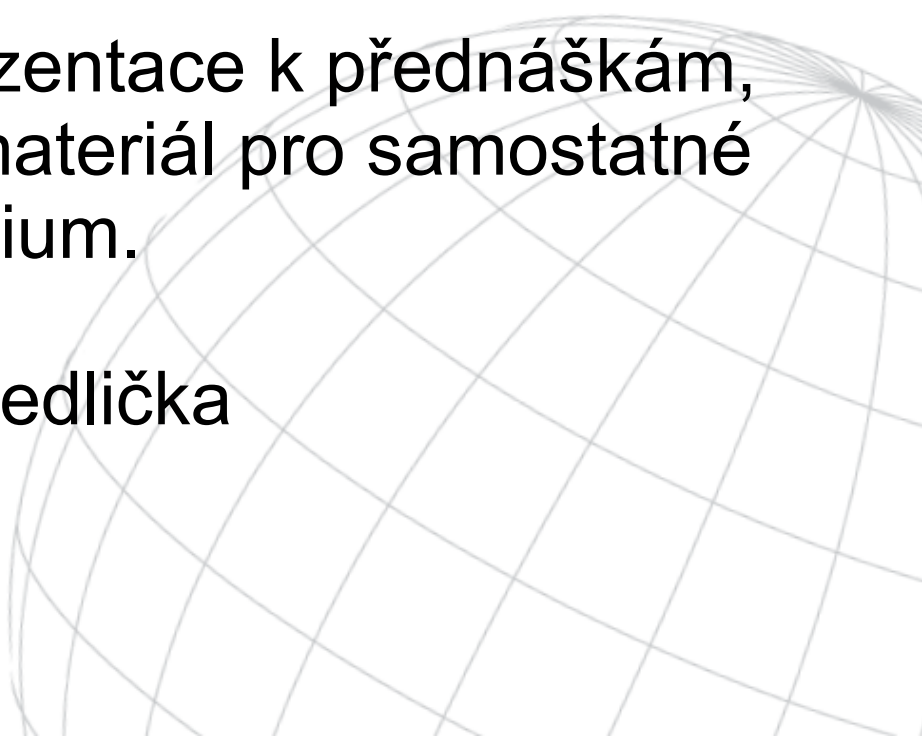


Úvod do GIS

Návrh databáze a vstup geografických dat I

Pouze podkladová prezentace k přednáškám,
nejedná se o studijní materiál pro samostatné
studium.

Karel Jedlička



Návrh databáze a zdroje dat

- Přehled činností v projektu GIS
- Návrh geografické databáze
- Zdroje prostorových dat
 - primární
 - sekundární
- Zdroje atributových dat
- Konverze *geografických dat* z jiných digitálních zdrojů
- Možné chyby při vstupu dat
- Metadata
- Zpracování a uchovávání dat



Připomenutí

GIS jako software

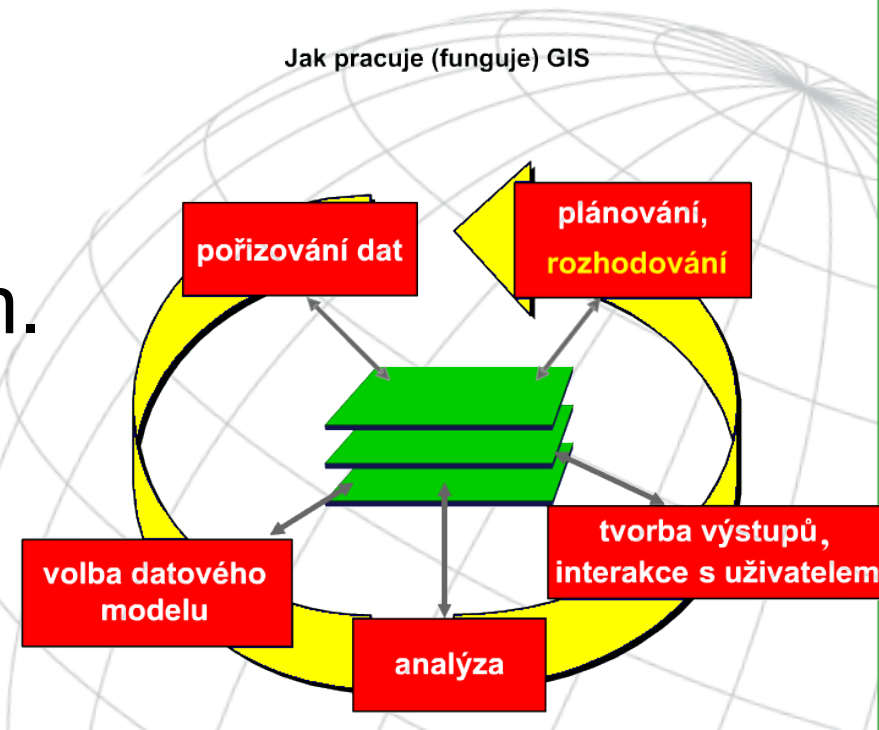
X

GIS jako projekt
(implementace ~ nasazení GIS)



Činnosti v projektu GIS

- Návrh geografické databáze.
- Vstup prostorových a atributových dat.
- Vykonávání analýz a syntéz s využitím prostorových vztahů.
- Prezentace výsledků.
- Interakce s uživatelem.



Upřesnění

geografická **databáze** jako technické řešení

(např. ESRI Geodatabase)

X

geografická databáze,

(**datová báze**~základna)

jako sklad pro data, bez ohledu zda jsou
v souborech nebo v databázovém stroji

Návrh geografické databáze

- GIS má možnost pomoci při řešení velkého množství (prostorově orientovaných) otázek, od jednoduchých a krátkých úloh až po velice dlouhé a náročné.
- Efektivní implementace GIS umožní využít tento potenciál – účinně ukládat a sdílet data mezi organizačními jednotkami a integrovat GIS i s jinými technologiemi (CAD, účetnictví, SAP ...).
- GIS implementaci činí efektivní hlavně dobrý návrh databáze.

Návrh geografické databáze

- Odpověď na následující otázky umožní navrhnout databázi tak, aby byla co nejpoužitelnější:
 - Jak implementovat GIS do již používaných systémů a postupů, aby byl co nejlépe začleněn a byl smysluplně využíván?
 - Jaká data budou mít pro provozovatele systému největší užitek (poměr cena/výkon, resp. podrobnost)?
 - Jaká data mohou být a budou sdílena?
 - Kdo bude zodpovědný za údržbu systému a dat?

Návrh geografické databáze

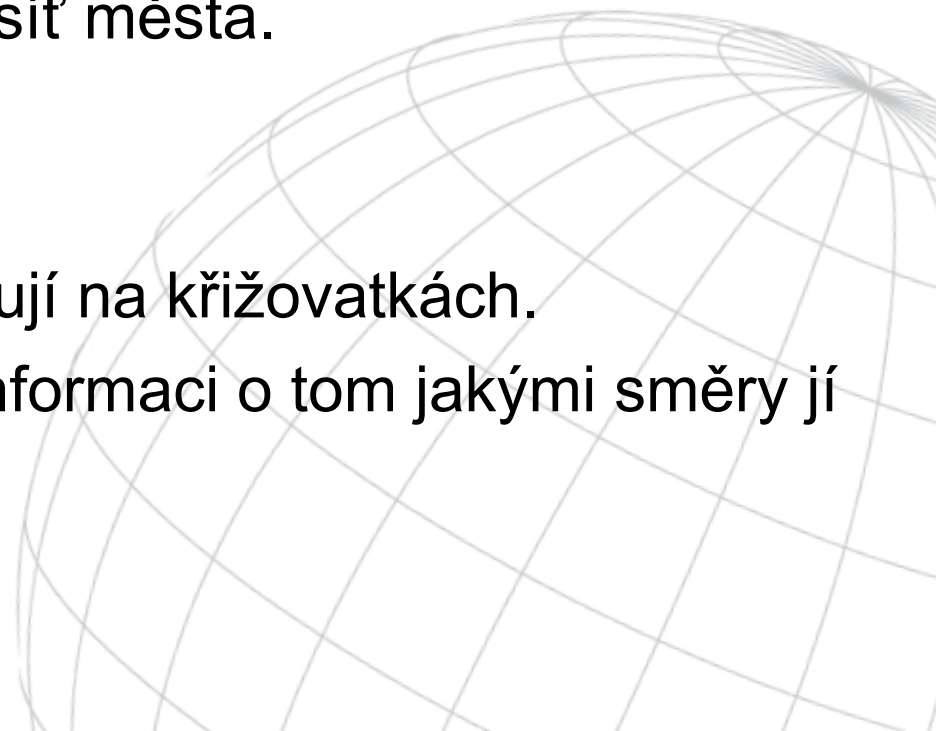
- Jelikož návrh databáze je časově náročný a nevytváří žádné koncové aplikace, **často je opomíjena jeho důležitost**. Pokud se ale podaří dobře navrhnout databázi, vytvořený systém bude:
 - flexibilní v pořizování dat i v analýzách,
 - mít možnost používat jednotný návrh pro koncové aplikace,
 - minimalizovat nadbytečné ukládání dat,
 - možné dále upravovat (hlavně v budoucnosti - rozšiřování funkčnosti systému).

Návrh geografické databáze

- Základní kroky při návrhu databáze GIS (jedna z možných metod):
 - Modelování uživatelského pohledu
 - Definice objektů (entit) a jejich vztahů (relací)
 - Určení reprezentace jednotlivých objektů (entit)
 - Přizpůsobení dat konkrétnímu GIS
 - Organizace dat do logických (geografických) celků
- Více opět viz diplomová práce Ing. Lucie Vokounové, která je na <http://gis.zcu.cz/studium/dp/2003>.

Návrh geografické databáze

- Modelování uživatelského pohledu
 - Zadání
 - Je třeba vytvořit geografickou databázi, která bude reprezentovat uliční síť města.
 - Zpřesňování zadání
 - Ulice na sebe navazují na křižovatkách.
 - Křižovatka ponese informaci o tom jakými směry jí lze procházet.
 - ...



Návrh geografické databáze

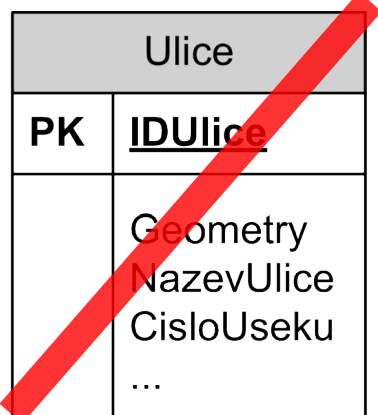
- Definice objektů (entit) a jejich vztahů (relací)

– Definice entit

UlicniUsek	
PK	<u>IDUseku</u>
	Geometry IDUlice ...

Ulice	
PK	<u>IDUlice</u>
	NazevUlice ...

Ulice	
PK	<u>IDUlice</u>
	Geometry NazevUlice CisloUseku ...



Krizovatka	
PK	<u>IDKrizovatky</u>
	Geometry NazevKrizovatky ...

– Definice vztahů

- Každý úsek ulice je propojen s jiným přes křižovatku.
- Každý úsek ulice začíná a končí na křižovatce, slepá ulice je ukončena speciálním typem křižovatky.
- Existují následující typy křižovatek: úrovňové a mimoúrovňové, úrovňové se člení na ...

Návrh geografické databáze

- Určení reprezentace jednotlivých entit (objektů):

- Geometrie **Uličního úseku** bude linie, primárním klíčem bude IDUseku (celé číslo),
- IDUseku bude zároveň cizím klíčem v **ulicích**.
- Geometrií **křižovatky** bude bod ...
- Vztah ulic a křižovatek bude **M:N**. Bude budován topologicky!
- ...

Krizovatka	
PK	<u>IDKrizovatky</u>
	Geometry NazevKrizovatky ...

Ulice	
PK	<u>IDUlice</u>
	NazevUlice ...

UlicniUsek	
PK	<u>IDUseku</u>
	Geometry IDUlice ...

Návrh geografické databáze

- Organizace dat do logických (geografických) celků.
 - V podstatě se jedná o tematickou organizaci dat (po mapových listech x po zájmových oblastech, po vrstvách x objektově, ...).



Návrh geografické databáze

- Přizpůsobení dat konkrétnímu GIS
 - je nutné prozkoumat, co který GIS SW poskytuje, jaká jsou jeho omezení (maximální počet bodů, liniových segmentů, možnost ukládání do souborů či do DB,), jak je možné mé objekty přizpůsobit konkrétní aplikaci – v tomto bodě by měl také probíhat výběr konkrétního SW (ve kterém bude řešený projekt nejlépe realizován).
 - Např.: bude použita ESRI Geodatabase, kvůli možnosti implementace topologických vazeb.
 - Geometrický typ uličních úseků bude **PolylineZM**, umožňující ukládat polohu, nadmořskou výšku i dynamickou segmentaci.
 - ...

Návrh geografické databáze

- Typické řešení projektu GIS v dnešní době
 - Podkladová data:
 - import – možno upravovat strukturu, data nutno aktualizovat,
 - nebo webová služba – datová struktura daná, většinou pouze omezený přístup k atributům.
 - Tematická data:
 - nutno vytvořit vlastní datovou strukturu pro organizaci a správu dat)

Návrh geografické databáze

- Shrnutí

- Jak již bylo řečeno, náklady na pořízení a údržbu dat tvoří až 80% všech finančních prostředků. Proto je jasné, že dobrý a smysluplný návrh databáze je důležitý.
- Jedná se o rozsáhlou problematiku, více v předmětech KIV/DB1,2 + KMA/PDB

Návrh databáze a zdroje dat

- Přehled činností v projektu GIS
- Návrh geografické databáze
- Zdroje prostorových dat
 - **primární**
 - sekundární
- Zdroje atributových dat
- Konverze *geografických dat* z jiných digitálních zdrojů
- Možné chyby při vstupu dat
- Metadata
- Zpracování a uchovávání dat



