme se zmiňovali o Národním dopravním informačním Centrem v Ostravě, které se zabývá sledováním a případně ovlivňováním dopravy na hlavních tazích v ČR. Vedle toho se rozvíjí celá řada dalších systémů, které provádějí monitorování dopravy a případně i její ovlivňování na mnohem detailnější úrovni, nejčastěji v určitých oblastech. Na Obr. 18 je ukázka výstupu již dříve zmiňovaného systému Floreon+, tentokrát zaměřeného právě na monitorování dopravy pomocí plovoucích aut.

Jinou iniciativou, zaměřenou na tentokrát na monitorování a modelování dopravy v rámci celé ČR, je projekt RODOS – Rozvoj dopravních systémů (<http://www.centrum-rodos.cz/>). Jedním z prvních výstupů je aplikace via RODOS, monitorující aktuální dopravní situaci na dálnicích a silnicích první třídy (Obr. 19).



Obr. 18 Ukázka monitorování rychlosti dopravy pomocí plovoucích aut v systému Floreon+ (<http://www.studujvostrave.cz/vyzkumne-projekty/>)

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 19 Výstup projektu RODOS – aplikace viaRODOS (<http://rodosdata.it4i.cz/rsd>)

### 3.2.5 Modelování přírodních katastrof a jejich následků v reálném čase – svahových sesuvů, erupcí, zemětřesení, záplav, lesních požárů, hurikánů.

Vedle monitorování aktuálního stavu přírodního prostředí se objevují i aplikace zaměřené na modelování, simulaci a predikci vývoje krizových situací, jako jsou povodně, sesuvy půdy, lesní požáry, výbuchy apod. Na obr. Obr. 20 je ukázka výstupu ze systému Floreon+, který na základě monitorování aktuálního stavu srážek a hladin vody v řekách na území Moravskoslezského kraje a na základě výstupů modelu Aladin (predikce srážek na příštích 72 hodin) predikuje vývoj hladin řek v MSK a v případě hrozících povodní modeluje i předpokládaný rozsah zaplaveného území. Obdobných systémů ve světě existuje celá řada. Vzhledem k proměnlivosti přírodních podmínek jsou vždy vázány na konkrétní lokality, nejsou přenositelné jinač. Zaměřují se na ta krizové situace, které se v daném regionu vyskytují nejčastěji. Existují tak systémy zaměřené na především na povodně, nebo lesní požáry, zemětřesení, větrné bouře apod.

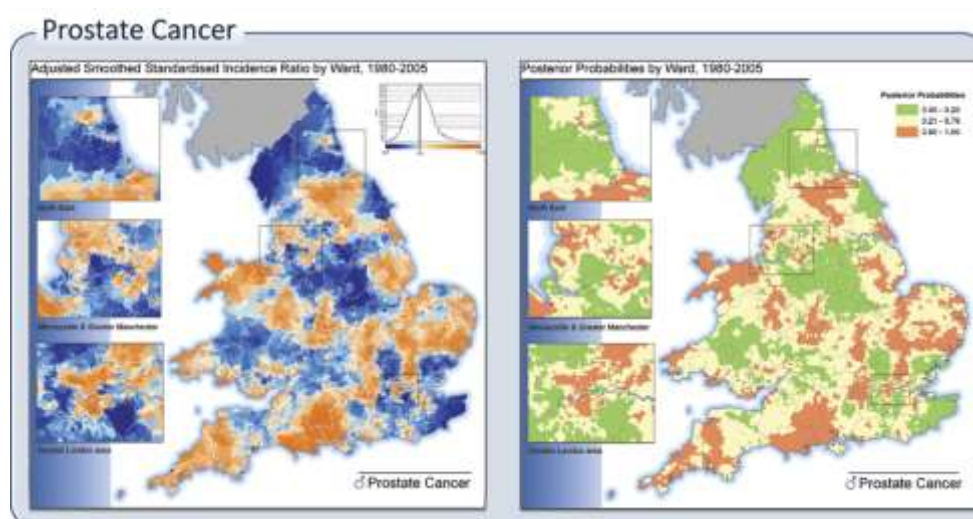




Obr. 20 Ukázka jednoho z výstupů systému Floreon+: 3D pohled na simulovaná záplavová jezera (<http://www.it4i.cz/vedy-o-zemi/case-study/>)

### 3.2.6 Analýzy v oblasti zdraví

Již v úvodu učebního textu jsme si uváděli příklad využití prostorové analýzy pro identifikaci zdroje nákazy při epidemii cholery v londýnském Soho v půlce osmnáctého století. Už tam jsme konstatovali, že tato událost výrazně ovlivnila přístup lékařů a epidemiologů k práci s daty o výskytu nemocí. V současné je zpracovávání takovýchto dat v prostředí geoinformačních systémů v podstatě samozřejmostí. Na Obr. 21 je jako příklad uveden ukázka analýzy výskytu rakoviny prostaty v Anglii a Walesu.



Obr. 21 Analýza výskytu zhoubného nádoru prostaty v Anglii a Walesu ([http://www.esri.com/mapmuseum/mapbook\\_gallery/volume26/health-and-human-services/health-and-human-services-1.html](http://www.esri.com/mapmuseum/mapbook_gallery/volume26/health-and-human-services/health-and-human-services-1.html))



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## 4 Reálný svět a jeho poznávání. Modelový svět

Lidé žijí v konkrétním prostředí, které je obklopuje a které svým uspořádáním a svými vlastnostmi do značné míry předurčuje způsob jejich života. Například jinak žijí lidé v Grónsku a jinak v Africe. Působení je ale vzájemné – i člověk více či méně na toto prostředí působí, mění (modifikuje) jeho složky, ovlivňuje jeho vývoj. Například těží nerostné suroviny, staví města, znečišťuje prostředí.

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. Namátkou můžeme jmenovat geografii, geodézii, kartografii, geologii, geoinformatiku. Důvodem jejich vzniku byla (a stále je) snaha co nejlépe porozumět objektům, jevům a událostem 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 tohoto textu budeme reálný svět považovat za poznatelný jen částečně. Úplné poznání reálného světa je technicky, ale i ekonomicky neproveditelné.

*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 geoinformatické omezuje zpravidla jen na tu jeho část, v níž aktivně žijeme, kterou využíváme k uspokojení svých potřeb, kterou spravujeme a kterou různým způsobem ovlivňujeme.

Nicméně nic nám nebrání poznatky geoinformatiky a na nich založené geoinformační technologie používat v mnohem širším kontextu. Dnes se rozvíjejí aplikace geoinformačních technologií například pro Mars (vytváří se geografický informační systém, shrnující všechny doposud získané údaje o něm (např. viz <http://earth.google.com>); zpracovává se koncept marsovského družicového navigačního systému; běžně se provádí systematický dálkový průzkum Marsu prostřednictvím umělých družic Marsu – viz projekty jako Mars Global Surveyor ([http://cs.wikipedia.org/wiki/Mars\\_Global\\_Surveyor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Mars_Global_Surveyor)), Mars Odyssey ([http://cs.wikipedia.org/wiki/Mars\\_Odyssey](http://cs.wikipedia.org/wiki/Mars_Odyssey)), Mars Express ([http://cs.wikipedia.org/wiki/Mars\\_Express](http://cs.wikipedia.org/wiki/Mars_Express)), Mars Reconnaissance Orbiter ([http://cs.wikipedia.org/wiki/Mars\\_Reconnaissance\\_Orbiter](http://cs.wikipedia.org/wiki/Mars_Reconnaissance_Orbiter))). Obdobné systémy se realizují například i pro Měsíc a další tělesa sluneční soustavy.

### 4.1 Co můžeme v reálném světě pozorovat

V reálném světě obecně můžeme pozorovat jevy v širším slova smyslu – *jevy s.l.* Ty můžeme klasifikovat do čtyř kategorií:

- věci

- vlastnosti
- události
- změny.

**Věci:** V reálném světě se běžně bavíme o stolech, židlích, autech, počítačích, řekách, horách atd., zkrátka o věcech, které používáme, vytváříme, manipulujeme, a to ať už jsou původu přírodního nebo umělého. Těmto věcem budeme běžně říkat *objekty*.

**Vlastnosti:** Vedle věcí pozorujeme i různé vlastnosti reálného světa, u kterých umíme měřit jejich hodnoty v daných místech (např. teplota nebo tlak vzduchu na meteorologické stanici nebo za oknem našeho bytu), případně je i aktivně ovlivňovat. Těmto vlastnostem budeme běžně říkat jevy v užším slova smyslu – *jevy s. s.*, dále jen *jevy*.

**Události:** Reálný svět se průběžně mění, vyvíjí. V průběhu tohoto vývoje docházím k různým příhodám, nehodám nebo náhodám, jako je setkání životní partnerky, východ slunce, západ slunce, povodeň, úder blesku, dopravní nehoda, náhodné objevení třeba historického artefaktu apod. Zpravidla se jedná o příhody, které chceme z nějakých důvodů zaznamenat. Všem těmto příhodám, nehodám nebo náhodám budeme říkat jednotně *události*.

**Změny:** Objekty a jevy reálného světa se průběžně mění, vyvíjejí a dochází i k různým událostem. To vše je výsledkem určitých akcí nebo činností probíhajících v reálném světě. Těm budeme dále souhrnně říkat *procesy*.

## 4.2 Náhledy na reálný svět

S ohledem na to, co můžeme v reálném světě pozorovat, se na reálný svět můžeme dívat různými způsoby:

- reálný svět může být vnímán jako prostor, v němž se nachází množina diskrétních *objektů reálného světa* rozložených v prostoru, popsaných hodnotami jejich vlastností (tzv. *objektový náhled*),
- reálný svět může být vnímán jako prostor, v němž existuje množina *jevů* popisujících rozložení hodnot vlastností reálného světa v prostoru (tzv. *jevový náhled*),
- reálný svět může být vnímán jako prostor, v němž dochází k *událostem* popisujícím změny uspořádání a vlastností reálného světa, které jsou prostorově i časově ohraničené (tzv. *událostní náhled*),
- reálný svět může být vnímán i jako prostor, v němž probíhá a který utváří množina *procesů* (tzv. *procesní náhled*).

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





evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

#### 4.2.1 Objektový náhled

V rámci objektového náhledu reálný svět popisujeme prostřednictvím tzv. *objektů*. Pojem *objekt* (angl. object) je na nejobecnější úrovni definován ve filozofii. Zde se nejčastěji uvádí definice (Merriam 2014):

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

V (Wikipedia 2014) 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), který budeme definovat takto (Rapant 2006):

*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 (Laurini, Thompson 1994)):

$[o, a, s, r, f, t]$

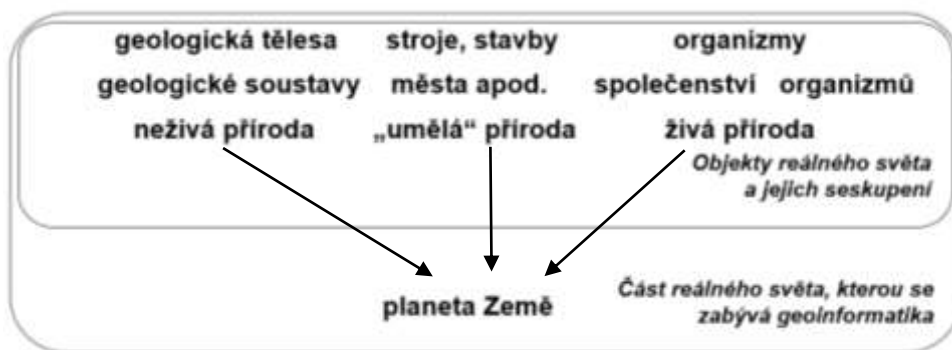
kde  $o$  reprezentuje daný objekt,  $a$  reprezentuje sadu neprostorových vlastností (atributů) popisujících objekt,  $s$  reprezentuje sadu prostorových vlastností objektu,  $r$  reprezentuje vztahy, do nichž objekt vstupuje,  $f$  reprezentuje akce (činnosti), které lze s objektem provádět a  $t$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

Z pohledu objektového náhledu má reálný svět 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. 22). Z pohledu geoinformatiky nás ale bude zajímat jen určitý výsek této hierarchické struktury, začínající *objekty reálného světa* (na nejnižší hierarchické úrovni) a končící planetou Zemí a jejím bezprostředním okolím (na nejvyšší hierarchické úrovni; Obr. 23). Takto vymezený výsek hierarchie popisuje tu část reálného světa, v níž se člověk v současné době běžně (nebo i méně běžně) pohybuje (Rapant 2006).

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 22 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. (Rapant 2006)



Obr. 23 Výsek hierarchie z Obr. 22, který je předmětem zájmu geoinformatiky (Rapant 2006)

Reálný svět se 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 můžeme dělit na *fyzické* a *abstraktní*. Příkladem fyzického objektu reálného světa může být řeka Odra, Dům umění v Ostravě, pohoří Beskydy, 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, člověk si je vytváří uměle (Rapant 2006).



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Na základě shodných vlastností mohou být objekty reálného světa sdružovány do tzv. *tříd objektů reálného světa* (upraveno podle (Rapant 2006)):

*Třída objektů reálného světa je tvořena skupinou objektů reálného světa se společnými vlastnostmi.*

Příkladem může být třída listnatý strom. Do této třídy patří všechny objekty reálného světa, představované listnatými stromy, tj. všechny lípy, javory, kaštany ... Jejich společnými 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.*

*Naopak například na úrovni rozlišení uliční sítě již můžeme město vnímat jako agregaci jednodušších objektů, jako jsou dříve zmíněné budovy, chodníky apod.*

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. 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 popsán konkrétními hodnotami těchto vlastností, např.:*

- 125/92,
- lípa obecná,
- 100,
- 150,
- 120,
- 25,
- 15.

#### 4.2.2 Jevový náhled

Pojem *jev* (angl. phenomenon) můžeme definovat na nejobecnější úrovni (ve filosofii) například takto (Enciklopaedia 2014):

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

Z pohledu tohoto textu si však význam pojmu *jev* poněkud omezíme (upraveno podle (Rapant 2006)):

*Jev reálného světa je jakákoliv odlišitelná, vymežitelná (prostorově i časově) a jednoznačně identifikovatelná vlastnost reálného světa, jejíž hodnoty jsou definovány zpravidla v každém bodě studovaného prostoru a případně i časového intervalu<sup>1</sup>.*

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, zpravidla přiřazenu *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 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 pěticí (upraveno podle (Laurini, Thompson 1994)):

<sup>1</sup> Konkrétním případem *jevu* v našem pojetí je fyzikální pole, které přiřazuje každému místu v prostoru *kvantitativní* 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).

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

kde  $p$  reprezentuje vlastnost prostoru,  $b$  reprezentuje prostorové vymezení oblasti, v níž jev studujeme (*hranici oblasti*; angl. boundary) a  $t$  reprezentuje čas. Množina  $\{v, (x, y, z)\}$  reprezentuje uspořádané dvojice hodnota-poloha, popisující rozložení hodnot vlastnosti v prostoru, kde  $v$  reprezentuje konkrétní hodnotu vlastnosti a  $(x, y, z)$  reprezentuje polohu v prostoru, k níž se tato hodnota vztahuje.

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

Jevy reálného světa můžeme dělit podle různých kritérií (Rapant 2006).

Nejjednodušší je dělení jevů dle povahy hodnotové domény vlastností na:

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

Jiným kritériem může být spojitost prostoru, resp. hodnotové domény, na:

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

Další dělení se může odvíjet od proměnlivosti v čase na:

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

#### 4.2.3 Událostní náhled

Zatímco při studiu objektů a jevů můžeme zanedbat čas a považovat je tady za čistě prostorové (statické), v případě *události* (angl. event) je zahrnutí času do našich úvah nezbytné. Vyplyvá to už ze samotné definice události. Podívejme se na některou z obecných definic:

*Událost je něco, co se vyskytuje na určitém místě v průběhu určitého časového intervalu.*

(<http://dictionary.reference.com/browse/event>)

nebo

*Událost je základní entita pozorované fyzikální reality, reprezentovaná bodem určeným třemi souřadnicemi místa a jednou souřadnicí času v časoprostorovém kontinuu, postulovaná teorií relativity.*

(<http://www.merriam-webster.com/dictionary/event>)





evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tyto dvě definice se liší v jedné zásadní věci: zatímco první připouští, že událost má rozměr, tj. zaujímá určitý prostor a čas, druhá pojímá událost jako bezrozměrnou. Druhá definice je úzce svázána s teorií relativity. Z našeho pohledu je vhodnější definice první, kterou si mírně modifikujeme do tvaru:

*Událost je něco, co se stane v přesně vymezeném prostoru i čase.*

V této definici je důležité slovo „stane“. Znamená to, že událost se svojí povahou liší od objektu: objekt *zaujímá* určitý prostor, událost se v určitém prostoru *vyskytne* (angl. *occure*).

Prostorově se může událost vztahovat k bodu – například výbuch nálože, k linii – například znečištění řeky, nebo k ploše – například povodeň. Z časového pohledu může být mžiková (třeba výstřel), nebo může trvat určitou dobu (například povodeň: dnes běžně hovoříme o povodni na Moravě v roce 1997 a bereme ji jako jednorázovou, prakticky mžikovou. Ve skutečnosti ale probíhala skoro čtrnáct dní – 5.-16.7.1997).

### 4.2.4 Procesní náhled

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

Termín *proces* (angl. *process*) je na nejobecnější (tedy filozofické) úrovni definován takto (Merriam 2014):

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

Anebo (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 (Wikipedia 2014) (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 (upraveno podle (Rapant 2006)):



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

*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 a generující události.*

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.

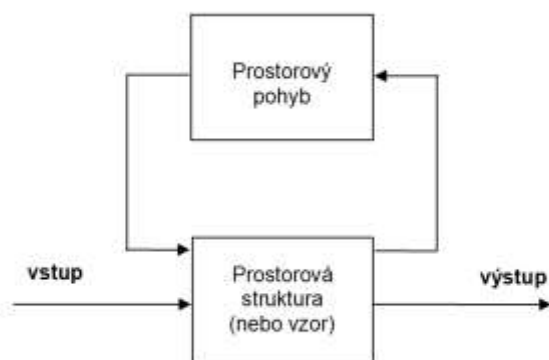
Můžeme proto rozlišovat (Rapant 2006):

- *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 výměra, tvar, sousedství 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“ (dojde ke změně výměry, tvaru, sousedství), „eroze půdy“ (průběžně se mění tvar reliéfu terénu) 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 (Pang, Shi 2002). 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. 24 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, ceny nemovitostí a náklady na pronájmy bytů resp. výstavbu rodinných domů v různých částech města, předpokládaný vývoj pracovních míst ve městě apod.), výstupem může být změna rozložení obyvatelstva po určité době.*

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 24 Komponenty prostorového procesu a jejich vzájemný vztah (upraveno podle (Pang, Shi 2002))

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

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

Procesy lze v dnešních geoinformačních systémech modelovat jen v omezené míře. Daleko častěji dochází k integraci geoinformačních systémů s účelovými modely jednotlivých procesů. Geoinformační systém slouží pro shromažďování a přípravu dat pro model (tzv. preprocessing) a pro analýzu a vizualizaci výsledků modelování (tzv. postprocessing).

### 4.3 Modelový svět

Reálný svět je reprezentován prostředím, které nás obklopuje. Naopak modelový svět je svět „umělý“, svět, který si vytváříme na základě našich pozorování reálného světa. V prvním kroku si ho vytváříme čistě v našich hlavách – vytváříme si tzv. *mentální model*, který reprezentuje reálný svět, vztahy mezi jeho objekty, jevy, událostmi a procesy a naše intuitivní představy o možném dalším postupu a jeho následcích. Ten se pak snažíme přetransformovat do počítačového prostředí tak, aby vytvořený *počítačový model* co nejlépe vystihoval pozorovanou realitu v kontextu úloh, které chceme s použitím počítačového modelu řešit.

Každý model vytváříme vždy v kontextu jeho zamýšleného užití. Proto je každý model určitým zjednodušením reality – zachycujeme v něm jen ty aspekty reálného světa, které jsou v kontextu zamýšleného užití podstatné, ostatní zanedbáváme jako nepodstatné.

*Příklad: Máme za úkol vytvořit informační systém pro evidenci inventáře vlastněného organizací. Když se podíváme po místnosti, v které se při přednášce nacházíme (naš reálný svět), ze všeho, co zde vidíme (osoby, stoly, židle, katedru, datový projektor, počítač, světla, tabuli, okna, dveře, křídlo, umyvadlo, umyvadlovou baterii, houbu, hadr atd.) má smysl do informačního systému zahrnout pouze ty objekty, které mají inventární číslo. Z vyjmenovaných jsou to nejspíše jen: stoly, židle, katedra, datový projektor, počítač, tabule. Vše ostatní je*



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

*buďto pevně spojeno s budovou a nemá to samostatné inventární číslo (okna, dveře, světla, umyvadlo ...), nebo je cena tak nízká, že nemá smysl dané věci evidovat, jedná se spíš o spotřební materiál (křída, houba, hadr). Náš modelový svět, a tedy náš mentální a nakonec i počítačový model se smrskne jen na stoly, židle, katedru, datový projektor, tabuli. V kontextu dané úlohy je tento výběr objektů dostačující. Zcela jsme samozřejmě zanedbali jevy, události a procesy, které jsou v daném kontextu irelevantní.*

Můžeme tedy shrnout, že *modelový svět* je tvořen řadou *modelů* (zatím jsme zmínili jen dva – mentální a počítačový), je *zjednodušený* a *kontextově závislý*.

#### 4.4 Prostředky pro popis reálného světa: ontologie, sémantika, syntaxe

Již jsme se v příkladu zmiňovali o pozorování místnosti, v níž se při přednášce nacházíme, a použili jsme celou řadu slov pro označení objektů, které se v ní nacházejí. V tomto kroku pozorování reálného světa se můžeme snadno dostat do problémů: různí lidé mohou pro označení stejných objektů použít různá slova. Například místo „lavice“ použijí „stůl“, místo „datový projektor“ „LCD projektor“, místo „židle“ „sedačka“ apod. Pokud každý z nich bude pracovat v jiné místnosti (bude v ní rozpoznávat objekty, které budou zahrnuté do informačního systému inventarizace majetku) a následně se sejdou, aby svá pozorování dali dohromady, může se snadno stát, že se neshodnou na jednotné sadě slov, případně vznikne sada slov, z nichž některá budou různě označovat stejné třídy objektů. Ani jedna z těchto situací samozřejmě není dobrá. Je proto nutné najít způsob, jak se oběma typům problémů vyhnout.

V současné době se k tomuto účelu používají tzv. *ontologie* (angl. ontology). Ontologii je možné si představit jako ucelenou, hierarchicky utříděnou sadu slov, kterým se v tomto případě říká *pojmy* (nebo též *koncepty*; angl. concept). Každý pojem má jasně definovaný *význam* (tzv. *sémantiku*; angl. semantics), takže každý ví, co si má pod daným pojmem představit.