Zdroje prostorových dat pro GDB

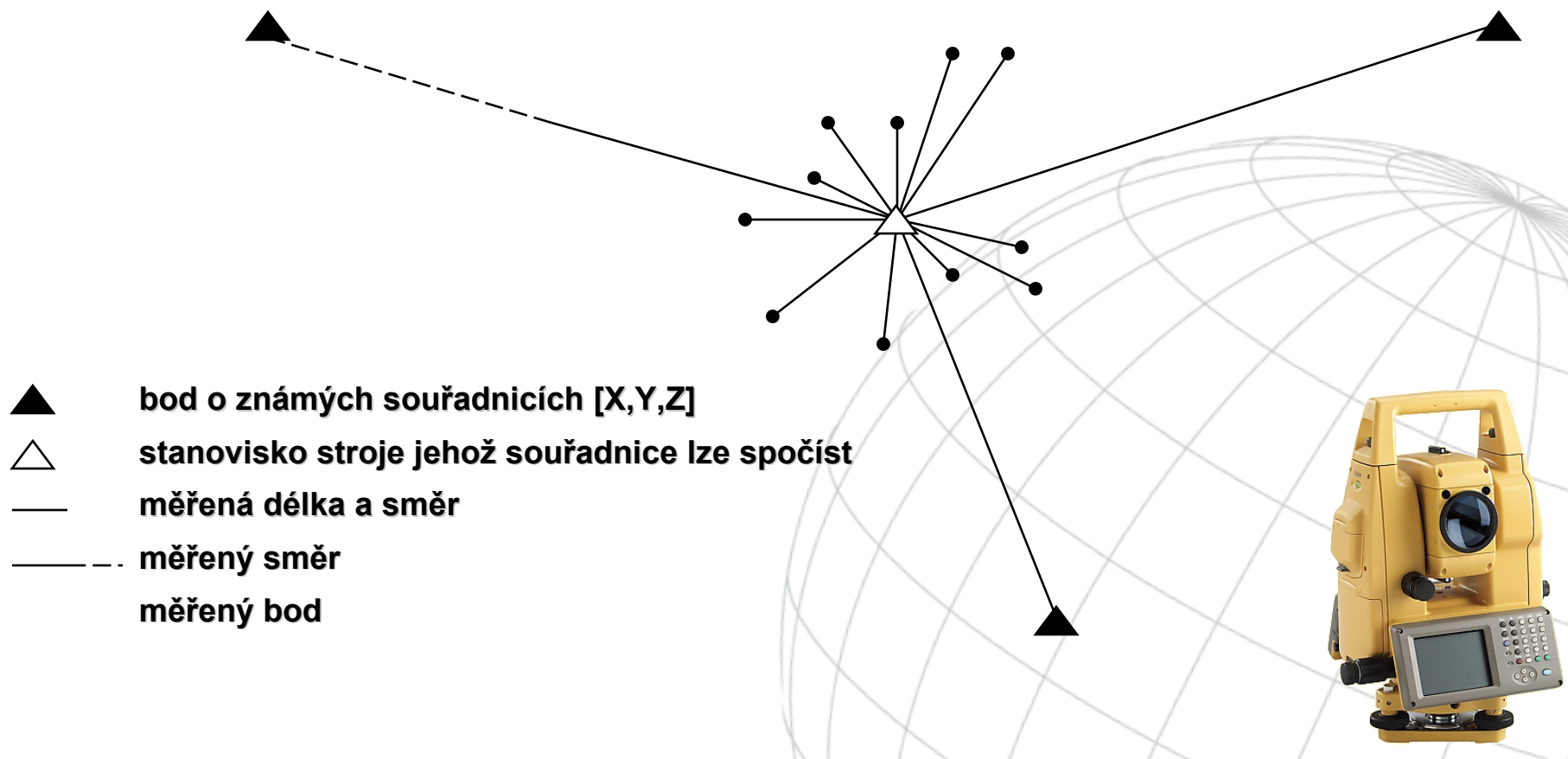
- **Naplňování databáze** je v drtivé většině případu jednoznačně nejnáročnějším a nejzdlouhavějším krokem v rámci GIS projektu.
- Obecně lze pro vstup použít **různé zdroje údajů**.
V úvahu přicházejí zvláště mapy, náčrty v souřadnicovém systému, údaje z geodetických měření, fotogrammetrické snímky a obrazové záznamy DPZ, statistické údaje a další.
- Při pořizování dat je ale důležité vybrat vhodný způsob a vhodná technická zařízení, která mi umožní **získat data ve vhodné přesnosti a za přijatelnou cenu**.
- V zásadě je možné zdroje dat rozdělit na **primární** a **sekundární** (pozn: toto dělení je patrnější u prostorové složky dat).

Zdroje prostorových dat pro GDB

- Primární – přímo měřená data
 - Terestrická (pozemní/geodetická) měření.
 - Globální navigační satelitní systémy (GNSS).
 - Fotogrammetrie.
 - Dálkový průzkum Země (DPZ).
 - Laserové scannování (LIDAR).
- Sekundární – již jednou zpracovaná data
 - Manuální vstup přes klávesnici.
 - Digitalizace.
 - Scannování a vektorizace.

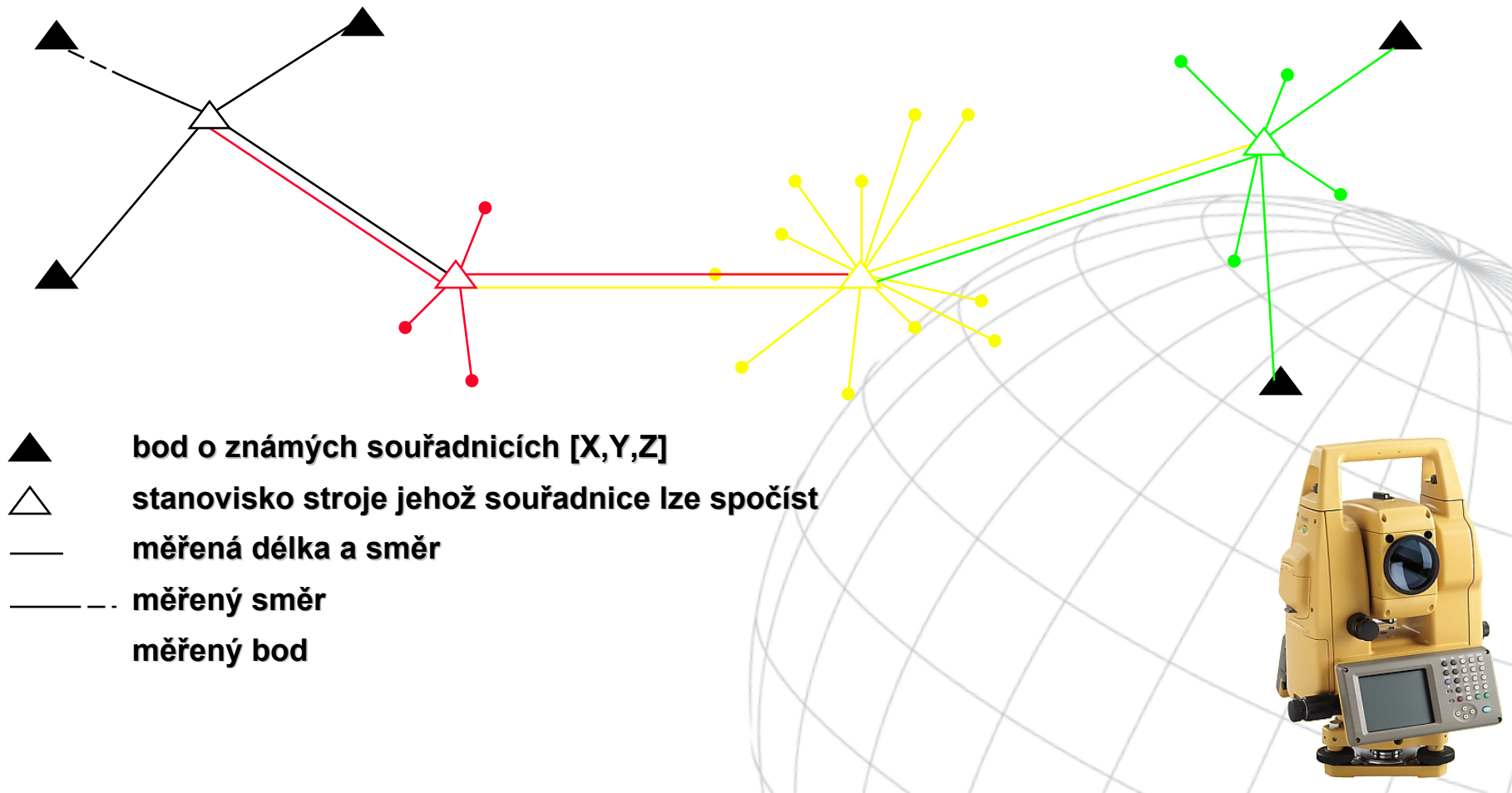
Zdroje prostorových dat pro GDB

- geodetická data



Zdroje prostorových dat pro GDB

- geodetická data



Zdroje prostorových dat pro GDB

- Zpracování obsahu terénních zápisníků údajů pozemních geodetických měření:
 - Ruční přepis papírového zápisníku nebo zaznamenání údajů o měření do digitálního zápisníku.
 - Zpracování v geodetickém SW (někdy existuje jako modul v GIS).
 - Import dat z geodetického SW (většinou CAD based).
 - Jednoduchou variantou GIS modulu pro zpracování měřených dat je tzv. COGO modul (coordinate geometry ~ souřadnicová geometrie). Základní funkcionalitou je zadání prvního bodu v souřadnicích X,Y a následné zadávání dalších bodů pomocí směru a vzdálenosti od prvního bodu.
- Používá se hlavně pro mapy velkých měřítek (katastrální mapy, technické mapy, plány, ...).
- **Produkuje vektorová data, přesnost cm.**



Zdroje prostorových dat pro GDB

- **GPS NAVSTAR** (Spojené státy americké).
- GLONASS (Ruská federace).
- Galileo (Evropská unie).
- Compass/Beidou (Čína).

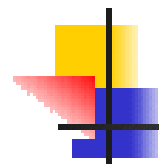


Zdroje prostorových dat pro GDB

- Trocha z historie GPS a GNSS

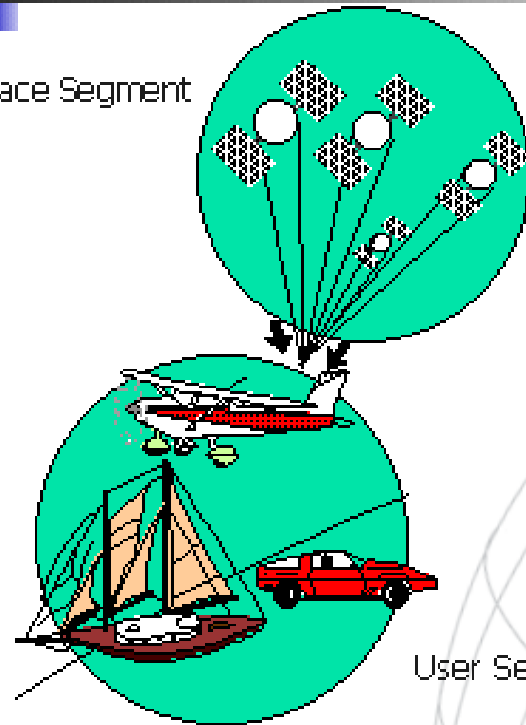
- 60. léta: USA – jak zjistit rychle a přesně polohu svých jaderných ponorek kdekoli na Zemi?
- 70. léta: nalezení teoretického řešení a následná praktická realizace GPS (NAVSTAR), Následně byla vystavěna síť 24 družic.
- květen 2000: zrušení S/A – záměrné chyby zaváděné do GPS signálu.
- 2005: budování sítí referenčních stanic v ČR (CZEPOS, VESOG).