*Příklad: Ontologie inventáře učebny*

<b>Pojem</b>	<b>Význam (sémantika)</b>
<i>lavice</i>	<i>zařízení učebny, u kterého sedí student a píše si na něm v průběhu přednášky poznámky nebo zpracovává úkol zadaný v rámci cvičení</i>
<i>katedra</i>	<i>zařízení učebny, na které si může pedagog položit učební pomůcky a u kterého může sedět</i>
<i>židle</i>	<i>zařízení učebny, sloužící k sezení studentu nebo pedagoga</i>
<i>tabule</i>	<i>zařízení učebny sloužící k psaní a kreslení v rámci výkladu pedagogovi nebo v rámci zkoušení studentovi</i>

Kromě ontologie (tj. výčtu pojmů) a sémantiky (tj. jejich významu) nás ještě zajímá, jakým způsobem můžeme pojmy *kombinovat*. Této stránce práce s pojmy se říká *syntaxe* (angl. syntax). Syntaktickými pravidly můžeme například říct, že povolenými kombinacemi jsou:



*židle stojí u lavice*

*židle stojí u stolu*

ale již není povolena kombinace

*židle stojí u tabule.*

Na závěr si uvedme jednoduché definice právě zavedených pojmů *ontologie*, *sémantika* a *syntaxe*.

**Ontologie:** *Ontologie je sdílená specifikace konceptualizace.*

(upraveno podle <http://www-ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html>)

**Sémantika:** *významy slov a frází v určitém kontextu.*

(upraveno podle <http://www.merriam-webster.com/dictionary/semantics>)

**Syntaxe:** *způsob, jakým jsou jednotlivé prvky (např. pojmy) skládány dohromady tak, aby tvořily smysluplné celky (jako věty nebo klauzule).*

(upraveno podle <http://www.merriam-webster.com/dictionary/syntax>)

Slovo „sdílená“ je v první definici velice významné: ontologie se vytvářejí proto, aby se skupina odborníků z určité oblasti byla schopna jednoznačně vyjadřovat tak, aby si navzájem správně rozuměli.

Existují i mnohem složitější (a také přesnější) definice těchto pojmů, ale ty si nechme do jiných předmětů.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## 5 Informatika a geoinformatika. Geoinformační technologie

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

### 5.1 Modely reálného světa v geoinformatice

Geoinformatika tedy pracuje s *modely reálného světa*. Ty jsou dnes založeny nejčastěji na prvních dvou náhledech na reálný svět – na *objektovém* a *jevovém*.

#### 5.1.1 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 (Laurini, Thompson 1994), (Rapant 2001) a (Rapant 1998)):

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

Uveďme si jednoduchý příklad.

*Příkladem geoprvku 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. Všimněme si, že vždy se jedná o konkrétní geoprvek – modelový obraz konkrétního objektu reálného světa.*

Na každý geoprvek se odkazujeme *unikátním 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 (Rapant 2006):

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

Opět uvedeme jednoduchý příklad.

*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.*



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

*Pro zjednodušení dalšího výkladu budeme běžně používat pojem geoprvek i místo pojmu třída geoprvků. Pouze tam, kde je to z hlediska správného porozumění textu nezbytné, 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.*

### 5.1.2 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. Nejběžněji používanou je pravidelná síť čtvercových buněk, které se říká *rastr* (angl. raster).

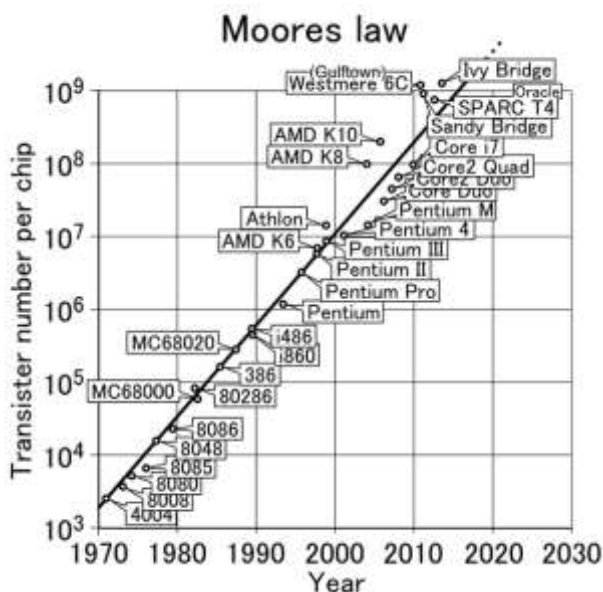
Rastrы známe z digitálních fotografií. Zde je každé buňce rastru (v tomto případě mluvíme spíše o pixelech) přiřazena barva sejmutá ze snímaného z prostoru a vnímáním celého rastru si v mozku vytvoříme vjem obrázku snímané reality.

U rastru postupujeme obdobně. Každá buňce rastru přiřadíme hodnotu sledované vlastnosti (např. teploty vzduchu v místnosti). Kdybychom si prohlíželi jen číselné hodnoty, obtížně bychom si vytvářeli představu o rozložení teploty v prostoru. Při vizualizaci rastru proto používáme obdobný princip, jako u digitální fotografie. Nalezneme minimální a maximální hodnotu sledované vlastnosti v rastru a vytvoříme si převodní barevnou stupnici, která umožní každé číselné hodnotě přiřadit konkrétní barevný odstín. Tím převedeme matici čísel na barevný obrázek, jehož vjem nám umožní získat ihned velice dobrou představu o rozložení hodnot teploty vzduchu v prostoru.

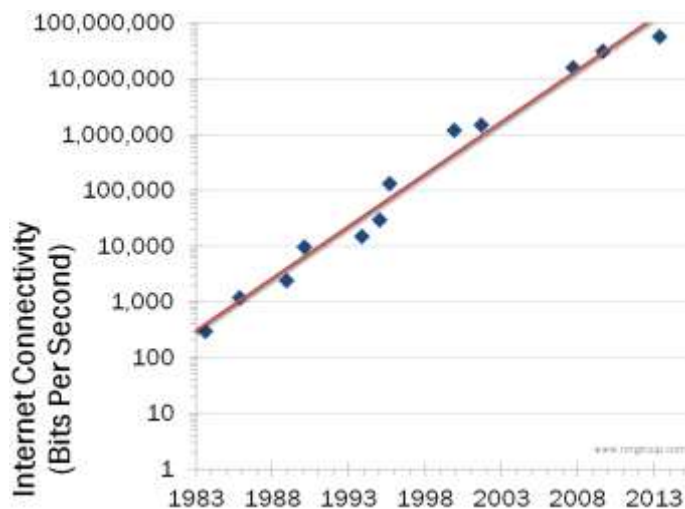
### 5.2 Informatika ve službách geoinformatiky

V posledních desetiletích dochází k bouřlivému rozvoji informačních a komunikačních technologií (zkr. ICT, z angl. Information and Communication Technologies) doprovázenému jejich vzájemnou integrací. Vzniká tak zcela nová 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 výpočetní výkon počítačů (vyjádřený například počtem tranzistorů v procesoru) se zdvojnásobuje každých 18 měsíců (Nielsen 2013), viz Obr. 25), rostoucí přenosové rychlosti na Internetu (viz tzv. *Nielsenův zákon* říkající, že rychlost připojení koncových uživatelů se zvyšuje každý rok o 50 % (Nielsen 2013), viz Obr. 26) 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 (viz dále).

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 25 Moorův zákon byl zformulován na počátku 60. let minulého století, platí již více než 45 let a předpokládá se, že ještě nějakou dobu platit bude (<http://betanews.com/2013/10/15/breaking-moores-law/>)



Obr. 26 Nielsenův zákon (<http://www.nngroup.com/articles/law-of-bandwidth/>)

### 5.3 Geoinformační technologie

Geoinformatika promítá řadu svých teoretických výsledků do *geoinformačních technologií*. Význam pojmu geoinformační technologie si můžeme definovat takto (upraveno podle (Rapant et al. 2002)):

*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, globální navigační a polohové systémy, geoweb, a další.

*V souvislosti s geoinformačními technologiemi budeme používat i termín geoinformační systém. Tímto pojmem budeme označovat obecně jakýkoliv počítačový informační systém, určený ke zpracovávání geodat v rámci dané geoinformační 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.*

#### 5.4 Mobilní geoinformační technologie

Definice *mobilních geoinformačních technologií* (MGIT) zatím není ustálená. Jedna z mála definic byla uvedena v (Rapant et al. 2002):

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

V principu se tedy jedná o integraci výpočetního a grafického zařízení, mobilního Internetu, možnosti určování polohy v prostoru, vhodného programového vybavení pro práci s prostorovými daty a dále databáze pro ukládání prostorových dat. Vedle specializovaných zařízení zde můžeme zařadit i různé tablety a chytré telefony, které disponují dostatečným výpočetním výkonem i paměťovým prostorem, potřebným grafickým a komunikačním rozhraním i schopností určovat svoji polohu a stačí jim již jen doplnit prostřednictvím specifického programového vybavení schopnost práce s prostorovými daty.

Podrobněji se o mobilních geoinformačních technologiích ještě zmíníme později.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

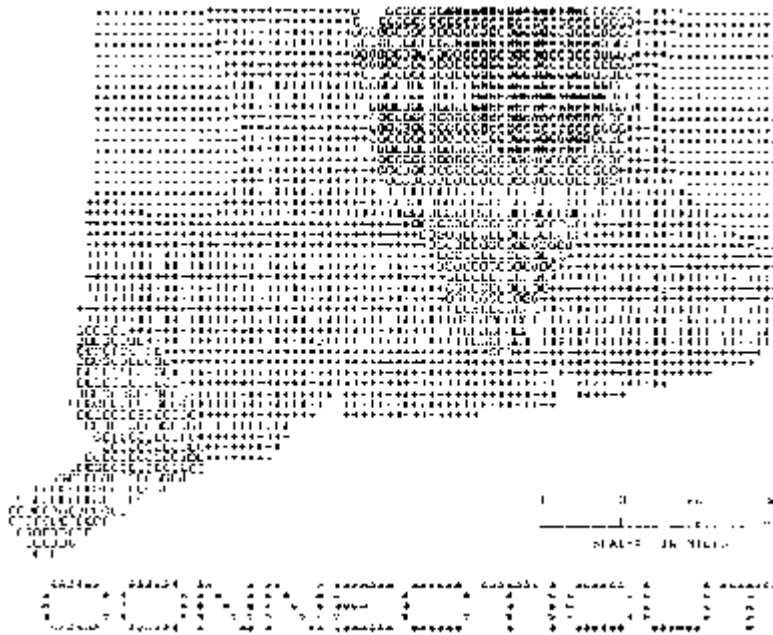
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## 6 Historie, současnost a budoucnost geoinformatiky

V této kapitole se zaměříme podrobněji na etapu rozvoje geoinformatiky od doby, kdy začala být komerčně dostupná výpočetní technika.

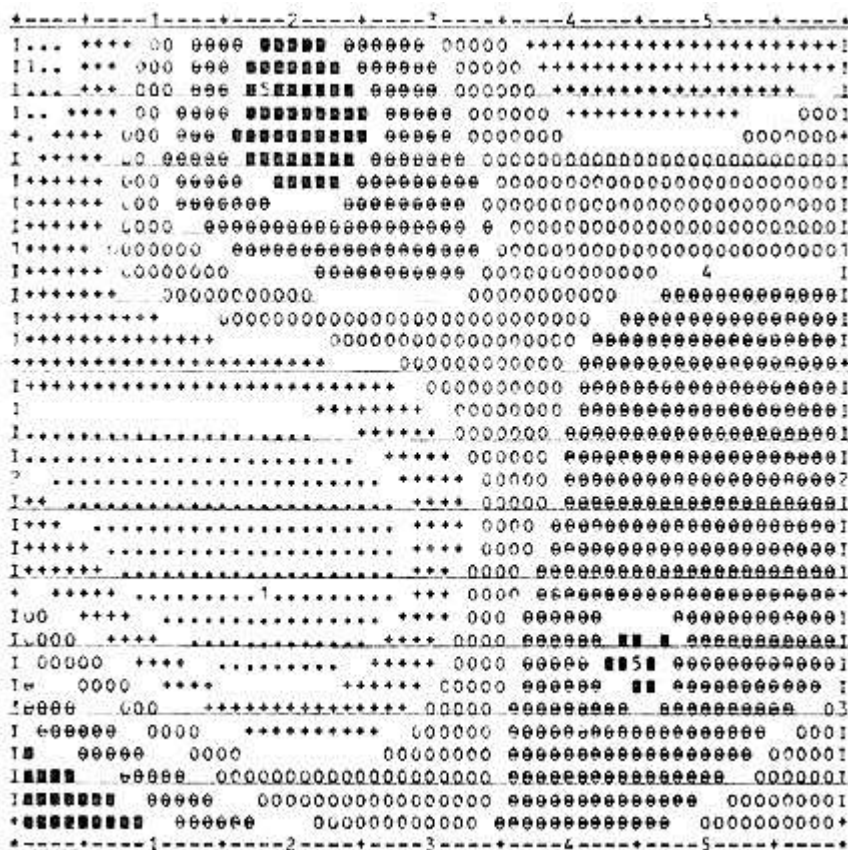
### 6.1 Historie geoinformatiky po nástupu počítačů

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 (prvním takovým byl počítač UNIVAC firmy Remington Rand (UNIVAC)), jsou již k dispozici rozsáhlé sady prostorových dat získané v rámci různých vědních disciplín (geografie, geodézie, kartografie, geologie, životní prostředí, meteorologie a klimatologie, pedologie apod.), 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 prostorových dat pro potřeby veřejné správy, plánování a rozhodování ve vztahu k přírodním zdrojům, rozvoji využívání území, ale i k vědeckému výzkumu, k podpoře různých komerčních aktivit apod. Výsledkem byl vznik prvních účelových systémů pro zpracování geodat, jejichž možnosti byly z dnešního pohledu velice omezené (jak z pohledu znalostí zpracování prostorových dat, tak i z pohledu kapacity počítačů a neexistence grafických vstupních a výstupních zařízení viz Obr. 27). Ve své době však byly tyto výsledky 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 prostorových dat s využitím informačních technologií. Postupně začaly vznikat první geografické informační systémy (v roce 1966 byl jako první implementován Kanadský geografický informační systém (Maguire et al. 1991)), které však byly dlouhou dobu záležitostí jen malých, úzce vymezených skupin uživatelů. Bylo to dáno především tehdy dostupnou výpočetní technikou – velkými sálovými počítači (Rapant 2006).



a

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



b

Obr. 27 Ukázka výstupů systému SYMAP (Synagraphic Mapping System) (a: GIS TIMELINE; b: Krygier 2007))

Později v 60. letech se pozornost přesunula především k tvorbě mapových výstupů s využitím digitálních plotrů. Vlastní analýza prostorových dat ustoupila poněkud do pozadí.

K významnému zlomu ve vývoji došlo až v 80. letech minulého století, po nástupu minipočítačů a zvláště osobních počítačů IBM-PC, kdy se začaly objevovat první komerčně dostupné programové balíky pro tvorbu aplikací GIS, spojující jak analýzu, tak i grafickou prezentaci prostorových dat a výsledků analýz, které byly navíc snadno využitelné širokým okruhem odborníků. Asi nejznámějším je programový balík ARC/INFO firmy ESRI (který se postupně rozvinul do dnešní komplexní platformy ArcGIS). 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 (Rapant 2006).

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 mobilních telefonů, tabletů apod. Geodata a geoinformace se stávají



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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, nových přístupů ke sběru dat prostřednictvím dobrovolníků (angl. crowdsourcing, resp. VGI – Volunteered Geographic Information), budování infrastruktur pro prostorová data, využívání tzv. cloud computingu 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 byly dlouho dobu vnímány 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, a tvorbou digitálních modelů reálného světa, jejich analýzou a vizualizací. 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. (Longley a kol. 2011). 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.

### 6.2 Trendy vývoje geoinformatiky a geoinformačních technologií

Vývoj v oblasti využívání geodat, geoinformací a geoinformačních technologií v současné době nejvíce ovlivňují následující faktory (upraveno podle (Rapant et al. 2002)):

- Prudký nárůst mobility lidí, vedoucí k tomu, že se člověk častěji dostává do situace, kdy se nachází v neznámé oblasti a je závislý na přísunu aktuálních prostorových dat (minimálně map) o prostoru, ve kterém se pohybuje. Potřebuje nalézt nejbližší nebo konkrétní hotel, cestu na nádraží, do kongresového centra, informace o pamětihodnostech apod. Jinou stránkou růstu mobility je rostoucí zatížení pozemních 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.





evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- Už v úvodu jsme si ukázali, že dnes běžně dostupné informační a komunikační technologie umožňují sbírat ohromná množství prostorových dat. A co je ještě zajímavější, ve většině případů je umožňují získávat, i když to není jejich primární cíl. Produkují je jen jako určitý vedlejší produkt. Hodnotu těchto prostorových dat je nezbytné vnímat z pohledu potenciálu, který nabízejí pro zkvalitňování přijímaných rozhodnutí. Manažeři ve veřejném i soukromém sektoru vyžadují pro svá rozhodování stále více informací, čím dál častěji i prostorových. Jakmile se jakákoliv z jejich rozhodnutí vztahují k prostoru, stávají se pro ně prostorová data a informace nepostradatelnými.
- Rozvoj mobilních komunikací, který dnes umožňuje realizovat datové přenosy nezávisle na pevném datovém spoji, kdykoliv a téměř kdekoliv.
- Rostoucí dostupnost prostorových dat, a to jak co do rozsahu a obsahu, tak i co do kvality a ceny. Ještě před 20 lety bylo nemyslitelné mít k dispozici digitální mapy České republiky. Před deseti lety bylo nemyslitelné mít je k dispozici zdarma. Dnes je toto realitou.
- Možnost určování polohy prakticky kdykoliv a téměř kdekoliv, jednak pomocí systémů GPS a GLONASS, které poskytují celosvětové pokrytí svými signály, ale neumožňují 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 a dostatečně výkonné.
- Budování infrastruktur geodat, které umožňují získávat operativně informace o existujících datových sadách, jejich dostupnosti apod. a samozřejmě i požadované datové sady.
- Nástup nového fenoménu známého *cloud computing*, který umožňuje vytvořit velice robustní služby pro oblast prostorových dat a je schopen poskytnout zajímavou funkcionalitu (koordinovaným sběrem prostorových dat počínaje (již zmíněný crowdsourcing), přes jejich analýzu, integraci s jinými prostorovými daty až po pokročilé metody vizualizace i pro sice relativně málo výkonná mobilní zařízení, která však mají k dispozici připojení na Internet).

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 nebo poskytované služby budou pracovat správně bez jejího většího přičinění.



- Laická veřejnost bude kupovat zařízení různých dodavatelů, při výběru se bude řídit více cenovými a uživatelskými 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 technologiemi 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, provádějící užívání auta. Znamenalo to, že musel dobře rozumět funkci motoru, palivového systému, brzd apod. Auta 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 GNSS + program pro GIS + digitální mapu, je to pro laika mnohdy obtížný 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 obecně známé 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 nezbytné.

### 6.2.1 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.

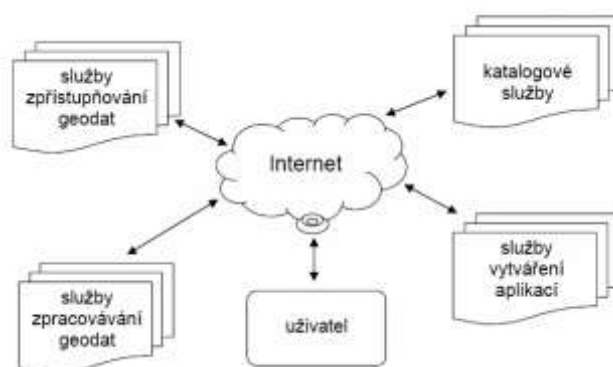
V posledních desetiletích vznikla celá řada iniciativ jdoucích právě tímto směrem. Patří k nim jednak oficiální standardizační aktivity, vyvíjené různými normotvornými orgány. K

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 výrobci 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 (Rapant 2006).

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. 28). 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.

Obecná koncepce distribuovaného poskytování dat, služeb i aplikací je znázorněna na Obr. 28. Podrobněji je tato koncepce probrána později.

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



Obr. 28 Koncepce distribuovaného poskytování, dat, služeb i aplikací (Rapant et al. 2002)

### 6.2.2 Dlouhodobý trend – veřejností vytvářená prostorová data (crowdsourcing)

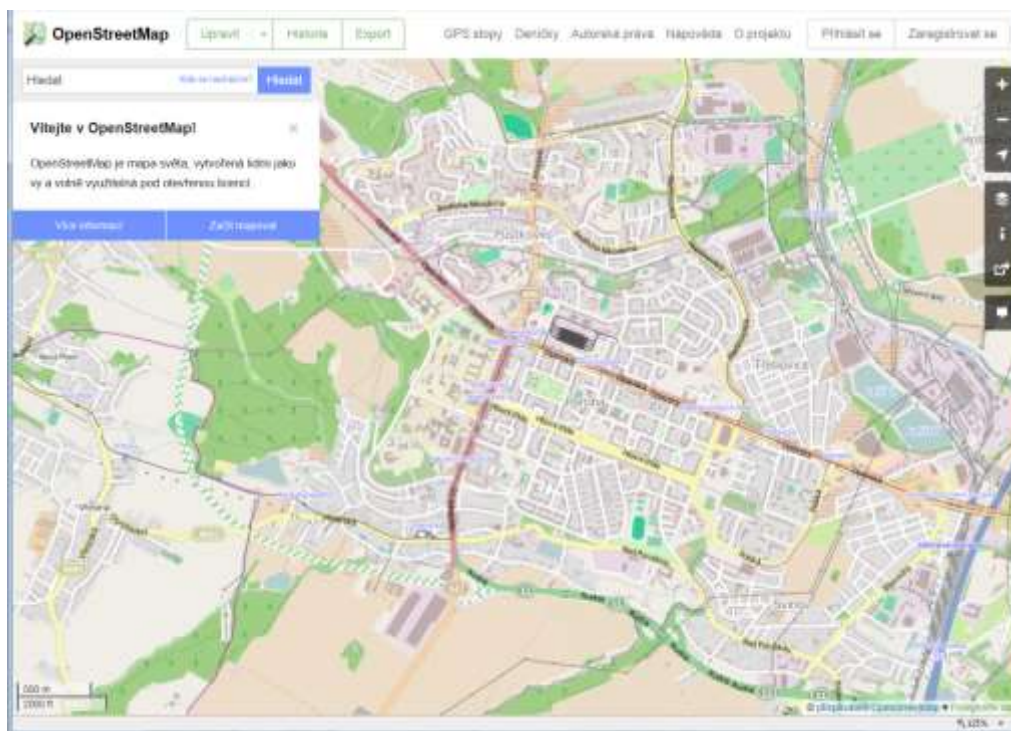
Jak bylo v úvodu uvedeno, dnes máme k dispozici řadu technologií umožňujících produkovat velké objemy prostorových dat. Jejich produkce je však běžně jen vedlejším produktem

### INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

používání těchto technologií. Nicméně objevují se stále častěji aplikace, které se snaží takto generovaná prostorová data využít pro cílenou tvorbu nových sad prostorových dat využitím iniciativy velké skupiny lidí, kteří jsou schopni s využitím vhodné jednoduché aplikace postupně pokrýt prostorovými daty i rozsáhlé oblasti. Takto vytvářeným prostorovým datům se říká *veřejností vytvářená prostorová data* (angl. volunteered geographic information – VGI). Za VGI je nezbytné vidět komplex nástrojů pro sběr, sestavování a šíření prostorových dat poskytovaných dobrovolníky. Z pohledu prostorových dat k hlavním oblastem využití patří (Horák 2014):

- sdílení polohopisných geografických informací – např. tvorba digitálních map, sdílení záznamů z přijímačů GNSS apod.,
- sdílení lokalizovaných pozorování – např. výskyt druhů rostlin nebo zvířete, výskyt událostí, provádění měření,
- sdílení lokalizovaných fotografií.