Tři segmenty GPS



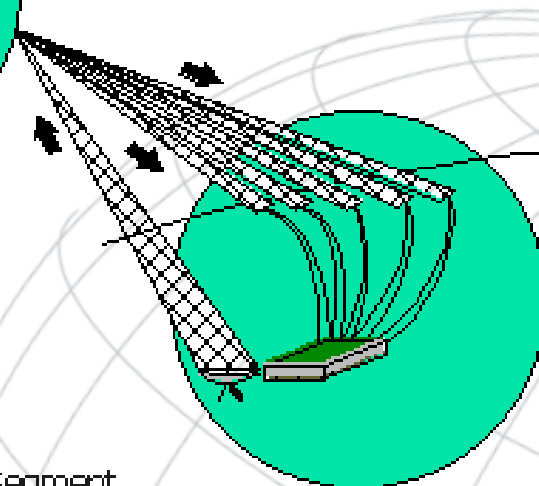
GPS Three Segments

Space Segment



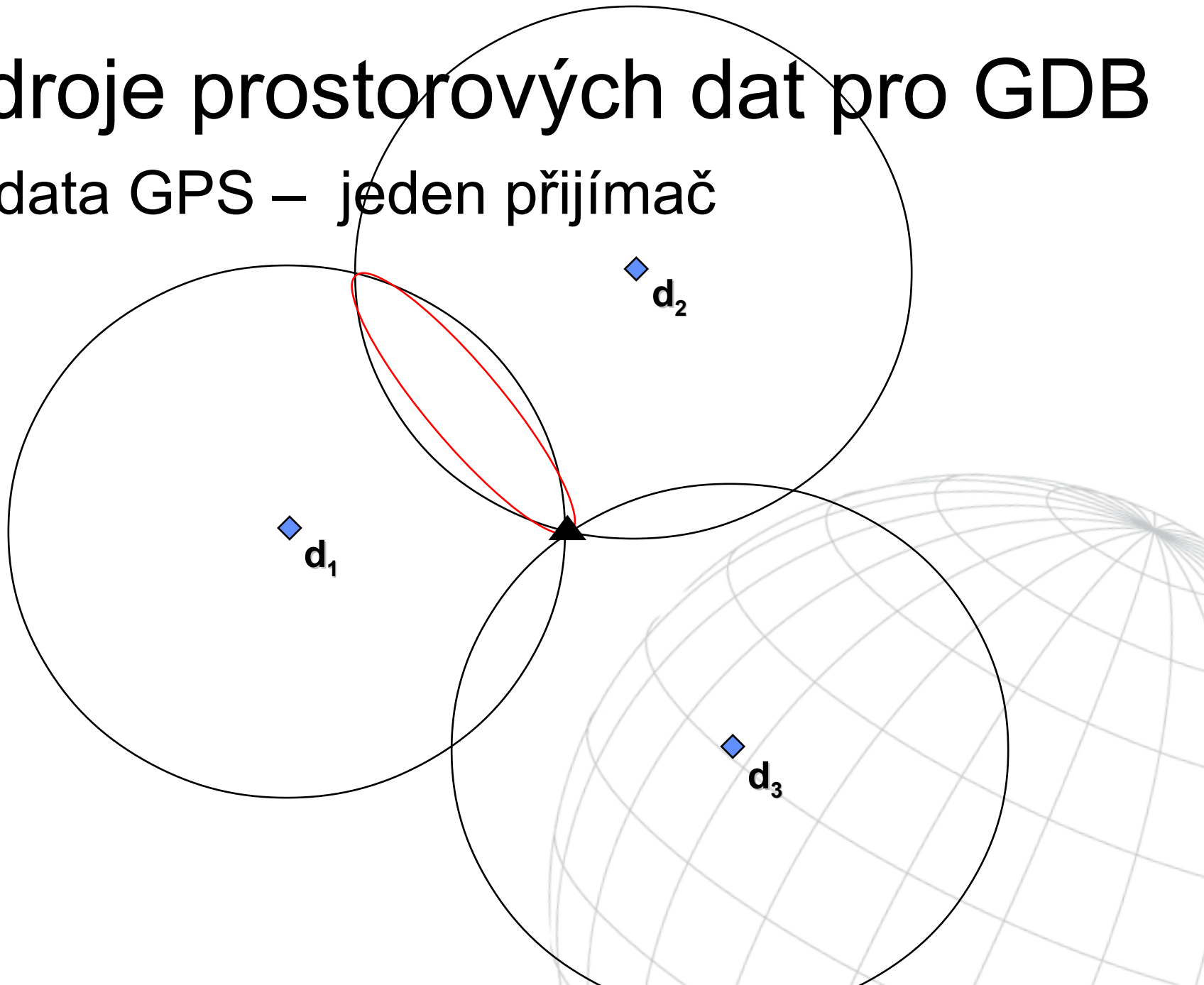
User Segment

Control Segment



Zdroje prostorových dat pro GDB

- data GPS – jeden přijímač



Zdroje prostorových dat pro GDB

- data GPS – jeden přijímač



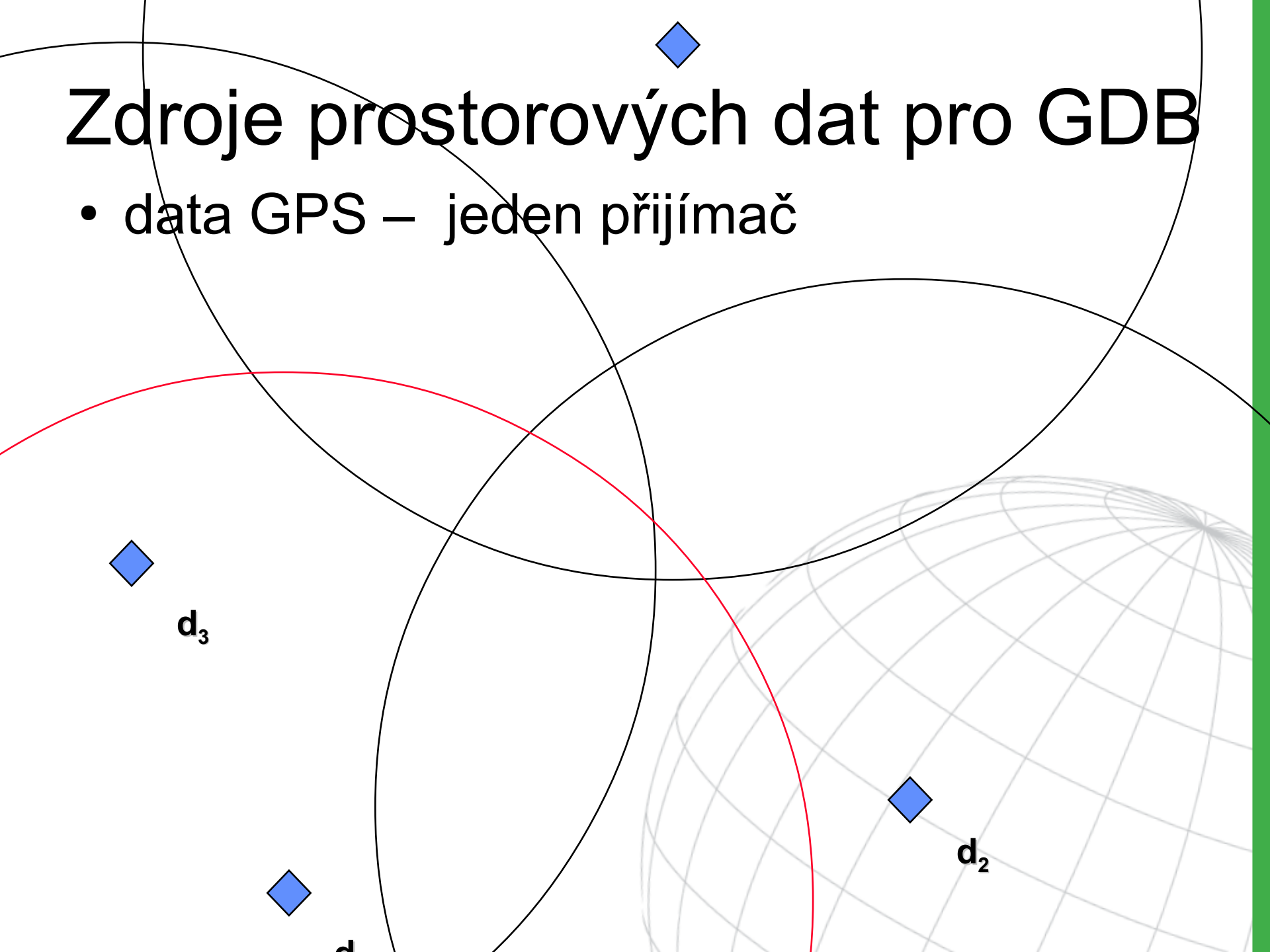
d_3



d_1

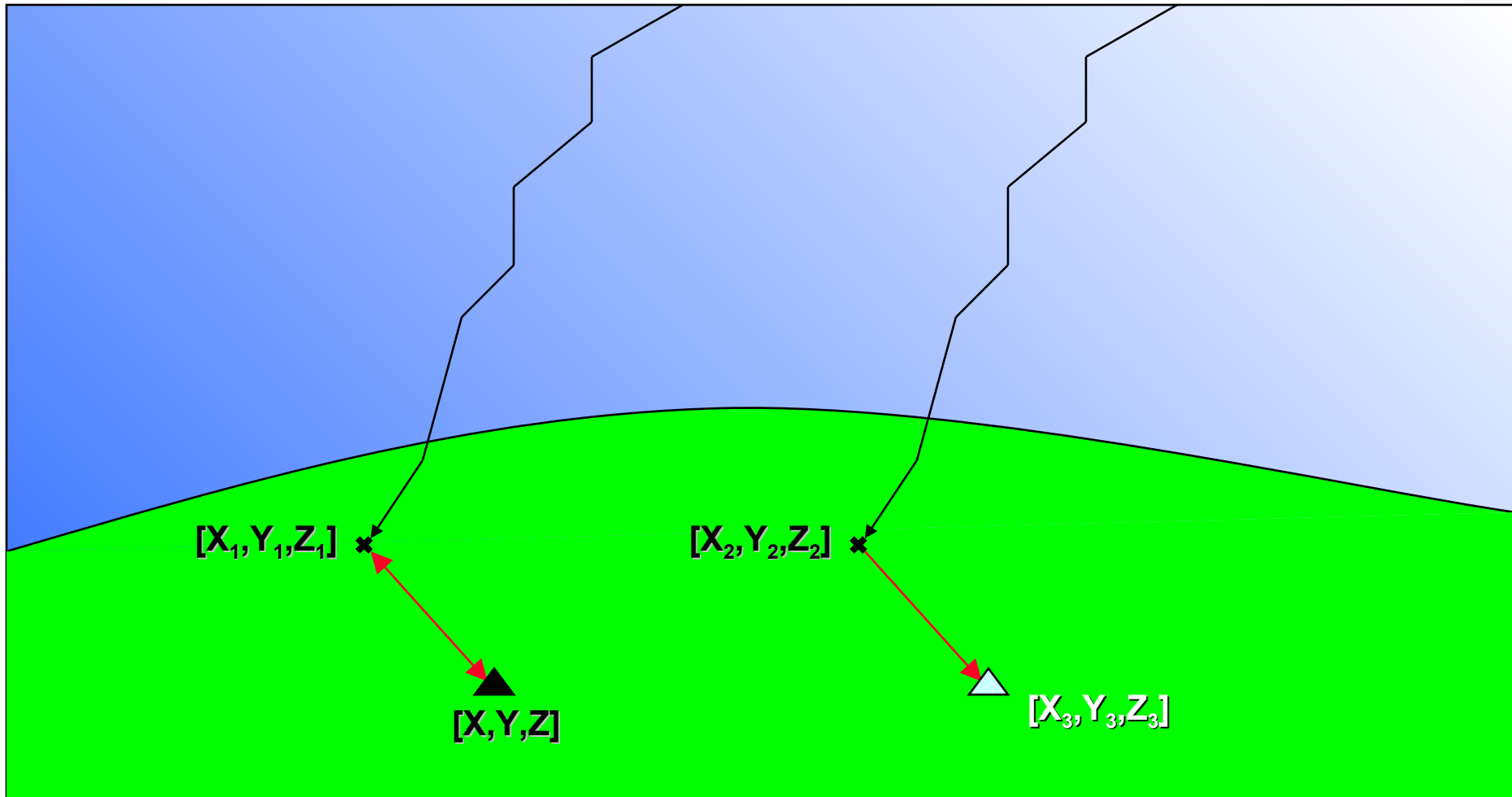


d_2



Zdroje prostorových dat pro GDB

- data GPS – s použitím referenční stanice (či sítě)



Sítě referenčních stanic

- Stanice PLZE

- Přijímá signály z GPS i GLONASS

- Datum určení souřadnic: 31. 3. 2003

- Kontinuální měření od podzimu 2004

- Od jara 2005 poskytuje data do sítě VESOG, dále CZEPOS.

- Následně jsou data přebírána i sítí TopNET.

Záznam měření meteočidly

Konfigurace About

Aktuální čas : 2008-01-24 06:58:02

Čas posledního odečtu : 2008-01-24 06:58:00

Aktivita portů : —

Teplota	5.0	°C	4727
Vlhkost	59.	%	6620
Tlak	984.2	hPa	5755

Exit

Real-Time Logging

Single file Multiple files Select output path

Name prefix: Next file every: hours Overwrite existing files

Current file: **PLZE0502.jpg** Autoconvert to RINEX

Output path: c:\ATPS\PLZE\PRIMDATA

GPS Satellites (13)

#	EL	AZ	CA	P1	P2	TC
01	7--		38	15	16	220
02	16--		39	20	20	227
05	39--		46	33	33	317
06	77+		51	43	43	167
10	12+		34	9	10	8
12	24--		45	27	28	356
16	8+		35	14	14	10
21	27+		43	25	25	54
23	7+		37	15	15	27
24	52+		48	38	38	112
29	84--		52	47	46	198
30	58--		51	41	41	273
31	53--		48	39	39	155

Receiver Position

X: 4019838.4788
 Y: 954004.3527
 Z: 4843419.8430
 Vel: 0.0082 m/s
 PDOP: 1.1180

Receiver date: 24.1.2008
Receiver time: 06:58:16
Elapsed time: 00:58:16
Received: 3195K

GLONASS Satellites (2)

Sn	Fn	EL	AZ	CA	P1	P2	TC
10	04	9--		39	37	32	323
20	02	26--		44	42	39	273

Recording interval: (seconds) Elevation mask: (degrees)

Mozilla

PLZE LOG 2008

Process Explorer

Naplánované úlohy

LOGMET

Ntrip Server

PCCDU1999 merici

Prohlížeč událostí

PCCDU2002 nastavovací

Ntrip Server 1.2.0

Settings

COM-Port

NtripCaster

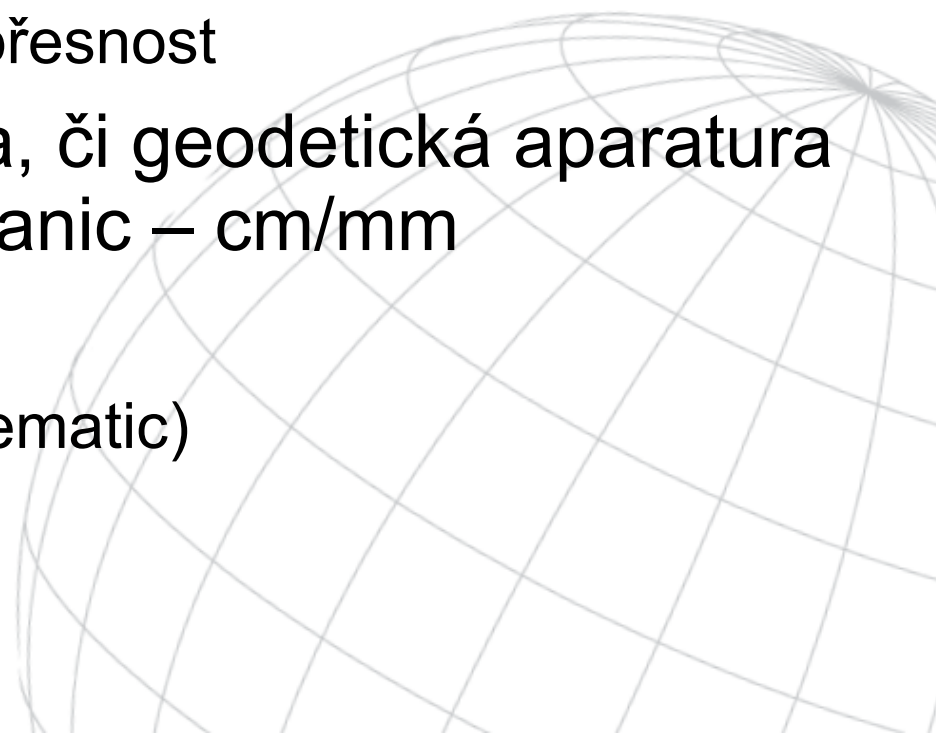
Reconnection

START STOP

Transmitting data

Zdroje prostorových dat pro GDB

- GPS – přesnost
 - jeden přijímač
 - navigační +/- 10m (ale až 40)
 - „GIS“ i submetrová přesnost
 - geodetická souprava, či geodetická aparatura v síti referenčních stanic – cm/mm
 - statická metoda
 - RTK (Real Time Kinematic)



Zdroje prostorových dat pro GDB

- Další charakteristiky GPS dat
 - Po zpracování jsou GPS data ve tvaru souboru [X,Y,Z] nebo [B,L,H] souřadnic a ty většina systémů umožní snadno zpracovat.
 - GPS se hojně používá pro navigaci, sledování objektů (vozidel, ...) v reálném čase a analýzy v GIS na jejich základě.
 - GPS udává geografické souřadnice v souřadnicovém systému WGS 84, tudíž pro použití v ČR je nutné u získaných dat většinou převést data do jiného souřadnicového systému (S-JTSK, S 42).
 - **produkuje vektorová data.**

Zdroje prostorových dat pro GDB

- Porovnání GPS s terestrickými metodami sběru dat:

+

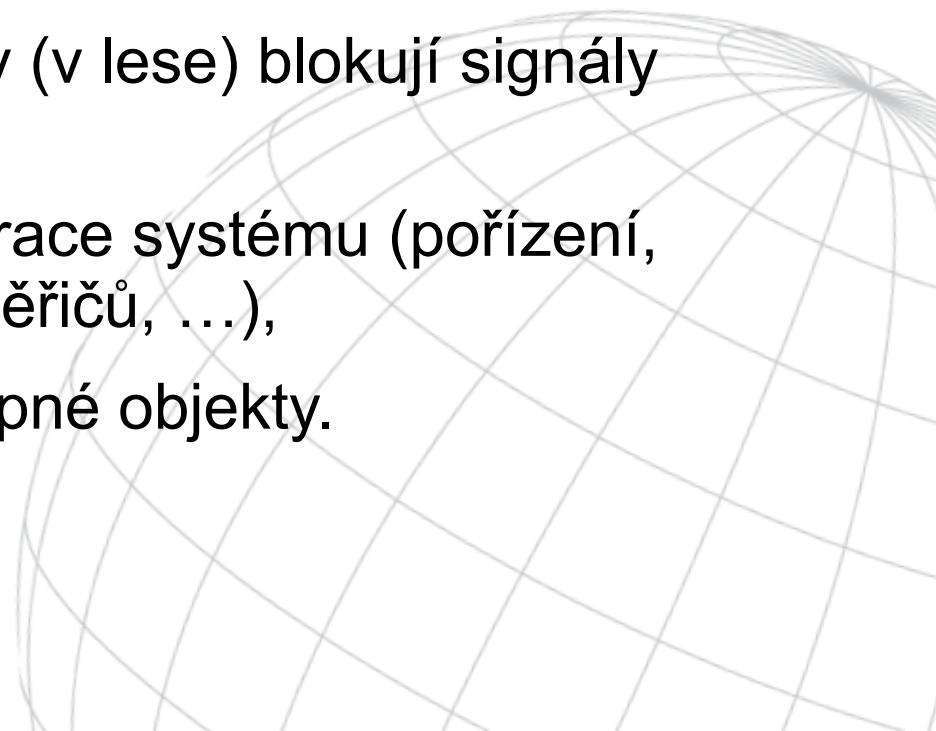
- levný a rychlý sběr dat zejména bodových polí a měření v extravilánu (mimo zastavěnou část obce),
- dá se měřit kdykoliv (v noci) a za každého počasí,
- snadná konverze do GIS,
- geodetické GPS aparatury jsou vysoce přesné (dosahují přesnosti jednotek cm v reálném čase), také ale drahé (obvykle platí čím dražší, tím přesnější – pro přesnost v cm až mm je nutné do aparatury investovat okolo 0,6 mil. korun).