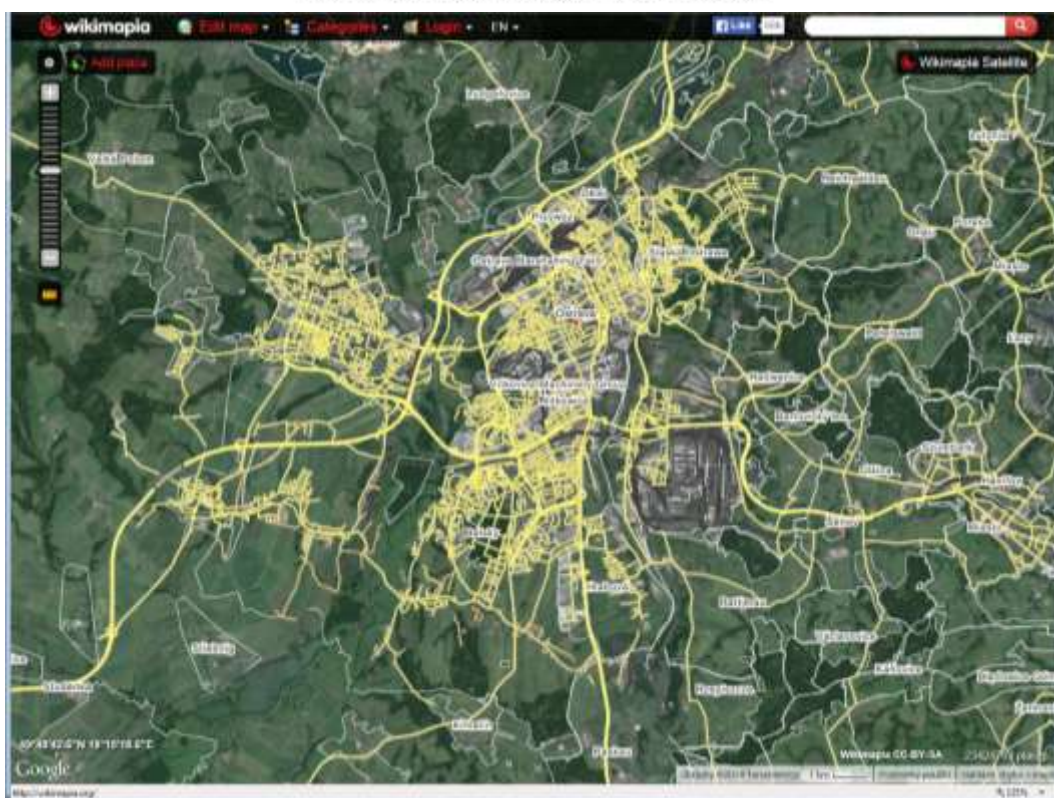
Vlastní postup zaměřený na organizování rozsáhlých skupin dobrovolníků tak, aby jejich dílčí příspěvky vedly k pokrytí mapované oblasti jejich daty, se nazývá *crowdsourcing*. Nejznámější iniciativou v oblasti sběru prostorových dat crowdsourcingem je OpenStreetMap (Obr. 29; <http://www.openstreetmap.org>): „OpenStreetMap je mapa světa, vytvořená lidmi jako vy a volně využitelná pod otevřenou licenci.“ Dalšími jsou například WikiMapia (Obr. 30; <http://wikimapia.org>) nebo Google Map Maker (<http://www.google.com/mapmaker>).



Obr. 29 Ukázka OpenStreetMap (<http://openstreetmap.org>)



## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 30 Ukázka veřejností vytvářených prostorových dat na serveru WikiMapia (<http://wikimapia.org>)

### 6.2.3 Krátkodobý výhled

V krátkodobém horizontu můžeme sledovat, resp. očekávat především vývoj v oblasti geoinformačních technologií. Jedná se především o bouřlivý nástup (Rapant et al. 2002):

- 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 soustředíme se na tyto čtyři příklady.

#### 6.2.3.1 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** – v současné době se podařilo dosáhnout plné digitalizace procesu fotogrammetrie, i letecké snímky se již pořizují jako digitální a poskytují výrazně vyšší kvalitu zobrazení Země, než tomu bylo u dřívějších skenovaných

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

analogových snímků (Obr. 31). 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 geoinformačních systémů a v mnoha případech již došlo až k integraci digitální fotogrammetrie, dálkového průzkumu Země a geografických informačních systémů.



Obr. 31 Porovnání analogového (vlevo) a digitálního (vpravo) snímku (<http://www.mapy.cz>)

- **Lidar** (z angl. Light Detection And Ranging) – nově vyvinutý způsob snímání povrchu zemského, založený na vyhodnocování odrazů laserového paprsku od něj a od objektů na něm se nacházejících, včetně vegetačního krytu. Firmy již nabízejí tuto službu i komerčně, ale ceny jsou zatím relativně vysoké. Přesnost a rozlišení těchto měření jsou taková, že umožňují tvorbu velice přesných modelů reliéfu (například již byl pořízen reliéf celé České republiky touto technologií). Na Obr. 32 a Obr. 33 můžeme vidět srovnání reliéfu reliéfem odvozeného z vrstevnic z mapy v měřítku 1:24 000 s reliéfem získaným lidarem (PSLC 2002). Na Obr. 34 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.





evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE

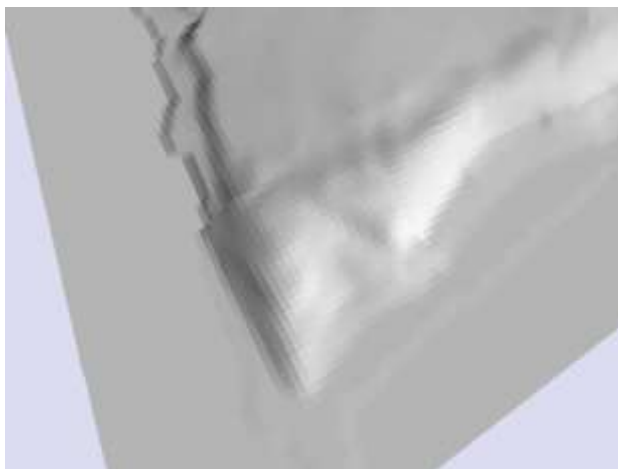


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

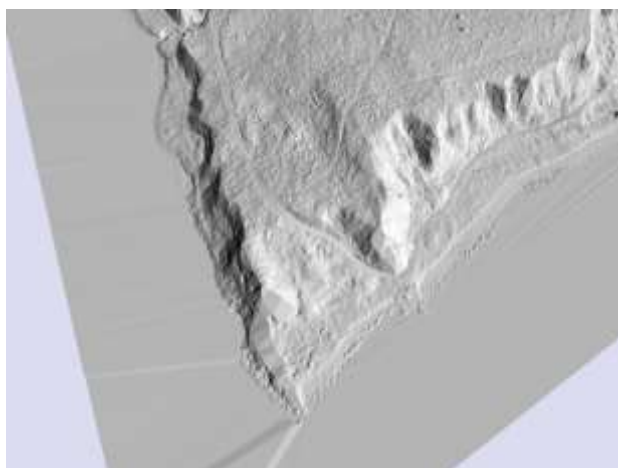


OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 32 Digitální model reliéfu (grid o straně buňky 10 m)  
odvozený z vrstevnic z mapy v měřítku 1: 24 000 (PSLC 2002)

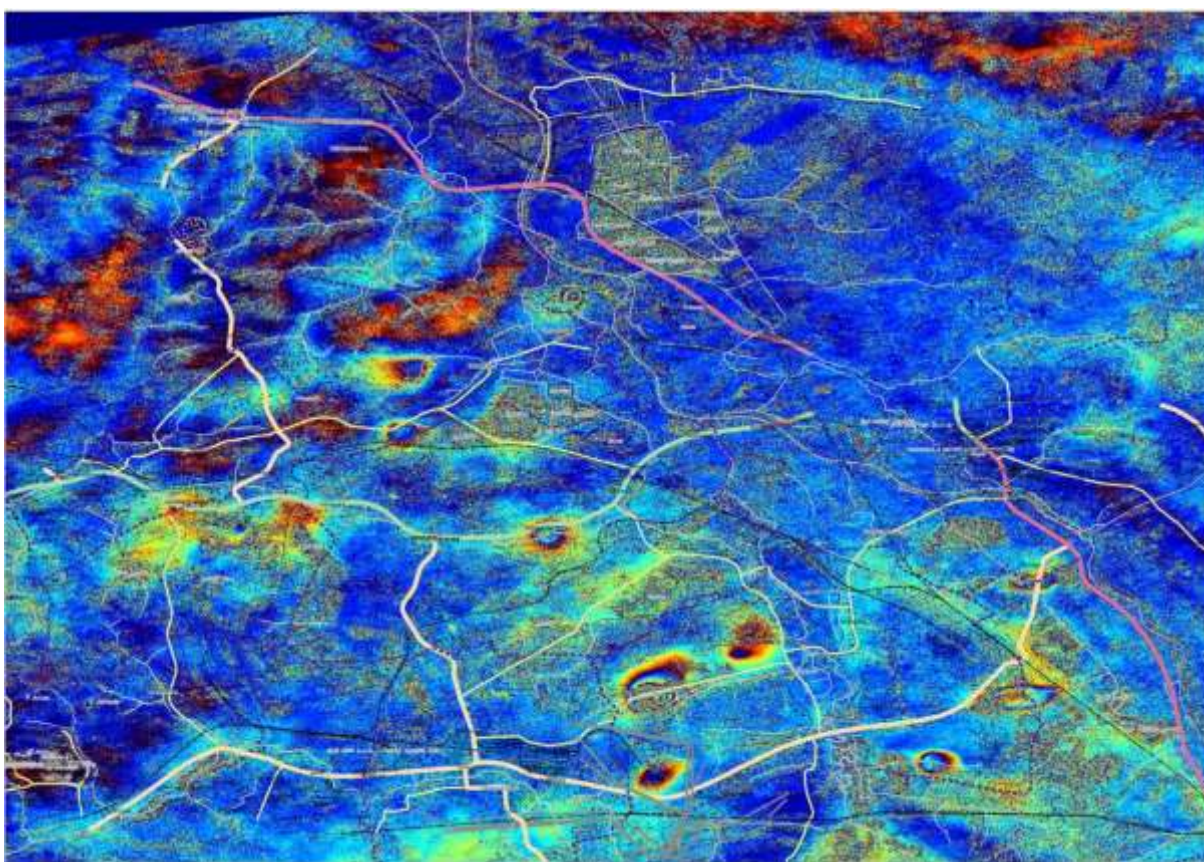


Obr. 33 Tatáž oblast jako na Obr. 32, tentokrát nasnímaná zařízením lidar. Na obrázku jsou dobře patrné detaily  
reliéfu terénu, zachycené i přes vegetační kryt (viz Obr. 34) (PSLC 2002)



Obr. 34 Letecký snímek oblasti z Obr. 32 a Obr. 33 (PSLC 2002)

- **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. I když radarové snímky toto očekávání nenaplnily v plném rozsahu, je v současné době možné z těchto snímků vyhodnocovat například změny reliéfu vlivem zemětřesení, poddolování (Obr. 35) 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.



Obr. 35 Ukázka vyhodnocení poklesů terénu v důsledku hlubinné těžby uhlí v oblasti Karviné (Lazecký 2012)

- **Družice s vysokým prostorovým, spektrálním i časovým rozlišením** – první komerční družicí této třídy byl IKONOS 1, který poskytoval snímky s prostorovým rozlišením 1 m v panchromatickém a 5 m v multispektrálním provedení. Další úspěšnou družicí je nedávno vypuštěný GeoEye, který poskytuje obrazy s prostorovým rozlišením 50 cm (viz Obr. 36). A chystá se nová družice s prostorovým rozlišením 31 cm. Rovněž spektrální rozlišení družic se zvyšuje, dnes jsou dostupné i hyperspektrální snímky, kde je obraz tvořen sérií záznamů velice úzkých spektrálních pásem. Značného pokroku bylo dosaženo i v oblasti časového rozlišení, nové družice jsou schopné opakovaně



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

nasnímat stejné území špičkově až co 1 den. Toto může být zajímavé při velkých živelných pohromách.



Obr. 36 Ukázka družicového snímku Howerovy přehledy v USA pořízeného družicí GeoEye v roce 2009 (<http://www.satimagingcorporation.com>)

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.

### 6.2.3.2 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 přes Internet a především službu WWW. Proto byly vyvinuty technologie a postupy, které umožňují zpřístupnění geodat v prostředí webu. Velkou pomocí v této oblasti bylo zavedení standardu Web 2.0. 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. Jsou k dispozici virtuální glóby (Google Earth – <http://earth.google.com>, NASA World Wind - [http://www.worldwindcentral.com/wiki/Virtual\\_Earth](http://www.worldwindcentral.com/wiki/Virtual_Earth)), mapové servery podporující i nahrávání vlastních dat jako jsou Goole Maps (<https://maps.google.com/>), Bing Maps



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

(<http://www.bing.com/maps>), Yahoo Maps (<http://maps.yahoo.com/>), OpenStreetMap (<http://www.openstreetmap.org>) atd.

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 (Rapant et al. 2002). Jedná se například o standardy již zmíněného konsorcia OpenGIS WMF (angl. Web Map Feature), WFS (angl. Web Feature Service), GML (angl. Geography Markup Language), WPS (angl. Web Processing Service) a další.

### **6.2.3.3 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 a v případě chytrých telefonů vybavených přijímačem GNSS i přesněji. Při znalosti polohy mobilního telefonu můžeme uživateli nabídnout celou řadu služeb, které mohou v určitých situacích výrazně usnadnit orientaci v neznámém prostředí.

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 graficky znázorní výsek mapy s vyznačenou trasou nebo zájmovým objektem. 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 GNSS, výrazně se rozšíří možnosti poskytovaných služeb. Ale to se již dostaneme k jiné třídě aplikací, které je věnován následující odstavec.

### **6.2.3.4 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 a přitom mít k dispozici prostorová data o místě, kde se právě nacházejí. 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,
- malý přenosný počítač (palmtop),

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- přijímač GNSS,
- programové vybavení pro práci s prostorovými daty,
- geodata.

Jedním ze sektorů, kde probíhá prudký rozmach práce s prostorovými daty, z větší části právě díky mobilním geoinformačním technologiím, je oblast volného času. Segment trhu pokrývající tuto oblast přináší širokou škálu nových produktů a služeb, vycházejících ze skutečnosti, že není problém kdykoliv a kdekoliv určit polohu zákazníka, být s ním v trvalém spojení, 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.

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.





evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## 7 Pojmy data, informace, znalosti, moudrost; prostorová data, geodata, metadata, 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.

### 7.1 Data, informace, znalosti, moudrost

Dříve než se začneme zabývat novými pojmy, jako jsou například prostorová data, bude vhodné si vyjasnit mnohem běžnější pojmy data, informace, znalosti a moudrost. Data představují nejnižší možnou úroveň popisu reálného světa, poznání reálného světa v nich vykazuje nejnižší koncentraci. Data jsou navíc zcela neosobní a relativně snadno se předávají. Naproti tomu moudrost představuje nejvyšší úroveň popisu reálného světa, poznání reálného světa v nich vykazuje nejvyšší koncentraci. A co je velice důležité, moudrost je úzce spjata s konkrétními osobami a velice obtížně se získává i ještě obtížněji předává (Longley 2011).

*Data* jsou obvykle složena z čísel, textů nebo symbolů a reprezentují fakta o reálném světě získávaná různými postupy. Představují popis reálného světa na nejnižší možné úrovni obecnosti. Snadno se formalizují a díky tomu i jsou i snadno přenositelná. Do značné míry jsou nezávislá na kontextu.

*Příklad: když změřím teplotu vzduchu teploměrem umístěným za svým oknem, může mi tento údaj pomoci při rozhodování o vhodném oblečení, ale může také sloužit jako vstupní údaj do modelu pro lokální předpověď počasí nebo do modelu šíření znečištění v ovzduší. Pokaždé je tento údaj použit v jiném kontextu, ale pořád je to ten stejný údaj.*

Na *informaci* se můžeme dívat například jako na smysluplnou interpretaci dat a vztahů mezi nimi. Tato interpretace je již do značné míry závislá na kontextu zpracování dat a na znalostech interpretátora (tedy na konkrétní osobě). Proces získávání informací z dat je možné do značné míry formalizovat a tím i automatizovat. Pro zpracovávání dat a získávání informací z nich je proto možné používat různé (geo)informační systémy. Navíc i získané informace je možné relativně dobře formalizovat a tedy i snadno předávat.

*Příklad: Ukáže-li můj teploměr za oknem teplotu  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , vím, že je zima a že se mám velice teple obléknout. A vím-li navíc, že včera teploměr ukazoval  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dojdou snadno k závěru, že se prudce ochladilo.*

*Interpretuji-li dnes naměřenou teplotu vzduchu z pohledu člověka studujícího šíření určité znečišťující látky v ovzduší, vím například, že při této teplotě je již daná látka ve skupenství pevném a šíří se vzduchem nikoliv jako plyn, ale jako prachová částice, případně dokonce z atmosféry zcela vypadávají.*

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

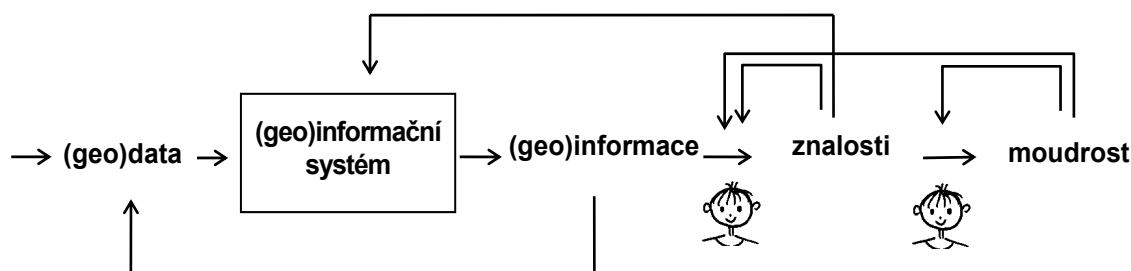
Původní *znalosti* se získávají zpracováním velkých objemů informací. Toto zpracování je silně závislé na konkrétním kontextu a na existujících znalostech zpracovatele informací. Odvozování znalostí z informací není triviální proces a zatím ho neumíme formalizovat. Rovněž nástroje pro formalizaci znalostí zatím nejsou příliš rozvinuté, získané znalosti se proto obtížněji uchovávají a předávají. Zatímco informace můžeme získat, u znalostí obvykle říkáme, že je musíme vstřebat (naučit se je a porozumět jim).

Znalosti se tedy od informací liší minimálně ve třech aspektech (Longley 2011):

- 1) informace mohou existovat nezávisle, ale znalosti jsou vždy spojeny s lidmi,
- 2) znalost se konkrétní osobě odebrá hůře než informace; předávání znalostí i jejich kvantifikace je velice obtížná,
- 3) znalosti musíme vstřebávat; navíc můžeme mít klidně protichůdné informace, ale jen obtížně můžeme mít protichůdné znalosti.

*Moudrost* je již čistě osobní záležitostí a je zcela neformalizovatelná a prakticky nepředatelná. Obvykle je spojována s určitým rozhodováním nebo radami, udílenými na základě informací a znalostí dostupných konkrétní osobě.

Schematicky je vztah mezi daty, informacemi, znalostmi a moudrostí znázorněn na Obr. 37.



Obr. 37 Data, informace, znalosti a moudrost a jejich vzájemný vztah a vztah k informačnímu systému (upraveno podle (Rapant 1998))

Obecně to, co vkládáme do informačního systému a co pomocí tohoto systému zpracováváme, bude dále označováno pojmem data (viz např. (Veverka 1989)). 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 informačním 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 informačního systému a ovlivnit tak získávání nových informací ze vstupních dat. Na základě nashromážděných znalostí je možné dospět k nové moudrosti. A samozřejmě úroveň znalostí a moudrosti dané osoby ovlivňuje i jeho schopnost vyvozovat z informací nové znalosti, případně novou moudrost.

*Příklad: Mějme dvě tabulky, každou o třech sloupcích; první dva sloupce vždy obsahují zeměpisné souřadnice (šířku  $\phi$  a délku  $\lambda$ ) bodu na Zemi, třetí sloupec*

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

obsahuje v prvním případě průměrnou roční teplotu v daném místě  $\varphi$  a v druhém případě typickou vegetaci Veg vyskytující se v daném místě.

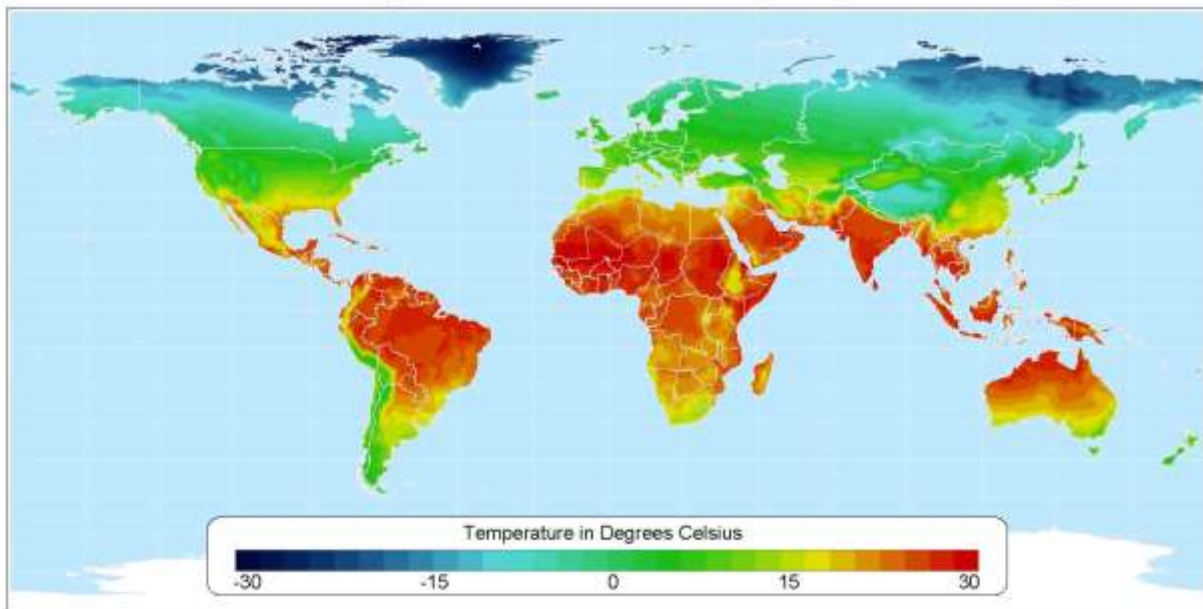
$\varphi$	$\lambda$	$\varphi t$
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...

$\varphi$	$\lambda$	Veg
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...

Pokud tato data budeme zpracovávat klasickými postupy informatiky, vložíme je do databáze a můžeme se ptát na hodnotu průměrné roční teploty v některém z míst, pro která je hodnota vložena do databáze; obdobně můžeme postupovat i u druhé tabulky s dotazy na vegetaci. Pokud se zeptáme na tyto hodnoty pro místo, které není obsažené v tabulce, obdržíme odpověď v tom smyslu, že chybí data.

Geoinformatik ale na základě svých znalostí ví, že z těchto tabulek může vygenerovat mapy rozložení průměrné roční teploty (Obr. 38) a rozložení typické vegetace (Obr. 39). Díky tomu se již můžeme ptát na kterékoliv místo na zemi a získáme odpověď.

## Average Annual Temperature



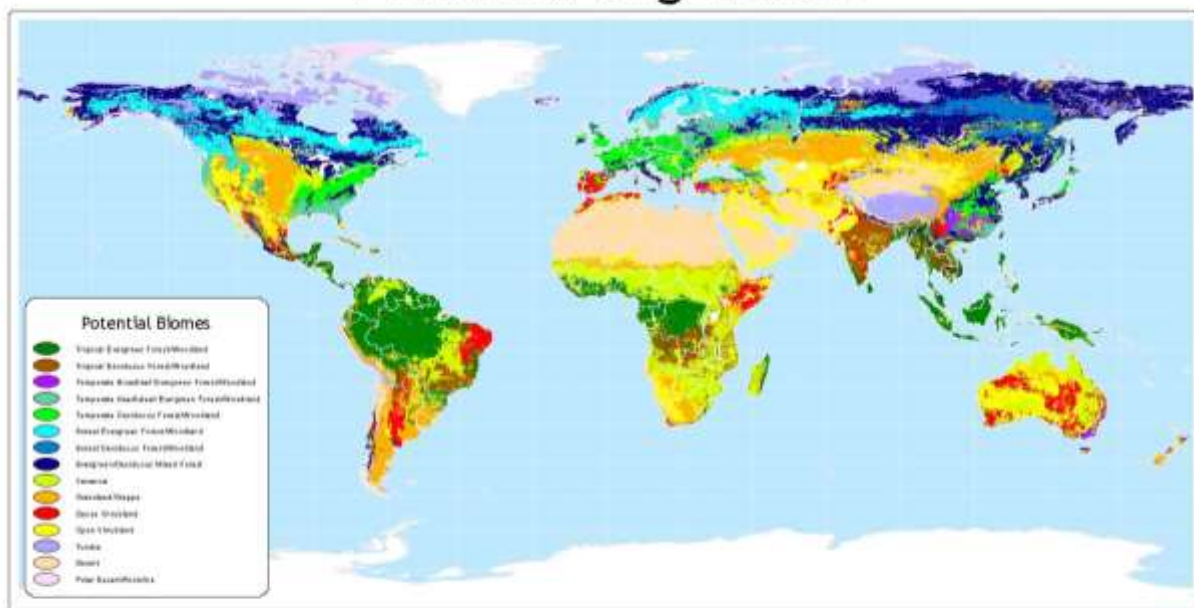
Data taken from: CRU 0.5 Degree Dataset. (New, et al.)

Atlas of the Biosphere  
Center for Sustainability and the Global Environment  
University of Wisconsin - Madison

Obr. 38 Mapa rozložení průměrné roční teploty na Zemi.  
([http://www.sage.wisc.edu/atlas/maps/avganntemp/atl\\_avganntemp.jpg](http://www.sage.wisc.edu/atlas/maps/avganntemp/atl_avganntemp.jpg))

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## Potential Vegetation



Data taken from: Ramankutty and Foley 1999

### Atlas of the Biosphere

 Center for Sustainability and the Global Environment  
University of Wisconsin - Madison

Obr. 39 Mapa rozložení potenciální vegetace na Zemi  
([http://www.sage.wisc.edu/atlas/maps/potentialveg/atl\\_potentialveg.jpg](http://www.sage.wisc.edu/atlas/maps/potentialveg/atl_potentialveg.jpg))

*Dále geoinformatik ví, že mezi prostorovými vlastnostmi může existovat vztah a tak prověřit, zda tomu tak je i v tomto případě. Zjistí, že ano (dnes již známý fakt). Nyní již víme, že pokud známe průměrnou roční teplotu v daném místě, může usoudit na očekávanou vegetaci v této oblasti. Získali jsme tak novou znalost.*

*Tento příklad i dobře demonstruje rozdíl mezi informatikou a geoinformatikou.*

V souvislosti s daty se dnes hojně používá i pojem *metadata*. V (Rapant 2001) 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 (Terms 1996):

*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).



## 7.2 Prostorová data

Jak již bylo zmíněno v definici geoinformačních technologií, tyto pracují se zvláštním typem dat, a to daty prostorovými. V dalším textu budeme pracovat s následující definicí (upraveno podle (Rapant 2006)):

*Prostorová data (angl. spatial data) jsou data, která se vztahují k určitým místům v prostoru a která obsahují na potřebné úrovni rozlišení určené 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, označujeme jako neprostorová data.

Údaj, který zajišťuje vazbu dat na konkrétní místo v prostoru, se nazývá *prostorová reference* nebo *georeference* (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.

*Zde existuje určitý paradox: člověk upřednostňuje ve své komunikaci spíš druhý přístup (jdeme do Lidlu, ke Zlatému lvovi, k Duze apod.), geoinformační systémy naopak první z výše jmenovaných. Pokud vložíme do geoinformačního systému konkrétní souřadnice, zobrazí se nám na obrazovce příslušný bod. Pokud ale vložíme například název Zlatý lev v Ostravě, musí geoinformační systém nejprve zjistit, že se jedná o restauraci, následně nalézt její adresu, tu převést pomocí Registru územní identifikace, adres a nemovitostí (RUIAN) na konkrétní souřadnice a teprve pak je schopen na obrazovce zobrazit bod reprezentující polohu této restaurace.*

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 různých studií vyplývá, že dnes více než 80 % zpracovávaných dat je prostorové povahy.

Geodata mohou být rozdělena do dvou základních skupin (TheContext 2000):

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

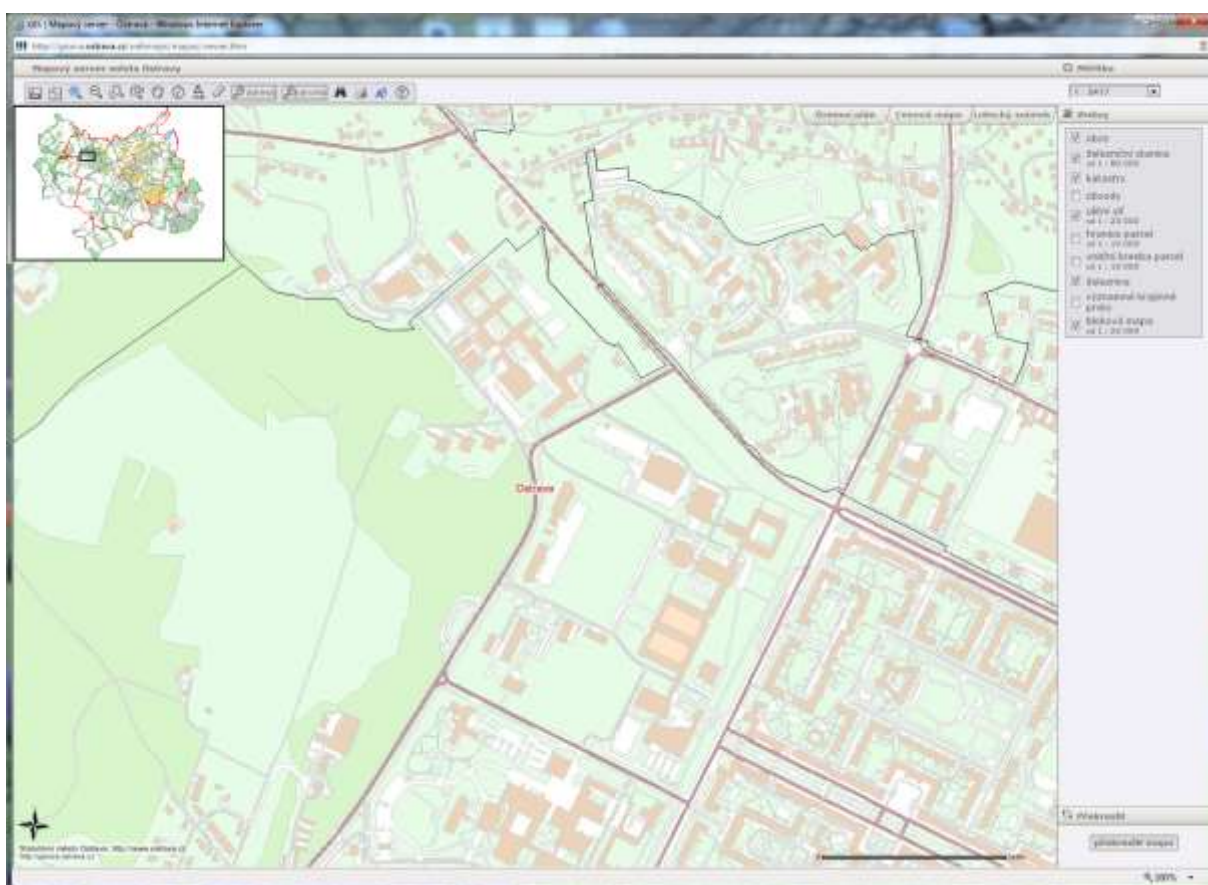


## 7.2.1 Základní geodata

Základní geodata se dnes vymezují většinou takto:

- 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 geoinformací mezi lidmi.

Základní geodata jsou užívána jako společný základ, umožňující georeferencovat tematická (resp. aplikačně závislá) geodata. Na Obr. 40 je uvedena ukázka základních geodat.



Obr. 40 Ukázka základních geodat z GIS města Ostravy (<http://gisova.ostrava.cz>)

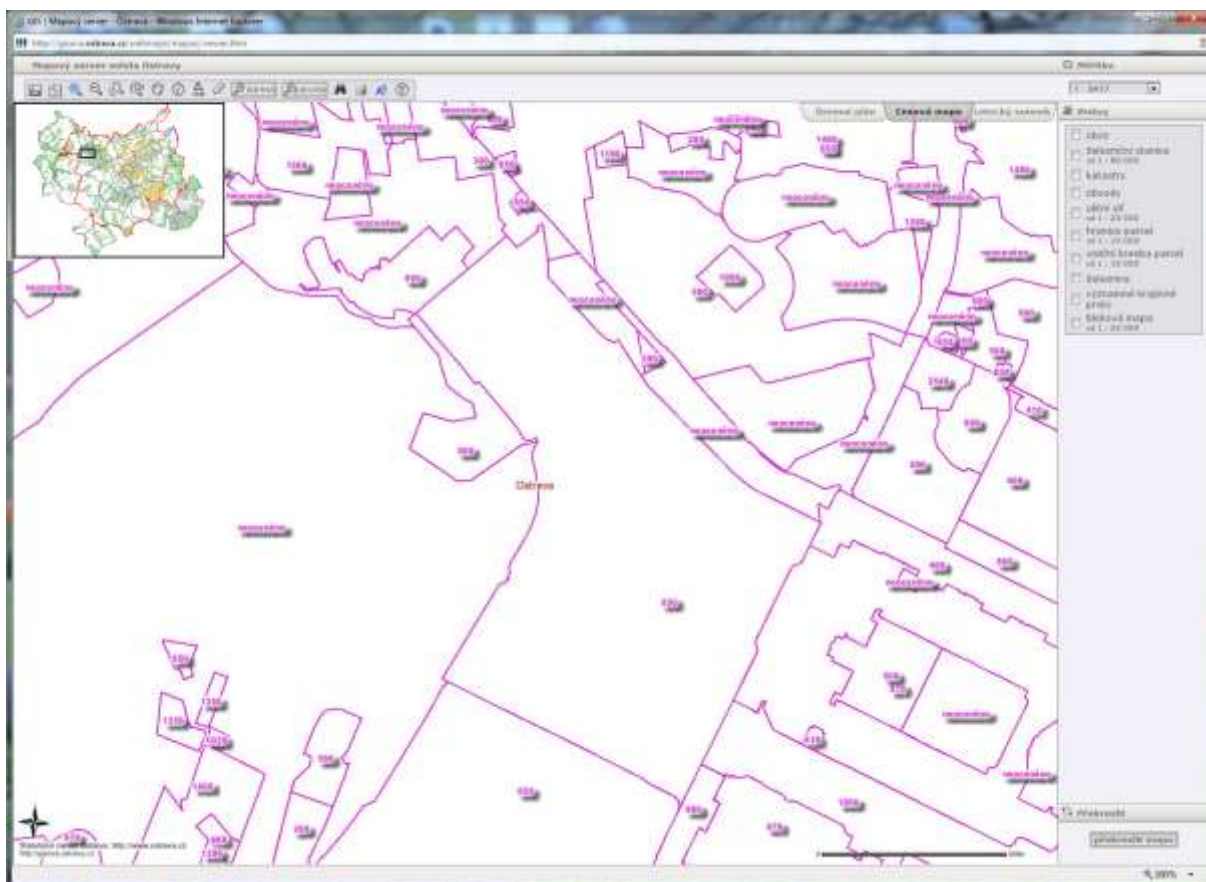
Referenční geodata musí splňovat následující funkční požadavky:

- 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.

## 7.2.2 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, územní plány, dopravní data apod. Jedná se většinou o tematická data.

Na Obr. 41 je uvedena ukázka aplikačně závislých geodat. V tomto případě se jedná o ukázkou cenové mapy města Ostrava.

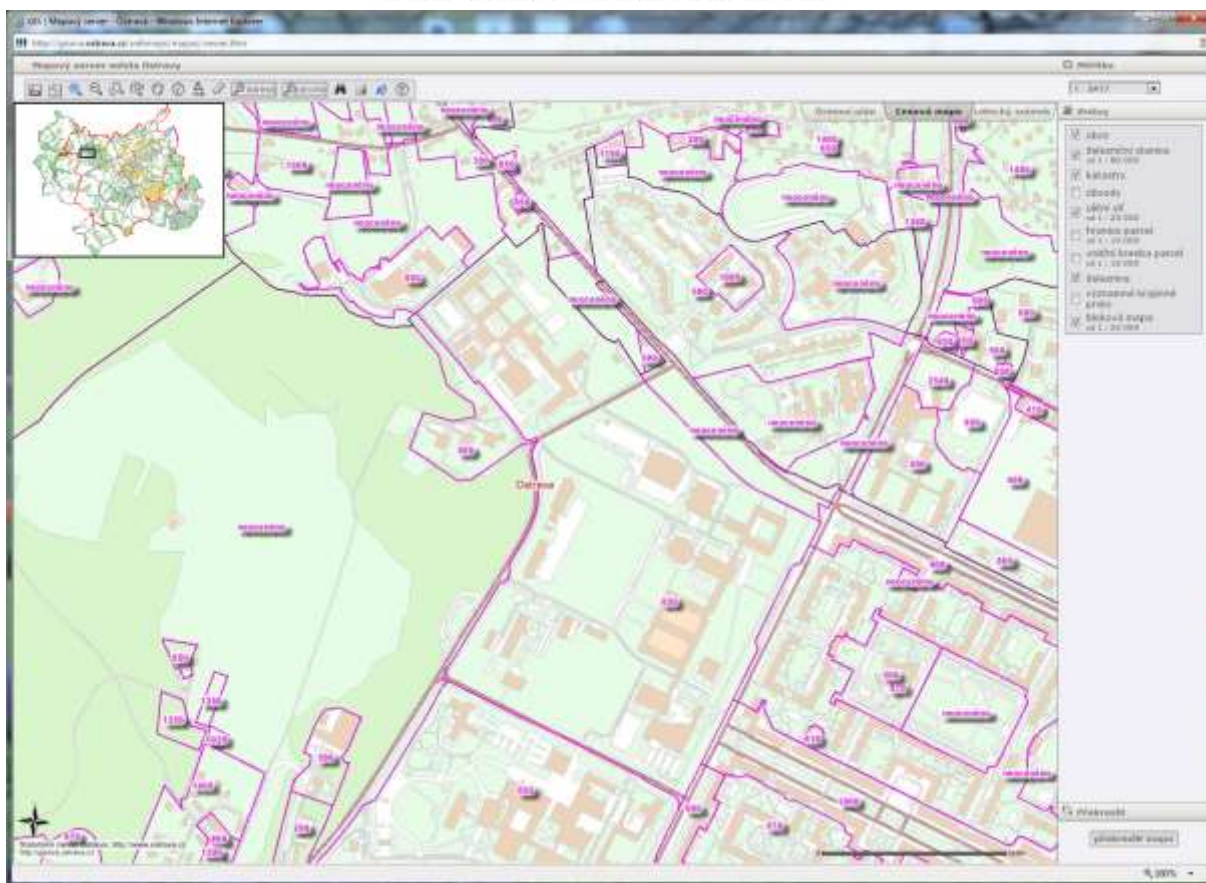


Obr. 41 Ukázka aplikačně závislých geodat; v tomto případě se jedná o ukázkou cenové mapy města Ostrava.

<http://gisova.ostrava.cz>

Pro správné porozumění aplikačně závislým geodatům zpravidla potřebujeme základní geodata. Podíváme-li se například na výše uvedený obrázek s výřezem cenové mapy, těžko bychom usuzovali, ke kterým místům ve městě se tyto ceny vztahují. Pro jejich správnou interpretaci potřebujeme mít vhodný podklad – základní geodata (viz Obr. 42).

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 42 Ukázka výřezu cenové mapy na podkladě základních geodat (<http://gisova.ostrava.cz>)



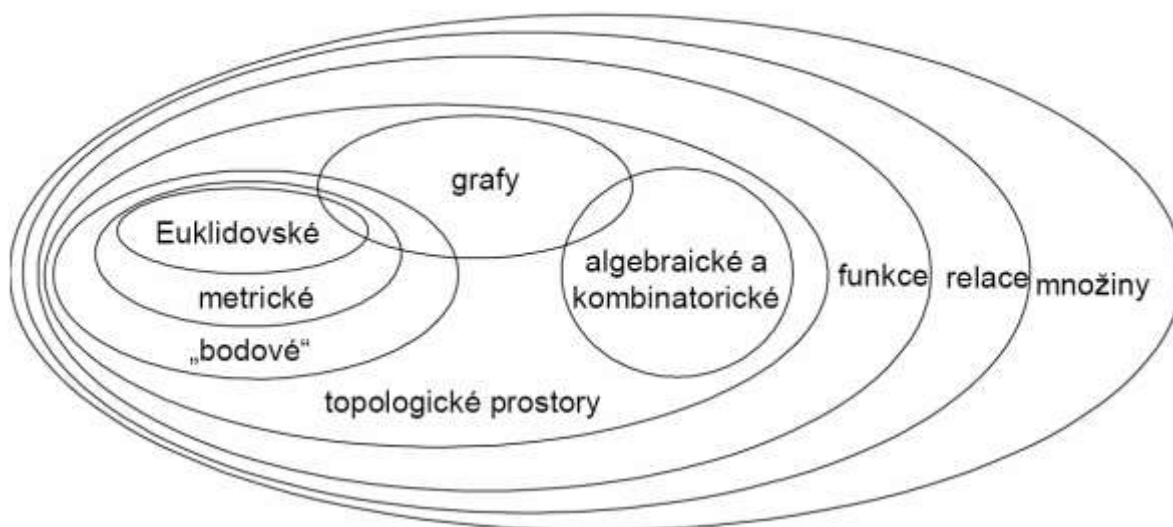
## 8 Prostor v geoinformaticce

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*.

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 (Kolář 1997).

### 8.1 Historie vývoje pojetí prostoru

Z hlediska geoinformatiky je velice významnou myšlenka duality pojetí prostoru jako *kontinuálního pole* resp. *množiny diskrétních 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 prostoru nebo jako na *diskrétní 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.



Obr. 43 Hierarchické členění matematických prostorů (Albrecht, Kempainen 1996)



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 (Gahegan 1995):

- 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.

Tyto dva rozdílné přístupy mají přímý dopad na reprezentaci reálného světa v geoinformačních systémech. Ale o tom později.

## 8.2 Matematické prostory

Na Obr. 43 je schematicky znázorněno hierarchické členění matematických prostorů, tak jak je uvedeno v práci (Albrecht, Kemppainen 1996). 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.

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. 43 snadno zjistíme, že se topologické prostory dělí na dvě základní skupiny: bodové a algebraické. Zatímco topologie bodů pracuje s pojmem *okolí*, algebraická topologie představuje základ grafů.

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*. 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.

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. 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 neexistuje žádný souřadnicový systém a neměří se zde vzdálenosti.

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.

### 8.2.1 Topologický prostor

*Topologie* je matematická disciplína, která studuje vzájemné prostorové vztahy geometrických objektů. Pro topologii je typické, že nepracuje se souřadnicemi těchto objektů. Někdy se jí také říká *geometrie bez souřadnic* (angl. rubber sheet geometry) (Herring 1897). 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 katastrální mapy, komplexní ekologické podmínky, dopravní a inženýrské sítě apod. (Streit 2002). 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?*“ 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.

#### 8.2.1.1 Prostorové vztahy geoprvků

Příklady *prostorových vztahů* geoprvků jsou uvedeny v Tab. 2. V zásadě se řeší vzájemné prostorové vztahy bodů, linií a polygonů. Ty mohou být velice komplikované. Například v (Topolog 2004) je uvedeno celkem 26 topologických vztahů, do nichž mohou body, linie a polygony vstupovat a které jsou postihnutečné v ArcGIS firmy ESRI, a v (Paquette 2005) je uvedeno dokonce 52 topologických vztahů, definovaných v normě ISO 19125.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tab. 2 Příklady prostorových vztahů geoprvků (Gahegan 1995)

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

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.

### 8.2.2 Metrické prostory

Výše 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:

- $d(A,B) \geq 0$  (podmínka nezápornosti vzdálenosti),
- $d(A,B) = 0$  tehdy a jen tehdy, je-li  $A = B$  (podmínka totožnosti),
- $d(A,B) = d(B,A)$  (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 definovat různé metriky; jestliže metriky  $d$  a  $e$  jsou různé, pak ovšem i metrické prostory  $(M,d)$  a  $(M,e)$  jsou různé (AplikMat 1978).

V prostředí geoinformačních systémů se nejčastěji používají dvě metriky:

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



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- *Manhattanovská*, určená pro měření vzdáleností v prostorech s diskrétními 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 (Maguire et al. 1991)

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

Tato metrika je vhodná pro měření vzdáleností v oblastech s hustou pravidelnou zástavbou (např. i některé čtvrti našich měst).

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.

### 8.2.3 Euklidovský prostor

Euklidovský prostor (angl. Euclidean space) je matematickou abstrakcí a rozšířením „běžného“, zpravidla třírozměrného prostoru, v němž se odehrává náš každodenní život (Nicholls 2003). 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.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$N$ -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).



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## 9 Určování polohy v prostoru

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

V literatuře se objevují v této souvislosti dva pojmy (Pajares 1998):

- *prostorový referenční systém* (angl. Spatial Reference System) jako koncept, zahrnující základní teorii a standardy určování polohy (např. kartézský souřadnicový systém, polární souřadnicový systém apod.) a
- *prostorový referenční rámec* (angl. Spatial Reference Frame) jako praktickou realizaci prostorového referenčního systému prostřednictvím pozorování a sady souřadnic pozorovacích stanic, tj. signalizovaných bodů v prostoru (například Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální – S-JTSK).