Zdroje prostorových dat pro GDB

- Porovnání GPS s terestrickými metodami sběru dat:

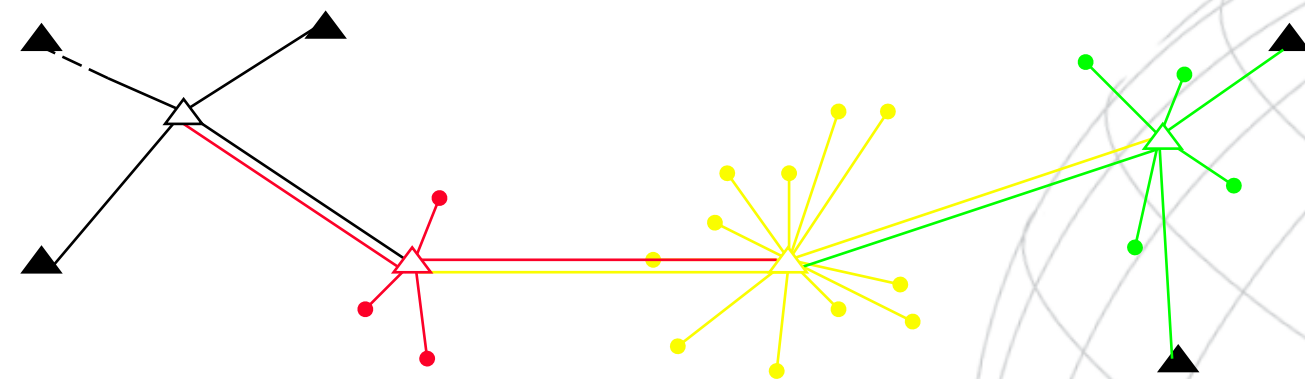
-

- vysoké budovy a stromy (v lese) blokují signály satelitů,
- relativně složitá konfigurace systému (pořizování, přeškolení klasických měřičů, ...),
- špatně se měří nedostupné objekty.



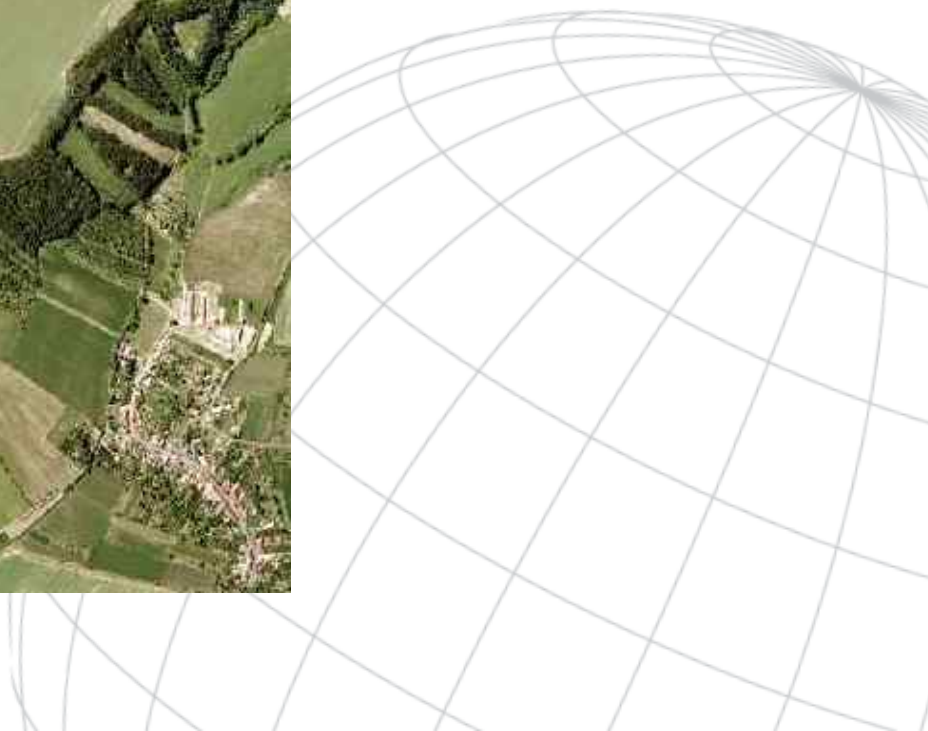
Zdroje prostorových dat pro GDB

- Trend ve sběru dat:
 - kombinace aparatur pro terestrická měření a RTK-GPS měření v sítích referenčních stanic.



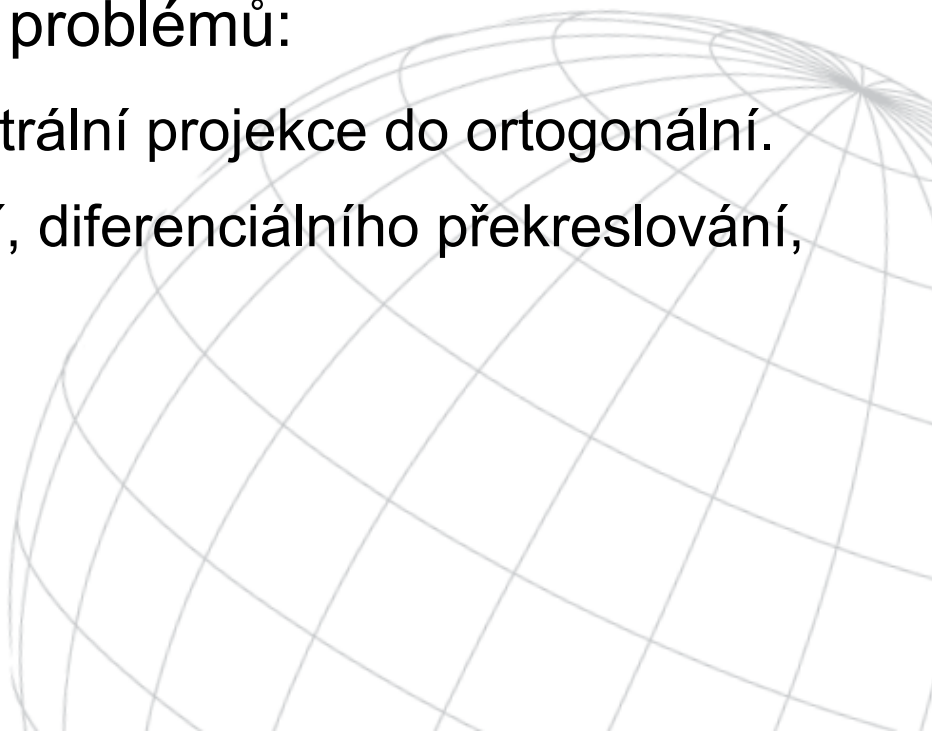
Zdroje prostorových dat pro GDB

- **Fotogrammetrie** (FGM) je věda zabývající se rekonstrukcí tvaru, velikost a polohy předmětů zobrazených na fotogrammetrických snímcích (/obrazových záznamech).

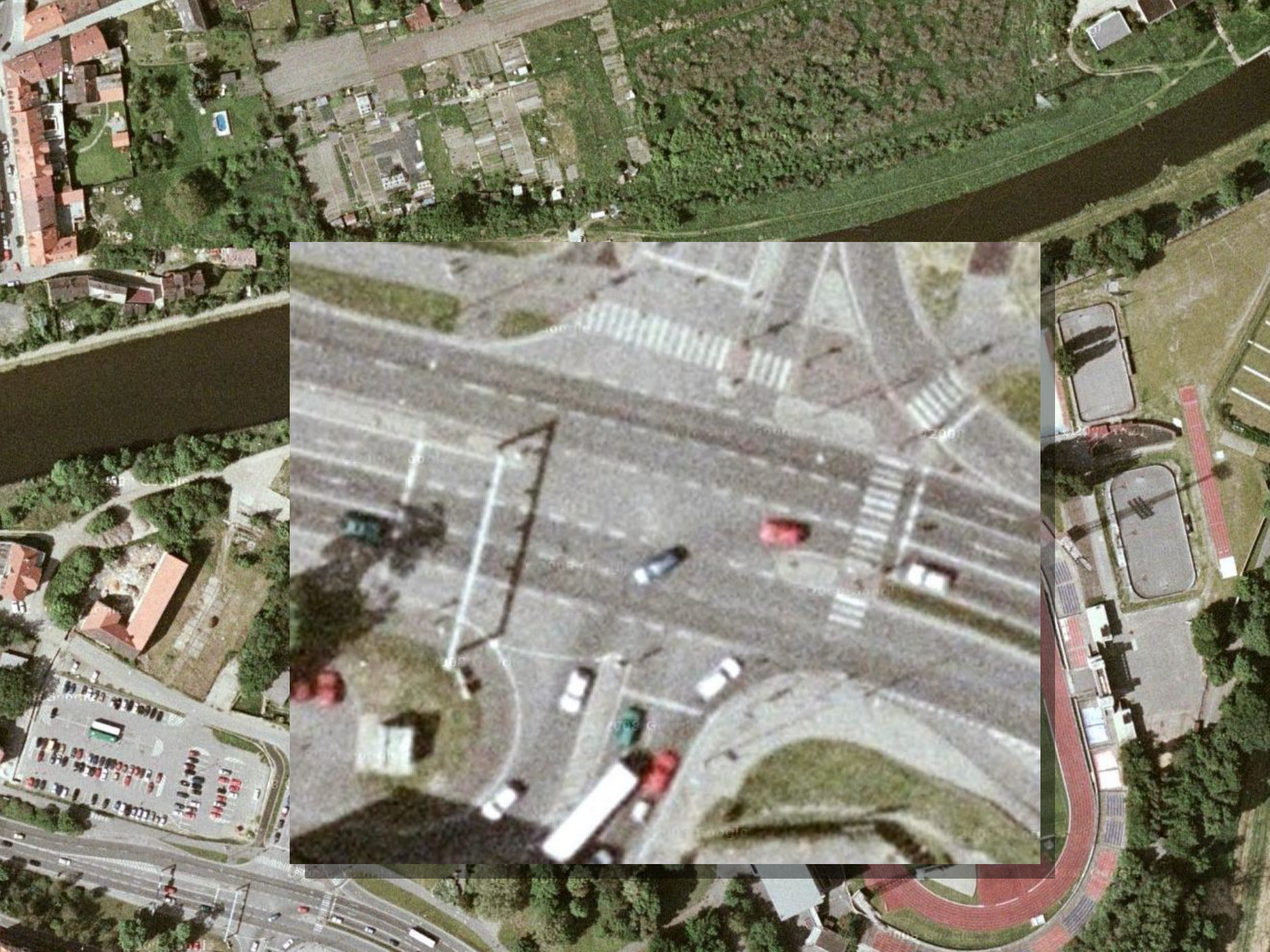


Zdroje prostorových dat pro GDB

- Měření se uskutečňuje na fotografii, ne na objektu, jedná se tedy o bezkontaktní (nepřímou) metodu sběru dat.
- Existuje fotogrammetrie letecká a pozemní, a také jednosnímková a dvousnímková, analogová a digitální.
- Je nutno vyřešit celou řadu problémů:
 - Problematika převodu centrální projekce do ortogonální.
 - Problematika mozaikování, diferenciálního překreslování,
...
- (KMA/FGM).