Jejich význam si nejlépe ukážeme na následujícím příkladu.

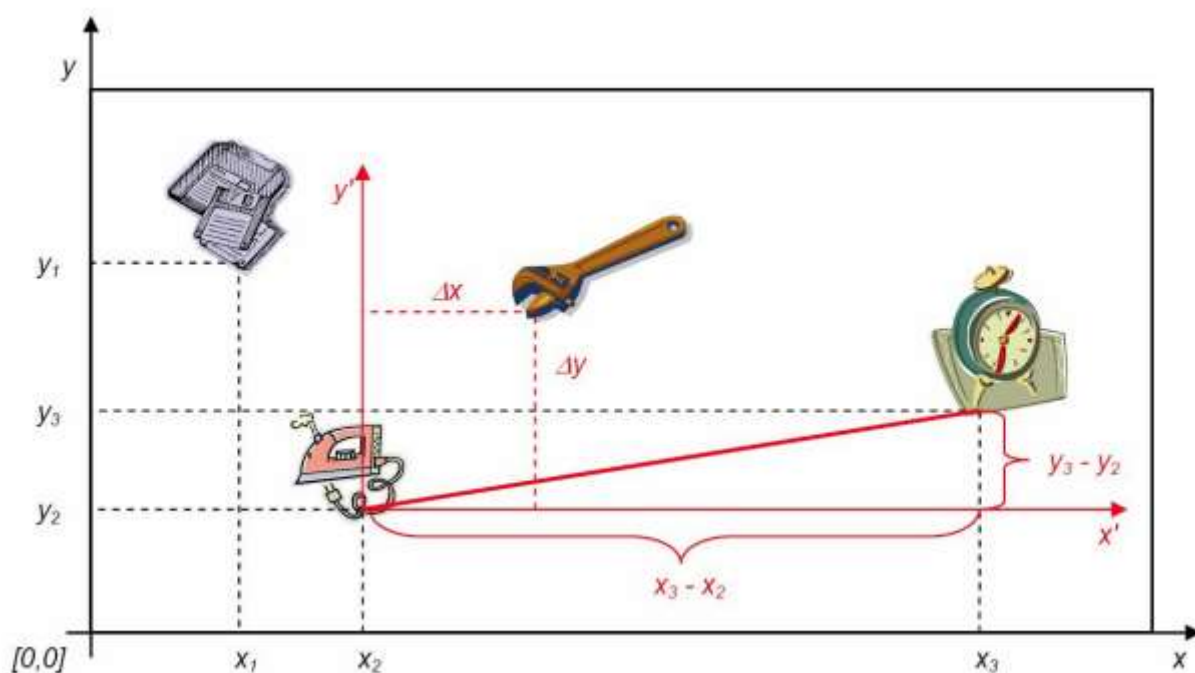
*Příklad: Řekněme, že se rozhodneme pro určování polohy na našem stole používat prostorový referenční systém (v tomto případě dvourozměrný kartézský souřadnicový systém), mající počátek v jednom z rohů a dvě souřadnicové osy  $x$  a  $y$ , z nichž první je rovnoběžná s kratší stranou stolu a druhá s 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 a pokaždé poskytuje pro stejný bod na desce stolu jiné souřadnice. Pokud bychom chtěli spojit data pořízená různými osobami v různých souřadnicových systémech, snadno bychom narazili na problémy.*

*Rozhodneme proto, že:*

- *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 na ploše stolu definujeme ještě několik pomocných bodů (například si je nakreslíme fixem), které nám umožní určovat polohu jiných bodů i v této situaci.*

*Definovali jsme si prostorový referenční rámec. Výsledek vidíme na Obr. 44. Od této chvíle je možné bez problémů kombinovat data zaměřená různými osobami.*

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



Obr. 44 Prostorový referenční rámec na pracovním stole (Rapant 2006)

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.

## 9.1 Způsob vyjadřování polohy

Polohu geopravku je možné vyjádřit v zásadě dvěma způsoby:

- přímo pomocí souřadnic,
- nepřímou pomocí geokódů.

*Přímé vyjádření polohy* znamená, že polohu geopravku vyjádříme pomocí vhodného *souřadnicového systému* (prostorovým referenčním systémem je v tomto případě souřadnicový systém). V (Názvosloví 1990) je uvedena následující definice souřadnicového systému:

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

Souřadnicový systém musí splňovat tři základní podmínky (Streit 2002):

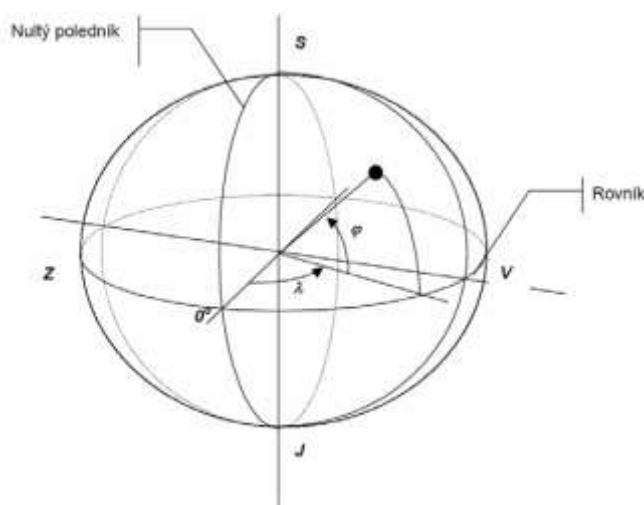
- 1) Prostorová reference musí být jednoznačná, to znamená, že dva geopravky se stejnou prostorovou referencí (polohou) musí být identické. Různé prostorové reference proto musí definovat různé geopravky.
- 2) Prostorová reference musí být kvantifikovatelná, musí být vyjádřitelná prostřednictvím metrické stupnice.

- 3) Musí být definovaná *metrika* umožňující měření vzdálenosti  $d(A, B)$  mezi dvojicí bodů A a B.

*Nepřímé vyjádření polohy* znamená, že polohu geoprveku vyjádříme odkazem na jiný geoprvek, jehož poloha je vyjádřena přímo (tedy 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 celou řadu informací z různých databází, 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 vyjádřením polohy setkáváme daleko běžněji, než s přímým.

## 9.2 Prostorové referenční systémy pro přímé vyjádření polohy

V tomto případě se poloha geoprveku vyjadřuje pomocí souřadnicového systému (prostorovým referenčním systémem je souřadnicový systém).



Obr. 45 Geografický souřadnicový systém (Rapant 1998)

### 9.2.1 Geografický souřadnicový systém

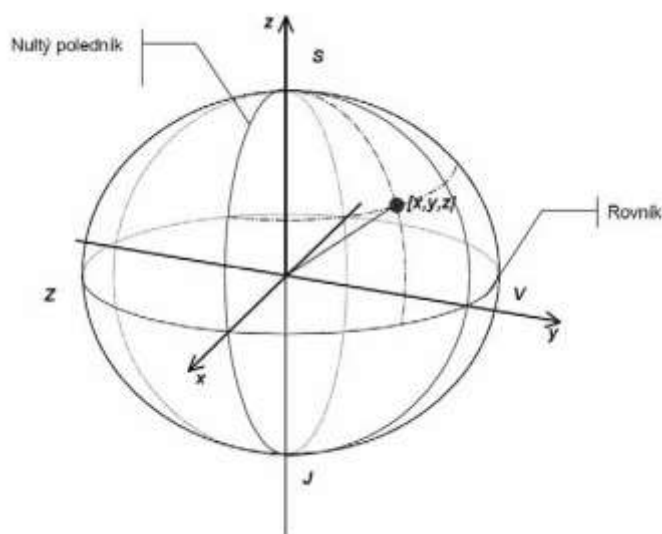
*Geografický souřadnicový systém* (angl. geographic coordinate system) je v principu sférický s tím, že poloha bodu na zemském povrchu je v něm udávána pomocí zeměpisné šířky  $\phi$  (angl. latitude) a zeměpisné délky  $\lambda$  (angl. longitude) (viz Obr. 45) implicitně se předpokládá, že bod vždy 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.  $90^\circ$  severní šířky odpovídá severnímu pólu. Obdobně je tomu i směrem na jih,



90° jižní šířky odpovídá jižnímu pólu. Geografické souřadnice se někdy ještě doplňují nadmořskou výškou  $h$ , udávanou v metrech (Maguire et al. 1991).

### 9.2.2 Geocentrický souřadnicový systém

*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. 46). Osy  $x$  a  $y$  leží v rovině rovníku, osa  $x$  prochází průsečíkem nultého poledníku, osa  $y$  je otočena o 90° na východ a rovníku a osa  $z$  je k nim kolmá a obvykle se ztotožňuje s osou rotace Země (Maguire et al. 1991).



Obr. 46 Geocentrický souřadnicový systém (Rapant 1998)

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.

### 9.2.3 Souřadnicové systémy kartografických zobrazení

Souřadnicových systémů patřících do této skupiny je celosvětově několik set a souvisí se znázorňováním povrchu Země na mapách. Jsou těsně svázány s konkrétními tzv. *kartografickými zobrazeními* (angl. cartographic projection).

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

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

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

a schematicky naznačit

$$(\phi, \lambda) \rightarrow (x, y)$$

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.

#### 9.2.4 Staničení

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 mezníky s vyznačenou vzdáleností od počátku dané železniční tratě.

#### 9.2.5 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 rotačního elipsoidu (náhradního tělesa, kterým se v rámci kartografického zobrazení nahrazuje zeměkoule) nebo povrch geoidu (základní hladinová plocha, která se přimyká ke střední hladině oceánů a je protažena i pod kontinenty). Na Obr. 47 je ukázán vztah mezi takto měřenými výškami.

*Výška nad elipsoidem*, resp. *elipsoidická výška* nebo *geodetická výška*  $h$  (angl. height above ellipsoid – HAE) je měřena od elipsoidu podél kolmice procházející měřeným bodem (Ihde 1999).

*Nadmořská výška* (výška nad geoidem)  $H$  (angl. height above mean sea level – MSL) 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:

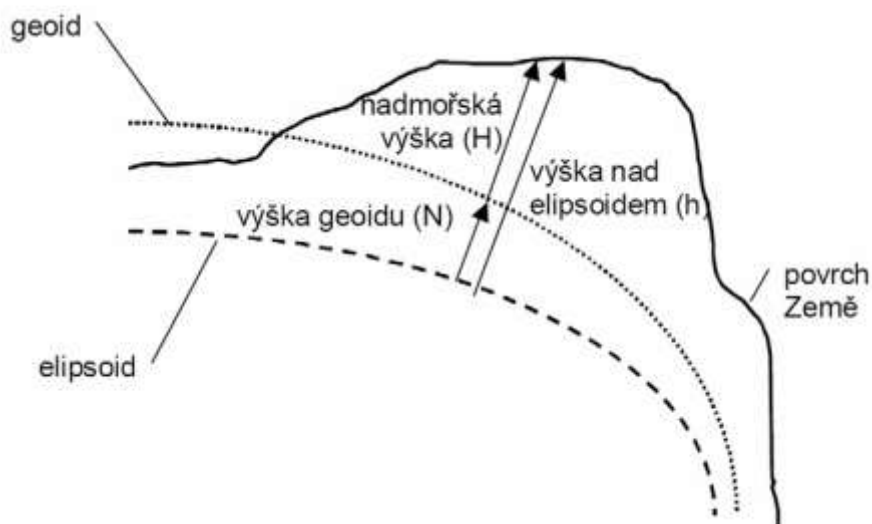
$$h = H + N$$

Je nezbytné rozlišovat výšku nad elipsoidem a výšku nad geoidem. Zvláštní pozornost je nezbytné věnovat tomuto problému v souvislosti s používáním přijímačů GNSS. 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

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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; Obr. 48), což je stanice, v níž se měří *střední hladina moře* (angl. mean sea level).



Obr. 47 Vztah mezi výškou měřenou nad geoidem (tj. nadmořskou výškou) a výškou měřenou nad elipsoidem (Rapant 2006)



Obr. 48 Mořský vodočet v Krošatdu  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Baltsk%C3%BD\\_po\\_vvrovn%C3%A1n%C3%AD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Baltsk%C3%BD_po_vvrovn%C3%A1n%C3%AD)



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### 9.2.6 Prostorové referenční systémy používané v české republice

Vláda české republiky vydala nařízení č. 430/2006 Sb., kterým stanovila geodetické referenční systémy a státní mapová díla závazná na území státu a zásady jejich užívání. Geodetické referenční systémy použitelné na území našeho státu jsou:

- *světový geodetický referenční systém 1984 (zkratka WGS 84; angl. World Geodetic System 1984),*
- *evropský terestrický referenční systém (zkratka ETRS; angl. European Terrestrial Reference System),*
- *souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální (zkratka S-JTSK),*
- *katastrální souřadnicový systém gusterberský,*
- *katastrální souřadnicový systém svatoštěpánský,*
- *výškový systém baltský – po vyrovnání (zkratka Bpv),*
- *tíhový systém 1995 (zkratka S-Gr95),*
- *souřadnicový systém 1942 (zkratka S-42/83).*

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

### 9.3 Nepřímé vyjádření polohy. Geokód

V případě nepřímého vyjádření polohy již nemluvíme o souřadnicových systémech, nýbrž o systémech *geokódů*. Geokód lze definovat například takto (upraveno podle (Rapant 2001)):

*Geokód je kód používaný pro nepřímé vyjádření 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.*





evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## 10 Čas

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, předevčírem, 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.*

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 dříve), tak času byla dlouhou dobu věnována jen malá až žádná pozornost. Teprve v posledních desetiletích 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.

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).

### 10.1 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*.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Pro praktické použití je den příliš dlouhou časovou jednotkou. Proto se postupem doby ustálilo jeho další dělení, a to na 24 hodin. Každá hodina přitom odpovídá pootočení zemského tělesa o  $15^\circ$ . Hodina se dále dělí na 60 minut, minuta na 60 sekund, sekunda na milisekundy a tak dále. *Sekunda* je dnes považována za *základní měrnou jednotku* a čas za základní fyzikální veličinu.

Sekunda jakožto základní jednotka času je v mezinárodním systému jednotek (SI) definována takto (Termin 1998):

*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  $^{133}\text{Cs}$ .*

## 10.2 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 vyjadřování a určování 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 nejenom 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 stupnici je možné definovat takto (Definiton 1996):

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

V průběhu historie lidstva byla vyvinuta celá řada časových stupnic (Husfeld 1996), (Time 2002), (Matsakis 2014):

- solární čas,
- siderický čas,
- univerzální čas,
- atomový čas,
- univerzální koordinovaný čas,
- efemeridový čas,
- dynamický čas,



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- juliánský den,
- a jiné.

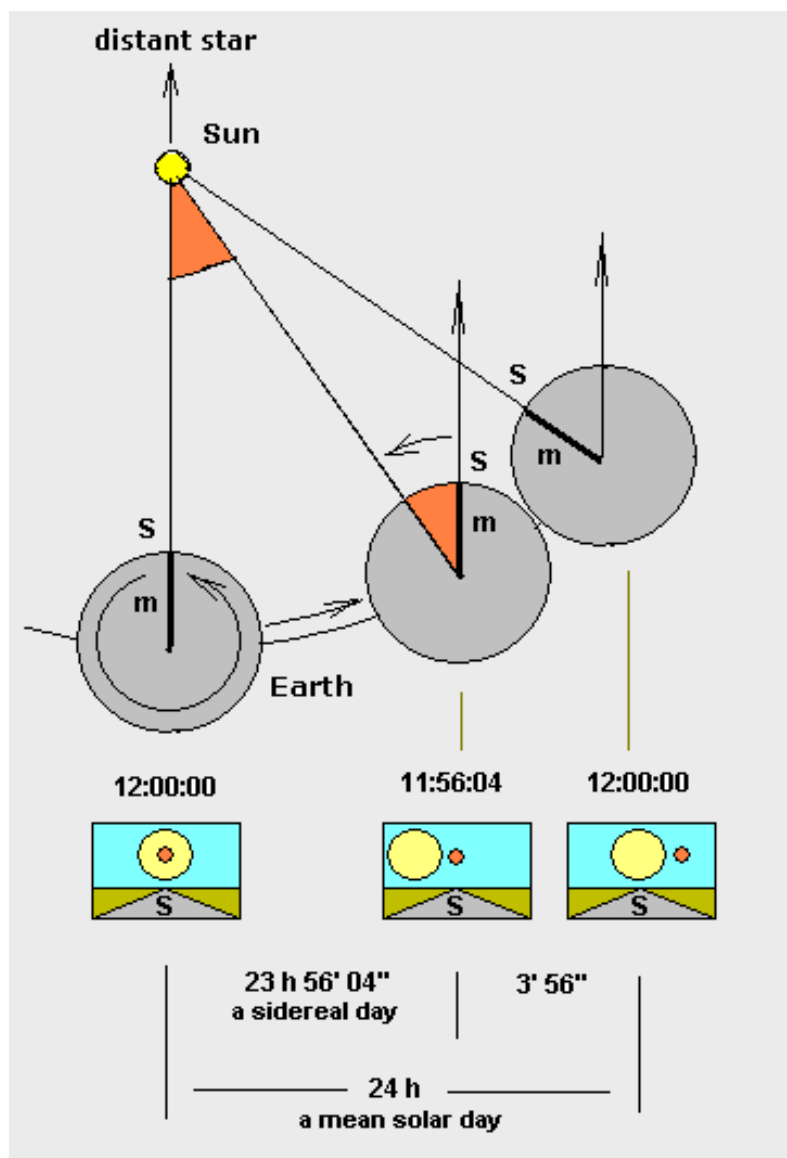


Obr. 49 Lokální poledník používaný v minulosti pro určování pražského času

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 polovině minulého století byly vyvinuty prostředky pro mnohem přesnější určování času nezávislé na astronomických pozorováních – tzv. *atomové hodiny* (viz dále).

Podívejme se blíže na některé z těchto časových stupnic.



Obr. 50 Rozdíl mezi solárním a siderickým časem ([http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sidereal\\_Time\\_en.PNG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sidereal_Time_en.PNG))

### 10.2.1 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. Například pražský čas se odvozoval od průchodu Slunce nad lokálním poledníkem



procházejícím Staroměstským náměstím. Dodnes je tento poledník znázorněn v dlažbě tohoto náměstí (Obr. 49).

Doba trvání solárního dne vyjádřená pomocí tzv. *univerzálního času* (viz dále) je 24 h. 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. A projevují se na něm i vlivy nerovnoměrné rotace Země, stěhování pólů Země a konec konců i obtížné určení okamžiku průchodu slunečního kotouče nad lokálním poledníkem.

Aby byla získána co nejpravidelnější časová stupnice, je pro solární čas zaveden standard – tzv. *střední solární čas* (angl. Mean Solar Time).

### 10.2.2 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. Rozdíl oproti solárnímu dni je dán tím, že čas se začal měřit nejprve vůči Slunci, tento čas je pro nás přirozený a i univerzální čas je proto navázaný na solární den. Ten je o něco delší než siderický den proto, že Země během jedné své otočky urazí i nezanedbatelnou část své oběžné dráhy kolem Slunce, celková doba jedné otočky 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 siderický (Obr. 50).

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.

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* (Husfeld 1996).

### 10.2.3 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 (Husfeld 1996).



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

### INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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 (Universal 1996).



Obr. 51 Ukázka praktické realizace atomových hodin (HP 5071A (BIMP 2002))

#### 10.2.4 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. 51).

Nepřesnost atomových hodin 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.

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 (Time 2002)) 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  $\pm 2 \cdot 10^{-14} \text{ s.den}^{-1}$  (v roce 1990) (Husfeld 1996), (Matsakis 2014). Podrobněji se lze s principem fungování atomových hodin seznámit např. v (Breakiron 2002) a (Matsakis 2014a).

Atomové hodiny jsou základem nejen měření času na Zemi, ale i fungování dnes již životně důležitých systémů – globálních navigačních a polohových systémů. Jejich realizace by bez existence velice přesných atomových hodin byla nemyslitelná.

### 10.2.5 Univerzální koordinovaný čas

Hlavní nevýhoda časové stupnice UT1 – proměnlivost délky sekundy z ní odvozené – byla odstraněna zavedením nové časové stupnice (v roce 1972 (Centrol 1998)), tzv. *koordinovaného univerzálního 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 vysoce stabilní časovou stupnici založenou na jednoznačně definované jednotce času i dobrou shodu s astronomicky odvozovanou 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<sub>USNO</sub> (časová stupnice udržovaná United States Naval Observation v USA a používaná jako časový standard např. pro družicový navigační systém GPS), UTC<sub>RF</sub> (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<sub>USNO</sub> a UTC<sub>RF</sub>.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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 – Kobylicích. K udržování času se od roku 1998 používají cesiové atomové hodiny Hewlett-Packard model 5071A (viz obr. II.9.1). 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 (Karpíšek 2003a).

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 vyhledává služba the International Earth Rotation Service (IERS) (IERS 2014). Potřeba zavedení přestupné sekundy je oznamována vždy v dostatečném předstihu tak, aby se všichni uživatelé mohli včas připravit. Doposud bylo nezbytné přestupné sekundy pouze vkládat, zatím nikdy nedošlo k jejímu odebrání.

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 (červen 2014) činí rozdíl ( $UTC - TAI$ ) -35 s.

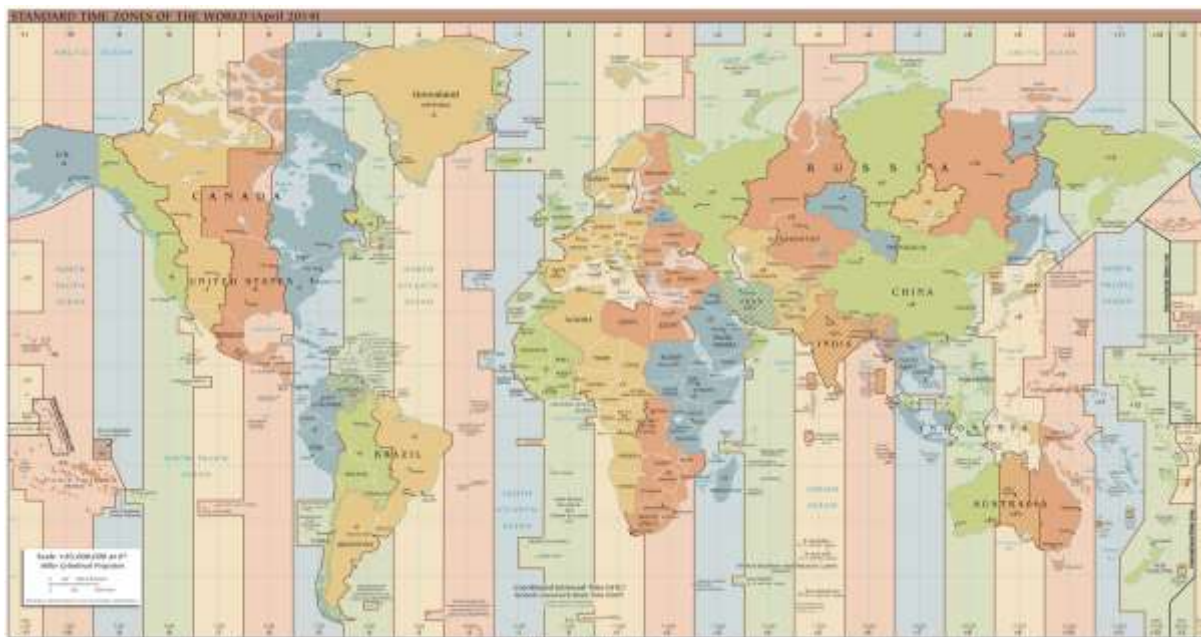
### 10.2.6 Časová pásma – pásmový čas

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 (Karpíšek 2003). Proto bylo nakonec domluveno zavedení tzv. *časových pásem* (angl. time zone), kdy čas v každém pásmu se řídí místním časem odpovídajícím poledníku jdoucímu 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  $15^\circ$  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.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 52 Časová pásma (poslední aktualizace duben 2014;  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Time\\_zone#mediaviewer/File:World\\_Time\\_Zones\\_Map.png](http://en.wikipedia.org/wiki/Time_zone#mediaviewer/File:World_Time_Zones_Map.png))

Velkou výhodou časových pásem je, že v časových údajích jsou vždy stejné minuty a sekundy, liší se jen o celé násobky hodin. 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 (viz Obr. 52). Navíc byla zavedena i některá mezipásma a různé další výjimky (Karpíšek 2003). 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 o  $5\frac{3}{4}$  hodiny (Obr. 53).



Obr. 53 Detail časových pásem v oblasti Indie

**INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ**

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) (Karpíšek 2003).

Vedle standardních časových pásem se ještě v některých částech světa zavádí pro určitou část roku tzv. *letní čas* (angl. daylight saving time). Letní čas byl zpočátku zaváděn z čistě ekonomických důvodů a neměl žádné fyzikální opodstatnění. Dnes však již pominuly i důvody ekonomické a je udržován jen z nejasných důvodů. 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 střeoevropský letní čas (SELČ; +2 hodiny).

**Tab. 3 Ukázka části chronostratigrafické tabulky, reprezentující geologický čas (upraveno podle (Chrono 2003))**

Eon	Éra	Útvar	Oddělení	Stupeň	Čas (mil. let)
fanerozoikum	kenozoikum	kvartér	holocén		0,01
			pleistocén		1,8
			pliocén	gelas	5,3
		piacens			
		zanci			
		messin			
		terciér	neogén	torotn	24
				serraval	
			miocén	langh	
				burdigal	
				aquitan	
				chatt	
		rupel			
		paleogén	eocén	priabon	53
				barton	
				lutet	
				ypres	
		paleocén	thaned	65	
seland					
mezozoikum	křída	svrchní	dan	135	
			maastricht		
			campan		
			santon		
			coniac		
			turon		
			cenoman		

### 10.2.7 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. Případné zájemce je možné odkázat např. na (Time 2002), (Husfeld 1996), (WhatIs 2002), (Matsakis 2014) 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

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

sedimentárních pánví. V detailu se může pro různé oblasti světa lišit. V Tab. 3 je uvedena ukázka části 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. 4.

Tab. 4 Historická časová stupnice (Karpíšek 2003b)

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		

### 10.3 9.2 Časové signály

Při měření času se můžeme někdy dostat do situace, že potřebujeme synchronizovat používaná časoměrná zařízení, vzdálená i několik tisíc kilometrů od sebe. V takovém případě můžeme použít buďto speciální přijímače GNSS (což je vysoce přesné, ale také velice nákladné řešení) nebo můžeme použít mnohem levnější přijímače tzv. *časových signálů* (Karpíšek 2003a). Časové signály jsou vysílány speciálními rádiovými vysílači a jsou dnes běžně používány mimo jiné i pro synchronizaci domácích hodin a budíků.

*V minulosti se rovněž používaly k synchronizaci hodin „časoměrné signály“. Když se používal pražský čas odvozovaný astronomicky od průchodu Slunce nad poledníkem procházejícím Staroměstským náměstím, tak v okamžiku, kdy nastalo poledne, dali astronomové mávnutím praporku signál dělostřelci na Petříně, a ten vystřelil z kanónu. Kdo výstřel slyšel, nastavil si hodiny na poledne.*

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 (Karpíšek 2003a).



#### INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Významným podnětem k rozvoji těchto služeb byl Mezinárodní geofyzikální rok 1957/58. Postupně rostl počet vysílačů, 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 (Karpíšek 2003a).





evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## 11 Geoprvek. Složky popisu geoprvku

Každý geoprvek, má-li být správně reprezentován a zpracováván, musí být popsán z mnoha hledisek. Z pohledu geoinformatiky je důležitý popis *polohy daného geoprvku* v prostoru a jeho *geometrických vlastností*. Dále musí být popsány *negeometrické vlastnosti geoprvku* – tzv. *atributy* (název, počet pater, pórovitost, hustota, hloubka uložení...). V neposlední řadě musí popis geoprvku zaznamenat jeho *trvání a proměny v čase* a jeho *vztahy k okolním a případně i jiným geoprvkům*. Zapomenout nesmíme ani na popis *operací*, které lze s daným geoprvkem provádět (nebo činností, které může daný geoprvek vykonávat) a na specifikaci *kvality popisu*, která by měla doprovázet každý popis geoprvku (Rapant 2006).

Popis geoprvku prostorovými daty je proto možné rozdělit na pět základních složek (Rapant 2006):

- *geometrickou* – zaznamenává polohu geoprvku v prostoru a popisuje jeho geometrické vlastnosti,
- *popisnou* (někdy též označovanou jako *tematickou*) – zaznamenává negeometrické vlastnosti geoprvku,
- *časovou* – zaznamenává historii změn geoprvku v čase; lze z ní odvodit dobu existence geoprvku v daném stavu,
- *vztahovou* – popisuje vztahy, do nichž geoprvek vstupuje s jinými geoprvkami, mimo jiné i prostorové vztahy s okolními geoprvkami – tzv. *topologií*,
- *funkční* – popisuje operace, které lze s daným geoprvkem provádět,

a jako doplňující složka, která se nevztahuje přímo k popisovanému geoprvkovi, nýbrž k jednotlivým složkám jeho popisu jako takovým, je složka:

- *kvalitativní* – popisuje kvalitu popisu geoprvku.

Následující odstavce jsou věnovány podrobnějšímu rozboru jednotlivých složek.

### 11.1 Geometrická složka popisu geoprvku

Geometrická složka popisu geoprvků 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 geoprvku v tomto prostoru,
- prostorové vlastnosti geoprvku.

#### 11.1.1 Prostor, v němž je geometrická složka definována

U každého geoprvku je nezbytné zaznamenat prostor, v němž je definována jeho geometrická složka popisu, neboť na tomto prostoru závisí, jak bude možné s geoprvkem pracovat.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Geoprvky jsou zpravidla primárně definovány v Euklidovském prostoru, ale může nastat i situace, kdy jsou definovány primárně v topologickém nebo i jiném prostoru.

### 11.1.2 Určení polohy geoprvku v daném prostoru

Určení polohy geoprvku je závislé na prostoru, v němž je definován. V případě Euklidovského prostoru je poloha geoprvku vyjádřena přímo souřadnicemi nebo nepřímo geokódem, v případě topologického prostoru prostorovými vztahy k okolním geoprvkům apod.

### 11.1.3 Prostorové vlastnosti geoprvku

Tato část popisu je zachycuje prostorové charakteristiky geoprvku, jako jsou například (Laurini, Thompson 1994):

- 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 geoprvku 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.

## 11.2 Tematická složka popisu geoprvku

Tematická složka popisu geoprvku 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 vlastnosti (Frank 1987). Název udává, jaká vlastnost geoprvku je hodnotou popisována. Každý geoprvek smí mít pro každý atribut (tedy každou vlastnost) přiřazenu nejvýše jednu hodnotu.

Hodnoty každé vlastnosti jsou vybírány z určitého definičního oboru, který je nazýván *doména* (angl. domain). Doménu je možné charakterizovat jako *potenční množinu dat, ze které je vybírána hodnota atributu* (Horák 2002a). Může jí být např. obor celých čísel, interval na reálné ose, nebo výčet možných hodnot apod. Pro různé vlastnosti jsou vhodné různé domény.

V zásadě lze rozlišit následující typy domén:

- *výčtový* – např. pro typ silnice to může být (*dálnice, silnice pro motorová vozidla, 1. tř., 2. tř., 3. tř., polní, neuveden, neznámý*).



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- *pořadový* – možné hodnoty jsou uspořádány, můžeme je tedy *porovnávat* (např. *prvohory, druhohory, třetihory, čtvrtohory*),
- *intervalový* – např. celá čísla z intervalu (0, 10), desetinná čísla z intervalu (0.5, 14.0); hodnoty lze sčítat, odčítat, jejich rozdíl je interpretovatelný; stupnice však nemá absolutní nulu, proto je nelze poměřovat; příkladem je teplota uvedená ve °C),
- *poměrový* – jakákoliv stupnice mající absolutní nulu, např. procenta, teplota vyjádřená ve °K apod.; tyto hodnoty lze i poměřovat.

Jak bylo výše uvedeno, každý geoprvek smí mít pro každou vlastnost přiřazenu nejvýše jednu hodnotu.

### 11.3 Časová složka popisu geoprvcu

Geografové i historici již odpradáвна zdůrazňovali, že pro správné porozumění objektům, jevům, událostem 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) (Gregory 2002). Většina dnes komerčně dostupných programů pro tvorbu geoinformačních systémů však neumí s časem plnohodnotným 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.

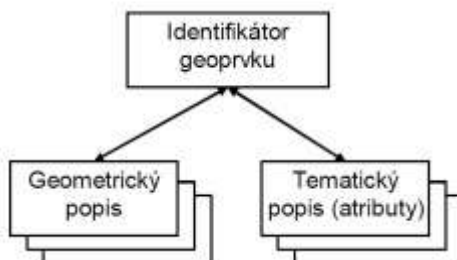
Bohužel komplexnost současného a soustavného zpracovávání prostorových a časových aspektů objektů, jevů, událostí a procesů reálného světa je tak veliká, že většinou musíme přistupovat ke kompromisu: buďto upřednostníme prostorové aspekty, zaznamenáváme je velice detailně v celé zájmové oblasti, ale 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 ((Peuquet 1994) in (Gregory 2002a)) 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?“.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Čas se svojí povahou výrazně liší od geometrických a popisných vlastností geoprvcu. Snad především tím, že nemůže být chápán jako složka popisu sama o sobě, ale vždy v těsném vztahu k výše uvedeným složkám popisu geoprvcu (Obr. 54). Proměny v čase jsou zaznamenávány sérií verzí geometrické a tematické složky popisu geoprvců.



Obr. 54 Vztah času ke geometrické a tematické složce popisu geoprvcu (Rapant 1998). Proměny v čase jsou zde zachyceny jednotlivými verzemi geometrického a tematického popisu

#### 11.4 Vztahová složka popisu geoprvcu

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 geoprvcu 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).

##### 11.4.1 Topologické vztahy

Dříve jsme si uvedli příklady možných topologických vztahů geoprvců 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. 5) (Bernhardsen 1992).

Tab. 5 Příklady prostorových vztahů v reálném světě (Bernhardsen 1992)

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





evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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.

*Příklad: Mějme plynovodní potrubí a zkoumejme propojení dvou oblastí, tj. zda jsou topologicky propojené. Mezi těmito oblastmi vede plynovodní potrubí, jehož součástí je šoupě, umožňující přerušit průtok plynu potrubím.*

*Je-li šoupě uzavřené, je aktuální topologický vztah mezi oblastmi „nepropojené“ a potenciální topologický vztah je „propojené“.*

### 11.4.2 Časové vztahy

Časové vztahy geoprvků mohou být následující (Metodologie 2014):

- *nahodilý spoluvýskyt* – geoprvek se vyskytuje zcela nahodile, nemá žádný explicitně vyjádřený kauzální vztah k jiným geoprvkům (například pole a potok),
- *vztah koexistenční* – geoprvek se vyskytuje současně s jinými geoprvkami (např. existence parkoviště je vázána na existenci příjezdové komunikace),
- *vztah sukcesivní (následný)* – geoprvek se vyskytuje s časovým odstupem po vzniku jiného geoprvků (např. tzv. brownfieldy, které vznikají po ukončení výroby v průmyslové zóně),
- *vztah kauzální (příčinný)* – geoprvek vznikne jako přímý důsledek vzniku jiného geoprvků (vodní plocha vznikne jako důsledek vzniku terénní překážky – umělé hráze, přehrazení údolí sesuvem půdy apod.).

### 11.4.3 Metrické vztahy

K metrickým vztahům patří především přímá vzájemná vzdálenost geoprvků. Tyto vztahy se nevyjadřují explicitně, zpravidla se odvozují přímo z geometrické složky popisu geoprvků s využitím metriky zvoleného prostoru.

### 11.4.4 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.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

#### INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

*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.*

#### 11.4.5 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.

#### 11.4.6 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. Tyto vztahy se vyjadřují explicitně.

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.

### 11.5 Funkční složka popisu geoprvků

Funkční složka popisu geoprvků 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 geoprvků 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 geopravku realizuje prostřednictvím programového kódu, který provádí manipulace s geopravkem tak, aby bylo dosaženo požadovaného stavu.

## 11.6 Kvalitativní složka popisu geopravku, 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 geopravku se mohou v čase měnit. A navíc popisy geopravků 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*) (Horák 2002), (Rase et al. 2002):

- 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 geoprvců, definovanou obvykle přesností jednotlivých atributů,
- přesnost časové složky popisu geoprvců, definovanou obvykle
  - aktuálností jednotlivých složek,
  - intervalem aktualizace,
- logická bezspornost mezi geometrickou a popisnou složkou,
- kompletnost, daná
  - kompletností dat,
  - kompletností modelu,
  - kompletností atributů,
  - kompletností hodnot,
- relevance popisu geoprvcu (pro které operace je možné popis geoprvcu použít, případně pro které ne).

Tyto parametry mohou být sledovány buďto na úrovni jednotlivých geoprvců, pokud je to opodstatněné, nebo spíše na úrovni skupin stejných geoprvců (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:

*Datová sada je identifikovatelná kolekce dat.*

Dnes se o této složce popisu geoprvců 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.





evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## 12 Prostorové modelování reálného světa

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 v případě zahrnutí času umožňují modelovat i události a také procesy reálného světa, které na objekty a jevy působí. Prostorový model je abstraktním a dobře definovaným systémem *konceptů*. Definuje mimo jiné i slovník (případně ontologii – viz dříve), který může být používán pro popis objektů, jevů, událostí a procesů. V případě geoinformačních systémů tento model i jemu odpovídající slovník umožňují pracovat i s prostorovými a případně i časovými aspekty objektů, jevů, událostí a procesů reálného světa (Zeiler 1999).

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 použitém náhledu na reálný svět, v závislosti na měřítku, časové proměnlivosti, účelu, řešených úlohách, na schopnosti zahrnout jednotlivé složky popisu objektů, jevů, událostí a procesů reálného světa apod.

Výše jsme si uvedli, že na reálný svět je možné se dívat různě:

- reálný svět může být vnímán jako prostor, v němž se nachází množina diskrétních *objektů reálného světa* rozložených v prostoru, popsanych hodnotami jejich vlastností,
- reálný svět může být vnímán jako prostor, v němž existuje množina *jevů* popisujících rozložení hodnot vlastností reálného světa v prostoru,
- reálný svět může být vnímán jako prostor, v němž dochází k *událostem* popisujícím změny uspořádání a vlastností reálného světa, které jsou prostorově i časově ohraničené,

- reálný svět může být vnímán i jako prostor, v němž probíhá a který utváří množina procesů.

Každému z těchto pohledů odpovídá jiná koncepce prostorového modelu. V minulosti se vedla celá řada diskuzí o možnosti vytvoření jednotného (tzv. unifikovaného) modelu (např. (Deren, Jianya 1992), (Jianya 1992)) sjednocujícího pokud možno všechna čtyři 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.

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 dříve zmíněných náhledů. 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 %).

## 12.1 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 (Kuneš et al. 1989), 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) (Spatial 2004). Abstrakce je kontextově závislá, to znamená, že v různých situacích jsou výsledkem různé systémy pojmů.

### Konkretizace

*Konkretizací* rozumíme proces opačný k abstrakci. Konkretizací odvozujeme z obecnějších pojmů pojmy konkrétnější.

### Univerzum diskurzu

Pojem *univerzum diskurzu* (angl. Univers of Discourse) bývá považován za velmi nesrozumitelný, 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 (Marjomaa 2004)):

*Univerzum diskurzu je množinou těch objektů, jevů, událostí 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. 55). Důležitým předpokladem je, že univerzum diskurzu je všemi účastníky interpretováno zcela shodně a umožňuje tak úspěšnou komunikaci mezi nimi. Tomu může hodně napomoci *ontologie* (sdílená konceptualizace – viz dříve). Pokud se některý z těchto faktorů změní (rámec, kontext, účastníci), vznikne nové univerzum diskurzu (Berild 2004).



**Obr. 55 Univerzum diskurzu a jeho vztah k rámcu, kontextu a účastníkům (Berild 2004)**

S univerzem diskurzu souvisí i účel, pro který bylo vytvořeno. Na rozdíl od předešlých 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 (Berild 2004).

*Příklad: Vytvořme univerzum diskurzu, jehož rámeček 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.*

### Model

V literatuře je možné nalézt celou řadu definic pojmu *model* (angl. model). Např. v (Concept 2004) 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 (Rapant 1998)):

*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 (Kuneš et al. 1989).

### 12.2 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, což znamená, 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 (Kuneš et al. 1989).

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) (Zlatanova 2000). 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* (Vossen 1991) (angl. data model). Obecně lze říci, že datové





evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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, událostí a procesů (tj. pro modelování dynamiky, resp. dynamických vztahů).

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.

### 12.3 Datové modely v geoinformačních systémech

Stejně jako existují čtyři různé náhledy na reálný svět, musí existovat i čtyři 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 událostnímu náhledu a v principu se blíží první koncepci; reprezentace události je velice blízká reprezentaci geoprvku, musí však pracovat i s časem.

Čtvrtá 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 podrobněji podíváme na první dva případy.

### 12.4 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



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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 geoprvku. Díky tomu je možné s nimi pracovat jako s celkem. V druhém případě jsou jednotlivé složky popisu geoprvku 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) – vzhledem k jeho omezenému využití se jím dále nebudeme zabývat.

### 12.4.1 Vektorový datový model

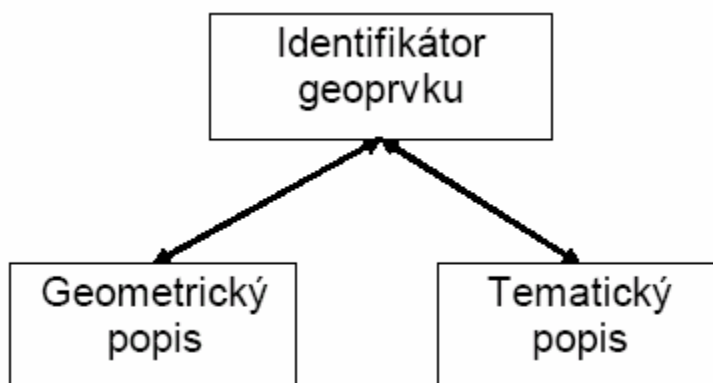
Datové modely pro reprezentaci reálného světa v geoinformačních systémech po jednotlivých složkách popisu geoprvků jsou dnes nejrozšířenější. Společným jmenovatelem těchto modelů je, že objekty reálného světa jsou v nich po stránce geometrické reprezentovány konečnými, diskrétními a homogenními jednotkami – nula- až dva-a-půl- 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.)

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 prostorových vztahů – topologie – a v oblasti vztahů, které lze přímo

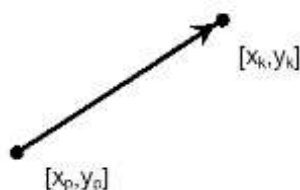
popsat daty – např. vlastnické a jiné vztahy). Ostatní složky, tedy časová, funkční a částečně i vztahová nejsou do tohoto modelu běžně implementovány a jsou realizovány jinými prostředky.



Obr. 56 Schematické členění geodat popisujících geoprvcy ve vektorovém datovém modelu (Rapant 1998)

Vektorový datový model člení modelový svět na geoprvcy. Každému geoprvcu je v tomto datovém modelu přiřazen jedinečný identifikátor a zcela odděleně jsou vedeny geometrická složka popisu geoprvcu a tematické složka popisu, přičemž vazba mezi těmito dvěma složkami je zprostředkována právě pomocí jedinečného identifikátoru geoprvcu (Obr. 57).

*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“.*

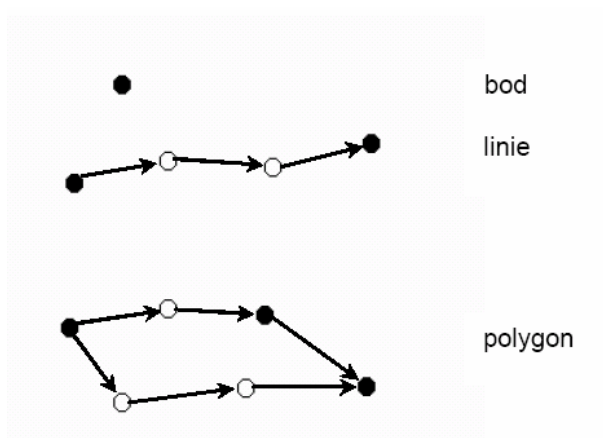


Obr. 57 Základní stavební kámen geometrické složky popisu geoprvcu ve vektorovém datovém modelu – vektor

Ve vektorovém datovém modelu se pro popis geometrických vlastností geoprvců používají lineární geometrické prvky, tzv. *vektory* (Obr. 57). Vektor je v terminologii geoinformačních systémů orientovaná úsečka, definovaná souřadnicemi počátečního a koncového bodu. Z vektorů jsou skládány tři základní geometrické prvky (Rapant 1998) (Obr. 58):

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- *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. vertex).
- *Polygon* (plocha; angl. polygon) – je reprezentovaný svojí hranicí, která je popsána uzavřenou posloupností vektorů, resp. linií.



Obr. 58 Základní geometrické prvky vektorového datového modelu a jejich reprezentace pomocí vektorů (Rapant 1998)

#### 12.4.1.1 Vektorový datový model a ukládání geometrické složky

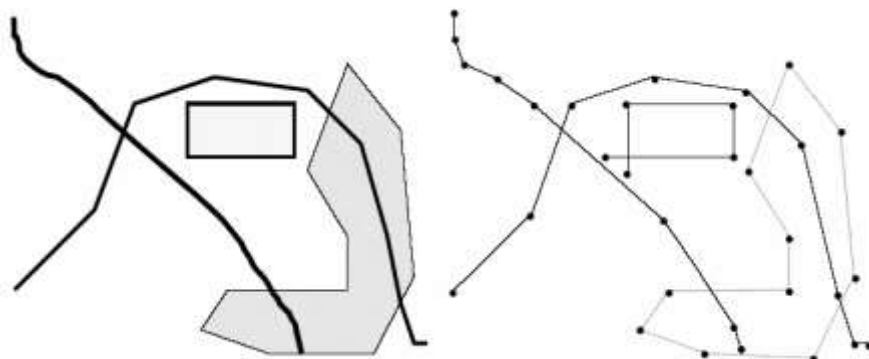
Z hlediska způsobu ukládání geometrické složky popisu geoprvků se vektorové datové modely dělí na dvě skupiny:

- *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 geoprvků ukládána odděleně ve vektorové formě, bez zachycení prostorových vztahů k okolním geoprvkům (Obr. 59). Linie se zde mohou křížit prakticky libovolně. Takovýto model je vhodný především pro zobrazování, a proto našel uplatnění zvláště v počítačové grafice a digitální kartografii. Jeho zásadní nevýhodou však je, že neumožňuje provádět prostorové analýzy. Tím výrazně snižuje hodnotu takto uložených geodat.