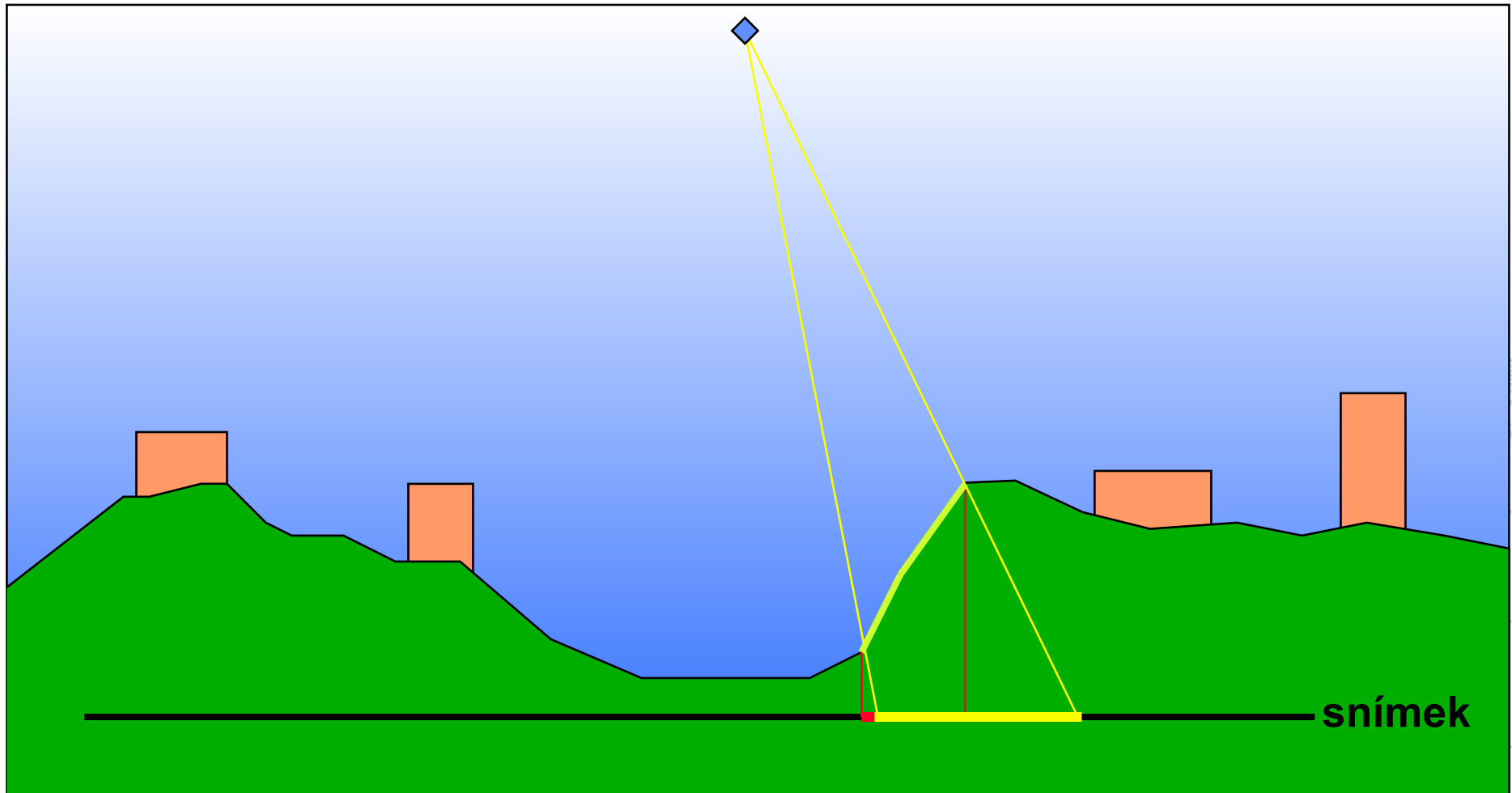






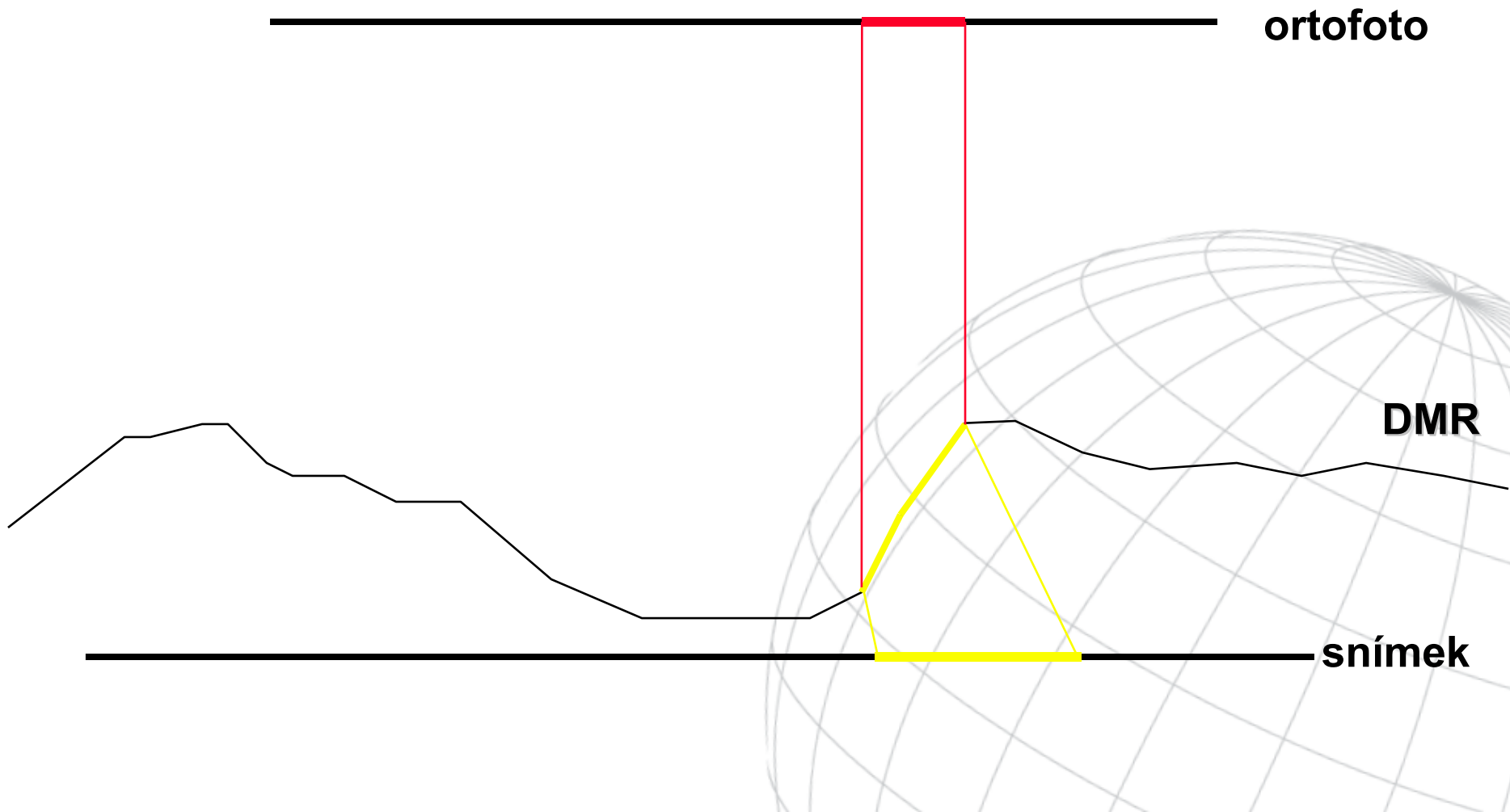
Zdroje prostorových dat pro GDB

- fotogrammetrická data



Zdroje prostorových dat pro GDB

- fotogrammetrická data



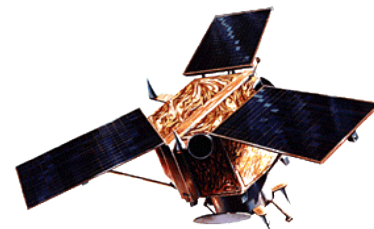
Zdroje prostorových dat pro GDB

- Výstupy z fotogrammetrie - **digitální model reliéfu (DMR)**, **digitální ortofoto**.
- Přesnost závisí na velikosti pixelu, v současnosti cca (0,10) 0,17 – 0,5 m.
- **Data jsou k dispozici v rastrové podobě**, více v předmětu fotogrammetrie (KMA/FGM).



Zdroje prostorových dat pro GDB

- Dálkový průzkum Země



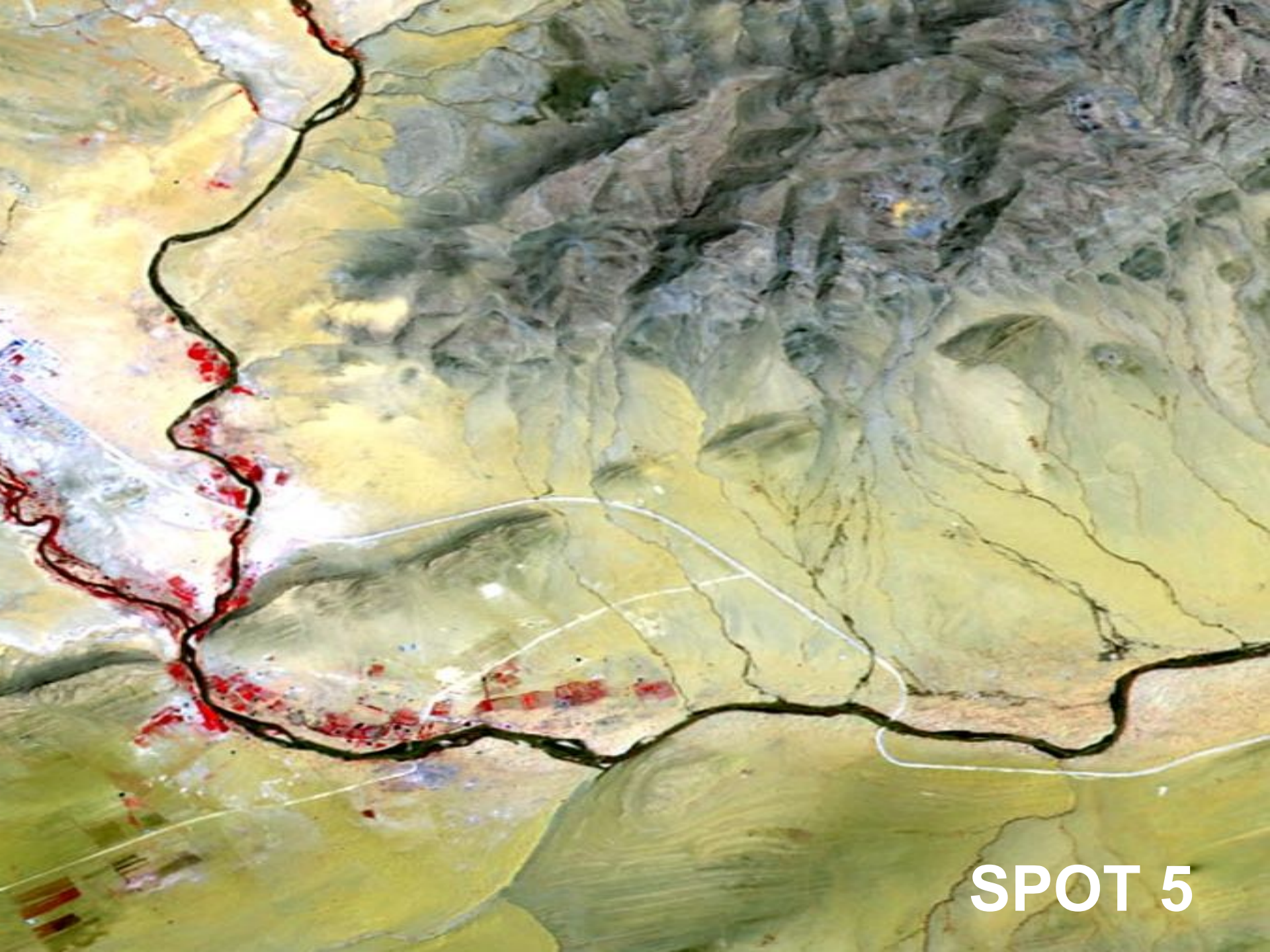
- Poskytuje data z leteckých a družicových nosičů, vychází z principu, že objekty mohou být identifikovány z velké vzdálenosti, jelikož vyzařují nebo odrážejí elektromagnetickou energii (většinou jde o odraženou energii, jejímž zdrojem je hlavně Slunce).
- Spektrální charakteristika pak identifikuje jednotlivé objekty podle vlnové délky, kterou odrážejí.
- Díky tomu, že se často používají **elektromagnetické vlny i mimo rozsah viditelného záření**, je DPZ velice zajímavý i pro jiné obory než kartografie a geodézie, např. enviromentalistika (životní prostředí), biologie, hydrologie, geologie, využití půdy a další.
- Data z DPZ jsou například používána ke sledování ozónové vrstvy, olejových skvrn, stavu napadení lesů škůdci a další.

Zdroje prostorových dat pro GDB

- Trocha terminologie:
 - Snímek (**letecký** / družicový):
 - primárním zdrojem je **fotografie**, tj. klasické analogové médium, které je třeba naskenovat.

X

- Obrazový záznam (**družicový** / letecký):
 - data jsou pořizována **přímo v digitální podobě**, skenerem na družici, dnes již i v letadle.