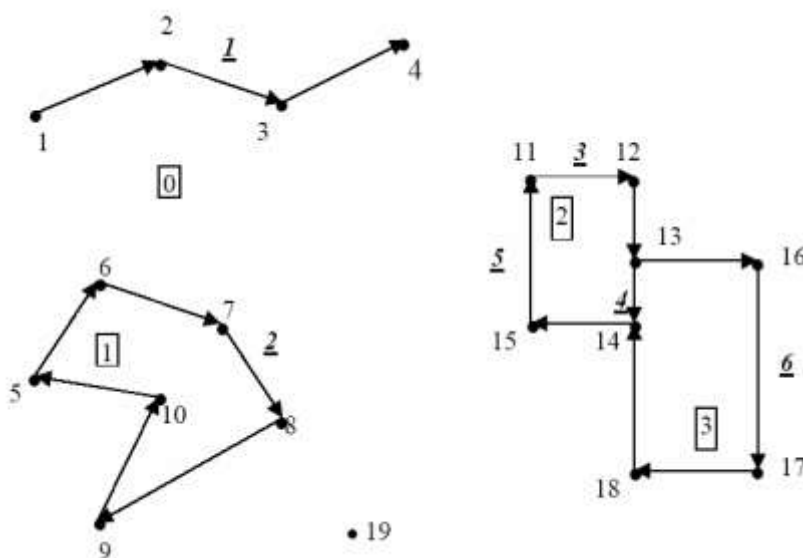


## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 59 Špagetový datový model (Rapant 1998)

*Topologické modely.* Základem topologického vektorového datového modelu je záznam linií tvořících geometrickou složku popisu geoprvků ve formě rovinného grafu (Obr. 60). Jednotlivé linie odpovídají hranám grafu a jejich počáteční a koncové uzly uzlům grafu. Mezilehlé vrcholy linií nemají při konstrukci vlastního grafu význam.



Obr. 60 Topologický vektorový datový model (Rapant 1998)

V geoinformačním systému může být tento graf uložen například tak, že v jedné tabulce (Obr. 61) 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.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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. 61 Topologický vektorový datový model – jeden z možných způsobů uložení geometrické složky popisu geoprvků ve formě tabulek (viz Obr. 60) (Rapant 1998)

Uložení topologické informace ve formě grafu velice usnadňuje kontrolu konzistence a detekci topologických chyb a usnadňuje také provádění některých analýz, jako jsou např. *síťové analýzy* (angl. network analyses).

**Vrstvy** (angl. layer). 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,
- 2) tematického,
- 3) geometrického.

**Ad 1**, Geometrická složka popisu geoprvků může být 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.

Na druhou stranu práce s takto strukturovanými geodaty je obtížnější, například polygon na přesahující dva mapové listy je rozdělen na dvě samostatné části. Proto se častěji objevuje tzv. *bezešvá* reprezentace geometrické složky.

**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 geoinformačním systému. Dnes zpravidla 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 bodové vrstvě silnic, liniové vrstvě řek, bodové vrstvě zastávek, liniové vrstvě linek nebo polygonové vrstvě zón MHD apod. Tyto vrstvy mohou být členěny do mapových listů.

#### **12.4.1.2 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 (Aronson 1987), (Bernhardsen 1992):

- 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. (Pokorný, Halaška 2003)).

#### *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 geoprvků, 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 (Rapant 1998). 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.

## 12.5 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. Zde se budeme zabývat nejjednodušším případem – *rastrovým datovým modelem* (angl. raster data model).



Obr. 62 Tvary základních buněk rastru

Rastrový datový model vychází z rozdělení rovinného prostoru pravidelnou *mříží* (angl. tessalation) na jednotlivé dílky (Smith 1987), označované jako *buňky* (angl. cell), které představují nejmenší, dále zpravidla nedělenou prostorovou jednotku (Obr. 62). Základní vlastností tohoto modelu je, že prostorové vztahy mezi geoprvkami jsou implicitně obsaženy



přímo v rastru, nejsou nijak explicitně vyjadřované. Geometrie, lokalizace a prostorové vztahy geoprvků proto nejsou přímo dostupné.

### 12.5.1 Podmínky pro tvar buněk

Použitá buňka rastru by měla splňovat minimálně následující podmínku:

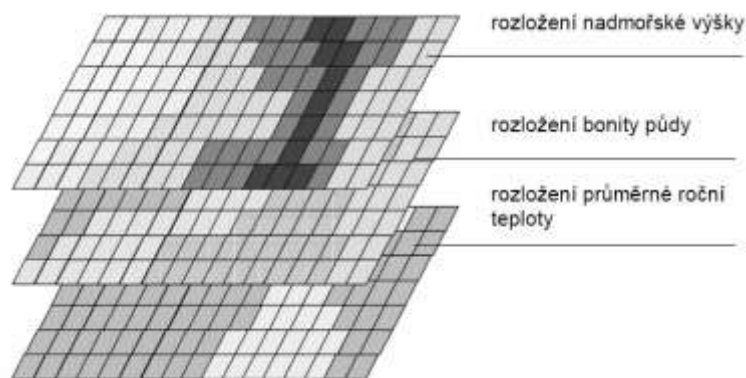
- měla by být nekonečně opakovatelná v rovině.

a v některých případech i další podmínku:

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

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

První pravidlo splňují buňky ve tvaru trojúhelníku, rovnoběžníku a šestiúhelníku (Obr. 62). Avšak jen první dvě z nich splňují i druhou podmínku. A z nich se v drtivé většině případů používá *čtvercová buňka*.



Obr. 63 Schematické členění dat v rastrovém datovém modelu (Rapant 1998)

Rastrový datový model je primárně určen k 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. 63. 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.

### 12.5.2 Členění dat v rastrovém datovém modelu

Při ukládání geodat pomocí rastrů (Smith 1987) se v principu postupuje tak, že se celá zájmová oblast rozdělí pravidelnou (nejčastěji čtvercovou) sítí rovnoběžek na buňky. Všechny mají své jednoznačné adresy, dané sloupcovými a řádkovými indexy. Každé buňce se přiřadí určité číslo

nebo kód, reprezentující hodnotu atributu, který je mapovaný. Výsledkem je zobrazení zájmové oblasti v podobě dvojrozměrné matice, kde každé buňce s daným řádkovým a sloupcovým indexem odpovídá prvek matice resp. vektor hodnot se stejným řádkovým a sloupcovým indexem.

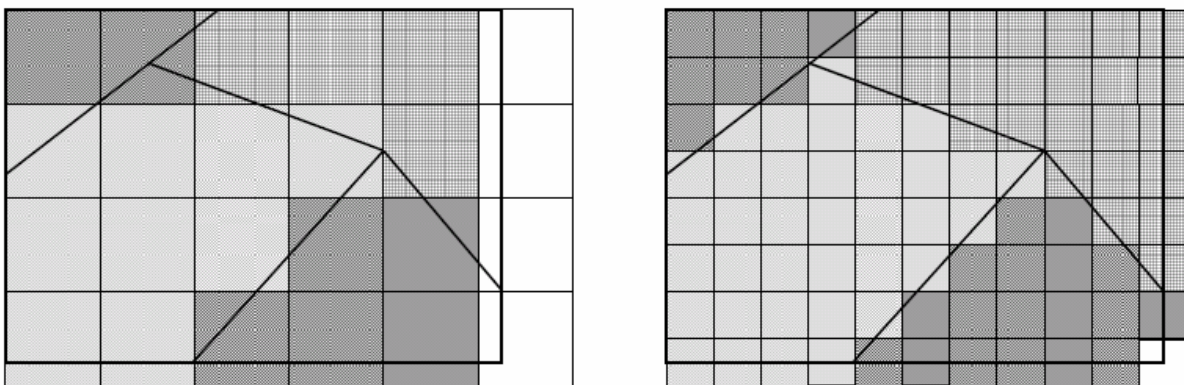
### 12.5.3 Faktory ovlivňující kvalitu zobrazení reálného světa v rastru

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 (Smith 1987):

- 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.



**Obr. 64** Vliv velikosti buňky rastru na výslednou reprezentaci zájmové oblasti v GIS (Rapant 1998)

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

*Příklad: Armáda České republiky vytvořila svého času 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*



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

*je určen letectvu, které zajímají právě nejvyšší místa tak, aby se letadla pohybovala nad daným čtvercem vždy v bezpečné výšce.*

**Ad 2** Druhým faktorem, který výrazně ovlivňuje výslednou reprezentaci zájmové oblasti v GIS je *velikost základní buňky rastru* (viz Obr. 64). 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*.

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 výstupem běžných rastrových analýz, a čtyřadvacetibitové rastry vznikají nejčastěji jako produkt získávání a 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 pohledu realizace jednotlivých složek popisu geoprvků je na tom rastrový model hůře než model vektorový (Rapant 1997). Většina problémů vzniká proto, že v rastrovém modelu nelze pracovat přímo s jednotlivými geoprvkem, ale pouze rozložením 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:



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

*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, například vybírat geoprvky dle vzdálenosti od jiného geoprvku apod.

*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 geoprvku 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 možností rastru. Lze si představit například rastr vyjadřující vlastnické vztahy, kdy je v každé buňce uložena identifikace vlastníka terénu reprezentovaného danou buňkou.

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

*Shrnutí:* Rastrový datový model neumí pracovat explicitně s jednotlivými geoprvkem, což je asi jeho hlavní nevýhodou. Neposkytuje také prostředky pro realizaci všech složek popisu geoprvků. Je orientován spíše 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 fotogrammetrie a dále tam, kde převládá, nebo alespoň hraje významnou roli, provádění analýz vycházejících právě z možností rastrů, jako je například *mapová algebra*. Ve snadnosti provádění těchto analýz dobře vyniknou pozitivní vlastnosti rastrového datového modelu.

## 12.6 Geoinformační systém jako obraz reálného světa

O geoinformačních systémech se obecně říká, že jsou obrazem reálného světa. Zjednodušeně by bylo možné tuto situaci naznačit tak, jak je znázorněna na Obr. 65 (Rapant 1996):



Obr. 65 Promítnutí reálného světa do GIS (Rapant 1996)

Nicméně ve skutečnosti není cesta reálného světa do databázi geoinformačního systému tak jednoduchá. Jedná se o zdoluhavý proces o mnoha krocích (viz Tab. 6):



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1) Reálný svět je pozorován pozorovatelem. Ten si vytváří na základě svých vjemů vnitřní (mentální) model tohoto světa (Obr. 66). 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). Má však jednu zásadní nevýhodu – je nesdělitelný.

Tab. 6 Transformace reálného světa do prostředí GIS (Rapant 1998)

Modely	Problémy
<i>Operace</i>	
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 ...

2) Pokud chce pozorovatel dát tento model k dispozici uživatelům, musí ho nejprve převést do podoby, která umožní jeho šíření a jednoznačnou interpretaci. Za tímto účelem byly vyvinuty postupy, pomocí kterých jsou vytvářeny všeobecně známé mapy (Obr. 67).

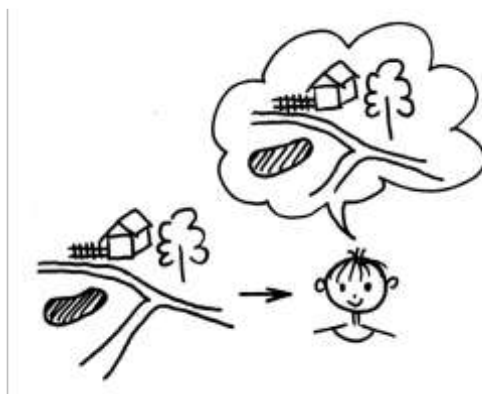
Co z našeho pohledu vytvoření mapy znamená. Za prvé, mapa je dvourozměrná, nenávratně tedy ztrácíme jeden rozměr (dům již nikdy nebude třírozměrný, ale vždy jen plochý), za druhé – mapa je statická, ztrácíme tedy rozměr času (dynamiku reálného světa) a vezmeme-li v úvahu, že nejkratší interval obnovy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



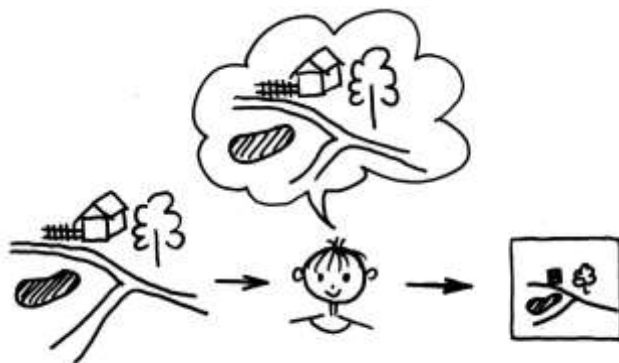
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

světa. A za třetí informační obsah mapy je limitován zvolenou legendou. Pokud bude v legendě jen obecný symbol pro budovu, už se nikdy nedovíme, která budova je škola, která je obchod apod.

To vše znamená, že při přechodu z mentálního modelu do mapy došlo k výrazné redukci zaznamenaných informací, ztrátě jednoho rozměru a ztrátě dynamiky. Na druhou stranu došlo i k určitému obohacení dat – a to o chyby.

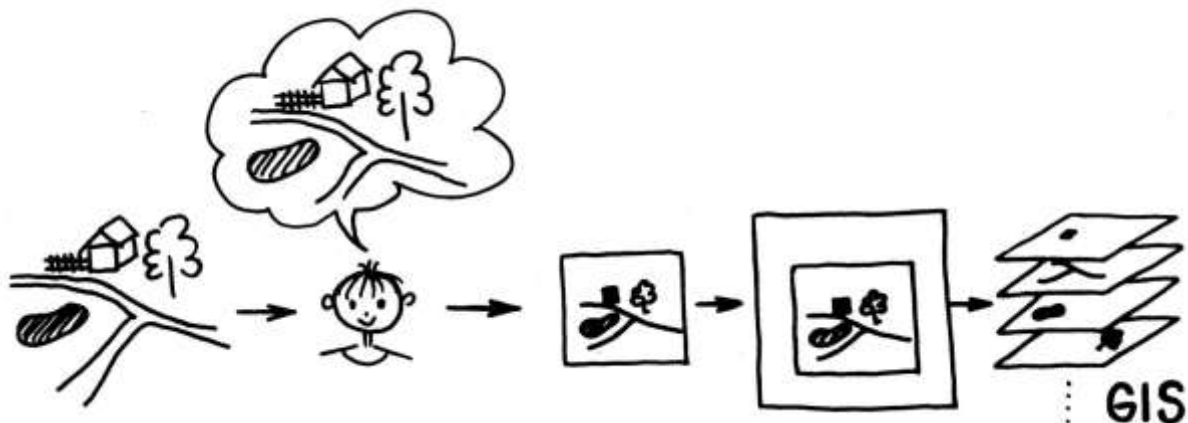


Obr. 66 Vytvoření vnitřního (mentálního) modelu (Rapant 1996)



Obr. 67 Promítnutí vnitřního modelu pozorovatele do mapy (Rapant 1996)

3) Vytvořenou mapu někdo připevní na digitizér a začne ji postupně převádět do prostředí geoinformačního systému (Obr. 68). 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 další chyby, vyplývající z nepozornosti, nepřesnosti, opomenutí, únavy ...



Obr. 68 Převod mapy do GIS pomocí digitizéru (Rapant 1996)

A tak získáme výsledný obraz reálného světa v geoinformačním systému – obraz světa, složeného z bodů, linií a polygonů, roztříštěného do vrstev, světa dvourozměrného, statického, zaostávajícího za reálným stavem, ochuzeného o mnoho informací, zato obohaceného o nepřesnosti a chyby.

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



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### 13 Získávání geodat. Měření, vzorkování

Objekty, jevy, události a procesy reálného světa jsou v geoinformačních systémech popisovány geodaty. Tato kapitola se podrobně zabývá různými aspekty jejich získávání.

Geodata můžeme získávat:

- přímým měřením hodnot vlastností objektů, jevů, událostí a procesů,
- nepřímým měřením hodnot 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 pořízena, 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.

V této kapitole se bude věnovat především získávání primárních geodat.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### 13.1 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 (Jaroslavskij, Bajla 1989), (Veverka 1989), (Uhlíř, Sovka 1995), (Wikipedia 2014) a (Higgins 1990).

*Signály* jsou funkce jedné nebo více nezávisle proměnných a nesou vedle informací o podstatě a vlastnostech svého zdroje a o prostředí, kterým se signál šíří, i informace do signálu zakódované (Uhlíř, Sovka 1995). Informace jsou v signálu reprezentovány změnami okamžité hodnoty fyzikální veličiny, kterou se signál představuje.

Signálem můžeme obecně rozumět libovolný fyzikální fenomén, který může být modelován funkcí prostoru nebo času a je použit pro přenos informací (Wikipedia 2014). Signály mohou vznikat v nejrůznějších zdrojích.

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 (Veverka 1989).

Pro popis signálů můžeme používat dva základní přístupy:

- *deterministický*,
- *stochastický*.

Na základě odpovídajícího popisu se i signály označují jako *deterministické* a *stochastické*.

#### 13.1.1 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 (Jaroslavskij, Bajla 1989), (Uhlíř, Sovka 1995). 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.

Funkci  $f$  reprezentující deterministický popis signálu můžeme vyjádřit jako zobrazení prvků množiny  $A$  na prvky množiny  $B$  a schematicky vyjádřit:

$$(f: A \rightarrow B)$$

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.

*Definiční obor.* Signál, jehož definičním oborem je konečná číselná množina, se označuje jako *konečný* (angl. finit). Příkladem takového signálu může být černobílá digitální fotografie.

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 nekonečnou posloupnost hodnot. 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 *číslicový* 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  $k$  (Jaroslavskij, Bajla 1989).

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*.

### 13.1.2 Stochastický popis signálu

Vedle deterministických signálů se setkáváme i se signály, u kterých neumíme přesně určit (vypočítat), jaké hodnoty v daném čase nebo místě nabydou. 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

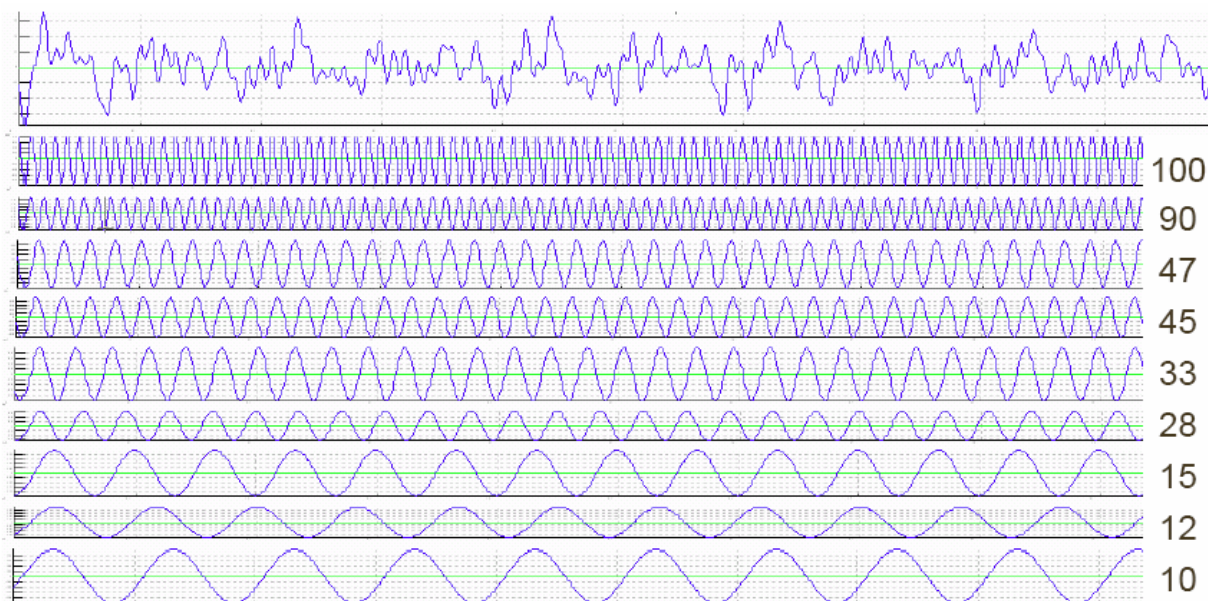


deterministický signál ovlivněn (rušen) náhodným šumem. Ani u takového signálu neumíme určit jeho hodnotu v libovolném čase nebo místě, neumíme tedy jednoznačně předvídat jeho časový nebo prostorový průběh. Takové signály označujeme jako *stochastické* nebo *náhodné* (angl. stochastic signal) a popisujeme je buďto pravděpodobnostními nebo statistickými metodami (Uhlíř, Sovka 1995). 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.

### 13.2 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.



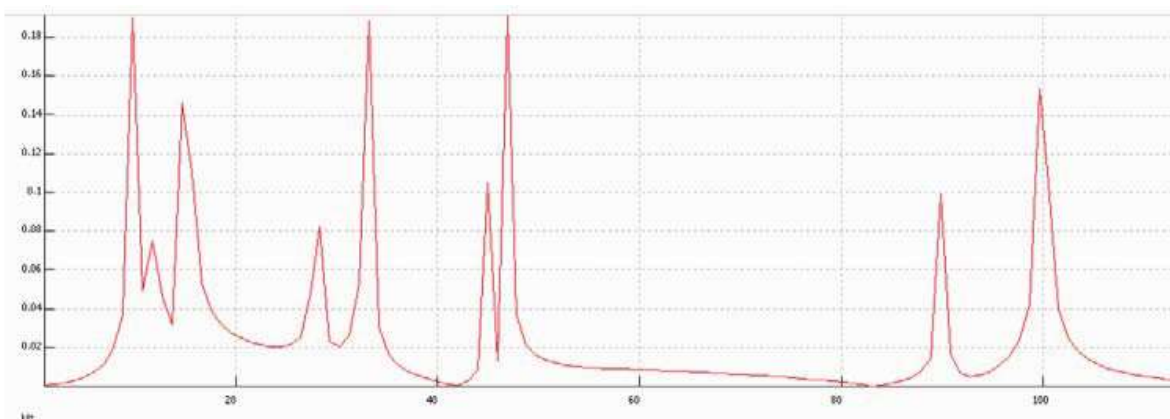
Obr. 69 Ukázka vyjádření daného signálu (nahore) jako součtu sinusových signálů s různou periodou a amplitudou. Číslo vpravo udává frekvenci jednotlivých sinusových signálů v [Hz] (Rapant 2006)

*Fourierova transformace* vyjadřuje daný signál (resp. jej modelující funkci) jako součet goniometrických funkcí (sinů nebo kosinů) různé periody násobených koeficienty vyjadřujícími jejich amplitudy (Obr. 69).