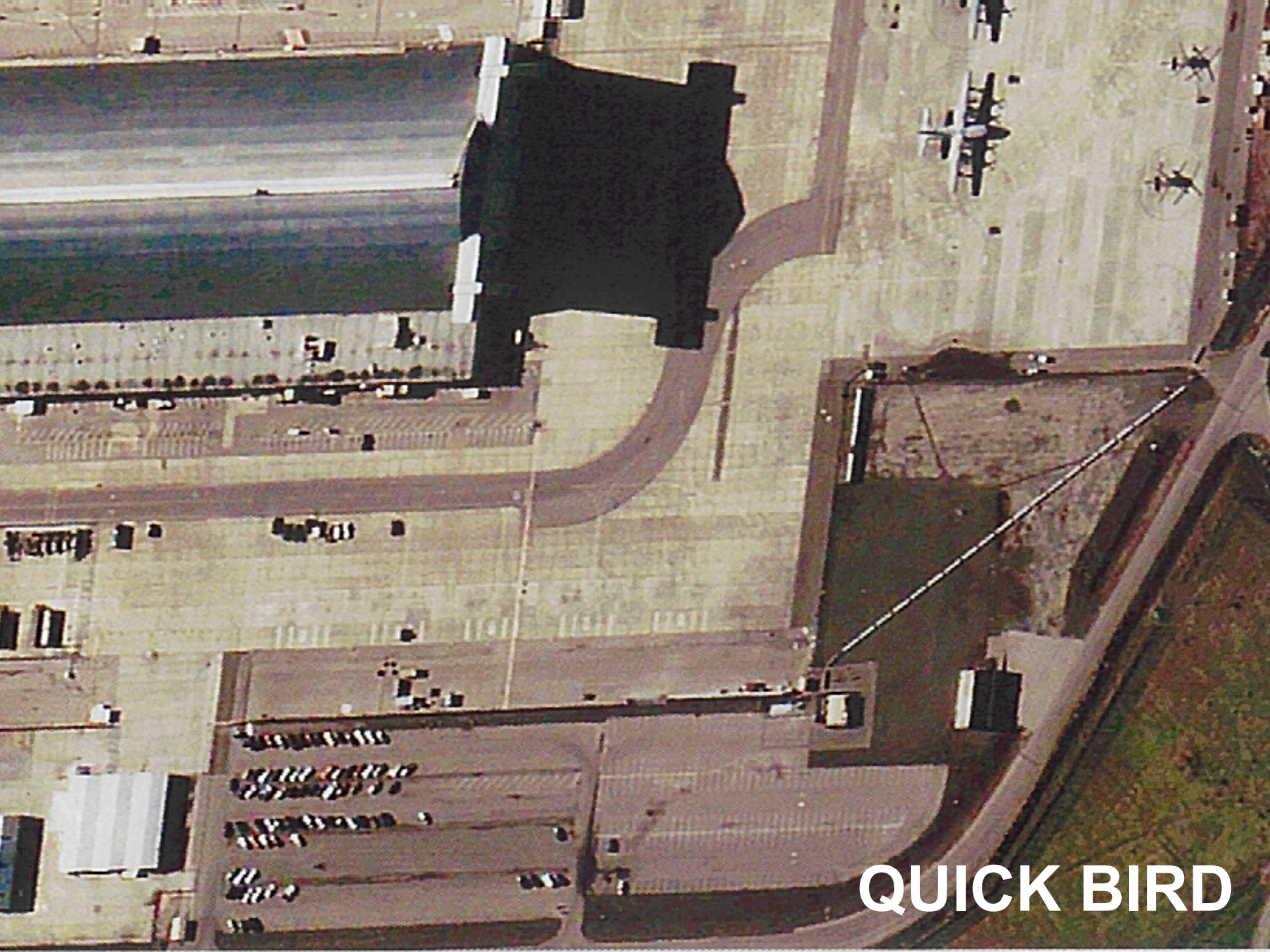
SPOT 5



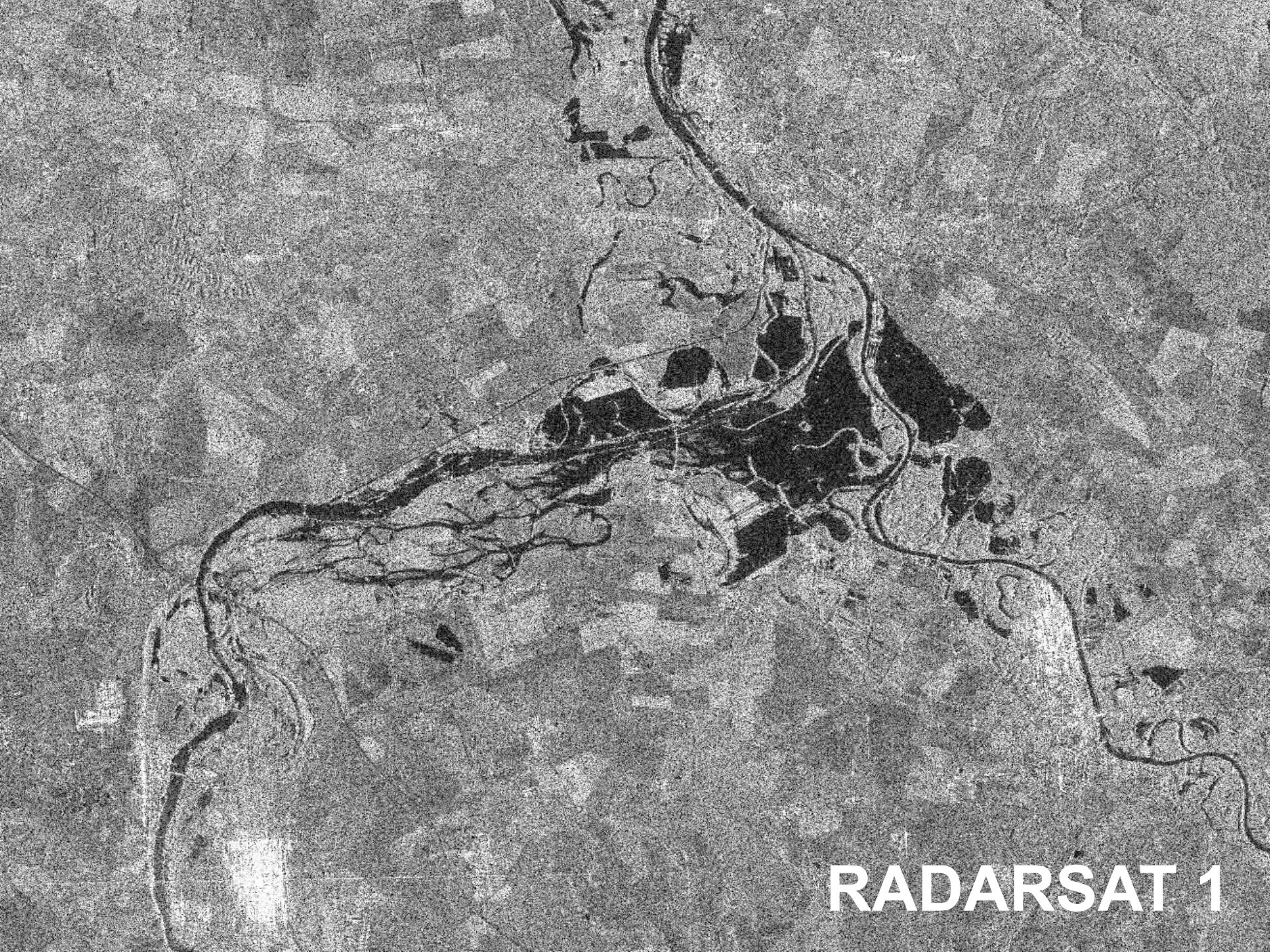
LANDSAT



IKONOS

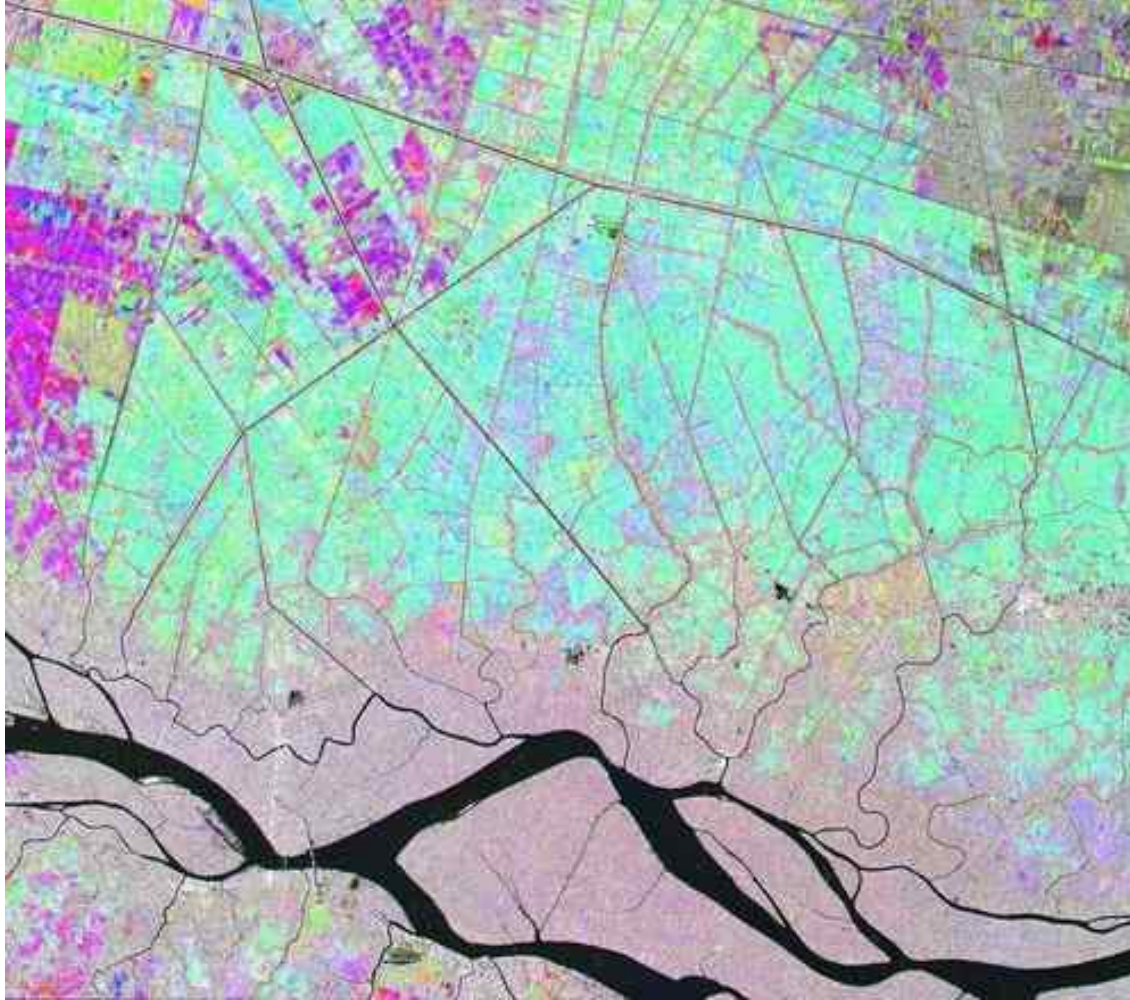


QUICK BIRD



RADARSAT 1

Vyhodnocený obrazový záznam družice RADARSAT 1

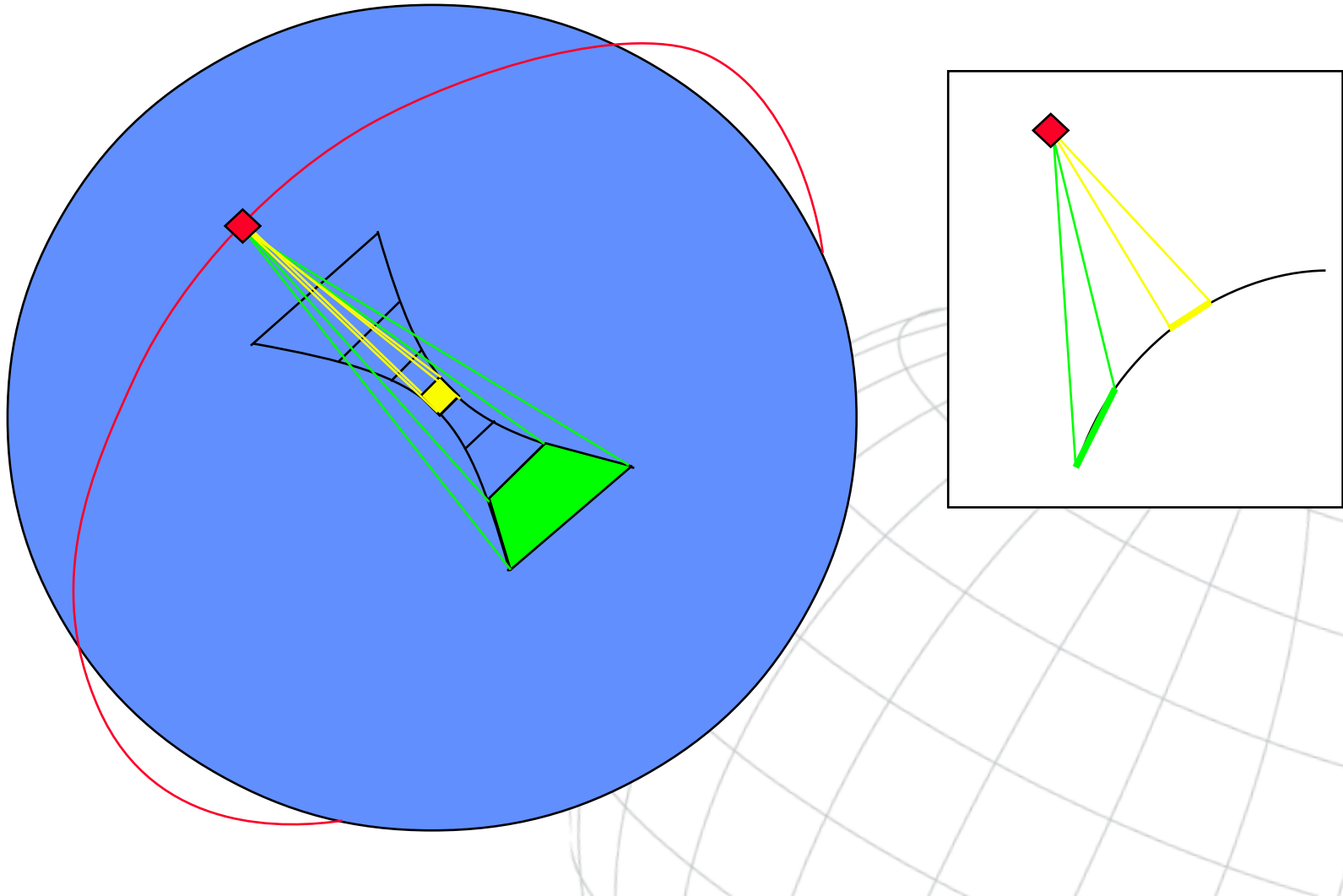


Více o družicích DPZ naleznete na:

<http://gis.zcu.cz/samostatnestranky/PrehledDruzicDPZ>

Zdroje prostorových dat pro GDB

- data z DPZ

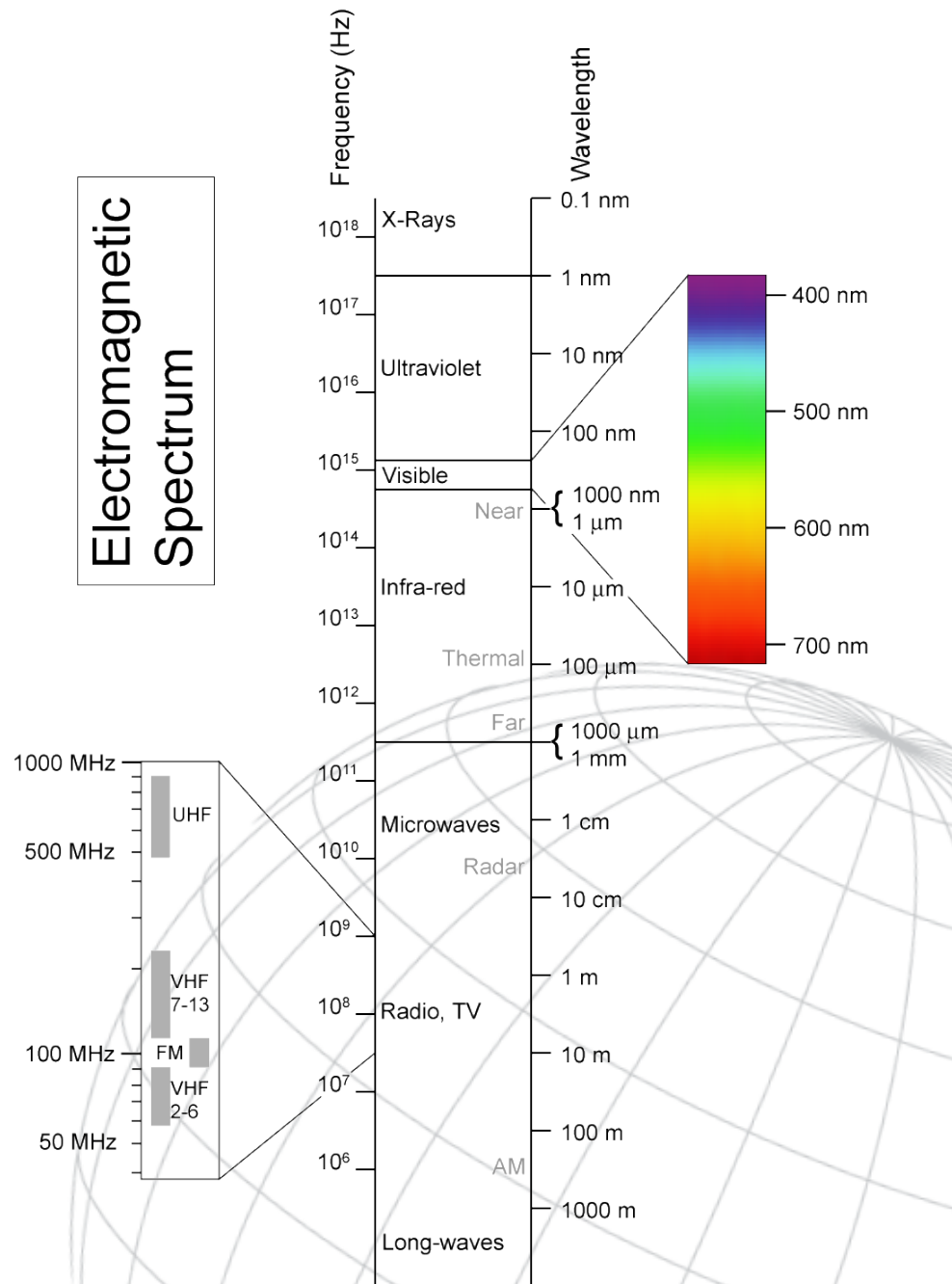


Zdroje prostorových dat pro GDB

- Systémy DPZ používají ke snímání dva druhy senzorů:
 - **pasivní** - zaznamenává vyzářené nebo odražené elektromagnetické vlny,
 - **aktivní** - používá svůj vlastní zdroj elektromagnetického vlnění, tudíž je možné jej používat jak ve dne, tak v noci. Výhodou aktivních senzorů je také **schopnost monitorovat mnohem delší vlnové délky**, než pasivní.
- Výhodou delších vln je schopnost lépe pronikat atmosférou, mraky a dokonce i mělkou vodou.
- Nevýhodou aktivních systémů je nutnost poskytovat energii senzoru.

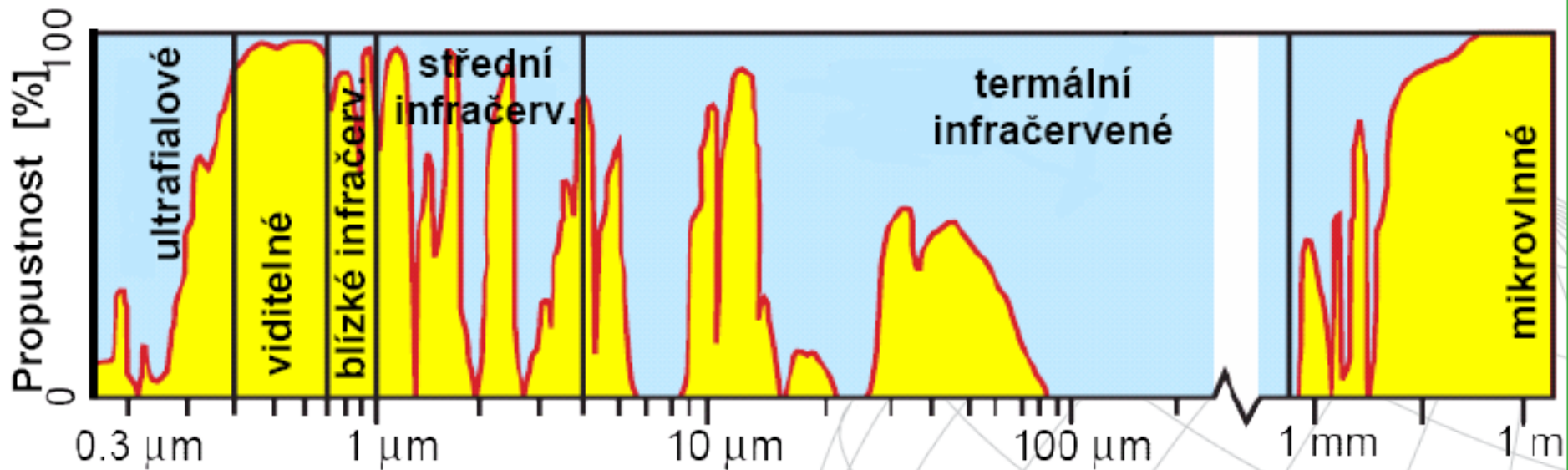
Zdroje prasto...

- Spektrální pásma



Zdroje prostorových dat pro GDB

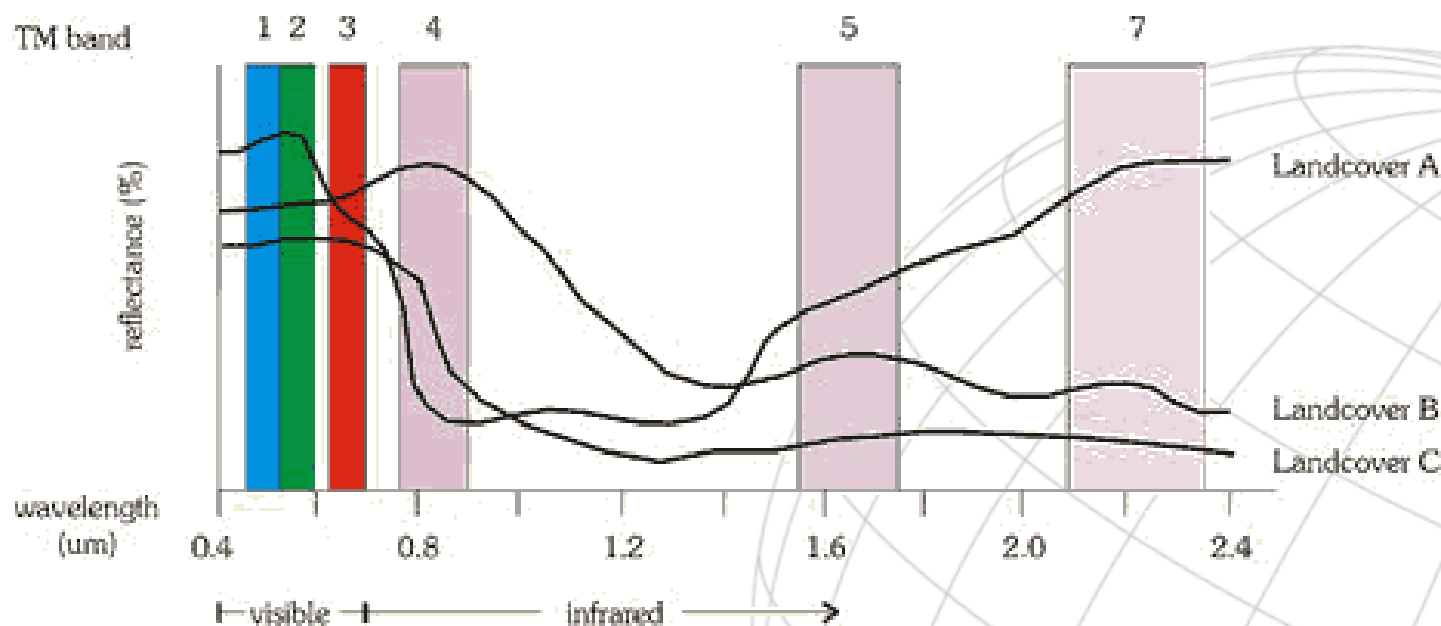
- Pohlcování EMG záření atmosférou



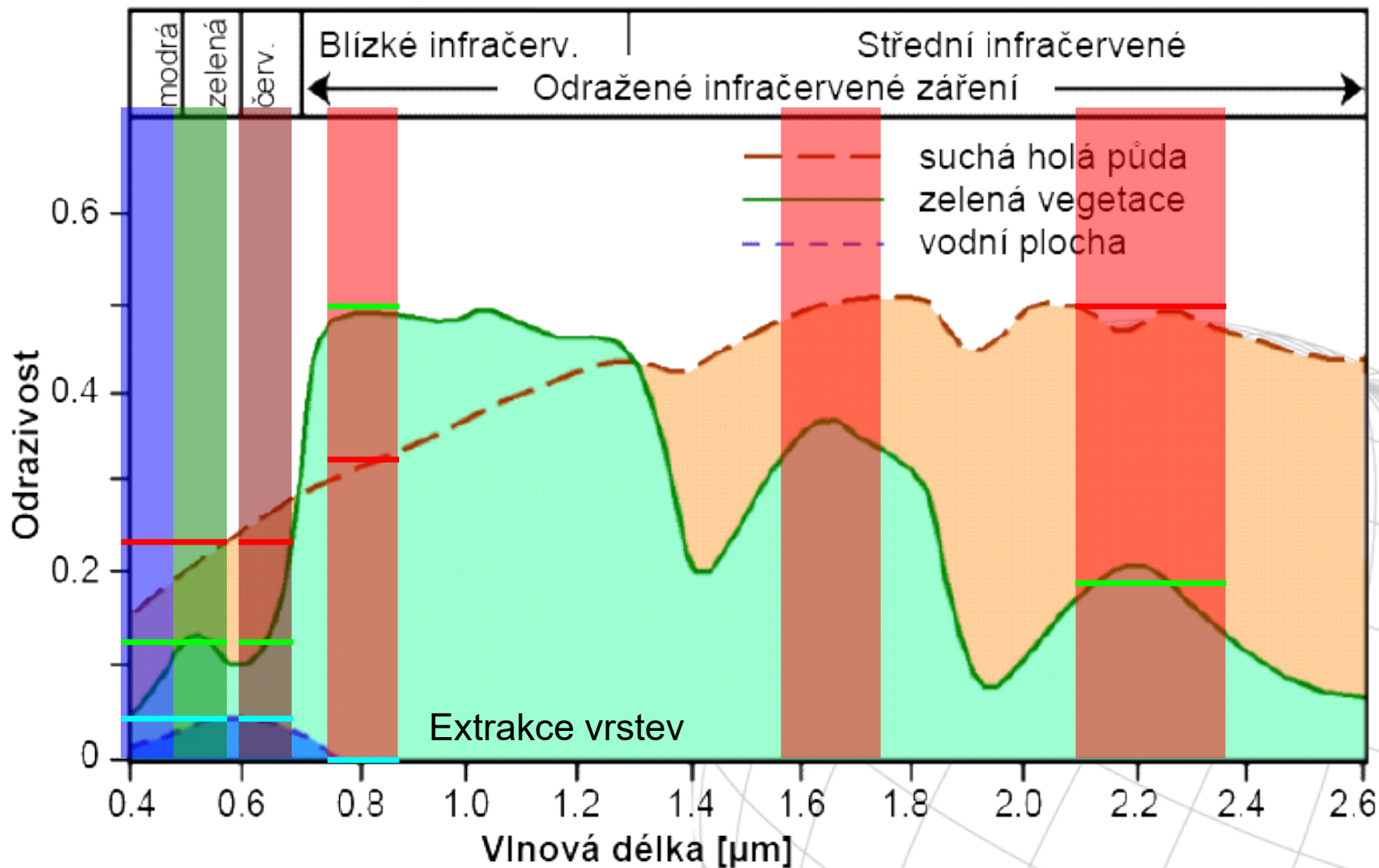
Zdroje prostorových dat pro GDB

- Spektrální rozlišení senzoru LANDSAT TM

TM bands in Relation to the EM Spectrum



Křivky odrazivosti



Zdroje prostorových dat pro GDB

- Parametry obrazových záznamů DPZ
 - Prostorové rozlišení
 - Časové rozlišení
 - Spektrální rozlišení
 - Radiometrické rozlišení



Zdroje prostorových dat pro GDB

- Parametry obrazových záznamů DPZ
 - **Prostorové rozlišení** - nejmenší rozlišitelná plocha (velikost pixelu).
 - Př.: Thematic Mapper má 30 x 30m.
 - SPOT má 10 x 10 m v panchromatickém a 20 x 20m v multispektrálním módu.
 - IKONOS má rozlišení 1 m v odstínech šedi a 4 m barevně.
 - QuickBird má v panchromatického módu velikost pixelu 61 cm. Záznam je pak dobarvován se !“snímkem“ v přírodních barvách (RGB) s velikostí pixelu 244 cm.

Zdroje prostorových dat pro GDB

- Parametry obrazových záznamů DPZ
 - **Časové rozlišení** je interval mezi dvěma úspěšnými přelety nad tím samým územím. Zde může hrát roli i počasí!



Zdroje prostorových dat pro GDB

- Parametry obrazových záznamů DPZ
 - **Spektrální rozlišení** je popsáno počtem a šířkou spektrálních pásem zaznamenávaných snímačem.
 - Obvykle platí, že systémy s větším počtem užších pásem poskytují lepší výsledky (je lépe možné identifikovat jednotlivé objekty).
 - Příklad šedotónové obrázky mají jen jedno pásmo, barevné jsou lepší a mají 3 pásma (RGB).
 - Například Thematic Mapper zaznamenává 7 pásem.

Zdroje prostorových dat pro GDB

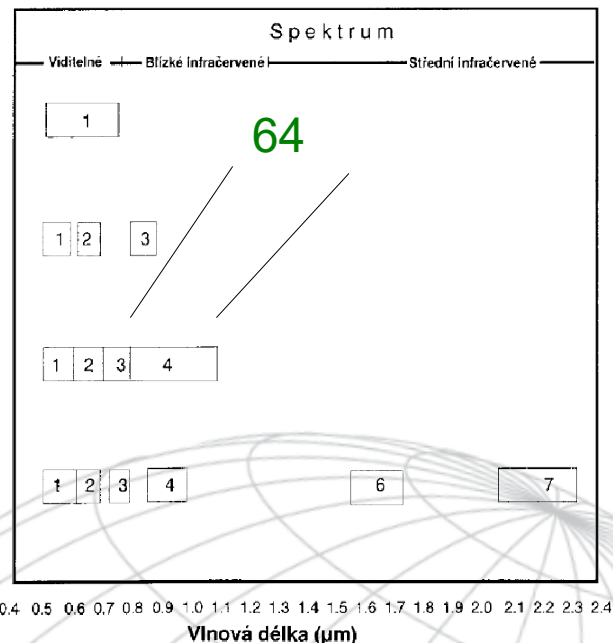
- Parametry obrazových záznamů DPZ
 - **Radiometrické rozlišení** značí, kolik různých hodnot (počet rozlišitelných úrovní) mohou dostat v každém spektrálním pásmu (citlivost detektoru).
 - např. senzory TM a SPOT mají 256 úrovní,
 - MSS (multispectral scanner) má pouze 64
 - Pozn: vše je umístěno na družici Landsat-5.

Zdroje prostorových dat pro GDB

- Radiometrické rozlišení

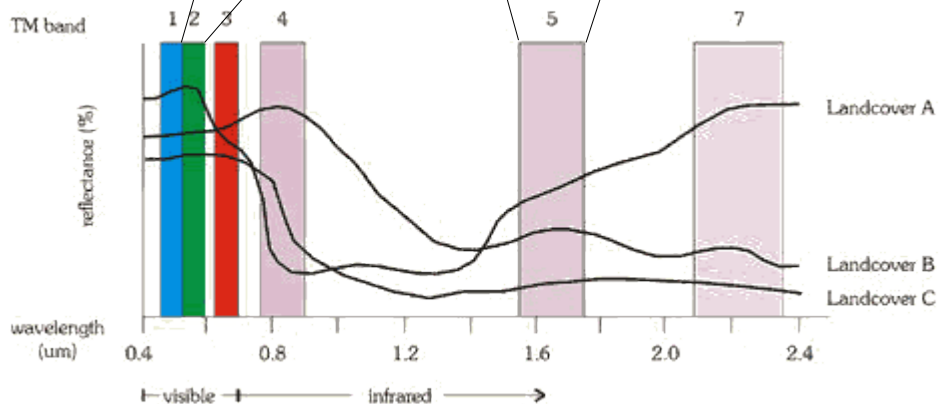
SPOT

LANDSAT



256

256



Zdroje prostorových dat pro GDB

Data DPZ

+

- V porovnání s leteckými snímky poskytují komplexní obraz rozsáhlého území (tisíce km²) na jednom obrazovém záznamu.
- Pravidelný sběr údajů.
- Možnost rychlého zpracování (obvykle za několik hodin po jejich naměření).
- Opakovatelnost aplikace stejných metod digitální interpretace - je možné snadno sledovat např. časové změny krajiny.

-

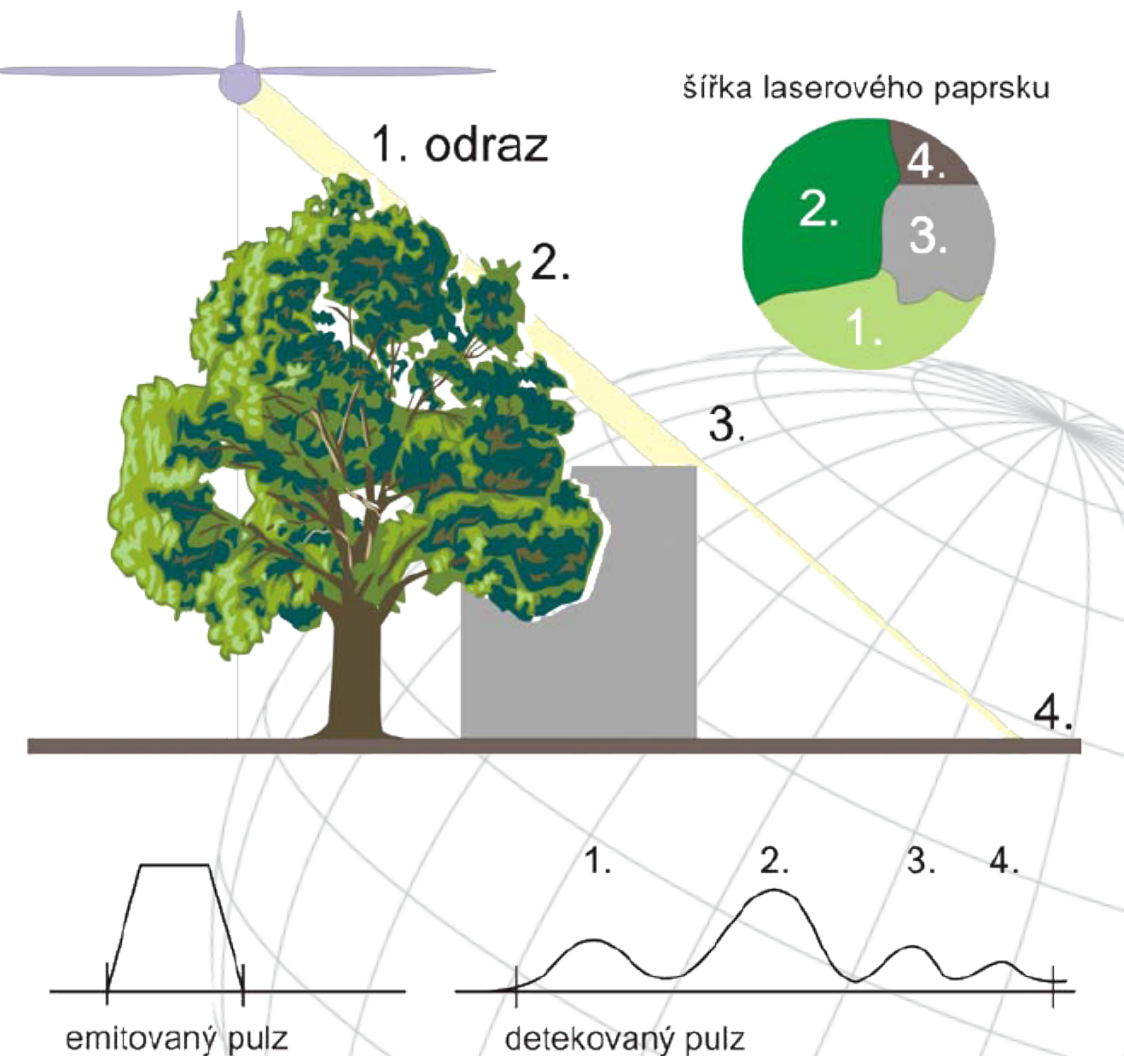
- Obvykle pro měřítko 1:25 000 a menší (dnes již existují i data z DPZ téměř srovnatelné podrobnosti jako FGM data, problém je ovšem v tom, že jsou prodávána pro velké oblasti).
- Náročné na SW a HW i školený personál.

... produkuje obrazová data, resp. rastry!

Zdroje prostorových dat pro GDB

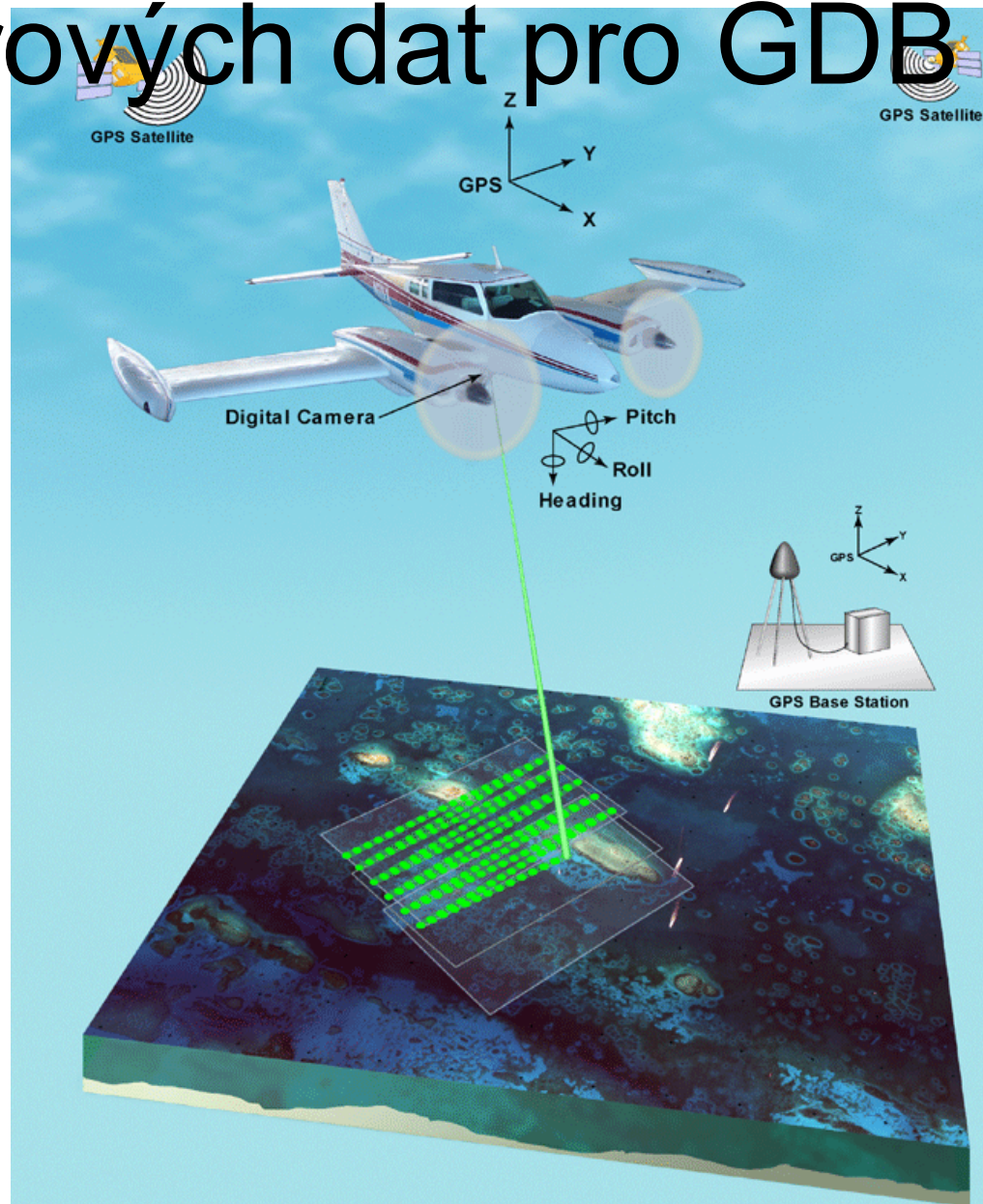
- Laserové scannování

- Light Detection And Ranging (LIDAR)



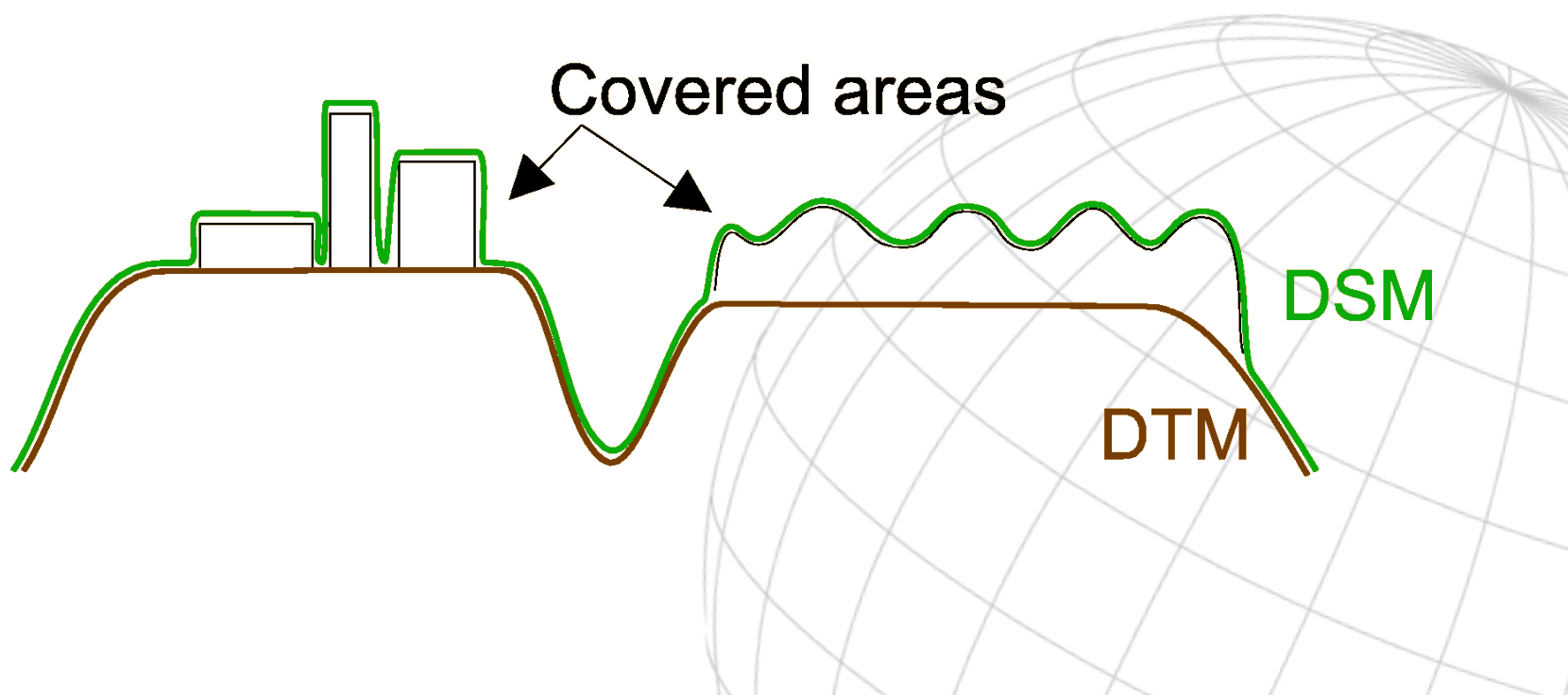
Zdroje prostorových dat pro GDB

- Sběr LIDAR dat



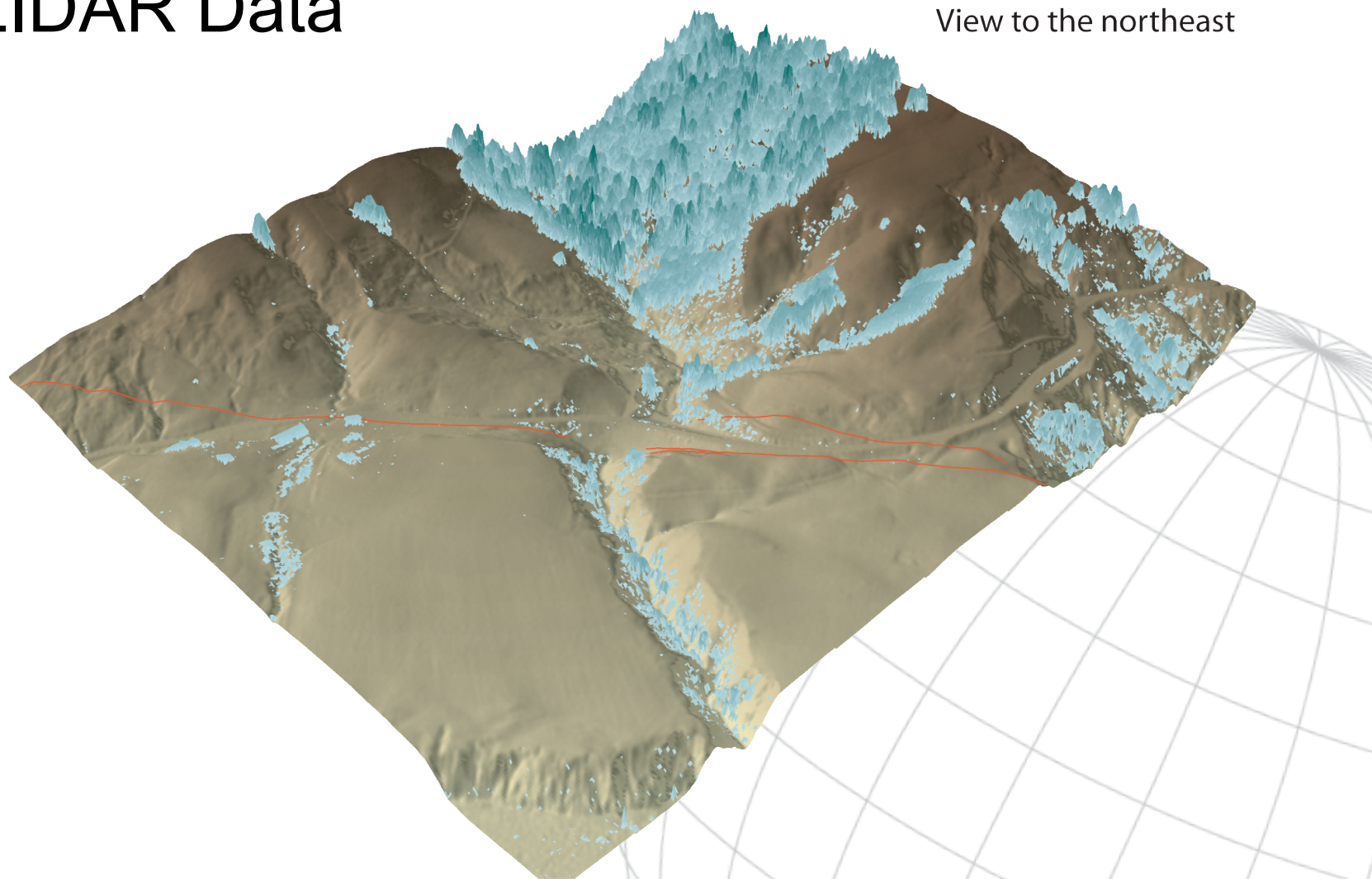
Zdroje prostorových dat pro GDB

- Rozdíl mezi DMP a DMR



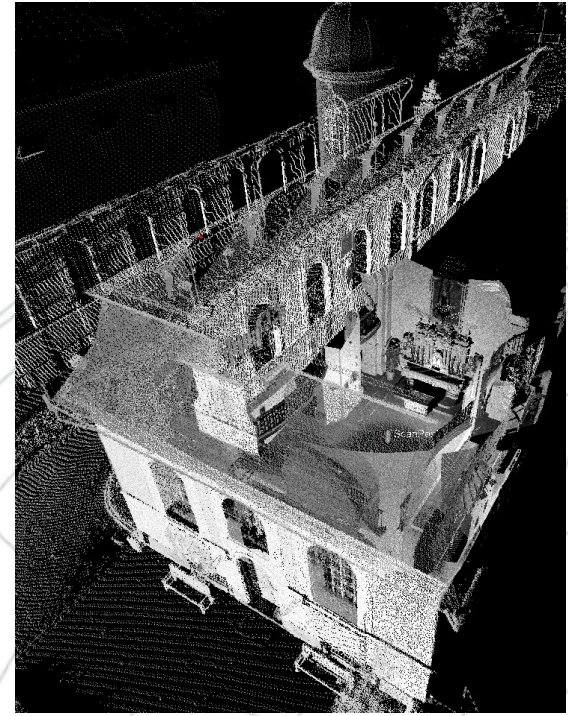
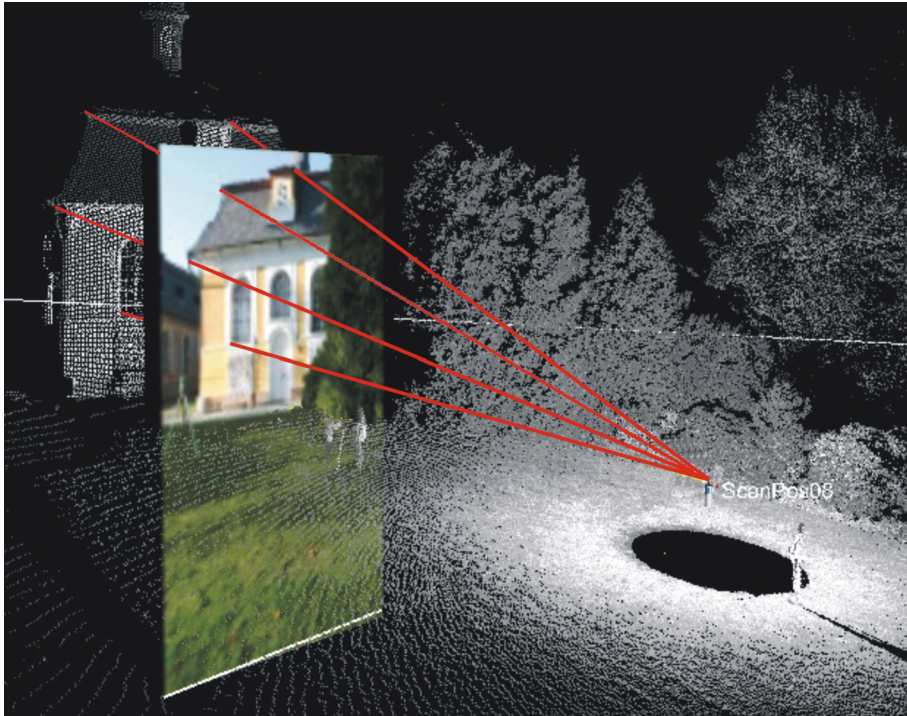
Zdroje prostorových dat pro GDB

- LIDAR Data



Zdroje prostorových dat pro GDB

- Sběr LIDAR dat



Zdroje prostorových dat pro GDB

- Princip LIDAR je postaven na aktivním senzoru, který vyšle laserový paprsek a zaznamená jeho zpětný odraz.
- Odrazů může být několik, první je považován za bod digitálního modelu povrchu (DMP, DSM – digital surface model). Poslední odraz je pak považován za bod digitálního modelu reliéfu (DMR, DTM – digital terrain model).
- Teprve potom se senzor otočí a zaznamenává další bod!
- Existují letecké a pozemní scannery.

... produkuje mračna bodů.

Parametry LMS-Q680

- Letecký skener použitý v Projektu tvorby nového výškopisu ČR

Minimum Range

Accuracy^{3) 4)}

Precision^{3) 5)}

Laser Pulse Repetition Rate⁶⁾

Effective Measurement Rate

Laser Wavelength

Laser Beam Divergence⁷⁾

Number of Targets per Pulse

Scanner Performance

Scanning Mechanism

Scan Pattern

Scan Angle Range

Scan Speed

Angular Step Width $\Delta \vartheta$ ⁸⁾

between consecutive laser shots

Angle Measurement Resolution

Scan Sync

30 m

20 mm

20 mm

up to 240 000 Hz

up to 120 kHz @ 45° scan angle

up to 160 kHz @ 60° scan angle

near infrared

≤ 0.5 mrad = 0.03°

digitized waveform processing: unlimited⁸⁾

online monitoring data output: first pulse or last pulse

rotating polygon mirror

parallel scan lines

$\pm 22.5^\circ = 45^\circ$ total ($\pm 30^\circ = 60^\circ$ total⁹⁾)

10 - 200 lines/sec

$\Delta \vartheta \geq 0.004^\circ$ (for PRR 240 000 Hz¹⁰⁾)

0.001°

Option for synchronizing scan lines to external timing signal

3) Standard deviation one sigma @ 250 m range under RIEGL test conditions.

4) Accuracy is the degree of conformity of a measured quantity to its actual (true) value.

5) Precision, also called reproducibility or repeatability, is the degree to which further measurements show the same result.

6) User selectable

7) 0.5 mrad correspond to 50 cm increase of beam width per 1000 m distance

8) Practically limited only by the maximum data rate allowed for the RIEGL Data Recorder

9) Up to 60° with 90% of maximum measurement range

10) Minimum angle step width increasing linearly to 0.01° @ 80000 Hz laser pulse repetition rate