*Fourierova analýza* se zabývá nalezením vhodné Fourierovy transformace pro analyzovaný signál.

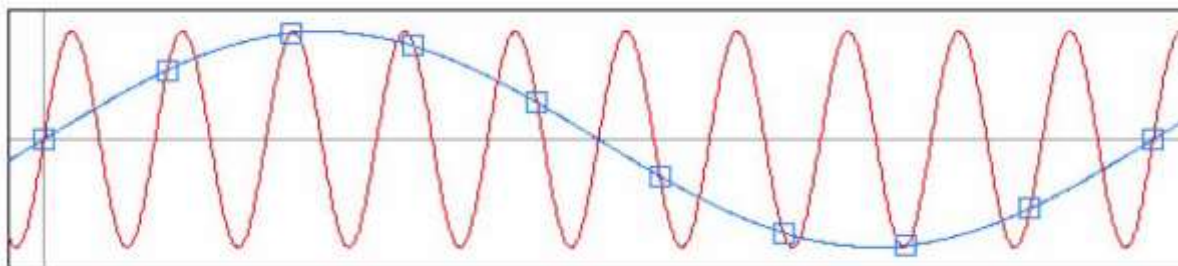
## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

*Frekvenční spektrum* vychází z výsledků Fourierovy analýzy a vyjadřuje závislost amplitudy dané složky signálu (dané sinusové funkce) na její frekvenci (resp. periodě). Na Obr. 70 je ukázka frekvenčního spektra signálu z Obr. 69. Z jednoduchého srovnání vyplývá souvislost mezi frekvencemi a amplitudami jednotlivých složek a jednotlivými lokálními maximy ve frekvenčním spektru.



Obr. 70 Ukázka frekvenčního spektra signálu z Obr. 69 (Rapant 2006)

*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 (Image 2014). Při rekonstrukci signálu ze vzorků nejsme schopni jednoznačně rozhodnout o skutečném průběhu původního signálu (Obr. 71).



Obr. 71 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 (Wikipedia 2014)

### 13.3 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 (Rapant 2006):

- kvalitativní
- kvantitativní.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

*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 (viz dříve) na:

- *geodata primární* – to jsou geodata získávaná přímo v kontaktu s popisovanou realitou a získávaná pro daný účel; pořizovatel/uživatel je zpravidla nijak nemodifikuje,
- *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.

Z hlediska geoinformatiky je nezbytné si uvědomit, že proces získávání geodat probíhá současně v několika doménách. Minimálně se jedná i tyto domény:

- *prostorová* – prostorové vymezení místa, kde provádíme sběr geodat, resp. prostorové vymezení objektů, jevů, událostí a procesů,
- *časová* – časové vymezení okamžiku (resp. doby), kdy máme provádět sběr geodat, případně jak často, s jakou frekvencí opakování,
- *tematická* – vymezení, které vlastnosti budou geodaty popisovány.

Pro každou z těchto domén můžeme definovat tzv. *rozlišovací úrovně* (angl. level of grain).

### 13.4 Rozlišovací úrovně

Objekty reálného světa můžeme charakterizovat z hlediska prostorového, časového a tematického rozlišení (Moos 1993). 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 modelování, analýzu i vizualizaci.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### 13.4.1 Prostorová rozlišovací úroveň

Úroveň prostorového rozlišení, kterou si zvolíme pro získávání geodat, by měla odpovídat:

- velikosti popisovaných objektů reálného světa,
- prostorové tvárnosti modelovaného objektu reálného světa (tj. proměnlivosti jeho geometrických i tematických vlastností v prostoru),
- účelu, pro který jsou geodata pořizována,
- ekonomickým možností organizace zadávající sběr geodat.

Nejprve si uveďme dva příklady.

*Příklad 1.: Podívejme se na malý les o rozloze jen několika km<sup>2</sup> 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. aniž bychom obešli všechny stromy v lese.*

*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 (hranice lesa, rozloha, druhové složení, poškození emisemi apod.). 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.*

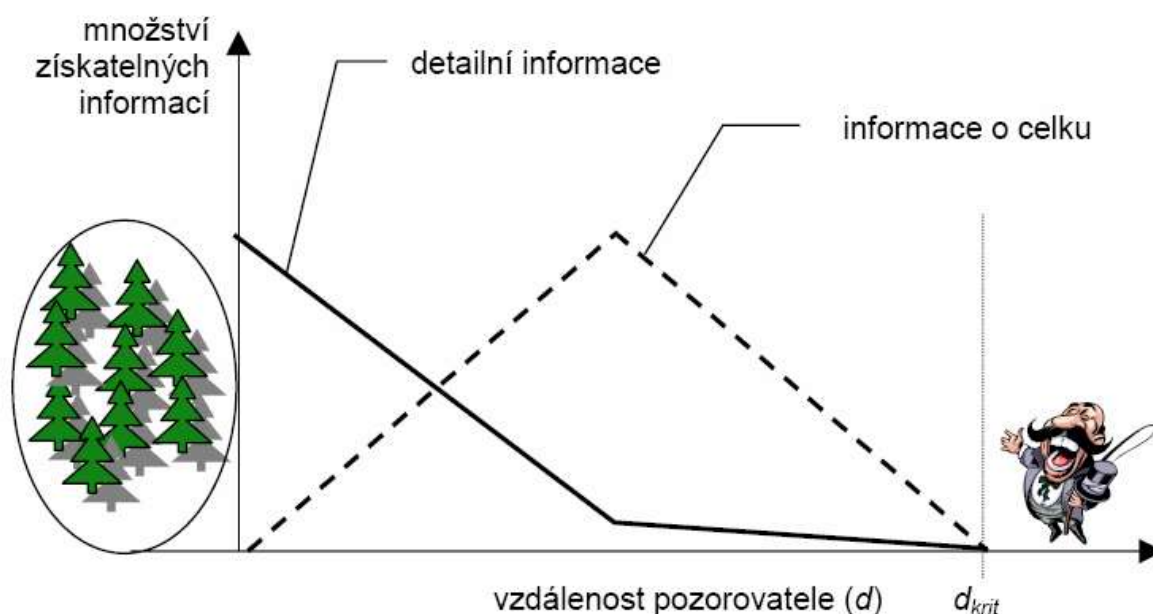
Co z těchto příkladů vyplývá: S rostoucí vzdáleností postupně klesá množství získatelných detailních informací o objektu reálného světa. Avšak v případě informací o celku je vývoj



## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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. 72).

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. 72 mnohem složitější.



Obr. 72 Vývoj množství získatelných detailních informací a informací o celku v závislosti na vzdálenosti pozorovatele od pozorovaného objektu reálného světa (Rapant 2006)

### 13.4.2 Časová rozlišovací úroveň

Úroveň časového rozlišení, kterou si zvolíme pro získávání geodat, by měla vycházet z posouzení těchto faktorů:

- proměnlivosti geometrických a tematických vlastností popisovaných objektů 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.





evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Naopak příliš dlouhý interval může znamenat ztrátu informací o detailech, zkreslení 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. 72.

### 13.4.3 Tematická rozlišovací úroveň

Úrovní 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. O té lze diskutovat snad jen u domén jednotlivých atributů.

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.

### 13.5 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 určovat 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 zpracovávání (například převedení do fyzikálních jednotek apod.). Výsledkem je získání digitálních geodat, vhodných pro další zpracovávání v geoinformačních systémech.

*Příklad: Vezměme obyčejný analogový voltmetr zapojený do zásuvky. Výchylka ručičky provádí nepřetržitě měření úrovně napětí v zásuvce. Řekněme, že každých pět minut pořídíme fotoaparátem snímek stupnice voltmetru a zaznamenáme tak výchylku jeho ručičky. Odebereme vzorek měřeného signálu – napětí v síti.*



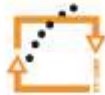
evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

*Stupnice je rozdělena na 256 dílků. U každého snímku vyhodnotíme pořadové číslo dílku, nad nímž se ručička nachází, a výchylku ručičky nahradíme tímto číslem. Tímto krokem provedeme kvantování měřeného signálu. A nakonec jednoduchou trojčlenkou přepočteme kvantum na hodnotu napětí v síti. Provedeme kódování. Výslednou hodnotu ukládáme do databáze jako hodnotu napětí v síti v čase jejího změření.*

Tyto podprocesy neprobíhají na sobě nezávisle, nýbrž se navzájem ovlivňují. Kvalita těchto podprocesů ovlivňuje výslednou kvalitu získaných geodat. Z našeho pohledu je z nich nejvýznamnější podproces *vzorkování*, který kvalitu reprezentace původního signálu odebranými vzorky ovlivňuje zásadním způsobem.

### 13.5.1 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* (Uhlíř, Sovka 1995), 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  $\Delta t$  resp.  $\Delta l$  (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  $\Delta t$ , resp. vzorkovací frekvence  $f_v = 1/\Delta t$ . Ta musí být v relaci s maximální frekvencí  $f_{max}$ , obsaženou ve vstupním signálu snímače měřené veličiny. Pokud je tato frekvence předem známá, můžeme vzorkovací interval zvolit s využitím tzv. Shannonova kritéria (někdy též Nyquistova resp. Shannonova-Kotělnikova kritéria):

$$f_v \geq 2 \cdot f_{max}$$

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*) reprezentace signálu ve výsledném vzorku – viz dříve zmíněný aliasing.

V praktických aplikacích se obvykle volí vzorkovací frekvence o něco vyšší (Čačko et al. 1984):

$$f_v = (2.5 \dots 3.0) \cdot f_{max}$$



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Takto zvolená vzorkovací frekvence nám zajistí na jedné straně to, že analýzou výsledné řady vzorků bude možné získat kompletní charakteristiky vzorkovaného signálu a tím i sledované vlastnosti a na druhé straně zajistí to, že řada vzorků nebude obsahovat zbytečné údaje, které by jen 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 jediné tak, že použijeme dostupnou vzorkovací frekvenci a ze vstupního signálu naopak odstraníme (odfiltrujeme) všechny frekvence vyšší než je polovina vzorkovací 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 (Image 2014). Toto *podvzorkování* má za následek vznik *aliasingu*. Tento jev vzniká tak, že krátké vlnové délky jsou vzorkovány při různých fázích a výsledné vzorky budí zdání nižší frekvence (Obr. 71).

Tomuto jevu je potřebné se pokud možno vyhnout. 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.

*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 v tomto případě 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.

Podívejme se, jak se teoretické poznatky informatiky promítají do našich tří sledovaných domén.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### 13.5.1.1 Prostorová doména

Převedení výše uvedených poznatků do prostorové domény je relativně jednoduché: stačí místo vzorkovací frekvence zavést krok měření  $\Delta l$  a místo maximální frekvence obsažené ve vzorkovaném signálu  $f_{max}$  zavést *minimální velikost*  $l_{min}$  objektů reálného světa, které chceme vzorkováním zachytit. 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 pořídit rastrová data reprezentující zastavěnou oblast, kde se nacházejí budovy s rozměry minimálně  $20 \times 20$  m a rozestupy mezi budovy jsou minimálně 10 m. Z výše uvedeného vyplývá, že ke splnění úkolu stačí vygenerovat rastr o velikosti buňky  $10 \times 10$  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  $5 \times 5$  m, abychom spolehlivě zachytili i všechny mezery mezi budovami.*

Na vzorkovací algoritmus máme obecně následující požadavky (Sochor 1999):

- pokrytí vzorkované oblasti musí být rovnoměrné (na globální úrovni),
- je nežádoucí absolutní pravidelnost z důvodu možného vzniku interference,
- výpočet rozmístění vzorků musí být efektivní.

### 13.5.1.2 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 – *obdobu selektivního vzorkování*.

### 13.5.1.3 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.

## 14 Závěr

Geoinformatika je samostatná vědní disciplína, jejíž potenciál stále ještě není plně doceněn. Na světě vznikají kvanta prostorových dat, ale jejich zpracování mnohdy probíhá stále ještě za použití konvenčních postupů informatiky, bez možnosti vytěžit z dat prostorové informace. Nicméně povědomí o existenci prostorových modelů reálného světa, prostorových analýz a prostorové vizualizace jejich výsledků postupně narůstá a tím i narůstá tlak na jejich zpřístupnění nejen vědecké, ale právě i řídicí sféře. Jistým limitujícím faktorem je zde poměrně cena prostorových dat i analýz, ale tak jak se rozšiřují možnosti sběru prostorových dat různými technologiemi (a mnohdy i jen tak mimochodem, jako vedlejší produkt jiných činností) a roste i obchodní obrat, můžeme již dnes sledovat pozvolný pokles ceny prostorových dat a tím i růst jejich dostupnosti.

Lze očekávat, že v časovém horizontu deseti let budou prostorové informace běžnou součástí jakéhokoliv rozhodování o činnostech, majících vazbu na prostor.





evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## Seznam literatury

- Albrecht, J., Kempainen, H.: A framework for defining the new ISO standard for spatial operators. Kopie referátu předneseného na konferenci GISRUK' 96.
- : Aplikovaná matematika II. Státní nakladatelství technické literatury. Praha, 1978.
- 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.
- Bellsy, M.: The History of the UNIVAC Computer. John Mauchly and John Presper Eckert. <http://inventors.about.com/od/uvstartinventions/a/UNIVAC.htm>. (2.8.2014).
- Bernhardsen, T.: Geographic Information Systems. 318 s. Viak IT and Norwegian Mapping Authority. Arandal 1992.
- Berild, S.: Conceptual Modelling – some fundamentals. The National Agency for School Improvements, Swden, 2004. 14 str.
- BIMP: 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](http://www.bipm.fr/cgi-bin/pt_SECT?MAPF=/5/navig530.html&SECTION=TAI). (15.11.2002).
- Breakiron, L. A.: Cesium Atomic Clocks. U.S. Naval Observatory. Time service Department, 2014. <http://tycho.usno.navy.mil/cesium.html> (15.7.2014).
- : Enciklopaedia Britannica. Enciklopaedia Britannica, Inc., 2014. <http://www.britannica.com>.
- Concept, Theory and Model. Dissertation Guide. Thames Valley University, 2004. <http://brent.tvu.ac.uk/dissguide/hm1u0/hm1u0text3.htm>. (26.6.2004).
- : Control Segment. 1998. <http://www.laafb.af.mil/SMC/CZ/homepage/control/index.html>.
- Čačko, J., Bílý, M., Bukoveczky, J.: Meranie, vyhodnocovanie a simulácia prevádzkových náhodných procesov. VEDA, Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, Bratislava, 1984. 210 str.
- : Definition: Time scale. 1996. [http://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-037/\\_5475.htm](http://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-037/_5475.htm) (1.8.2014).
- 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.
- 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.
- Gahegan, M.: Fundamental spatial concepts. Spatial data structures and algorithms. Geography 480 Spatial Data Structures And Algorithms, 1995. Syllabus přednášek.
- 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> (12.6.2014)
- 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, 2002a. <http://hds.essex.ac.uk/g2gp/gis/sect53.asp> (12.6.2014)



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- 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.
- Higgins, R. J.: Digital Signal Processing in VLSI. Analog Devices. Prentice Halls, Englewood Cliffs, 1990. 613 str.
- Horák, J.: Zpracování dat v GIS. Skripta PGS. VŠB-TU Ostrava, 2002. 24 str.
- Horák, J.: Prostorové analýzy s aplikacemi na trhu práce. Habilitační práce. VŠB-TU Ostrava. Ostrava, 2002a.
- Husfeld, D.: Astronomical Time Keeping. Mnichov, 1996. **Chyba! Odkaz není platný.** (2.7.2014).
- : Chronostratigrafická tabulka. GEO WEB. Geologický informační server. 2003. <http://www.gweb.cz/clanky.asp?cmd=show&id=27>. (16.5.2005).
- IERS: International Earth Rotation and Reference Systems Service. (IERS). 2014. <http://www.iers.org/>. (11.7.2014).
- 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.
- : Image Processing and Analysis. 2014. <http://www.ldeo.columbia.edu/res/fac/rsvlab/Notes3.pdf>. (16.8.2014)
- Jaroslavskij, L., Bajla, I.: Metódy a systémy číslicového spracovania obrazov. Alfa, Bratislava, 1989. 526 s.
- Jianya, C.: A unified data structure and object-oriented data model in GIS. Disertační práce. DTU Lyngby, 1992. 112 str.
- Karpíšek: Jak popisujeme průběh času. ČVUT, 2003. <http://bimbo.fjfi.cvut.cz/~karpisek/kalendar/astro/caspopis.htm>
- Karpíšek: Časové signály. ČVUT, 2003a. <http://bimbo.fjfi.cvut.cz/~karpisek/kalendar/astro/cassignl.htm>
- Karpíšek: Internetový čas. ČVUT, 2003b. <http://bimbo.fjfi.cvut.cz/~karpisek/kalendar/astro/casinet.htm>
- Kolář, J.: Geografické informační systémy 10. Vysokoškolské skriptum. Vydavatelství ČVUT Praha, 1997. 150 stran.
- Kraak, M.: The Space-Time Cube Revisited from a Geovisualization Perspective. Proceedings of the 21 International Cartographic Conference (ICC) *Cartographic Renaissance*, 2003. Str. 1988-1995.
- Krygier, J.: Making maps with a typewriter. 2007. <http://yoonnachoi.wordpress.com/2008/11/12/making-maps-with-a-typewriter/>. (2.8.2014).
- Kuneš, J. a kol.: Základy modelování. SNTL – Nakladatelství technické literatury. Praha, 1989. 263 str.
- Laurini, R., Thompson, D.: Fundamentals of Spatial Information Systems. The APIC series. Number 37. Academic Press, London, 1994. 680 stran.

- Lazecký, M.: Poklesy na Karvinsku. 2012. (nepublikováno)
- Maguire, D.J.; Goodchild, M.F.; Rhindt, D.W.: Geographical Information Systems.; Vol. I: Principles. Vol. II: Applications. Longman Scientific&Technology. London, 1991.
- Marjomaa, E.: Concepts Are Legisigns. A Peircean Approach to Conceptual Modelling Terminology. <http://www.cs.joensuu.fi/~marjomaa/papers/calgary.htm>. (20.5.2004).
- Matsakis, D.: Systems of Time. U.S. Naval Observatory. Time Service Department, 2014. <http://tycho.usno.navy.mil/systime.html> (7.8.2014).
- Matsakis, D.: Hydrogen Masers. U.S. Naval Observatory. Time service Department, 2014a. <http://tycho.usno.navy.mil/maser.html> (7.8.2014).
- : Metodologie vědy. <http://nb.vse.cz/kfil/win/atlas1/metodol.htm>. (1.7.2014).
- : Moor's law. <http://www.moorelaw.org/>. (27.7.2014).
- Moos, P.: Informační technologie. Vydavatelství ČVUT Praha. Praha, 1993. 200 stran.
- : Názvosloví v geodézii a kartografii. ČSN 73 0401. ČNI, Praha, 1990.
- Nielsen, J.: Nielsen's Law of Internet Bandwidth. 2013. <http://www.nngroup.com/articles/law-of-bandwidth/>. (30.7.2014).
- Nicholls, J.: Euclidean space. <http://www.naturaltheology.net/Development/ AtechPages/ euclideanSpace.html>. (4.1.2003).
- Pajares, A. H.: GPS Data Processing. 4.1 Reference Coordinate Systems. 1998.
- 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.
- Paquette, F.: GeoBase, Building on Common Ground. Standards in Action Workshop, ICAO, Montreal, 2005.
- 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.
- Pokorný, J., Halaška, I.: Databázové systémy. Vysokoškolské skriptum. Vydavatelství ČVUT, Praha, 2003. 148 str.
- : PSLC - Example 1. PSLC, 2002.
- Rapant, P.: Geografické informační systémy - oč běží? Sborník referátů z konference GIS Ostrava 96. VŠB-TU Ostrava, Ostrava, 1996. Str. 97-103.
- 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.
- Rapant, P.: Geografické informační systémy. Habilitační práce. VŠB – TU, Ostrava, 1998.
- Rapant, P.(ed.): Pracovní návrh první části výkladového slovníku pro oblast geoinformatiky. Škola, příloha časopisu GeoInfo, roč. VIII, č. 2, červen 2001. 15 str.
- Rapant, P., Horák, J., Peňáz, T., Růžička, 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.
- Rase, D., Björnsson, A., Probert, M., Haupt, M. F.: Reference Data and Metadata Position Paper. INSPIRE RDM Position Paper. EUROSTAT, 2002. 45 str.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- 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.
- Sochor, J.: *Počítačová grafika*. MU Brno, 1999.
- : *Spatial Data Representation*. 2004.
- 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).
- Steven, J.: *The Ghost Map: The Story of London's Most Terrifying Epidemic – and How it Changed Science, Cities and the Modern World*. Riverhead Books, 2006.
- : Terms and definitions from CEN/TC 287 Geographic information. Source: ISO/TC 211/PT Terminology secretariat, 1996-05-22
- : *Terminologický slovník geodézie, kartografie a katastra*. Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky a Český úřad zeměměřický a katastrální. Bratislava, 1998. 544 str.
- : The Context of European Geographic Information Infrastructure (EGII). WWW dokument: <http://www2.scho.lu/gi/gi2000/en/c1.html>
- : The GiS TiMELiNE holds 12 records for the period 1960 – 1970. **Chyba! Odkaz není platný.** (2.8.2014).
- : Time Scales. NPL Time Metrology. National Physical Laboratory, Teddington, 2002. [http://www.npl.co.uk/time/time\\_scales.htm](http://www.npl.co.uk/time/time_scales.htm). (26.8.2002).
- : *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).
- Uhlíř, J., Sovka, P.: *Číslicové zpracování signálů*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1995. 328 str.
- : Universal Time (UT). Definition. 1996. [http://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-039/\\_5712.htm](http://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-039/_5712.htm). (2.5.2014).
- Veverka, B.: *Teorie systémů a kybernetika*. Skripta ČVUT v Praze. Ediční středisko ČVUT. Praha 1989.154 str.
- Vossen, G.: *Data models, database languages and database management systems*. Addison-Wesley, Wokingham, 1991.
- : Merriam-Webster Online Dictionary. Merriam-Webster, Inc., 2014. <http://www.merriam-webster.com>. (2.4.2014).
- : What is Universal Time? U.S. Naval Observatory. Astronomical Application Department, 2002. <http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/UT.html> (26.8.2002).
- : Wikipedia. The Free Encyklopedia. 2014. <http://en.wikipedia.org>.
- Zeiler, M.: *Modeling our World. The ESRI Guide to Geodatabase Design*. ESRI, Redlands, 1999. 199 str.
- Zlatanová, S.: *3D GIS for Urban Development*. Doktorská disertační práce. Graz University of Technology. Graz, 2000. 222 str.

Autor Petr Rapant  
Název Základy geoinformatiky  
Vydavatel VŠB-TU Ostrava  
Rozsah 147 stran  
Rok 2014  
Copyright © Petr Rapant, 2014  
Zdroj financování Financováno z projektu CZ.1.07/2.2.00/28.0308 Inovace bakalářských a magisterských studijních oborů na Hornicko-geologické fakultě VŠB-TUO, spolufinancovaného Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky