

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

Vedoucí katedry: doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Porovnání leteckých snímků dostupných na internetu  
vyhotovených mezi rokem 2002 a současností**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Bc. Martin Pavel

Autor bakalářské práce: Petr Honetschläger

České Budějovice, 2016

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr HONETSCHLÄGER**  
Osobní číslo: **Z13019**  
Studijní program: **B4106 Zemědělská specializace**  
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**  
Název tématu: **Porovnání leteckých snímků dostupných na internetu vyhotovených mezi rokem 2002 a současností**  
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je popsat a zhodnotit letecké a pozemní snímky pořízené na souvislém území, které jsou dostupné na internetu z několika hledisek: časového, metody pořízení, využitelnosti a využívanosti a dalších.

Práce by měla obsahovat:

Stručný popis a vývoj letecké a pozemní fotogrammetrie a DPZ.

Stručný popis a vývoj pomůcek k pořizování snímků.

Příklady nebo návrhy užití, přesnosti a zhodnocení snímků.


Metody zpracování snímků a jejich publikace na webu.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **40 - 50 stran textu**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

**Iliffe J.: Datums and map projections: for remote sensing, GIS and surveying, Roger Lott. Whittles, Dunbeath 2008.**  
**Wilfried L.: Digital photogrammetry: a practical course. Springer, Berlin 2009.**  
**Pavelka K.: Fotogrammetrie 1, ČVUT, Praha 2009.**  
**Pavelka K.: Fotogrammetrie 2, ČVUT, Praha 2011.**  
**Maas H.: Airborne and terrestrial laser scanning. Whittles, Dunbeath 2010.**  
**Uren J. - Proce B.: Surveying for engineers. Palgrave/Macmillan, Basingstoke 2010.**


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Bc. Martin Pavel**  
Katedra krajinného managementu

Datum zadání bakalářské práce: **16. března 2015**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2016**

  
prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.  
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentická 15  
370 05 České Budějovice

L.S.

  
doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 23. března 2015

## Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce - Porovnání leteckých snímků dostupných na internetu vyhotovených mezi rokem 2002 a současností, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne .....

.....

Petr Honetschläger

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Bc. Martinu Pavlovi za cenné rady a odborné vedení mé práce.

## **Abstrakt**

Cílem bakalářské práce je porovnání leteckých snímků. Tyto letecké snímky jsou volně dostupné na internetu a byly pořízené mezi rokem 2002 a současností.

Bakalářská práce má dvě části. V literární rešerši jsou vysvětleny pojmy fotogrammetrie a dálkový průzkum Země. Jsou zde popsány pomůcky a metody pořizování snímků. V praktické části jsou porovnávány letecké, družicové i pozemní snímky z různých hledisek.

### **Klíčová slova**

Letecké snímky, fotogrammetrie, dálkový průzkum Země, ortofoto

## **Abstract**

The aim of the bachelor thesis is the comparison of aerial photographs. This aerial photographs are freely available on the internet and they were taken between year 2002 and the present.

This bachelor thesis consists of two parts. In literary research are explained terms photogrammetry and remote sensing. Here are describe tools and sensing methods. In practical part of bachelor thesis are comparison aerial, satellite and terrestrial photographs from different viewpoints.

### **Key words**

Aerial photographs, photogrammetry, remote sensing, orthophoto

# Obsah

1. Úvod.....	9
1.1 Cíle práce.....	9
2. Fotogrammetrie.....	9
2.1 Fotogrammetrie jako měřická technika.....	9
2.2 Historie fotogrammetrie.....	11
2.3 Pozemní fotogrammetrie.....	13
2.4 Letecká fotogrammetrie.....	14
2.5 Družicová fotogrammetrie.....	15
3. Dálkový průzkum Země.....	16
3.1 Definice dálkového průzkumu Země.....	16
3.2 Historie dálkového průzkumu Země.....	17
3.3 Základní principy dálkového průzkumu Země.....	18
3.3.1 Princip fungování DPZ.....	18
3.3.2 Elektromagnetické spektrum.....	19
3.3.3 Průchod záření atmosférou.....	21
3.3.4 Interakce záření s objekty zemského povrchu.....	21
3.4 Druhy dálkového průzkumu Země.....	22
4. Přístroje k pořizování snímků.....	24
4.1 Měřické komory pro pozemní fotogrammetrii.....	24
4.1.1 Komory s vodorovnou osou záběru.....	25
4.1.2 Komory s naklonitelnou osou záběru.....	25
4.1.3 Réseau komory.....	27
4.1.4 Neměřické filmové komory.....	27
4.1.5 Digitální komory.....	28
4.2 Měřické komory pro leteckou fotogrammetrii.....	28
4.2.1 Nosiče.....	29
4.2.2 Letecké komory pro stereoskopické snímkování.....	30
4.2.3 Digitální letecké měřické komory.....	31
4.2.4 Přídavná zařízení pro letecké snímkování.....	34
4.3 Přístroje pro dálkový průzkum Země.....	35
4.3.1 Oblast viditelného a infračerveného záření.....	36
4.3.2 Radarové snímání.....	38
4.3.3 Laserové skenování.....	40

4.3.4	Družice a družicové systémy .....	41
5.	Využití snímků .....	43
5.1	Využití fotogrammetrie .....	43
5.2	Využití dálkového průzkumu Země .....	45
6.	Letecké snímky na internetu .....	47
6.1	Metodika .....	48
6.2	Mapy.cz .....	48
6.3	Google Maps .....	54
6.4	Bing Maps .....	56
7.	Výsledky práce .....	57
8.	Závěr .....	58
9.	Seznam použité literatury, zdroje .....	59
10.	Seznam obrázků .....	61
11.	Seznam příloh .....	61



## 1. Úvod

Tato bakalářská práce se zaměřuje na pořizování leteckých, družicových i pozemních snímků a jejich následné využití.

V první části práce jsou vysvětleny jednotlivé pojmy. Co je to fotogrammetrie, její stručná historie a rozdělení na pozemní a leteckou fotogrammetrii. Je zde vysvětlen pojem dálkový průzkum Země, jeho historický vývoj a jsou zde vysvětleny základní principy fungování dálkového průzkumu Země. Dále se zaměřuji na přístroje k pořizování snímků. Přístroje jsou rozděleny do tří hlavních částí a to na fotogrammetrické komory pro pozemní snímkování, fotogrammetrické komory pro letecké snímkování a přístroje pro dálkový průzkum Země. Jsou zde uvedeny možnosti, jak se využívá fotogrammetrie a dálkový průzkum v praxi a to jak například v zemědělství, tak i ve stavebnictví.

V druhé části je samotné porovnávání leteckých, družicových i pozemních snímků, které jsou volně dostupné na internetu a zhodnocení jednotlivých poskytovatelů těchto dat.

### 1.1 Cíle práce

Cílem této práce je zhodnotit a porovnat letecké snímky, pořízené od roku 2002 do současnosti, které jsou volně dostupné na internetu. Pro porovnání jednotlivých snímků jsou použity mapové podklady ze tří internetových stránek a to Mapy.cz, Google Maps a Bing Maps. Snímky jsou zhodnoceny podle kvality, času, metody pořízení atd. Porovnávány jsou vedle leteckých snímků i družicové snímky a pozemní snímky.

## 2. Fotogrammetrie

### 2.1 Fotogrammetrie jako měřická technika

Fotogrammetrie je vědný obor z oblasti geodetických věd, který se zabývá úlohou rekonstruovat tvar, velikost a polohu předmětů z fotografických snímků (Gál, 1965).

Lze ji definovat jako „vědu o měření na fotografiích“ a je to již tradiční součást geodézie. Fotogrammetrie se dá zařadit do dálkového průzkumu Země (DPZ). Pokud chceme zjistit vzdálenost, plochu nebo cokoliv jiného na snímku, tak je základním úkolem přiřadit k danému objektu souřadnice, podle kterých pak můžeme vypočítat geometrické údaje nebo vytvářet mapy. Použitím fotografií

můžeme získat i informace o objektech, můžeme například obdržet kvalitní data o stavu budovy, nebo zjistit rozměry již neexistující budovy, jeli k dispozici historická fotografie (Linder, 2009).

Slovo fotografie má svůj původ v řečtině, a to Fotos = světlo a Graphos = kresba, nebo záznam. Fotografický záznam lze provádět klasicky formou analogové světlocitlivé vrstvy (běžná fotografie), nebo digitálně. Pro získání obrazu lze užít různých zařízení s různou výstupní přesností – od běžných amatérských fotoaparátů až po speciální měřické fotogrammetrické komory. Slovo fotogrammetrie užil jako první Meydenbauer v roce 1858 složením tří řeckých slov, Fotos = světlo, Gramma = záznam a Metrie = měření. Pořízený obraz – snímek, slouží k zachycení okolní reality. Z polohy bodů na měřických snímcích lze odvodit již zmíněný tvar, velikost a umístění předmětu měření v prostoru, ale i určit vzájemnou prostorovou polohu jednotlivých bodů, vyhodnotit polohopis a výškopis a podobně (Pavelka, 2009).

Základem fotogrammetrie jako měřické a mapovací techniky je všeobecná skutečnost, že fotografické snímky vyhotovené za určitých podmínek jsou exaktním perspektivním zobrazením fotografovaného předmětu. Jednoznačné geometrické vztahy, které byly v čase expozice mezi předmětem a jeho snímkem, je možno rekonstruovat na podkladě geometrických veličin zobrazených na snímku a tak je možno nahradit měření přímo na předmětu měřením na jeho fotografickém snímku. Charakteristický je pro fotogrammetrii, že snímky zachycují časově úzce vymezený stav, a proto je možné fotogrammetricky měřit i předměty tvarově proměnlivé a pohyblivé (Gál, 1965).

Podle stanoviště fotografování se dělí fotogrammetrie na dva hlavní oddíly: pozemní, která je starší, a leteckou, jejíž hlavní rozvoj začal až ve dvacátých letech 20. století. V souvislosti se snímkováním z umělých družic a z kosmických raketoplánů se začal používat termín kosmická fotogrammetrie. Podle počtu snímků, které se současně zpracovávají (vyhodnocují) se rozeznává fotogrammetrie jednosnímková, dvousnímková a případně i vícesnímková. Ve dvousnímkové fotogrammetrii má výjimečné postavení tzv. stereofotogrammetrie, kde se využívá schopnosti očí vidět prostorově, neboli stereoskopicky. Velký význam pro rozvoj fotogrammetrie jako měřické techniky mělo to, že schopnost vidět stereoskopicky má člověk nejen při přímém pozorování předmětů, ale i při pozorování dvou fotografických snímků (každý snímek jedním okem) pořízených ze dvou různých stanovisek (Maršík, 1998).

Novodobé metody fotogrammetrie ovšem již nevystačují jen s poznatky z deskriptivní geometrie. Zpracování snímků je podstatně složitější, založené na propracovaných matematických principech a řeší se buď analyticky s využitím výkonné výpočetní techniky, nebo digitální technologií na počítačích; dříve bylo nutno využít analogové postupy na velmi důmyslných a složitých mechanicko-optických vyhodnocovacích přístrojích. Od jiných měřických metod se fotogrammetrie liší hlavně tím, že sběr a měření informací se neprovádí na samotném předmětu měření, ale na měřických snímcích. Snímky lze pořídit v poměrně krátké době, čímž je na nich zobrazen okamžitý, skutečný stav předmětu a proměňování lze provést nezávisle v laboratořích, v klidném a moderním pracovním prostředí. Snímky mají významnou dokumentární hodnotu a měření jde

kdykoliv doplňovat, ověřovat, nebo rozšiřovat o nové poznatky. Periodicky opakované snímkování rozšiřuje znalosti o změnách předmětu. Fotogrammetrie snižuje čas pro sběr informací a pro jejich zpracování, zejména při mapování ve středních a malých měřítkách lze získat výrazné časové i finanční úspory oproti mapování klasickými geodetickými metodami měření. Na některých nepřístupných místech nelze ani jinou metodu, než fotogrammetrii, použít (Pavelka, 2009).

Použití fotogrammetrie se ovšem neomezuje jen na geodézii a kartografii, ale uplatňuje se i v jiných odvětvích vědy a techniky, tam kde je potřeba měřit složité a rychle se měnící úkazy, jako například při technických pokusech, astronomii, meteorologii, nebo při balistice (Gál, 1965).

## 2.2 Historie fotogrammetrie

Teoretické počátky fotogrammetrie spadají do doby dávno před vynálezem fotografie. Uvážíme-li, že snímky jsou středovými průměty objektů měření a jejich proměňováním se fotogrammetrie zabývá, lze počátek fotogrammetrie datovat již do roku 1032, kdy arabský učenec Al Hassan bin Al Haithm jako první popsal „cameru obscuru“. V době renesance Leonardo da Vinci popsal „dírkovou komoru“ pro konstrukci středových průmětů. Dírkové komory ale nebyly příliš využívány pro jejich malou světelnost. Komora, vybavená spojnou čočkou a dále konkávním zrcadlem, byla popsána G. B. della Portou v roce 1588. Konstrukcí světelné komory, která byla za Jana Keplera zdokonalena jako „camera clara, camera lucida“, byl vlastně položen první skutečný základ fotogrammetrie. První praktické rekonstrukce perspektivních obrazů provedl M. A. Cappeler v Alpách, později Beateemps-Beaupré pro pořízení plánu pobřeží ostrova Santa Cruz. Tyto metody však vyžadovaly ruční kresbu obrazů, značné malířské zkušenosti a nemohly dojít širšího uplatnění (Pavelka, 2009).

Brzy po vynálezu principu fotografie v roce 1839 se ukazovalo jako výhodné využít tuto novou techniku pro měřické účely. A tak v roce 1850 francouzský důstojník a geometr Aimé Laussedat použil fotografické snímky k zaměřování architektonických památek. Tentýž průkopník nové měřické techniky použil poprvé v roce 1861 fotografické snímky k mapování v údolí řeky Seiny v okolí Paříže. Laussedat nazval svou novou techniku ikonometrie (měření na obrázcích). Aimé Laussedat zkonstruoval první fotografický přístroj vybavený úhломěrným zařízením, tedy první fototeodolit. Jak již bylo řečeno, v roce 1850 použil Laussedat fotografické snímky k měření architektonických památek a v roce 1861 poprvé pro topografické účely, a to při mapování v okolí Paříže. Laussedat se věnoval rozvoji nové měřické techniky, po stránce teoretické i praktické, několik desetiletí a vysloužil si ve světové odborné literatuře jméno „otec fotogrammetrie“ (Maršíková a Maršík, 2007).

Název „fotogrammetrie“ je datován do roku 1858, kdy jej poprvé použil Němec A. Meydenbauer, který je považován také za průkopníka fotogrammetrické dokumentace historických objektů. Na objednávku Pruského státu později v letech 1885 až 1909 vytvořil naprosto unikátní archiv cca 1600 měřických snímků

historických objektů. První prakticky využívané fototeodolity zkonstruovali nezávisle Porro (Itálie, 1865), Koppe a Finsterwalder (Německo, 1896, 1895). V roce 1904 firma Zeiss Jena zkonstruovala fototeodolit 19/1318, který se prakticky pod názvem PhoTheo vyráběl až do šedesátých let a pro pozemní fotogrammetrii se užíval téměř výhradně v našich zemích do let sedmdesátých, kdy tento typ vystřídaly modernější komory. Technologicky se využívala průseková fotogrammetrie, která vlastně představuje protínání vpřed, jak je známe z geodézie. Tento způsob práce má ale velký nedostatek v těžké identifikaci odpovídajících si bodů na snímcích. Hledala se proto nová technologie, která by tyto nedostatky odstranila. Nalezena byla koncem devatenáctého století v poměrně jednoduchém principu stereoskopie. Roku 1892 F. Stolze pořídil stereozáběry a navrhl princip prostorové měřické značky. Roku 1894 navrhl Hauck stereoskopické vyhodnocovací zařízení. Praktickým průkopníkem stereofotogrammetrie byl Dr. C. Pulfrich (Zeiss Jena), který v roce 1901 zkonstruoval první přístroj pro stereoskopické měření snímkových souřadnic – stereokomparátor. Ten je do dnes nejpřesnějším přístrojem pro měření na snímcích. Pozemní fotogrammetrie se mohla uplatnit výhodně jen při mapování menších přehledných území, anebo v horách. Rozsáhlejší části povrchu Země lze hospodárněji mapovat pomocí letecké fotogrammetrie, kdy je fotografický přístroj umístěn v letadle (nebo dříve v balónu). Teorii letecké fotogrammetrie se zabýval koncem devatenáctého století Rakušan Th. Scheimpflug. Ten zkonstruoval v roce 1911 i první překreslovač pro překreslení skloněného snímku rovinatého terénu do měřítka mapy. Letecká fotogrammetrie vznikla až počátkem dvacátého století s rozvojem letectví (bratři Wrightové, 1903). Roku 1909 L. Blériot přeletěl kanál La Manche a W. Wright jako první snímkoval z letadla. Snímkování z letadel našlo uplatnění s příchodem první světové války, během které doznala letecká fotogrammetrie rozmach především pro vojenské sledovací a interpretační účely.

Kolem roku 1960 vznikly první elektronické korelační systémy, které umožňovali částečně automatické vyhodnocení („stereomaty“). S vývojem výpočetní techniky se začalo přecházet evolučně na analytické metody. Analytické metody fotogrammetrie jsou známé již dlouhou dobu, ale nebyly z důvodu početní náročnosti využívány. Bylo nutno počkat až na dostatečně rychlé počítače se značnou kapacitou paměti. Skutečně revoluční změna přišla v polovině osmdesátých let. Překotný rozvoj výpočetní techniky umožnil vznik prvních digitálních systémů a vznikla tak digitální fotogrammetrie. Po roce 1988 vnikly stereofotogrammetrické pracovní stanice, schopné zpracovat prakticky libovolné měřické snímky ve velmi volné konfiguraci. S novými možnostmi výpočetní techniky se opět zavedla průseková fotogrammetrie prostřednictvím réseau komor. Nové možnosti využití, zjednodušení snímání obrazu a zlevnění celého procesu přinesly nové digitální komory (po roce 1995). Dalším charakteristickým rysem se stalo splývání fotogrammetrie a DPZ, které přináší družicovou technologii i do oblasti fotogrammetrie. Využití umělých družic Země do nedávna pouze v oblasti mapování v malých a středních měřítkách, se díky novým operačním systémům s rozlišovací schopností pod jeden metr dostalo i do mapování ve velkých měřítkách a v řadě zemí se počítá i s využitím v katastru (např. USA) (Pavelka, 2009).

Do dějin fotogrammetrie se významně zapsal i profesor Vídeňské techniky Eduard Doležal, rodák z Moravských Budějovic. Z jeho popudu byla v roce 1910

založena mezinárodní fotogrammetrická společnost. Tato společnost s názvem International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) sdružuje dnes přes 90 členských zemí a koná světové kongresy každé čtyři roky (Maršík, 1998).

Kongresy trvají obvykle 10 až 12 dní a zúčastňuje se jich 1000 až 1500 odborníků z celého světa. Součástí kongresu jsou zpravidla rozsáhlé výstavy přístrojové techniky. Mezinárodní společnost ISPRS na kongresu v roce 1988 v japonském Kjótu doznala, že dřívější rozlišování pojmů „fotogrammetrie“ a „dálkové snímání“ není nadále účelné (obě definice byly velmi podobné) a přijala jako součást statusu Společnosti tuto definici: Fotogrammetrie a dálkové snímání je umění, věda a technika získávání informací o fyzických objektech a o prostředí v procesu zaznamenávání, měření a interpretace zobrazení a digitálních souborů odvozených z nekontaktních snímacích systémů (Maršíková a Maršík, 2007).

### 2.3 Pozemní fotogrammetrie

Metoda pozemní fotogrammetrie byla používána pro mapování už v devatenáctém století, zejména poté, co byl v roce 1911 zkonstruován první stereoskopický vyhodnocovací přístroj stereoautograf Orel – Zeiss. Ten umožňoval měření jednotlivých bodů, i kontinuální vyhodnocení jak polohopisných, tak výškopisných čar (vrstevnic) na mechanicky připojeném kreslicím stole (Maršíková a Maršík, 2007).

Při metodě pozemní fotogrammetrie je stanovisko zpravidla nepohyblivé, umístěné na Zemi. Historicky bylo možno při fotografování přesně geodeticky určit souřadnice stanoviště i prostorovou orientaci snímku. Snímky byly prováděny na základě přesného zaměření a ustavení přístrojů, zpracování takových snímků je proto jednodušší. Nedostatkem pozemní fotogrammetrie ovšem je, že jednotlivé předměty měření jsou vzájemně zakrývány a snímek obsahuje často značnou část nevyhodnotitelných oblastí (zakrytých prostor) a dále má další podstatnou vadu – přesnost měření v prostorové složce (vzdálenost k objektu) ubývá se čtvercem vzdálenosti. Zejména z tohoto důvodu se pozemní fotogrammetrie hodí pro objekty, které jsou přibližně ve stejné vzdálenosti (fasády domů, strmé břehy říčních koryt, stěny lomů, skály apod.). Dosah pozemní fotogrammetrie záleží na komoře a je v extrémních případech až 500 metrů, klasicky ale desítky metrů. Trend poslední doby jsou speciální aplikace pozemní fotogrammetrie, které lze najít v řadě zcela odlišných oborů (lékařství, design, strojírenství apod.), velký rozvoj v oblasti dokumentace např. památkových objektů je dán zejména cenově přístupnými digitálními kamerami a zpracovatelskými programy (Pavelka, 2009).

Vzhledem k tomu, že pozemní fotogrammetrie je nejhodnější pro použití ve výškově členitém terénu, její pole působnosti je při mapovacích pracích značně omezené. Ze začátku se uplatňovala především při mapování ve vysokohorském terénu. Mnohem větší význam má při určování kubatur těžby (a to i v současnosti) v povrchových dolech, měření pohybů mostů a těles hrází a ve velké míře ve

stavebnictví při dokumentování fasád, kleneb a to historických, nebo jinak důležitých budov. Dále se využívá v kriminalistice při dokumentování místa trestného činu nebo dopravních nehod, kde je známá pod pojmem blízká fotogrammetrie (Böhm, 2002).

Pozemní fotogrammetrii lze rozdělit na tři metody. Jednosnímková metoda, při níž se využije jeden měřický snímek a lze jí určit tedy jen rovinné souřadnice objektu měření. Průseková fotogrammetrie, nejstarší, využívající dvojice snímků, jejichž osy záběru svírají dostatečně velký úhel konvergence a dovolující určit již prostorovou polohu bodů na objektu. Stereofotogrammetrie, která je dnes nejvíce využívána a umožňuje s využitím stereoskopického vjemu určit z dvojice snímků s navzájem rovnoběžnými osami záběru prostorovou polohu bodů na objektu. Všechny uvedené možnosti lze řešit graficky, analogicky, nebo číslicově – analyticky – digitálně (Šmidrkal, 1991).

## 2.4 Letecká fotogrammetrie

Při metodě letecké fotogrammetrie je stanovisko pro pořízení snímku umístěné v letadle anebo v jiném pohybuujícím se dopravním prostředku. Na snímku se zobrazí značně větší plocha než ve fotogrammetrii pozemní. Nevýhodou je, že nelze zpravidla dostatečně přesně určit prostorovou polohu snímku v okamžiku jeho pořízení a tedy i způsoby zpracování budou složitější než při použití pozemní fotogrammetrie. Vzhledem k tomu, že se pořizují především přibližně kolmé snímky, je vzdálenost od místa fotografování k objektům (vzhledem k výšce letu) přibližně stejná a tudíž je přibližně stejná i přesnost vyhodnocení. Právě v této oblasti nastal v poslední době významný pokrok, daný zaváděním zařízení GPS/INS, která umožňují určovat prvky vnější orientace jednotlivých snímků přímo při letu (Pavelka, 2009).

Letadlo jako rychlý dopravní prostředek umožňuje pořídit snímky v poměrně krátkém čase na velké ploše území. Proto je letecká fotogrammetrie od roku 1930 převážně využívána při všech druzích mapování. Leteckou fotogrammetrií se v současné době pořizují všechny druhy topografických a tematických map, je využívána i pro katastrální účely (Šmidrkal, 1991).

Nejširší praktické využití nachází letecká fotogrammetrie při zhotovování map nejrůznějších měřítek a použití a pro jejich aktualizaci. Jsou to mapy nejen malých a středních měřítek od 1:100 000 až po 1:10 000, ale taky mapy měřítek 1:2000, 1:1000, případně i větších. Tyto mapy se pak používají pro projektování stavebních děl nebo pro hospodářsko-technické úpravy pozemků a evidenci půdy. Schopnost fotografického snímku, zachytit ve zlomku vteřiny celou zájmovou oblast, je nenahraditelná při dokumentování rychle se měnících dějů, jako je dokumentace území postižených povodněmi, vichřicemi, požáry a podobně. Její nenahraditelnost je v těžko přístupných nebo nepřístupných oblastech, kde se jiná měřická metoda ani nedá použít (Böhm, 2002).

V současné době je provedení snímkového letu plně automatizováno. Pomocí vhodného software se provede naplánování snímkového letu. Pilot má k dispozici obyčejně navigační mapu na obrazovce s plánem letu. Díky technologii DGPS je přesné navedení na náletové osy a provedení snímkování nad definovanými body poměrně jednoduchý úkol. Pro přesnou práci GPS a inerciální jednotky (GPS/INS) je potřeba ale sítě referenčních stanic GPS (v obydlených a vyspělých zemích jich je dostatečně), případně si každá firma instaluje z důvodu co nejvyšší přesnosti svou lokální referenční stanici před snímkováním. Snímkování probíhá samozřejmě s ohledem na počasí, nežádoucí jsou stíny oblačnosti zejména pro tvorbu ortofotomapy. Dnešní důležitou součástí celého systému pro snímkování je mimo kvalitní fotogrammetrické komory systém IMU (Inertial Measurement Unit – obyčejně označení celého systému), či GPS/INS (Inertial Navigation System – popisuje užité součásti). Tento systém umožňuje jednak navigovaný let a hlavně zaznamenává prvky vnější orientace, po zpracování měření tedy dostáváme snímky a přímo i jejich prvky vnější orientace. I když přesnost měření neumožňuje ještě tyto prvky užít přímo pro ruční stereo-vyhodnocení, jedná se o velmi významný průlom v letecké fotogrammetrii. Pokud jsou snímky vyhotoveny již digitální komorou, je možno ihned přistoupit k vyhodnocení jejich obsahu. Pokud jsou snímky klasické analogové, je třeba je napřed převést na digitální pomocí skeneru leteckých snímků. To je zařízení velmi drahé, jelikož se požadují vysoce přesné digitální výstupy, k tomu je nutno přičíst, že se skenují snímky či film v roli o šířce 24cm v podobě negativu či pozitivu na průhledné podložce. Vlastnímu skenování předchází analýza snímků, zjištění jejich kvality, rozlišovací schopnosti a tudíž stupně přesnosti skenování. Skenery je možné používat jako přesné komparátory a řešit s jejich využitím další fotogrammetrické úlohy, například analytickou aerotriangulaci (Pavelka, 2009).

## **2.5 Družicová fotogrammetrie**

Družicová fotogrammetrie vznikla na základě špionážních a interpretačních snímků specializovaných družic již v šedesátých letech. Pro tvorbu fotomap se družicových snímků využívalo i v naší republice. Praktické civilní uplatnění přišlo po startu družice Spot 1 v roce 1984, jelikož družice byla vybavena elektronickým skenerem s rozlišením 10 metrů v panchromatickém režimu s možností tvorby stereozáběrů. Takto získané snímky ale nebylo možno vyhodnotit na běžných zařízeních, bylo nutno vytvořit speciální programové vybavení v oblasti digitální fotogrammetrie. Dnes je družicová fotogrammetrie speciální, ale jinak již běžná technologie a rozlišení dnešních snímků komerčních družic je přibližně 50cm (Pavelka, 2009).

### 3. Dálkový průzkum Země

#### 3.1 Definice dálkového průzkumu Země

Dálkový průzkum Země je technika, která je blízce příbuzná fotogrammetrii, protože také shromažďuje data a informace o zemském povrchu, aniž by s ním přišla do kontaktu. Dálkový průzkum může být prováděn pro inženýrské projekty využívající satelitní snímky, spektrální snímky, anebo novější vzdušné platformy, jako je LiDAR (Uren a Price, 2010).

Dálkový průzkum je metoda, pomocí které je možno získávat informace o objektech a jevech bezkontaktními metodami. Člověk využívá řadu různých metod a používá pro to různá technologická vybavení, aby získal kvantitativní a kvalitativní informace o těchto jevech a o jejich vlivu na jejich okolí (Halounová a Pavelka, 2005).

Pro dálkový průzkum je charakteristické, že získávání údajů se neomezuje jen na cesty přímo vnímatelné lidskými smysly. Použití přístrojů umožňuje registrovat jevy a údaje, které jsou pro člověka nepostížitelné a navíc nabízejí možnost vyjádřit jejich velikost číselně. Tak je možné údaj o silovém poli zaznamenat a převést do podoby akceptovatelné člověkem (Kolář, 1990).

Dálkový průzkum země se řadí k tzv. geoinformačním technologiím, tedy technologiím, které sbírají data o zemském povrchu, dále je zpracovávají a umožňují ukládat informace z nich získané pro další využití. Část aktivit spojených se sběrem těchto dat a jejich přenosem na zem tvoří jednu část celého systému, druhá se skládá ze zpracování, analýzy a vyhodnocení těchto dat. Metoda dálkového průzkumu je využívána v astronomii, geofyzice a jiných oborech. Výsledky pak mohou být využívány v celé řadě oborů, jako je geodézie, mapování, zemědělství, archeologie, dále však všechny oblasti zabývající se časovými změnami, které se na zemském povrchu odehrávají (Halounová a Pavelka, 2005).

Rozlišujeme dvě základní metody DPZ: 1. konvenční metody, které dříve převládaly a jejichž výsledkem jsou fotografie, a 2. nekonvenční metody snímání zemského povrchu z přístrojů na družicích Země, kdy výsledkem je obrazový záznam na médiu. Snímání z velkých výšek si vynutilo zavedení nových technologií pro zobrazování, pro přenos získaných informací z družice na Zemi, jejich rychlé vyhodnocení a předání uživatelům. Stále více se v současné době uplatňují digitální metody přenosu a zpracování družicových záznamů.

Prostorové informace o zemském povrchu poskytované mapou a leteckým snímkem nebo obrazem z družic mají dvě základní společné složky. Jsou to: informace o poloze objektů, jejich půdorysu (tvaru), velikostech a umístění vzhledem k okolním objektům a informace o typických vlastnostech objektů (informace tematické). Rozsah zobrazeného území je ovlivněn parametry použitých snímačů a výškou letadla nebo družice nad snímkanou oblastí (Svatoňová a Lauer mann, 2010).



## 3.2 Historie dálkového průzkumu Země

Rozvoj dálkového průzkumu Země souvisel s vojenstvím a dvěma světovými válkami. První přinesla rutinní letecké snímkování sloužící k průzkumu velkých území. Druhá posunula sféru zájmu DPZ za hranice viditelné části elektromagnetického spektra do blízké infračervené (NIR z anglického near infra red) a mikrovlnné oblasti. Roku v ruce se závody ve zbrojení mezi Ruskem a USA a jejich vesmírnými programy se dostaly automatické kamery také na oběžnou dráhu Země (Zemek a kol., 2014).

Historickým mezníkem byl snímek odvrácené části Měsíce, pořízený družicí Lunik v roce 1959 a uveřejněný tehdy ve veškerém denním tisku. Jak v USA, tak v dřívějším Sovětském svazu vyslali potom několik družic k Měsíci, které za obletu snímkovaly měsíční povrch. Tyto snímky byly nejdůležitějším a prakticky jediným podkladem k mapování Měsíce před přistáním člověka. Rychlý rozvoj raketové techniky brzy umožnil vyslat sondy i k Venuši a Marsu. Snímky pořízené těmito kosmickými raketami rozšířily podstatně lidské poznatky o těchto planetách a celé naší sluneční soustavě (Maršíková a Maršík, 2007).

Vůbec první fotografie Země z vesmíru byly pořízeny v roce 1964, kdy USA vypustili původně německou balistickou raketu V-2, která nesla i automatickou kameru. První satelitní systémy sbírající data o zemském povrchu na pravidelné bázi fungují od šedesátých let dvacátého století. Jednalo se především o meteorologické satelity, např. americký program TIROS z roku 1960 byl v roce 1978 vylepšen a přejmenován na satelity NOAA, které do dnes poskytují data pro předpověď počasí. Propracovanější družicové systémy, které poskytují data v lepším prostorovém i spektrální rozlišení než meteorologické satelity, jsou v oběhu od sedmdesátých let minulého století.

Prvotní obrázky pořízené meteorologickými družicemi nebo během misí pochopitelně vzbudily další zájem o satelitní DPZ a přivedli americkou kosmickou agenturu NASA k přípravě koncepčního řešení v podobě série satelitů monitorujících zdroje surovin (Earth Technology Satellites = ERTS). Tento vesmírný program byl spuštěn v roce 1967 a do dnešní doby zahrnuje osm postupně vypouštěných družic. Po přejmenování v roce 1975 je známější jako program Landsat. První družice Landsatu byla vypuštěna 23. července 1972. V současnosti je na oběžné dráze v provozu poslední satelit této řady, Landsat 8. Multispektrální skenery na palubě Landsatu v současné době poskytují data v panchromatickém a multispektrálním módu (11 spektrálních kanálů) a se středním prostorovým rozlišením (15 až 100 metrů). Data ze série Landsat poskytují unikátní časovou řadu a jsou využívány v řadě vědeckých studií a praktických aplikací.

Obecně můžeme popsat vývoj DPZ technologie v osmdesátých letech minulého století jako rozkvět na poli satelitních i leteckých systémů snímkových oceány i vnitrozemí, nalézajících uplatnění v meteorologii i mnoha dalších oborech. V osmdesátých letech také započal rozvoj nové technologie, leteckého hyperspektrálního (HS) průzkumu, známého také jako obrazová spektroskopie. První skenery, které dokáží snímat data v desítkách až stovkách spektrálních

kanálů, byly k dispozici od přelomu osmdesátých a devadesátých let a vývoj v této oblasti vedl též k prvním HS snímkům z oběžné dráhy prostřednictvím družicových systémů Hyperion MODIS a MERIS. V současnosti představují hyperspektrální data vrchol technologie pro svou mimořádnou radiometrickou kvalitu a velmi vysoké spektrální rozlišení v řádu jednotek nebo dokonce desetin nanometrů.

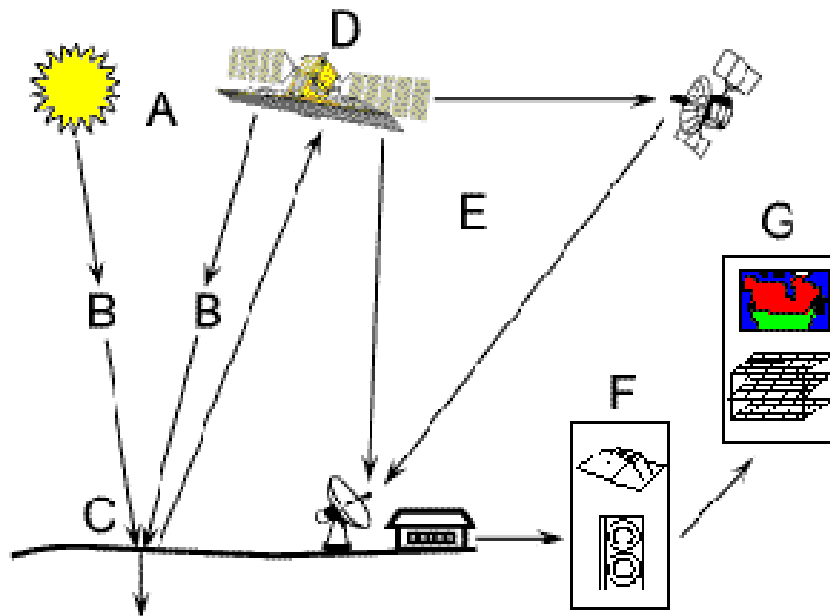
Aktivní metody laserového skenování (LiDAR – z anglického Light Detection And Ranging) je známa od šedesátých let dvacátého století a pracuje na obdobných principech jako radarová technologie. Nicméně její praktické použití k leteckému mapování struktur na zemském povrchu začalo být myslitelné až na přelomu osmdesátých a devadesátých let v kontextu vývoje technologií přesné družicové či letecké navigace. První letecké laserové skenery z počátku devadesátých let byly schopné vyslat a přijmout 2 až 25 tisíc pulzů za vteřinu. Z dnešního pohledu je takové množství úsměvně malé, avšak zpracování takto objemných dat stimulovalo vývoj programových nástrojů v prostředí CAD a GIS, které se muselo přizpůsobit práci s velkoobjemným mračnem bodů. V současnosti existují stovky laserových systémů, které jsou schopny vyslat a přijmout až 400 tisíc pulzů za vteřinu, zaznamenat několik odrazů v rámci jednoho pulzu nebo dokonce kompletní průběh odražené vlny.

Výrazné pokroky v oblasti termálního dálkového průzkumu lze v souvislosti s vývojem nových detektorů rovněž datovat do období druhé světové války. Avšak pro civilní účely byla tato technologie uvolněna až v šedesátých letech minulého století. První vícekanálový termální skener (TIMS) byl vyvinutý v NASA JPL v osmdesátých letech a termální senzor na družicovém nosiči se poprvé objevil v roce 1978 (Landsat 3). V současnosti jsou připravovány dvě satelitní mise pro globální pokrytí vícekanálovými termálními daty, konkrétně Sentinel-3 Evropské kosmické agentury a americký projekt NASA HypSIRI (Zemek a kol., 2014).

### **3.3 Základní principy dálkového průzkumu Země**

#### **3.3.1 Princip fungování DPZ**

Dálkový průzkum Země je v principu založen na interakci mezi dopadajícím zářením a objektem zájmu. To je ukázáno na obrázku č. 1, kde je obsaženo sedm částí popisující princip DPZ. Musíme však brát v úvahu, že DPZ zahrnuje i snímání energie, kterou objekty vyzařují (Fiala a Jedlička, 2010).



© CCRS / CCT

Obrázek č. 1 - Princip fungování DPZ

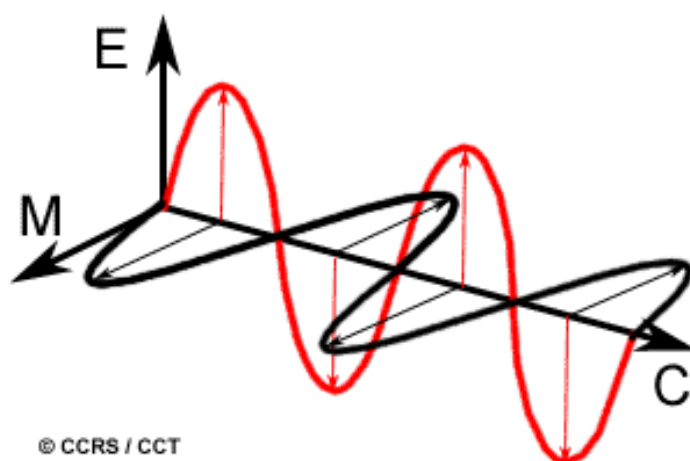
[Zdroj: Fiala a Jedlička, 2010]

1. Zdroj elektromagnetického záření (A) – první požadavek pro DPZ je zdroj energie, který ozařuje předmět zájmu.
2. Záření a atmosféra (B) – při šíření energie od zdroje k objektu zájmu přichází do kontaktu s atmosférou, kterou prochází. K interakci s atmosférou pak dochází ještě jednou, když se odražená energie šíří od objektu zájmu k senzoru.
3. Interakce s objektem zájmu (C) – při ozáření objektu zájmu dochází k interakci s objektem v závislosti na vlastnostech objektu a typu záření.
4. Zaznamenání energie senzorem (D) – když je energie od objektu odražena (popřípadě objektem vyzářena) je zapotřebí senzor (vzdálený, který není v přímém kontaktu s objektem), aby zaznamenal elektromagnetické záření.
5. Přenos, příjem a zpracování (E) – informace o energii zaznamenané senzorem musí být přenesena (většinou elektronicky) do stanice, kde následně dojde ke zpracování.
6. Vyhodnocení a analýza (F) – zpracovaný obraz je vyhodnocen – vizuálně nebo digitálně k získání informací o objektu, který byl ozářen.
7. Aplikace (G) – finální částí DPZ je dosaženo, pokud jsme schopni využít informaci získanou ze snímků, abychom objektu lépe porozuměli, získali nové informace, nebo ho využili k řešení dalších úloh (Fiala a Jedlička, 2010).

### 3.3.2 Elektromagnetické spektrum

Dálkový průzkum Země získává informace o objektech a jevech obvykle prostřednictvím elektromagnetického záření. Základem pro sběr dat je skutečnost, že zkoumané předměty, určitý druh záření eliminují nebo odrážejí. Základní charakteristikou elektromagnetického záření je vlnová délka, to je vzdálenost dvou bodů ve stejné fázi (Svatoňová a Lauermann, 2010).

Energie tohoto záření spočívá ve vlnění – šíří se tedy prostorem ve tvaru tzv. elektromagnetické vlny. Elektromagnetická vlna se skládá z dvou komponent – sinusoidy elektrické vlny E a magnetické vlny M, obě spolu svírají pravý úhel, jsou rovnoběžné ve směru šíření a šíří se rychlostí světla C. Základními charakteristikami elektromagnetického záření jsou jeho vlnová délka a frekvence. Vlnová délka je vzdálenost dvou sousedních vrcholů vlny. Frekvence je potom počet vrcholů vlny procházejících fixním bodem za jednotku času. Mezi frekvencí a vlnovou délkou je nepřímá úměra (Dobrovolný, 1998).



Obrázek č. 2 - Elektromagnetická vlna

[Zdroj: Fiala a Jedlička, 2010]

Nejpřirozenějším a každému člověku zjevným zdrojem elektromagnetického (EM) záření je Slunce. Nicméně každý objekt také vyzařuje EM záření, je-li jeho teplota vyšší než absolutní nula. Základní myšlenkou dálkového průzkumu je odvozování vlastností objektů na zemském povrchu právě na základě záznamu jejich odraženého nebo vyzářeného záření. Neznámější částí EM záření je viditelné záření, které představuje velmi důležitou, ale zároveň pouze malou část celého EM spektra (400-700nm). Pro dálkový průzkum jsou obdobně důležité i ostatní části spektra, jako je blízké infračervené či mikrovlnné záření. Typický rozsah vlnových délek prakticky používaných pro dálkový průzkum je od 380nm po 1m. Ultra fialová složka záření (UV, 300-380nm) je v DPZ využívána jen zřídka neboť tato část záření je silně ovlivněna rozptylem v atmosféře. Pasivní senzory pracují v takzvané odrazové části EM spektra (380-3000nm). Vzdálená infračervená část (3-1000 $\mu$ m) je odlišena od části odrazivé, neboť v této oblasti převažuje podíl záření vyzářeného na úkor odraženého záření. Vyzářená infračervená radiace se obvykle nazývá „teplo“ či termální záření. V dálkovém průzkumu označujeme oblast od 8 do 14 $\mu$ m jako termální infračervené záření (Thermal InfraRed – TIR). Ještě delší vlnové délky z mikrovlnné oblasti spektra (1mm až 1m) jsou používány pasivními a aktivními radarovými systémy (Zemek a kol., 2014).

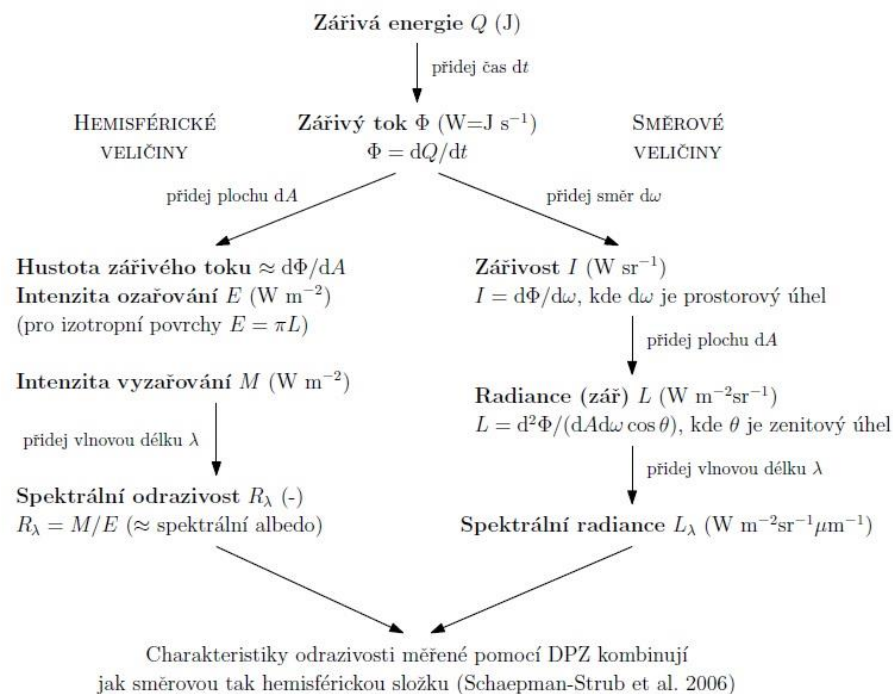
### 3.3.3 Průchod záření atmosférou

Všechno záření detekované metodami DPZ, bez ohledu na zdroj, prochází zemskou atmosférou, která výrazně ovlivňuje jeho intenzitu i spektrální složení. Fyzikální procesy, které mění vlastnosti EM záření při průchodu atmosférou, jsou rozptyl a pohlcování (neboli absorpce) záření. Rozptylem záření v atmosféře rozumíme změnu směru záření při kontaktu s molekulami plynů nebo jinými částicemi přítomnými v atmosféře. Míra rozptylu závisí na velikosti a množství rozptylujících částic, vlnové délce rozptylovaného záření a také na trajektorii průchodu záření atmosférou. Rozlišujeme dva mechanismy rozptylu, Rayleighův a Mieův, přičemž teorie Mieova je obecnější než teorie Rayleighova. Rayleighův rozptyl nastane v případě kontaktu záření s molekulami plynů či velmi malými částicemi, jejichž velikost je výrazně menší než vlnová délka záření. To znamená, že záření s kratšími vlnovými délkami je rozptylováno více než záření s delší vlnovou délkou. Například modré světlo je rozptylováno až čtyřikrát silněji než světlo červené, a proto se nám obloha jeví během dne modrá. Při západu a východu slunce záření musí urazit delší dráhu, během níž je rozptyl (a absorpce) tak výrazný, že pozorujeme pouze méně ovlivněné delší vlnové délky v oranžové a červené části spektra. Mieův rozptyl nastane v případě kontaktu záření s částicemi srovnatelné velikosti vzhledem k vlnové délce. Takové velikosti dosahují částice prachu, pylu, kouře nebo kapky vody. Pro většinu stavů atmosféry je dominantní mechanismus Rayleighův, nicméně i mechanismus Mieův může výrazně ovlivnit viditelné a blízké infračervené záření. K pohlcování (absorpci) záření dochází v případě, kdy částice obsažené v atmosféře přímo zadrží procházející záření a oslabí tak jeho energii. Absorpce slunečního záření v atmosféře je z velké části způsobena přítomností tří hlavních atmosférických plynů: ozón ( $O_3$ ), oxid uhličitý ( $CO_2$ ) a vodní pára ( $H_2O$ ). Ačkoliv tyto plyny tvoří pouze 3 až 5 % objemu atmosféry, jsou tyto látky zodpovědné za většinu absorpce procházejícího slunečního záření. Dalším jevem, ke kterému může docházet, je vyzařování absorbovaného záření v jiných vlnových délkách, což může zejména ovlivnit signál snímáný termálními skenery. Části EM spektra, které jsou minimálně ovlivněné atmosférou, nazýváme atmosférická okna. Tato okna jsou pochopitelně pro DPZ mimořádně důležitá a de facto jejich existence dálkový průzkum umožňuje. V odrazivé části EM spektra je vliv atmosféry minimální právě mezi 400 a 2500nm, v termální oblasti pak mezi 8 a 14 $\mu$ m. Proto většina senzorů pracuje právě v těchto spektrálních oblastech (Zemek a kol., 2014).

### 3.3.4 Interakce záření s objekty zemského povrchu

Nejprve je třeba popsat základní radiometrické veličiny. Přehled nejdůležitějších radiometrických veličin je na obrázku č. 3. Při interakci záření s povrchem nastávají tři jevy: záření může být pohlceno, propuštěno nebo odraženo. Podle zákona zachování energie je celkový dopadající tok záření ( $E_i$ ) rozdělen na záření odražené ( $E_r$ ), propuštěné ( $E_t$ ) a pohlcené ( $E_a$ ).  $E_i = E_r + E_t + E_a$ . Vzájemné proporce mezi jednotlivými složkami se liší od případu, a závisí na vlnové délce záření, na chemickém složení povrchu a jeho fyzikálních vlastnostech.

Odrazové charakteristiky povrchů určujeme změřením odražené složky dopadajícího záření v jednotlivých vlnových délkách. Z pohledu dálkového průzkumu je navíc důležitá také geometrie odrazu, ovlivněná především drsností povrchu. Ideálně hladký povrch se chová jako zrcadlo, hovoříme o zrcadlovém odrazu: naopak ideálně (homogenně) drsný povrch odráží záření do všech směrů stejně, hovoříme o tzv. lambertiánském odrazu. Většina přirozených povrchů pochopitelně leží někde mezi zrcadlovým a lambertiánským odrazem. Kompletní charakteristika odrazivosti povrchu je vyjádřena funkcí BRDF (z anglického Bidirectional Reflectance Distribution Function). BRDF představuje teoretický popis geometrické závislosti intenzity odraženého záření na úhlu dopadu a odrazu. Reálná měření DPZ tak neodpovídají teoretickému popisu BRDF funkce, neboť záření dopadající na detektor je vždy integrováno z relativně širokého zorného úhlu. Proto je třeba mít na paměti, že hodnoty odrazivosti se mohou lišit právě v závislosti na tom, jakým způsobem je zohledněna prostorová distribuce dopadajícího a odraženého záření při výpočtu odrazivosti (Zemek a kol., 2014).



Obrázek č. 3 - Souhrn radiometrických veličin

[Zdroj: Zemek a kol., 2014]

### 3.4 Druhy dálkového průzkumu Země

Dálkový průzkum Země lze dělit podle:

- Zdroje elektromagnetického záření. V tomto případě lze DPZ rozdělit na aktivní, kdy je v rámci měřicí aparatury i zdroj vysílaného záření a měří se část jeho odraženého záření, a pasivní, kdy zdrojem elektromagnetického záření je Slunce a sama Země.

- Druhu pořízených dat. Dělení vychází ze způsobu záznamu dat, kde konvenční DPZ využívá fotografické snímky. Tyto snímky jsou pořizovány centrální projekcí na filmový materiál. Obraz vzniká v jediném okamžiku. Metodika pořizování a zpracování fotografie je díky dlouhé historii již dobře známa. Fotografie jsou pořizovány jak z leteckých tak družicových nosičů. Jejich velkou nevýhodou je malý rozsah vlnových délek, ve kterých jsou data pořizována. Dlouhou dobu poskytovala družicová fotografická data vyšší prostorové rozlišení než ostatní metody. Nekonvenční metody jsou pak metodami, kdy snímky vznikají postupně tzv. řádkováním, kdy je záznam odraženého/vyzářeného elektromagnetického záření pořizován postupně po řádcích pomocí rozkladových záření označovaných jako skenery. Tento záznam je v digitální podobě a díky jinému způsobu pořízení obsahuje odlišná zkruslení ve srovnání s fotografiemi. Nekonvenčními metodami se pořizují data převážně na družicových nosičích, ale i na leteckých. Výsledky těchto měření tvoří velkou část obrazových dat, která jsou v DPZ zpracovávána.

Data DPZ lze dále dělit podle dalších hledisek, jako je:

- Počet záznamů obrazových dat v různých vlnových délkách při jednom měření případně s různou polarizací. Podle počtu záznamů lze hovořit o datech monochromatických nebo panchromatických, kdy jsou data pořízena v jednom pásmu. V případě panchromatických dat se jedná o měření ve vlnovém rozsahu viditelné části spektra. Dalšími druhy dat jsou data multispektrální obsahující data měřená ve více jak jednom spektrálním pásmu. Multipolarizační data jsou data, která jsou měřena ve více polarizačních rovinách. V současnosti jsou využívána i hyperspektrální data, která jsou tvořena měřením ve vysokém počtu spektrálních pásem. Řádově se jedná o desítky až stovky pásem.
- Druh vlnových délek, v nichž jsou měření prováděna. Jedná se např. o panchromatická data, infračervená, tepelná nebo mikrovlnná.
- Směr osy záběru. Podle tohoto hlediska jsou data dělena na svislá a šikmá. Svislými jsou letecké měřické snímky, většina družicových skenerových dat. Šikmými jsou vždy mikrovlnná data (radarová), ostatní data – optická mohou, ale nemusejí být šikmá.
- Druh nosiče. Nejčastějšími nosiči jsou družice a letadla, dále pak modely letadel, vrtulníky, balóny apod.
- Zorná pole kamery. Podle zorného pole kamery se dělí na snímky s úzkým úhlem, normálním a širokoúhlým.
- Velikost snímaného území. V tomto případě jsou data dělena na globální, oblastní, lokální a detailní (Halounová a Pavelka, 2005).

## 4. Přístroje k pořizování snímků

### 4.1 Měřické komory pro pozemní fotogrammetrii

Zdrojem informací pro fotogrammetrii je měřický fotografický snímek. Měřické komory, které jsou určeny pro pořizování snímků, musí splňovat nároky na geometrickou kvalitu zobrazení. Tyto požadavky splní měřické komory vyhovující základním podmínkám:

- Fotografická komora musí zaručovat stálost prvků vnitřní orientace,
- musí umožnit i pokud možno rychlé a jednoduché určení prvků vnější orientace měřického snímku.

Protože měřické fotografické komory bývaly obvykle spojeny s teodolitem, označují se velmi často názvem fototeodolity.

Druhy měřických komor a jejich příslušenství:

- a) S vodorovnou optickou osou – měřické snímky jimi pořízené mohou zaujímat jen vodorovnou osu záběru. Jejich obrazový úhel ve směru vertikálním je poměrně malý, ale snímky lze jednoduše zpracovat.
- b) Se sklonitelnou optickou osou – umožňují při fotografování pořídit snímky s nakloněnou osou záběru (buď libovolně, anebo v určitých intervalech). Mají tedy větší obrazový úhel ve směru vertikálním, avšak zpracování snímků se skloněnou osou je obtížnější.
- c) Dvojité měřické komory – mají základnu fotografování vestavěnou, danou výrobcem. Na koncích základny jsou připevněny dvě shodné měřické komory. Používají se pro fotografování na krátké vzdálenosti.
- d) Speciální měřické komory – konstruované většinou pro výrobu v malých sériích, pro speciální práce, např. pro měření astrometrická, sledování pohybu umělých družic Země, balistické účely a pro jiné aplikace pozemních fotogrammetrických metod (Šmidrkal, 1992).
- e) Réseau komory
- f) Digitální komory

Hlavní součásti klasické fotogrammetrické komory jsou:

- a) Tělo komory s úchytem na stativ
- b) Objektiv
- c) Značkový rám
- d) Záměrné zařízení
- e) Kazeta na fotomateriál

Klasické analogové fotogrammetrické komory jsou již delší dobu prakticky nahrazeny digitálními, ty ale ne vždy dávají kvalitnější výsledky. Snaha o přežití pozemní fotogrammetrie vedla k urychlení a zlevnění celého fotogrammetrického procesu, ke konstrukci lehčích mobilnějších a levnějších komor, které ale obvykle



nemají patřičnou opticko-fotogrammetrickou dokonalost a pracují s formátem menšího rozměru. Pro běžné dokumentační aplikace nebo technické zaměření to obyčejně ve spojení s patřičným software stačí, přesné práce jsou ale třeba provádět s kvalitní fotogrammetrickou komorou. Základním zařízením pro pozemní fotogrammetrii byl tzv. fototeodolit. Zařízení se skládá z klasické fotogrammetrické komory a záměrného zařízení, které umožňuje měřit úhel osy záběru nebo je určeno k vytyčení některého základního směru (Pavelka, 2009).

#### **4.1.1 Komory s vodorovnou osou záběru**

Do této skupiny se řadí dnes již historické přístroje. K vidění jsou již jen ve sbírkách laboratoře fotogrammetrie, jejich konstrukce je ale jednoduchá a jsou proto vhodné na demonstraci principů fotografování. Vzhledem k tomu, že jsou konstruovány výhradně pro skleněné desky nízké citlivosti, které dnes již nejsou ve výrobě, nelze je dále používat, i když by kvalitou fotogrammetrického záznamu běžným požadavkům naprosto stačily. Dalším problémem je, že většina fotogrammetrických snímků se zpracovává digitálně a skenování skleněných desek je problematické (Pavelka, 2009).

Mezi nejnámější přístroje tohoto typu patří fototeodolit PhoTheo 19/1318 (Zeiss-Jena). Komora je vybavena objektivem Ortoprotar a má představen žlutozelený filtr. Není opatřen závěrkou, expozice se provádí pouze sejmutím víčka. Objektiv je ve svislém směru posuvný v objektivových sáňkách. Poloha objektivu je indikována na měřickém snímku malým kolimátorem. Snímkový rám je opatřen čtyřmi kovovými značkami ve tvaru trojúhelníků, v nichž jsou vyvrtány rektifikované otvůrky. Ty slouží pro přesun orientací snímků při vyhodnocení (Šmidrkal, 1992).

#### **4.1.2 Komory s naklonitelnou osou záběru**

##### **Systém UMK**

Komory typu UMK byly u nás nejrozšířenější a i ve světě byly velmi známé pro svou vysokou optickou kvalitu. Do roku 1969 se u nás používaly téměř výhradně fototeodolity s vodorovnou osou záběru, zejména PhoTheo. V roce 1969 přišel výrobní závod Zeiss Jena, na který jsme byli z důvodu geopolitického rozdělení světa vázání, s novým přístrojem určeným především pro oblast průmyslové a inženýrské fotogrammetrie. Byla to širokoúhlá univerzální měřická komora typu UMK 10/1318 (Universal Messungs Kammer), která se stala později základem měřického systému UMK 1318, do kterého patří dále typy UMK 20/1218, UMK 30/1218 a UMK 6,5/1318. Údaje typového označení představují základní parametry tj. konstantu komory a rozměry snímku v centimetrech. Širokoúhlá komora UMK 10/1318 je vhodná pro blízkou fotogrammetrii, ale pro řadu aplikací (větší vzdálenost fotografování, hloubková členitost, menší přesnost vyhodnocení atd.) vhodná není. Proto byly zkonstruovány další komory.

## Další typy komor

Komory pro pozemní fotogrammetrii mimo závody Carl Zeiss Jena vyrábělo pouze několik výrobců v malých sériích. Z evropských výrobců to byla dnes již samostatně neexistující švýcarská firma Wild (koupěna firmou Leica) a závody Opton Oberkochen (dnes po sjednocení Německa opět Zeiss). V naší republice se ale tyto komory z důvodu orientace na závody Zeiss Jena nevyskytovaly.

## Dvojité komory

Klasické dvojité komory jsou pro běžnou práci technologicky zastaralé, jsou konstruovány pouze pro snímkování v oblasti velmi blízké stereofotogrammetrie. Jejich vlastností je, že mají vlastní pevnou základnu a tudíž mají standardizovány částečně vnější prvky orientace. Osy záběru jsou kolmé ke směru základny fotografování. Vyráběly je závody Wild, Carl Zeiss Jena dále Opton Oberkochen (dnes Zeiss). Přesnost jednotlivých typů nebyla stejná, dělili se dle přesnosti na přístroje prvního řádu a druhého řádu. Dvojité komory prvního řádu vycházely z jednotlivých komor UMK a speciálního závěsu, komory druhého řádu měly pevnou konstrukci a poloviční formát. Dvojité komory druhého řádu, dnes již prakticky nevyužívané, představují komory SMK 5,5/0808 (Stereo Messungs Kammer) vyráběné ve dvojnásobném provedení (základnou 1200mm nebo 400mm). Nevýhodou byl malý formát snímků 8x8cm na desky 9x13cm (zbytek byl pro doprovodné údaje). Další podstatnou nevýhodou byla značná váha celého zařízení spojená s transportními problémy, které způsobily, že komora nebyla příliš užívána. Využití bylo zejména při zaměřování vnitřních prostor památkových objektů a do roku 1985 byly tyto komory ve výbavě dopravní policie, která je využívala pro dokumentaci vážných dopravních nehod.

## Panoramatické komory

Jak název napovídá, jedná se o komory určené pro panoramatické snímkování. Využití klasických filmových komor s objektivy typu „rybí oko“ pro měřické účely je ale malé z důvodu velké deformace obrazu a můžeme se s nimi setkat jen ojediněle při pracích v oblasti dokumentaristik objektů, krajiny, v turistice apod. Pro nedeformovaný panoramatický pohled na okolí byly zkonstruovány filmové komory s rostoucím objektivem a úzkou štěrbinovou clonou, která zaznamenávala obraz na film umístěný na kulové konkávní ploše. V nedávné době se pro speciální dokumentační práce opět objevily panoramatické komory, jejich konstrukce je ale odlišná. Objektiv není extrémně širokoúhlý, zařízení rotuje konstantní rychlostí kolem svislé osy, používá se běžný kalibrováný objektiv bez výrazných deformací obrazu a místo filmu se využívá snímání CCD lineárním prvkem. Příkladem může být panoramatická komora Rotascan-Noblex, která pořizuje nezkraslený pohled v úhlu až 360° o maximální velikosti 42 379x8 600 pixelů (tj. cca 360MB).

## Videokomory

Současná technologie zpracování obrazu a další konstrukční možnosti díky elektronice došly do té úrovně, že byly konstruovány videoteodolity. Základem je motorizovaná totální stanice s přidanými nebo přímo vmontovanými CCD kamerami.

Pomalou rotací zařízení se utvoří panoramatická mozaika okolí. Jednotlivé snímky mohou být vlíčovány do geodetického systému na základě známé kalibrace zařízení a klasického měření totální stanicí (úhel, vzdálenost) bez nutnosti použití speciálních fotogrammetrických vlíčovacích bodů a bez fotogrammetrických orientací. Referencování je provedeno na základě měření totální stanice a případného navázání na přijímač GPS. Jinou formou je spojení klasické videokamery s GPS přijímačem na nosiči – např. na střeše automobilu. Ke snímkům jsou přihrávány informace o čase, místě a orientaci kamery při pořízení snímku. Starší systémy využívaly převod snímku do digitální podoby A/D převodníkem (kartou v počítači), nové videokamery pracují se senzorem CCD. Pro vyhodnocení je nutné provést kalibraci videokamery a zpracovat měření z GPS/INS do formy definovaných prvků vnější orientace. Obecně lze využitím této technologie provádět zaměřování zejména liniových objektů (železnice, silnice a blízké okolí) (Pavelka, 2009).

#### **4.1.3 Réseau komory**

Termínem réseau komory rozumíme kvalitní původně neměřické komory, které mají před rovinou filmu umístěnou skleněnou planparalelní destičku s referenční mřížkou a u kterých jsou známy prvky vnitřní orientace a distorze objektivu. Mřížka je tvořena přesnou pravouhlou sítí křížků, vzdálených od sebe o konstantní rozměr. Definuje se jimi souřadnicový systém pro měření snímkových souřadnic a dále deformace filmového materiálu. Poloha křížků je známa s vysokou přesností. Při expozici se přenášejí na film a po vyvolání jsou viditelné na snímku. Jejich proměření se určí deformace snímku, která vznikla během expozice a zpracování snímku (nerovnost filmu, srážka fotografického papíru a negativu, zkreslení při zvětšování). Tyto deformace jsou dále při vyhodnocování automaticky odstraňovány. Komory jsou při výrobě kalibrovány, určují se jejich parametry, ohnisková vzdálenost objektivu a zkreslení. Takto určené prvky vnitřní orientace se zavádějí do vyhodnocení. Svou podobou s běžnými fotografickými komorami a velikostí radiální distorze (i přes 200 $\mu$ m u kraje snímku) jsou někdy nazývány jako semiměřické, obecně podle definice měřické komory je ale vhodné je řadit mezi komory měřické, neboť u nich známe prvky vnitřní orientace a průběh radiální distorze (Pavelka, 2009).

#### **4.1.4 Neměřické filmové komory**

Pro měřické účely lze s omezenou přesností použít i neměřické komory. Prováděné zkoušky přesvědčivě dokazují, že neměřické komory lze použít pro snímkování do cca 15m. Pro snímkování je nejdůležitější nějakým způsobem definovat rozměr a střed snímku (místo rámových značek lze užít např. rohy obrazového pole nebo uměle vytvořené zářezy, jejichž souřadnice je nutno určit co nejpřesněji) a při fotografování pokud možno nepřestřovat. Máme-li dostatečný počet vlíčovacích bodů, je úloha řešitelná. Předpokladem je užití kvalitní fotografické

komory, nejlépe zrcadlovky. Pokud nebudeme mít možnost nějak určit průběh radiální distorze a začlenit ho do výpočtu, musíme mít na zřeteli, že její hodnoty běžně dosahují 200 $\mu$ m u okraje snímku. Z tohoto důvodu je možno využít jen oblast cca 60% kolem pomyslného středu snímku (Pavelka, 2009).

#### 4.1.5 Digitální komory

První digitální fotoaparáty se objevily na trhu v roce 1991. V roce 1996 již digitální aparáty vyráběli téměř všichni přední výrobci. Rychlý vývoj technologie mírně brzdil problém výroby, přesnosti a ceny rozsáhlých matic CCD prvků, které by se vyrovnaly plošně filmu. Jistou nevýhodou těchto zařízení byla i poměrně velká spotřeba elektrické energie, čímž bylo limitováno jejich použití. Kolem roku 2006 začaly výrobci snižovat výrazně cenu digitálních zrcadlovek a byl prolomen rozměr matice adekvátní kinofilmu (24x35mm). Dostupnost těchto zařízení velmi rychle ovládla trh a také velmi blízkou fotogrammetrii. Výhodou digitálních komor jsou možné expozice již od 1/8000s díky vysoké citlivosti CCD či CMOS, okamžité zhodnocení snímku, vymazání nevhodných snímků, primární digitální formát, lepší radiometrické rozlišení a vyšší citlivost detektorů oproti fotografické emulzi, nižší náklady při častém snímkování, ekologická nezávadnost procesu, možnost on-line zpracování snímků, nízká hmotnost komor, stálost rozměru obrazu, archivace a plnohodnotný kopírování snímků aj.

##### Q16 MetricCamera

Plně automatická digitální komora Q16 je odvozená od komory Rolleiflex 6006, kde je filmová kazeta nahrazena adaptérem s maticí CCD detektorů (tzv. digitální stěna). V tomto případě senzor CCD pokrývá celou plochu snímku 6x6cm. Obsahuje 4 096x4 096 CCD prvků o velikosti 15 $\mu$ m. Data jsou ukládána ve formě 12 nebo 8 bitů, užít lze různých objektivů 40-80mm. Problém ukládání dat se řeší ukládáním na vysokokapacitní paměťová média, sejmutí jednoho obrazu ovšem trvá déle, u starších modelů i desítky vteřin (Pavelka, 2009).

## 4.2 Měřické komory pro leteckou fotogrammetrii

Letecké měřické komory musí zabezpečit pořízení dokonalého snímku jak po stránce fotografické, tak i po stránce měřické. Musí být proto konstruovány nejen jako dostatečně tuhá tělesa, nepodléhající deformacím změnou teplot a pracovními podmínkami v letadle, ale musí být mnohem dokonaleji vybaveny než pozemní, poněvadž se při expozici pohybují s letadlem a poněvadž čas, který potřebuje letadlo k prolétnutí délky základny je poměrně krátký.

Letecké měřické komory můžeme rozdělit podle několika hledisek:

- a) Podle použitého fotografického materiálu na komory deskové, které používají fotografické desky. Desky mají sice výborné měřické vlastnosti,

ale vzhledem ke křehkosti a váze skla se využívaly výjimečně pro velmi přesné práce a dnes se nevyrábějí. Filmové komory, pořizují snímky na fotografický film. Dnes jsou nejpoužívanější digitální komory.

b) Podle způsobu obsluhy:

- Ruční – při nichž se všechny úkony, jako např. výměna materiálu, natažení závěrky a její spouštění provádí odděleně, ručně. Tyto komory jsou využívány jen zřídka pro dokumentační účely a pro pořizování šikmých snímků.
- Poloautomatické – u nichž některé úkony jsou spojeny (obvykle převinutí filmu a natažení závěrky), exponování se provádí zvlášť, ručně. Ani tyto komory nejsou schopny zabezpečit požadované parametry měřických snímků a proto se jich nepoužívá.
- Řadové komory – jsou takové, jejichž funkce je ovládána pomocnými zařízeními automaticky, takže operátor se může omezit na kontrolu správné činnosti mechanismů a na horizontaci komory.

c) Podle obrazového úhlu jsou komory:

- S extrémně malým obrazovým úhlem (do 45°), které jsou výhodné při mapování zastavěných částí ve velkých měřítkách vzhledem k tomu, že promítací paprsky se příliš od osy záběru neodklánějí.
- S normálním obrazovým úhlem (do 63°), které jsou hojně využívány při mapování ve všech měřítkách.
- Širokouhlé (do 90°), které stýkají při mapování polních tratí výhody větší plochy, zobrazené na jednom snímku. V hornatém území se však zvětší procento zakrytých míst.
- Zvlášť širokouhlé komory (do 120°), vhodné pro mapování v malých měřítkách (Šmidrkal, 1992).

Nejdůležitějším parametrem je účel snímkování a požadovaná přesnost. Z ní se odvíjí další údaje, zejména výška letu, typ a konstanta komory a z nich přibližné měřítko snímku:

$$m_s = h / f \quad \text{kde } h \text{ je výška letu a } f \text{ je konstanta komory (Pavelka, 2009).}$$

#### 4.2.1 Nosiče

Nosičem rozumíme transportní prostředek, který komoru dopraví nad snímané území. Všeobecně se jedná o nosiče kosmické a letecké. Kosmickými nosiči zařízení jsou družice nebo pilotované kosmické lodě či družicové stanice, leteckých nosičů je celá řada a lze je rozdělit podle průměrné výšky snímkování:

- 1) Letadlové laboratoře, výška letu 5 000 – 20 000m, výdrž ve vzduchu až desítky hodin, např. An-30 (Rus), U-2 (USA). Parametry snímků z těchto nosičů jsou podobné družicovým záběrům.

- 2) Letadla, výška letu 500 – 8 000m, měřítko snímků cca 1:5 000 – 20 000, záběr cca 20km<sup>2</sup>, výdrž ve vzduchu 6 – 8 hod., např. L-410 (CZ), Cessna (USA), Dornier Skyservant (D).
- 3) Vrtulníky, výška letu 50 – 2 000m. V ČR se dříve využívaly starší vrtulníky MI-2, MI-8, výbava se skládala z komor Hasselblad 500EL, případně termovize. V současné době je používání vrtulníků častější pro účelové snímkování např. réseau komorami (dopravní policie). Ve světě existuje řada specializovaných systémů pro rychlé mapování a inženýrský průzkum (např. TopEye™ Saab).
- 4) Řízené bezpilotní prostředky a modely, výška letu 50 – 1 000m (Pavelka, 2009).

#### 4.2.2 Letecké komory pro stereoskopické snímkování

Fotogrammetrické letecké komory prodělaly v nedávné době významný pokrok zejména z důvodu rozvoje mikroelektroniky, využití technologie GPS a dalších přídatných zařízení (např. IMU). Na přelomu tisíciletí se objevily také první použitelné plně digitální komory, které dnes výrazně vytlačují klasické komory. Jisté je, že klasické komory se budou ještě nějakou dobu využívat. Pro vyhodnocení leteckých snímků je třeba znát mimo prvků vnitřní orientace komory také prvky vnější orientace, které se nedaly na rozdíl od pozemní fotogrammetrie stabilizovat či standardizovat (jako např. přesný normální případ). Při klasickém postupu, používaném desítky let, byly prvky vnější orientace považovány za neznámé a bylo je třeba určit na základě orientací a vlíčovacích bodů. Současná technika a technologie umí pořizovat vysoce kvalitní snímky, které se od přesně svislého (normálního případu) odlišují jen málo a prvky vnější orientace mohou být přímo měřeny s přesností, která v dnešní době je již přesností dostačující pro mapování ve středních měříkách (GPS+IMU). Pro přesné vyhodnocení a kvalitní stereovjem je nutno ale iterativně zpřesnit prvky vnější orientace výpočtem.

Na klasickou leteckou komoru jsou kladeny zvláště přísné požadavky:

- Komory je nutno horizontovat (nejlépe automaticky).
- Komora musí být pohyblivá a nejlépe nezávisle zavěšená.
- Komora musí mít regulátor překrytu snímků.
- Pilot letadla musí mít signalizaci (obyčejně světelnou), kdy probíhá expozice.
- Rámové značky a doprovodné údaje je třeba uměle osvětlovat.
- Moderní komory jsou vybaveny kompenzací pohybu letadla (posun filmu).
- K umožnění většího překrytu (cca 80% používaný u intervalánu) je třeba co nejkratšího cyklu komory, tj. převíjení filmu, osvit značek, natažení uzávěrky atd. cyklus by měl trvat do 2s.
- Musí být znám přesný čas expozice z důvodu návaznosti na GPS.
- Film je třeba po transportu na rámové značky pneumaticky přisát pro zaručení rovnosti.
- Komora musí dobře snášet teplotní rozdíly (i přes 50°C).
- Používá se více rámových značek (8+).

- Z důvodu kontroly optické hustoty se exponuje na snímek také šedý klín.
- Na plochu snímku se musí exponovat i doprovodné údaje.

Klasická letecká komora se skládá z těla komory, uzávěrky, filtrů, objektivu, závěsu a kazety na film.

- 1) Tělo komory: je vyrobeno z lehké slitiny kovů odolné proti teplotním změnám. V tělese komory je pohonný mechanismus převíjející film, převody a místo pro doprovodné přístroje. Spodní část komory obvykle umožňuje záměnu objektivů, horní část obsahuje značkový rám.
- 1) Závěs: starší závěsy byly pružinové s možností horizontace tělesa, novější byly kardanové, dnes se používá principu nezávislé plošiny. Závěs musí umožnit natáčení komory ve své rovině a musí obsahovat tlumiče proti vibracím letadla.
- 2) Uzávěrka: uzávěrky musí obstarat co nejrychlejší otevření a uzavření komory a homogenní osvit plochy filmu. Vzhledem k expozičním časům jsou nejčastěji rotační, fungují na principu řízené rotace segmentů. Starší komory byly vybaveny centrálními uzávěrkami obdobně jako klasické fotoaparáty nebo lamelovými uzávěrkami. Nejmodernějšími uzávěrkami jsou uzávěrky na bázi tekutých krystalů (elektronické).
- 3) Objektiv: musí být vzhledem k expozičním časům vysoce světelný a musí mít korigovanou radiální distorzi, která by neměla přesahovat 10 $\mu$ m.
- 4) Filtr: slouží k osvit filmu přesně spektrálně vymezeným světlem. Filtry se užívají žluté, oranžové nebo slabě červené.
- 5) Kazeta na film: jedná se o nástavec nad komorou, která obsahuje cívky s filmem.
- 6) Přítlačná deska: na tuto desku se buď pneumaticky pod tlakem přisává fotografický materiál, nebo je konstrukčně využit jiný systém. Po expozici se přítlak ruší a deska se zvedá pro umožnění transportu filmu. Pro kompenzaci pohybu letadla s využitím FMC je nutno umožnit posun celé desky.
- 7) Ke komoře patří doprovodná zařízení (dnes zejména GPS/INS, dříve např. pozorovací dalekohled, regulátor překryvu aj.)

Dnes se snímkuje zásadně na formát 23x23cm (9"x9"). Na snímku jsou dále uvedeny důležité doprovodné údaje, mezi které zejména patří: číslo snímku, čas, výška letu, přibližné souřadnice projekčního centra, údaje libel, datum, číslo komory a kazety s filmem, jméno projektu, konstanta komory, údaje o vnější orientaci (buď ze souběžného GPS měření nebo z údajů gyroskopů či jiných zařízení), údaje statoskopu, přesné expoziční parametry – clona, čas, kompenzace pohybu (Pavelka, 2009).

#### 4.2.3 Digitální letecké měřické komory

Při družicovém snímání je dráha nosiče stabilní a okolní podmínky téměř neměnné, proto lze s výhodou užít lineárních elektronických skenerů. Problémem

při konstrukci leteckých digitálních měřických fotogrammetrických komor je zejména nestabilita letu nosiče v atmosféře, která způsobuje u těchto lineárních elektronických skenerů deformace obrazu. Z toho vyplývá snaha pořídít snímek v jediném okamžiku. Zde však narážíme na jiný problém – konstrukce maticového senzoru CCD s velkým rozlišením. Velikost jednotlivých prvků CCD (8 - 12 $\mu$ m) je sice porovnatelná s velikostí zrn fotografické emulze (3 - 12 $\mu$ m), ale celkové množství obou těchto elementárních komponentů, které jsme schopni urovnat plošně, je zcela neporovnatelné. Současné filmové letecké komory pořizují snímky standardně na formát 23x23cm. Teoreticky lze snadno spočítat, že pokud bychom chtěli plně nahradit celou plochu filmu detektory CCD, bylo by nutno urovnat 529 milionů CCD elementů (v plném rozlišení až 23 000x23 000 pixelů, při cca 10 $\mu$ m velikosti pixelu). Současné špičkové matice CCD obsahují desítky milionů prvků. Rozměry matic jsou ve srovnání s plochou filmu výrazně menší. U dnes již běžných digitálních fotoaparátů jsou použity matice CCD o velikosti 2/3 formátu kinofilmu, kvalitnější a dražší již mají kinofilmový formát 35x24mm. Aby se dosáhlo na menší plochu stejného úhlu záběru, je nutno zmenšit ohniskovou vzdálenost optické soustavy (u digitálních fotoaparátů se pak z praktických i prodejních důvodů udává místo skutečné ohniskové vzdálenosti hodnota, která by byla užita u kinofilmových aparátů se stejným zorným polem). Pokud budeme chtít dosáhnout rozlišovací schopnosti srovnatelné alespoň částečně s filmovými komorami, musíme buď složit několik matic CCD, nebo využít lineárního detektoru a podchytit deformace obrazu. Nutno dodat, že oba typy komor byly první a zprvu spíše vývojové než v operačním nasazení. Vývoj jde ale rychle vpřed a je jisté, že klasické komory budou využívány již jen několik let. Celkově digitální komory vynikají vyšší radiometrickou rozlišovací schopností. To je zejména důležité pro možnost zpracování oblastí zastíněných nebo snímaných za špatných světelných podmínek. Velké matice CCD jsou drahé, obtížně lze provádět multispektrální snímkování (musí být vždy více komor). Teoreticky ale není potřeba konstruovat velké matice, protože stejného efektu lze dnešní technologií dosáhnout sloučením (softwarově nebo opticky) menších. Matice nejsou tak limitované plochou, jako rychlostí ukládání dat, oproti lineárním sensorům jsou více modulární. Mívají ale defektní pixely a menší dynamický rozsah z důvodu rychlosti zápisu dat. Podstatnou výhodou matic je fakt, že výsledek je centrální projekce. Snímky lze zpracovat libovolným fotogrammetrickým zařízením (DPW – Digital Photogrammetric Workstation). Dále je možno využít kompenzace smazu (FMC nebo IMC – Image Motion Compensation v podobě TDI – Time Delayed Integration, které používají například i digitální kamkodéry). U lineárních sensorů je kompenzace buď nemožná, nebo velmi obtížná. Výhodou lineárních sensorů je jednodušší konstrukce, výrazně levnější sensor a snadné multispektrální snímání, nevýhodou je závislost na GPS/IMU, jejichž současná cena je stále vysoká a přesnost někdy diskutabilní. Přitom celý výsledek je právě závislý na této jednotce bez větších kontrol. Lineární sensor lze na rozdíl od maticového kalibrovat jen v jednom směru a lze ho užít až od určité výšky. S maticovými senzory lze snímkovat i z výšek cca nad 1 kilometr.

Co je to vlastně „Large format Camera“ v digitálním pojetí? Obyčejně se udává rozměr 11 000x11 000 pixelů, což cca odpovídá rozlišení nepříliš kvalitního skenovaného snímku s přesností 20 $\mu$ m. Za středofarmátové komory se považují komory s rozlišením 4kx4k pixelů. Tradičně se za fotogrammetrickou komoru



považuje komora se známými prvky vnitřní orientace. U digitálních komor je ale situace jiná – nejsou v ní rámové značky, objektivy jsou jiné konstrukce, senzor s CCD má zcela jiné charakteristiky: vnitřní geometrie je dána přesně senzorem. Požadovaná přesnost zůstává jako u starých komor, kolem 2 $\mu$ m. Obecně lze konstruovat komory snímající obraz podobně jako staré filmové komory s tím, že ještě nejsou a hned tak nebudou velké matice CCD, a proto se obraz většinou skládá z několika menších, což na výsledku nic nemění, i když je pořízení snímku složitější („frame“ komory). Druhá možnost je použít „pushbroom“ skeneru ve spojitosti s GPS/IMU. V současné době je zatím vyrovnáno, existují oba typy.

#### DMC2001 (Digital Modular Camera)

Digitální letecká měřická komora DMC integruje možnosti panchromatického a multispektrálního senzoru a konstrukčně je více podobná klasickým kamerám. Vyvinuta byla společným úsilím firem Intergraph a Carl Zeiss, které propojením pod jménem Z/I Imaging vytvořily jednoho z předních výrobců v oblasti fotogrammetrie. Princip snímání není novinkou, obdobné systémy se objevily v analogové podobě již několikrát, např. při antarktické výpravě vzducholodi Graf Zeppelin v roce 1932. Základem je složení obrazu ze čtyř panchromatických kamer, které dávají vysoké rozlišení a dále doplnění barevné informace ze tří přidružených kamer, které snímají výsledné území s menším rozlišením, ale každá v jiné části spektra (red, green, blue – RGB). Jednotlivé snímky jsou zpracovány – automaticky digitálně mozaikovány do jediného výstupního snímku. Dále se dodá barevná informace z multispektrální části zařízení (každým spektrálním kanálem se moduluje kvalitnější panchromatický výsledný snímek do podoby RGB) a provede se převzorkování do geometrie standartní komory o jednom objektivu. Práce s výsledným snímekem je stejná jako u běžných skenovaných analogových záznamů (filmů). Je zaručena integrita se současnými digitálními fotogrammetrickými systémy a kompatibilita se závěsem klasické komory RMK Top. Systém je modulární a umožňuje přizpůsobení potřebám uživatele. Obsahuje možnost redukce smazu metodou FMC (Forward Motion Compensation), který využívá technologii TDI (Time Delayed Integration). Komora DMC je montována díky stejným rozměrům s komorami RMK do gyrostabilizovaného závěsu T-AS. Nad optickou částí je umístěna elektronika a dále řídicí jednotka, která je propojena se systémem řízení letu, který obsahuje GPS a IMU. Navigační informace se zobrazují na terminálu v pilotní kabině, dále spolu s náhledem snímaného území na terminálu u operátora komory. Data se ukládají do výměnné velkokapacitní diskové jednotky RAID (Pavelka a Hodač, 2008).

#### ADS40 (Airborn Digital Sensor)

Firma LH-Systems představila v roce 2000 digitální komoru ADS40. Komora je konstruována jako lineární snímač a je podobná více družicovým sensorům, než klasickým fotogrammetrickým komorám. Senzor obsahuje několik lineárních CCD prvků a snímá zemský povrch ze tří různých úhlů (vpřed, v nadiru, vzad). Počet prvků v řádkovém senzoru je 12 000. Pořizují se multispektrální i panchromatické digitální záznamy. Princip lineárního snímače, bezproblémově pracujícího na družicových systémech, nedával v minulosti kvalitní výsledky při použití v letadlech z důvodu nestálosti vnějších podmínek (stav atmosféry, vibrace letounu,

meteorologické vlivy). Použitelné výsledky z hlediska fotogrammetrie přineslo nasazení technologie GPS/INS po roce 2000.

Vexcel

Firma Vexcel začala na trhu s leteckými digitálními komorami v roce 2003 a její počínání je velmi úspěšné. Dokonce i v ČR již byla komora Vexcel UltraCam D nasazena. Komora UltraCam D a novější komora UltraCam X patří k plně funkčním komorám, nejedná se tedy o žádný vývojový typ. Microsoft UltraCam X má již rozlišení 14 430x9 420 pixelů při velikosti pixelu 7,2 $\mu$ m. Princip komory je opět ve skládání dílčích obrazů do jednoho výsledného a dále snímání ve složkách RGB a NIR. Kamera má celkem 4 panchromatické kanály se 4 objektivy, které jsou natočeny ve směru letu, postupně pořizují dílčí snímky, ze kterých se nakonec vytvoří výsledný snímek o vysokém rozlišení (Pavelka, 2009).

#### 4.2.4 Přídavná zařízení pro letecké snímkování

Současná technika využívá elektronického řízení chodu komory ve spojení s počítačem a příslušným programem pro vedení snímkového letu. Díky elektronice ubývají některá přídavná zařízení a některá zase přibývají (GPS, INU aj.). Klasická fotogrammetrická komora bývá doplněna dalším zařízením, které je nezbytné pro správné provedení snímkového letu (Pavelka, 2009).

Regulátor překryvu

Umožňuje přesné určení délky základny tak, že se pozoruje na matnici regulátoru překryvu obraz ubíhající krajiny. Délka základny není závislá na výšce letu ani na skutečné rychlosti letadla nad zemí. Délka základny se pak určí pomocí značek, které se pohybují po matnici. Rychlost pohybu značek (ve formě spirály nebo žebříčku) je nutno reostatem sladit s pohybem krajiny. Spínač po uplynutí určité vzdálenosti automaticky sepne komoru (Šmidrkal, 1992).

Výškoměry

Výškoměrů se užívá vždy. Nejjednodušší a nejméně přesný je barometrický výškoměr ( $\pm 50$ m). Následují ho výškoměry aktivní, které vysílají signál k zemi a měří tranzitivní čas ozvěny. Méně přesný je radiovýškoměr ( $\pm 10$ m), dále jsou k dispozici radarová zařízení altimetry a nakonec lidary, využívající laseru, které dosahují přesnosti na centimetry.

Určení prvků vnější orientace

Souřadnice projekčního centra se dnes určují pomocí GPS s přesností, kterou D-GPS umožňují, tj. asi 10 – 20cm. Starší modely využívaly radiolokačních sítí, např. impulzní síť RATRAN, DECCA ( $\pm 200$ m), jiné metody využívaly dopplerovských měření. Přesnější poloha projekčních center se v již zmapovaných oblastech určovala z map již při projektu snímkového letu a „zetová“ souřadnice se doplňovala z plánované hladiny snímkování. Nejpřesnější a dnes používané jsou

údaje z inerciální plošiny (IMU). Ani tato vysoká přesnost přímého určení prvků vnější orientace pro přesné velkoměřítkové mapování nestačí, současná přesnost je vhodná pro mapování ve středních měřítkách.

#### Navigační dalekohled

Toto zařízení je určeno pro snadnější navigaci letadla a kontrolu polohy. Jedná se o dalekohled, který je nakloněn vpřed o jistý úhel (40 – 50°).

#### Kompenzace pohybu nosiče

Pro lepší ostrost snímků v letecké fotogrammetrii se cca 25 let používá kompenzace pohybu nosiče. Nazývá se eliminace smazu. Existují dva typy: FMC (Film Motion Correction), jež využívá posunu filmu během expozice. V současné době mají toto zařízení téměř všechny moderní komory. Zařízení jsou schopna zajistit posun cca desítek milimetrů za sekundu. Druhý typ, AMC, používá náklonu komory a je užit např. u kosmických multispektrálních komor MKF-6M. Pro fotogrammetrii není příliš vhodný, jelikož se při snímkování s postupným náklonem komory mění prvky vnější orientace (Pavelka, 2009).

#### GPS/IMU

IMU (Inertial Measurement Unit), je obecně zařízení, které je schopno v čase určovat s různou přesností podle typu a ceny prostorovou orientaci objektu (v tomto případě letecké komory). Sestava se skládá z čidel a řídicí jednotky (soustava gyroskopů, akcelerometr a DGPS) (Pavelka, 2011).

### 4.3 Přístroje pro dálkový průzkum Země

Měření metodou dálkového průzkumu spočívá v registraci odraženého nebo emitovaného elektromagnetického záření přístrojem, který je umístěn zpravidla na palubě letadla nebo družice. Výsledkem měření jsou data, která jsou zaznamenána buď přímo na palubě nosiče, nebo rádiem přenášena do pozemní stanice a tam zaznamenána. Proto se proces měření musí z přístrojového hlediska posuzovat jako komplex tří technických prostředků: nosiče, měřicího přístroje a záznamového zařízení. Měření metodou dálkového průzkumu se označuje také jako sběr dat. Základní požadavek, který musí každý přístroj pro dálkový průzkum splňovat, je schopnost měřit energii elektromagnetického záření v závislosti na proměnných, jež ji určují. To znamená na čase, vlnové délce, prostoru, popřípadě i polarizaci a vždy na geometrickém uspořádání. Každou z uvedených závislostí nelze jedním přístrojem sledovat stejně podrobně. Jelikož geometrické uspořádání při měření nezávisí na konstrukci přístroje, je konstrukce přístroje vždy zaměřena na přednostní sledování některých ze čtyř prvních závislostí, přičemž polarizační závislost se týká převážně oboru mikrovlňného záření. Faktor času je dán termínem měření, takže pro obory viditelného a infračerveného záření je důležitá přímá rozlišitelnost závislosti na vlnové délce a na umístění měřeného objektu (Kolář, 1990).

### 4.3.1 Oblast viditelného a infračerveného záření

Pořizujeme-li data metodou DPZ, získáváme informace o krajině měřením množství zářivé energie odražené nebo emitované jednotlivými složkami krajiny. Existují dvě technologické metody, které dovolují takováto měření. Jedna metoda zaznamenává změny elektrických veličin, druhá pak změny, k nimž došlo důsledkem chemické reakce. Vždy jde o změny vyvolané dopadající zářivou energií na detektor, přičemž tyto změny odpovídají její velikosti. Zaznamenávání změn vyvolaných chemickou reakcí je historicky starší a dosud se používá ve fotografických kamerách. Registrace změn elektrických veličin nalezneme u různých typů radiometrů.

Měření prováděné na určitém intervalu vlnových délek se označuje jako spektrální měření. V případě, že je k dispozici intervalů více, jedná se o měření multispektrální, a je-li intervalů desítky a více, jsou tato měření nazývána hyperspektrální. Počet spektrálních pásem a jejich šířka určují spektrální rozlišovací schopnost přístroje.

Multispektrální měření se provádí dvěma způsoby:

- Paralelním měřením – se měří záření z jednoho místa v různých vlnových pásmech současně.
- Sekvenčním měřením – se měří postupně.

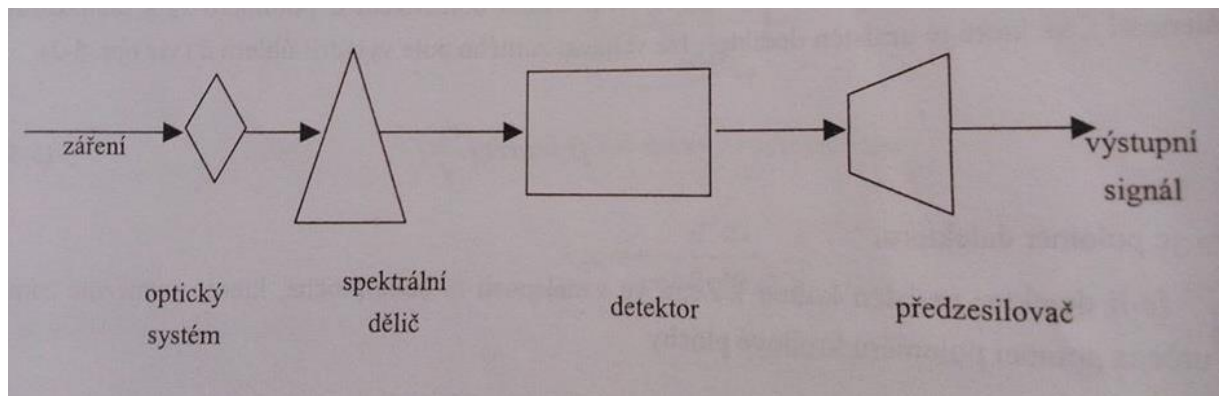
Z hlediska místa měření rozeznáváme:

- Stacionární měření – měření z jednoho místa, užívané pro sekvenční měření, takto pracují fotografické kamery.
- Nestacionární měření – se používá u radiometrů, kde je zapotřebí změny místa přístroje nebo jeho geometrických uspořádání, změny měřeného místa podél čáry se obvykle dosáhne umístěním radiometru na pohyblivém nosiči. Měření v ploše umožňují zobrazující radiometry neboli skenery, které měří záření jak z míst podél směru pohybu nosiče, tak i ve směru napříč jeho pohybu. Výsledky měření se dají uspořádat do podoby obrazu.

Velikost měřeného místa, jemuž odpovídá jeden měřený údaj, udává prostorová rozlišovací schopnost přístroje. Toto měřené místo potom, při sestavování dat do obrazové podoby, představuje základní obrazový prvek neboli pixel. Radiometrická měření (digitální data) mohou být zaznamenána přímo na palubě nosiče, ale častěji jsou dálkově přenášena do pozemní přijímací stanice.

Základní prvky radiometru

Při nefotografických způsobech měření je energie dopadajícího elektromagnetického záření převáděna na měření elektrických veličin. Tento způsob měření pro optická data (V a IR záření) ukazuje následující schéma konstrukce radiometru (Halounová a Pavelka, 2005).



Obrázek č. 4 - Schéma radiometru

[Zdroj: Halounová a Pavelka, 2005]

Optický systém je vstupní částí radiometru a skládá se z čoček a zrcadel. Spektrální dělič vymezuje spektrální intervaly měřených vlnových délek. Takto specifikované zařízení pak dopadá na detektor, který je vyroben z látky, která mění svůj elektrický odpor v závislosti na absorbované elektromagnetické energii. Absorpce způsobí změnu elektrického napětí či proudu v obvodu, jehož součástí je detektor. Změna elektrické veličiny je pak zesílena předzesilovačem a upravena do podoby potřebné k dalšímu zpracování.

Obrazová forma měřených dat ukazuje prostorové rozložení intenzity záření objektů na zemském povrchu. Abychom získaly toto prostorové rozložení, je nutné přejít od měření v jednom směru (trasový radiometr) k plošnému čili dvourozměrnému měření. Radiometr musí měřit i napříč směru, kterým se pohybuje jeho nosič. Data pořízená během jednoho cyklu jsou získána měřením podél čáry svírající se směrem letu nulový úhel. Většinou je touto čarou kolmice na směr letu. Měření ve směru napříč pohybu nosiče se opakuje frekvencí odpovídající rychlosti nosiče tak, aby měřená plocha ve dvou po sobě jdoucích cyklech na sebe prostorově navazovala. Tento způsob pořizování dat je označován jako řádkování nebo skenování. Data naměřená jsou pak uspořádaná tak, jak byla naměřena, to znamená, že data z jednoho cyklu tvoří jednu řádku vytvořeného obrazu. Každé měření pak je jedním bodem tohoto obrazu. Tento bod nebo prvek se označuje obrazový prvek nebo pixel, přístroje měřící tímto způsobem jsou řádkující či zobrazující radiometry nebo krátce skenery.

Současná technika dálkového průzkumu zná dva způsoby, kterými lze skenování provádět. V obou případech tvoří základ skeneru radiometr nebo spektroradiometr, který je vybaven skenovací jednotkou. Historicky starší a technologicky méně náročný je mechanický skener. Mechanické zařízení umožní měřit jedním detektorem postupně území podél celé řádky. Modernější a také kvalitnější způsob skenování je prováděn elektronickým skenerem bez mechanických částí, zato osazeným řadou detektorů pokrývajících svými zornými úhly celou řádku najednou (Halounová a Pavelka, 2005).

### 4.3.2 Radarové snímání

Slovo radar vzniklo jako zkratka anglického názvu „radio detection and ranging“ (vysokofrekvenční zjišťování a určování vzdálenosti) a používá se ho pro zařízení, které vysílá mikrovlnné impulsy a vzápětí na to přijímá jejich odraz. Za druhé světové války se radaru používalo k určování polohy lodí a letadel. Při práci s radarem na palubě letadel se zjistilo, že signály odražené od Země závisí na tvaru terénu a toho se později začalo využívat samostatně pro mapování zemského povrchu. K radarovému snímání se používá buď boční radar (angl. side-looking airborne radar, zkráceně SLAR) nebo radarový scatterometer (Čapek, 1978).

Významné vlastnosti odlišující radar od ostatních sensorů DPZ:

- Záření těchto vlnových délek je schopno pronikat mlhou, jemným deštěm, mrakem i smogem.
- Tyto vlnové délky umožňují odlišný pohled na zemské objekty ve smyslu pojmů „hladký“ a „drsňý“ povrch. Některé objekty, které se v oblasti viditelného a infračerveného záření chovají jako drsné povrchy, se v tomto případě chovají jako hladké povrchy.
- Všechna měření probíhají pod šikmým úhlem.

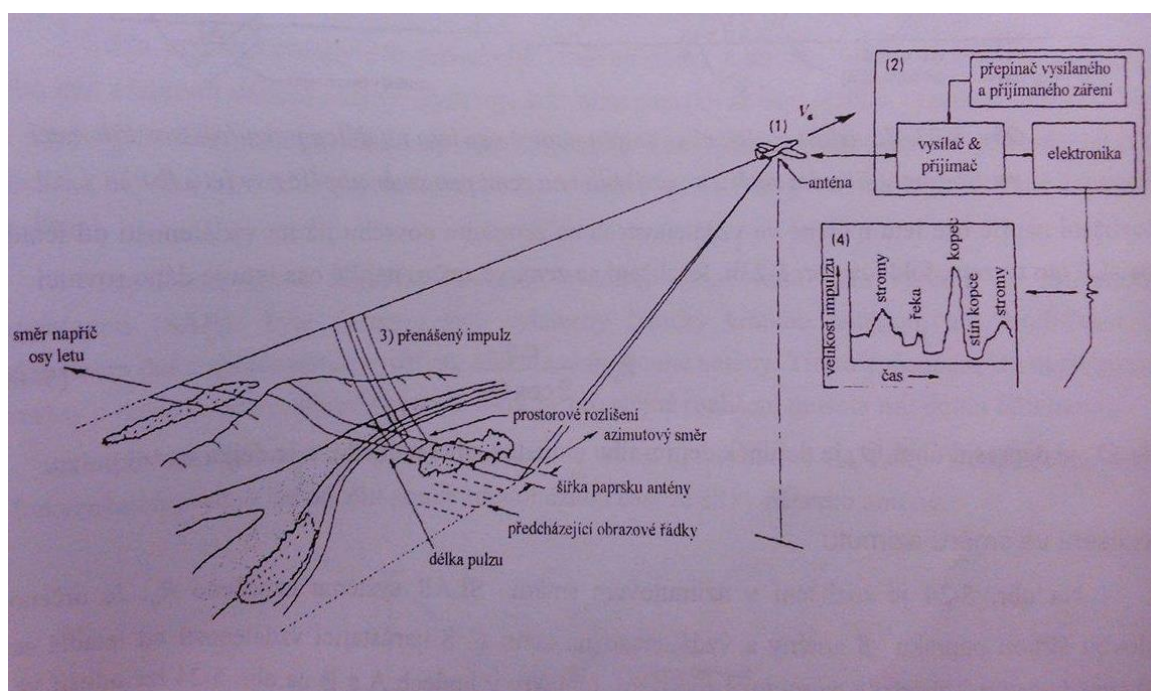
#### SLAR

Prostorové rozlišení radaru je mimo jiné dáno rozměrem jeho antény. Pro danou vlnovou délku platí, že čím je větší anténa, tím je větší rozlišovací schopnost. Proto většina radarů na letadlových nosičích je vybavena anténou pevně připojenou pod letadlem. SLAR byl nejprve vyvinut pro vojenské účely a teprve po určitém čase byly radarové snímky používány i v civilním životě. Způsoby získávání radarových snímků a jejich čtení dosáhlo již poměrně dobré úrovně.

Prvním velkým projektem pro mapování terénu pomocí SLAR byl kompletní průzkum jedné provincie v Panamě. Tento průzkum proběhl v roce 1967 a byla vytvořena mozaika na ploše 20 000km<sup>2</sup>. Radar na družicovém nosiči se objevil poprvé v roce 1978, a to na družici SEASAT (Halounová a Pavelka, 2005).

SLAR radar snímá terén po řádcích kolmých ke směru letu. Není zobrazován terén pod letadlem, nýbrž po stranách: snímá se teprve 15° od svislé roviny dráhy letu a úhel záběru je na každé straně asi 58°. Radar pracuje jako směrová anténa, vyšle v pravém úhlu k dráze letu po obou stranách letadla nesmírně krátký a prostorově omezený mikrovlnný impuls, načež vysílání přeruší a přepne se na přijímač. Vysílané záření narazí na přibližně přímkový pás terénu, odrazí se a jeho část je přijata radarem zpět, při čemž se odražený signál vrací z bližšího okraje pásu dříve a ze vzdálenějšího později. Síla odraženého signálu závisí na vzdálenosti, sklonu a odrazové schopnosti terénu a způsobuje změnu intenzity záření radarové obrazovky. Na obrazovce se tak objeví jedna řádka, složená z různě tmavých a světlých bodů, která se zaznamenává. Ihned po skončení příjmu vyšle radar nový impuls (asi po 0,07 mikrosekundy), který snímá sousední proužek terénu (Čapek, 1978).

## Způsob, jakým je vytvořen SLAR obraz



Obrázek č. 5 - Operační systém SLAR

[Zdroj: Halounová a Pavelka, 2005]

Jak se pohybuje letadlo, postupuje anténa (1) vpřed ve směru letu rychlostí letadla. Anténa je přepínána z módu pro vysílání do módu pro přijímání pulzů pomocí synchronizovaného přepínače (2). Každý vyslaný pulz (3) vrací odrazy od objektů na zemském povrchu v rámci rozlišení antény. Tyto odrazy jsou přijaty anténou a zpracovány tak, aby byl vytvořen video signál amplitudy v závislosti na čase (4). Každá řádka záznamu je zobrazením síly signálu, který se vrací od jednotlivého pulzu radaru. Mezi řádky postupuje záznam rychlostí  $v_t$ , která proporcionalně odpovídá rychlosti nosiče  $v_a$ . Tímto způsobem je vytvářen dvojrozměrný obraz (Halounová a Pavelka, 2005).

Radar vysílá polarizované záření, které se po nárazu na zem depolarizuje a rozloží na vertikální a horizontální složku. Ty pak lze snímat i odděleně a získat tak vlastně dva poněkud odlišné obrazy. Obraz HH (angl. horizontal – horizontal) má vysílací i přijímací anténu horizontální, jsou polarizovány shodně. Obraz HV (horizontal – vertical) má vysílací anténu vodorovně a přijímací svisle, běží o křížovou polarizaci. Srovnáním obou obrazů se získá více informací než z jediného: horizontální ukáže lépe členitost (např. stíny hor), vertikální spíše druh povrchu (např. les). Podobně lze znásobit informace vysíláním na několika frekvencích a získané snímky srovnávat stejně jako multispektrální fotografie (Čapek, 1978).

### Interpretace obrazu z radaru

Radarová data se úspěšně používají pro mapování geologických jednotek, geologických struktur, různých druhů vegetace – přirozené vegetace i zemědělských plodin, pro určení druhů mořského ledu, pro mapování povrchových vod. Používané měřítko je většinou pro detailní mapování (pod 1:100 000) (Halounová a Pavelka, 2005).

### 4.3.3 Laserové skenování

Laserové skenování je technologie pro bezkontaktní snímání dat, umožňující přesné určení polohy a struktury objektu zájmu. Laserové skenery jsou aktivní systémy emitující světelné pulzy a zaznamenávající energii odraženou zpět. Tato technologie je již známa z šedesátých let minulého století. Pokrok v oblasti elektroniky stimuloval rychlý vývoj této technologie v posledních dvaceti letech. Možnost zpracování velkého množství dat výkonnými počítači otevřela laserovému skenování prostor pro široké aplikace v oblastech jako je mapování výškopisu, životního prostředí, průmyslových objektů i kulturního dědictví. Laserové skenery mohou být nainstalovány na pohyblivých se platformách (letecké laserové skenování – LLS), ale rovněž i na pozemních platformách (Zemek a kol., 2014).

Laserové skenovací technologie jsou rychle inovovány a stávají se hlavní technikou pro měření. A to jak letecké skenování, tak i pozemní laserové skenování. Laserové skenování zahrnuje získávání dat, zpracování dat a vizualizační schopnosti jsou použity například k vytvoření 3D modelů krajiny. Letecké laserové skenování se nejčastěji používá pro vytvoření digitálního modelu terénu, ale i pro vizualizaci a měření 3D struktur. Pozemní laserové skenování se provádí z jedné, nebo více pevných poloh a zachycuje data ve 3D, nejčastěji z bočního pohledu, nebo šikmého úhlu (Vosselman a Maas, 2010).

Typický letecký skenovací systém se skládá z následujících hlavních komponent:

- 1) Dálkoměrná jednotka. Skládá se z laseru, přijímací a vysílací optiky, přijímače s detektorem a digitalizační jednotkou pro sběr přijatých signálů a časového čítače měřícího čas mezi vyslaným a vráceným impulsem. Jednotka měří šikmou vzdálenost mezi skenerem a Zemí.
- 2) Skenovací mechanismus. Určuje vzor, s nímž pulzy dopadají na zemský povrch. Typickým příkladem skenovacího mechanismu je oscilující zrcadlo, které společně s úhlovým zařízením vypouští laserové pulzy v rovině kolmé ke směru letu. Skenovací mechanismus zajišťuje postupné bodové měření podél jedné linie. Dopředný pohyb letadla pak vytváří sérii profilů pokrývajících celý pás terénu.
- 3) Řídící a záznamová jednotka. Je to počítačové zařízení dovolující operátorovi řídit nastavení skenování a proces záznamu dat.
- 4) Jednotka IMU/GNSS. Měří přesnou pozici a orientaci leteckého skeneru.
- 5) Snímkovací zařízení. Laserové skenování je často prováděno souběžně se sběrem obrazových dat, například integrovanou multispektrální kamerou.

Většina současných LLS systémů je schopna zaznamenávat vícenásobné odrazy jednoho vyslaného pulzu a intenzitu vráceného odrazu. Nejnovější skenery poskytují možnost digitalizace celého tvaru odražené vlny. Tato vlastnost je užitečná pro mapování vegetace, protože umožňuje mapování různých úrovní vegetace a obecně struktury pokryvu.

Souběžně s měřenou vzdáleností je zaznamenávána rovněž intenzita odraženého pulzu. Kvalita signálu informace je závislá na vlnové délce, odrazivosti povrchu, úhlu dopadu a atmosférických podmínkách. Mnoho systémů využívá



vlnovou délku z oblasti blízké infračerveného záření, která je méně ovlivněná atmosférickými podmínkami.

Na trhu dominují tři hlavní komerční dodavatelé LLS: Leica Geosystems, Optech a Riegl. Leica Geosystems vstoupila na trh v roce 2001 a má současné modely: ALS70 CM je určen pro města a mapování koridorů, ALS70 HP je zaměřen na obecné mapování. Společnost Optech vybuodovala svojí sérii nazvanou ALTM (Airborne Laser Terrain Mapper). První model ALTM 1020 byl vyroben v roce 1993. Aktuální modely ALTM jsou Pegasus, Orion a Galaxy. Pegasus je zaměřen na mapování s vysokou hustotou bodů, Orion je zaměřen na inženýrské mapování z nižších výšek a Galaxy zastupuje další generaci LLS určených pro mapování větších území a sběr dat pro DTM. Riegl vyrábí LLS systémy od roku 2003. Model LMS-Q680i je určen pro všeobecné účely. LMS-Q780 je určen pro mapování z velkých výšek. LMS-Q1560 je plně integrovaný LLS pro mapování velmi rozsáhlých oblastí. Speciálním druhem LLS jsou batymetrické LLS, které se používají pro mapování mělké vody a přístavů (Zemek a kol., 2014).

#### 4.3.4 Družice a družicové systémy

Družice, vytvářející snímky zemského povrchu, obíhají Zemí po kruhových nebo eliptických drahách v různých výškách ve třech typech oběžných drah

- v rovině rovníku (geostacionární dráha)
- v šikmé oběžné dráze
- v subpolární oběžné dráze.

Družice v rovníkové (geostacionární) dráze

Nejdůležitější družice na této dráze jsou METEOSAT ve výšce cca 36 000km, které zachycují především Evropu a Afriku. Jejich provoz řídí Evropská kosmická agentura, zkrácený název těchto družic je MSG (Meteosat Second Generation). Hlavním zobrazovacím zařízením na palubě družice MSG je přístroj SEVIRI. Jeho úkolem je pořizovat snímky Země v 11 úzkopásmových spektrálních kanálech a jednom širokopásmovém s vysokým rozlišením. Přístroj sleduje okolí průzorem na boku družice. Za ním je pak skenovací zrcadlo, které odráží přicházející záření dovnitř dalekohledu. Při otáčení družice kolem osy, sleduje přístroj většinu doby volný kosmický prostor, ale na chvíli se v jeho zorném poli objeví Země a každé čidlo přístroje zaznamená jeden řádek obrazu. Poté se skenovací zrcadlo nepatrně vychýlí a při další otáčce zaznamená přístroj další řádek.

Družice se šikmou oběžnou dráhou

V šikmé oběžné dráze svírající s rovinou rovníku úhel 30° až 60° se pohybují převážně družice – kosmické lodě s lidskou posádkou. Obíhají ve výšce jenom několika stovek kilometrů nad Zemí. Pilotované kosmické lodě jsou využívány především pro vědecké pokusy, testování radiometrů a pořizování fotografií

zemského povrchu. Mezinárodní vesmírná stanice (International Space Station – ISS) je v současnosti jediná trvale obydlená vesmírná stanice, již od roku 2000.

Družice se subpolární dráhou oběhu

Na subpolární oběžné dráze obíhá převážná část družic určená ke snímkování povrchu Země. Pohybují se přibližně ve směru poledníků ve výšce 800 až 900km. Doba oběhu závisí na výšce letu a pohybuje se mezi 12 a 16 oběhy za den. Dráhy těchto družic jsou synchronní se zdánlivým pohybem Slunce (prolétají nad stejným místem ve stejnou hodinu místního času). Na osvětlené straně Země se družice pohybuje od severu k jihu. Družice se subpolární dráhou letu jsou schopné předávat globální obrazy v měřítku blízkém 1:10 000 000 stejně jako relativně podrobné obrazy v měřítku 1:25 000, na nichž lze rozlišit získané údaje s přesností několika metrů.

- NOAA – meteorologická družice, hlavním zobrazovacím přístrojem družice NOAA je skenující radiometr (AVHRR – Advanced Very High Resolution Radiometer). Družice snímá nepřetržitě pás území široký cca 3000km, data jsou vysílána uživatelům v reálném čase.
- LANDSAT – k významným informačním pramenům o povrchu Země a jejích přírodních zdrojích získaných z DPZ náleží právě družice systému LANDSAT. Data o Zemi jsou pořizována již od roku 1972. Program LANDSAT výrazně přispěl k rozvoji nového vědního oboru – dálkového průzkumu Země. Jeho data umožňují lidem studovat mnoho aspektů naší planety a vyhodnocovat dynamické změny způsobené přírodními procesy a lidskou činností. Hlavním vybavením družice LANDSAT 7 je multispektrální skener Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Data se nepořizují nepřetržitě, provoz je dopředu naplánován. Snímají se území všech pevnin Země, pokud jsou v době přeletu bez oblačností. Během jednoho 16-ti denního cyklu je nasnímána asi jedna čtvrtina plochy kontinentů. Ke snímání obrazu slouží speciální televizní systém a multispektrální skener pracující v sedmi intervalech vlnových délek spektra. Údaje se dají použít pro tvorbu tematických map až do měřítka 1:25 000.
- SPOT – současný SPOT je vybaven skenerem HRG (High resolution Geometry), který má prostorové rozlišení 5m v panchromatickém režimu a 10m v režimu multispektrálním. Uvnitř senzoru HRG jsou dva detektory, které pořizují záznam území současně. Kombinací těchto dvou senzorů je vytvořen obraz s výsledným prostorovým rozlišením 2,5m. Tvorba digitálního modelu reliéfu (DTM) z dat družice SPOT je velmi kvalitní.
- TERRA – je to první komplexně přístrojově vybavená družice patřící do „Systému pozorování Země“ (Earth Observation System – EOS). Nese pět moderních senzorů, které studují interakce mezi atmosférou, zemí, oceány, živočichy a rostlinami, a radiační energií v tepelné nebo světelné podobě, aparaturu na měření záření mraků a zemského povrchu a zařízení na měření znečištění v troposféře.
- ERS – dvě družice ERS jsou vybaveny shodným přístrojovým vybavením, které je určeno především pro vědecké účely. Jedná se především o výkonný radar pro geomorfologické mapování, mapování seismických

pohybů, sedání a sesuvů půdy, mapování a monitorování vývoje ledovců nebo pro tvorbu digitálního modelu terénu. Radarový altimetr přesně měří výšky hladin oceánů a radiometr měří teploty svrchní vrstvy mraků a vodní hladiny.

- ENVISAT – družice, která je zaměřena na monitorování životního prostředí. Snímkuje v pásu 1150km širokém s velikostí pixelu 300m či 1km. Primárně je určena pro oceánografické účely, druhotně pro monitorování vegetace v globálním měřítku.
- RADARSAT – je vybavena radarem a Zemi snímá v několika režimech, které se liší rozlišením i velikostí zobrazené plochy.
- QUICKBIRD – tato družice je významným poskytovatelem digitálních geografických dat. Pro černobílé snímky je dosaženo maximálního rozlišení 60cm a pro multispektrální 2,5m.
- IKONOS – družice s vysokým rozlišením snímá ve dvou režimech, panchromatickém (černobílém) s rozlišením 1m a multispektrálním (barevném) s rozlišením 4m. Snímky pořízené družicí IKONOS mají využití v zemědělství, lesnictví, kartografii, civilní ochraně atd. (Svatoňová a Lauermann, 2010).

## 5. Využití snímků

### 5.1 Využití fotogrammetrie

Fotogrammetrie našla uplatnění nejen v oboru geodézie a kartografie, kde je využívána dlouhodobě jako důležitá mapovací metoda, ale i v různých jiných oblastech lidské činnosti. Mezi nejužívanější patří:

- Stavebnictví: dokumentační účely, podklady pro rekonstrukce, měření deformací staveb a jejich částí.
- Památková péče: dokumentace objektů.
- Sledování postupu výstavby nebo těžby surovin, inventarizace skládek.
- Zemědělství: sledování osevních plánů, sklony a expozice svahů.
- Lesnictví: porostové mapy, postup těžby, kalamity.
- Vodní hospodářství: určování digitálního modelu terénu, modelování povodí, rozsah záplav.
- Strojírenství: proměřování výrobků přesného strojírenství, sledování přesnosti montáže velkých dílů např. při stavbě lodí.
- Medicína: dokumentace, sledování rehabilitačních výsledků, plastická chirurgie, zubní aplikace, pohybové studie, ergonomie.
- Antropologie
- Policie: kriminalistika, dokumentace těžkých dopravních nehod.
- Ekologie: sledování skládek, znečištění.
- Urbanismus, 3D modely měst.
- Design, určování a modelování tvarů (Pavelka, 2009).

## Fotogrammetrie v geologickém průzkumu

Prostředky a metody letecké fotogrammetrie umožnily vývoj nových výkonných metod geologického průzkumu souhrnně označovaných jako fotogeologické metody resp. fotogeologie. Zobrazení zemského povrchu na svislých leteckých snímcích je v porovnání s mapovým obrysovým zobrazením bohatší právě o takové kartograficky těžko znázornitelné podrobnosti, které jsou cenným pramenem informací pro geologický průzkum. Jsou to například rozdíly v tónu fotografického zobrazení zapříčiněné různým složením půd, nebo různou vlhkostí, nápadné vegetační hranice atd. Z hlediska geologického průzkumu má zásadní význam také možnost stereoskopického pozorování leteckých snímků, při kterém vidíme úplnou morfologii terénu se všemi základními i podružnými jevy. Interpretací leteckých snímků je možno ještě před samotným průzkumem v terénu získat mnohé cenné informace potřebné pro geologický průzkum, jako je ráz území, podmínky uložení základních hornin, souvislost mezi rozličnými útvary a podrobnosti ve skladbě útvarů nejen v otevřených rajónech, ale i na místech zakrytých novějšími útvary.

## Fotogrammetrie v geografii

Podobně jako při geologickém průzkumu je možno prostředky fotogrammetrie, nejvíce letecké snímky, účelně využívat i v archeologii a různých geografických vědách, jako je oceánografie, meteorologie, klimatologie, glaciologie, limnologie apod. Při archeologickém výzkumu jsou fotogrammetrické snímky, a to pozemní i letecké, pracovními prostředky mimořádného významu nejen pro možnost vyhotovení map a náčrtů, ale i pro jejich vysokou dokumentární a zpravodajskou hodnotu. V meteorologii může fotogrammetrie poskytovat cennou pomoc při měření tvarů a polohy oblaků v závislosti na čase, polárního záření apod. Fotogrammetrie našla významné uplatnění i v glaciologii, kde se pomocí snímků sledují změn ledovců.

## Fotogrammetrie v lesnictví

Letecké snímky jsou účelným pracovním prostředkem v lesnictví. Přínos letecké fotogrammetrie se při této aplikaci projevuje nejvíc v možnosti účelného průzkumu lesních porostů na leteckých snímcích, rychlého vyhotovení porostových map a měření porostů. Pro úlohu lesnického výzkumu a praxe používáme převážně svislých leteckých snímků vyhotovených se stereoskopickým překryvem v měřítkách od 1:10 000 až do 1:15 000. Na snímcích vidíme zřetelně členění lesní plochy – rozdělení na listnaté a jehličnaté dřeviny, do určité míry rozlišíme i druhy dřevin, poměrné věkové rozdíly a další podrobnosti.

## Fotogrammetrie ve stavebnictví

Pro všechny stupně projekční přípravy při velkých stavebních úpravách jsou nutné mapové podklady různých měřítek i použití. Rozmanité a často rozsáhlé nároky v tomto směru umí plnit fotogrammetrie podstatně rychleji a levněji než obvyklé metody geodézie. V této aplikaci se u fotogrammetrie nejvíce oceňuje dokonalé zobrazení terénu, letecké fotoplány, nebo možnost stereoskopického pozorování snímků území, do kterého se začlení stavba.

Při výstavbě vodního díla se používají topografické mapy různých měřítek, které zahrnují celé území, které je ovlivněno stavbou. Kdyby tyto mapy nebyly k dispozici, jak se může někdy stát, není problém topografické mapy rychle a hospodárně vyhotovit metodou letecké fotogrammetrie. Podobně jako u vodohospodářských staveb můžeme fotogrammetrii používat i při projekci a výstavbě silnic, železnice a jiných dopravních staveb. Mimo fotogrammetricky vyhotovených vrstevnicových plánů, se při této aplikaci fotogrammetrie využívají zvláště dobře letecké snímky, resp. z nich vyhotovené fotonáčrty a fotoplány, které přivádí projektanta do úzkého kontaktu s terénem a umožňují mu zvládnout skutečnosti směrodatné pro technicky správný a ekonomicky účinný projekt (Gál, 1965).

## 5.2 Využití dálkového průzkumu Země

### Využití DPZ v lesnictví

V oboru leteckého laserového skenování (LLS) probíhá v současnosti rychlý vývoj technologií. Nejen to z něj dělá nejprogresivnější nové odvětví v lesnické praxi. Jsou vyvíjeny aplikace pracující v nejrůznějším měřítku, od sběru informací o jednotlivých stromech a porostních skupinách až po celkovou inventarizaci na celostátní úrovni. Data poskytují podklad pro širokou škálu aplikací. Nejběžnějším produktem odvozeným z dat LLS je digitální model terénu (DMT). V lesnické praxi DMT pomáhá při návrhu a optimalizaci cestní sítě, při plánování těžby a při přípravě protierozních opatření. Data LLS samotná, případně v kombinaci s obrazovými daty, se dále používají při klasifikaci lesních porostů, nebo též jednotlivých druhů dřevin. Pro management lesních porostů je nejužitečnější možnost přímo odvozovat inventarizační veličiny. Na úrovni porostních celků je možné vymezit jejich hranice, odhadnout průměrnou výšku, hustotu zápoje a další charakteristiky. Na úrovni jednotlivých stromů odvozujeme výšku, rozměry koruny atd.

### DPZ v precizním zemědělství

Precizní zemědělství se označuje také jako lokálně cílené hospodářství a je to mezinárodně přijatý název pro směr hospodaření na zemědělské půdě, který využívá nové technologie vyvinuté v 80. a 90. letech 20. století. Cílem precizního zemědělství je optimalizace produkčních vstupů (hnojiva, pesticidy, pohonné hmoty atd.) na základě lokálních požadavků rostlin a půdních podmínek. Tímto způsobem je možno při pěstování rostlin dosáhnout efektivního využívání agrochemikálií a minimalizovat rizika ohrožení životního prostředí.

Základní principy precizního zemědělství nejsou nové, pěstitelé již před staletími věděli, že půda i porost se mohou lišit i v měřítku jednotlivých pozemků. Menší výměra pozemků a manuální zásahy umožňovali eliminaci lokálních rozdílů. S vytvářením větších půdních celků, intenzifikací produkce a rostoucí mechanizací v polovině 20. století však nebylo možné heterogenitu pozemků zohlednit bez moderních technologií. Až teprve rozvoj globálních navigačních družicových systémů (GNSS), informačních a komunikačních technologií (ICT), dálkového

průzkumu Země (DPZ) a geografických informačních systémů (GIS) významně přispěly ke sběru dat nezbytných pro precizní hospodaření.

Tradiční postupy mapování variability půdních podmínek jsou postupně nahrazovány nepřímými metodami, jako je on-the-go měření, nebo dálkový průzkum. Menší přesnost stanovení půdních vlastností, v porovnání s tradičními laboratorními rozbory, je kompenzována širokým prostorovým pokrytím. Mapování půdních vlastností pozemků a vegetace pomocí dálkového průzkumu Země se v zemědělství vyvíjí dlouhodobě s rozvojem nástrojů a metod DPZ. Tyto postupy rozpoznávají různé půdní podmínky na základě spektrálních vlastností půdního povrchu. Podobně jako u geofyzikálních metod nelze pomocí dálkového snímání stanovit specifické půdní vlastnosti bez dodatečného terénního průzkumu. Spektrální projevy půdy jsou výslednicí většího počtu vlastností půdy. K nejvýznamnějším patří obsah organické hmoty, vlhkost půdy, zrnitost a struktura půdy, zastoupení oxidů železa, případně hrubosti povrchu. Zvyšující se půdní vlhkost obecně snižuje odrazivost, zejména ve viditelném spektru (400-700nm). Vlhčí půda se proto v porovnání se suchou jeví tmavší. Pro zrnitost půdy obecně platí, že se vzrůstem velikosti půdních částic vzrůstá odrazivost ve viditelné části spektra. Jílovité půdy se jeví tmavší než půdy písčité. Zrnitost půd podmiňuje některé další půdní vlastnosti, zejména vlhkost půdy a její strukturu, jež se projevují na celkové odrazivosti půdy. Přesnost klasifikace zrnitosti půdy z hyperspektrálních dat se zvýší správným načasováním měření za optimálních vlhkostních podmínek, kdy rozdíly mezi půdními typy jsou nejvýraznější. Hodnocení porostů pomocí DPZ je využíváno pro klasifikaci využívání zemědělské půdy a identifikaci zemědělských plodin, dále pak pro diagnostiku stavu výživy rostlin, detekce stresu rostlin a predikce výnosu zemědělských plodin. Spektrální měření umožňuje rozpoznávat stresové projevy rostlin, ale obvykle bez určení jejich příčiny (Zemek a kol., 2014).

#### DPZ v archeologii

Jeden z hlavních záměrů a principů archeologie posledních desetiletí je maximálně možná integrace archeologické metodologie a postupů, které co nejméně zasahují či poškozují archeologické dědictví. Proto s nástupem nových technologií nalézá své pevné místo v archeologii celá řada technik tzv. nedestruktivního charakteru, s jejichž pomocí jsme schopni samotné památky nejen nově detekovat a lokalizovat, ale především uchovávat pro další, odborně vyspělejší generace. Na základě nově objevených struktur bude možné determinovat další kritéria jejich výskytu, což mimo jiné usnadní vymezení strategie archeologické památkové péče. Do nedestruktivní archeologie primárně řadíme dálkový archeologický průzkum (letecká archeologie)

Metody dálkového průzkumu Země jsou v dnešní době stále více rozšiřovány z hlediska možnosti jejich využití, a stejně tak inovovány a vývojově specializovány pro širokou škálu vědních oborů. Před několika málo lety vycházeli archeologové při terénní prospekci převážně ze šikmých leteckých snímků, postupně začali zapojovat snímky kolmé z důvodu vyšší přesnosti, možnosti exaktnější metrické analýzy a syntézy objektů například pomocí moderních softwarů a snazší digitální transformaci do podob map, plánů či modelů terénu. Kromě těchto sponzorovaných klientských služeb je možné v archeologii využívat také do jisté

míry omezených zdrojů družicových dat, jež jsou nabízena formami freewaru na internetu. Výhodou těchto služeb je efektivní získání bazálních dat, možnost analýzy rozsáhlého územního celku téměř bez omezení, finanční nenáročnost či možnost jejich vzájemné komparace, základní nevýhodou je pak jejich malé rozlišení a geografická korektnost (Gojda a kol., 2010).

#### Monitoring vody pomocí DPZ

Monitoring řas a sinic prostřednictvím DPZ je obvykle založen na kvantifikaci pigmentů: především chlorofylu. Nejjednodušší empirické metody DPZ dosahují uspokojivé přesnosti nejčastěji při vyšších koncentracích pigmentů. Výběr vhodné metody předběžného zpracování a následné analýzy dat DPZ musí být přizpůsoben kategorii vod. V dálkovém průzkumu vodních ploch se zpravidla rozlišují dvě základní kategorie vod: otevřené oceány a vnitrozemské, mělké příbřežní vody. Kromě monitoringu fytoplanktonu se metod DPZ používá i pro hodnocení jiných charakteristik vodních ekosystémů. Mezi nejčastější aplikace řadíme použití laserového skenování v batymetrii mělkých vod a mapování sedimentů. Hyperspektrální data mohou sloužit při odhadu hloubky v mělkých vodách a k odhadu nerozpuštěných anorganických a rozpuštěných organických látek ve vodě (Zemek a kol., 2014).

## 6. Letecké snímky na internetu

Dříve byly pro běžného uživatele, který požadoval přístup k prostorovým datům (například kvůli možnosti využití půdy), prakticky jediným zdrojem publikované mapy. V posledních letech se tento stav změnil za přispění dvou vývojů. Jeden byl prudký nárůst využívání prostorových dat v digitální podobě, za pomoci geografických informačních systémů (GIS). Druhý byl vývoj technik, jako je GPS (angl. Global Positioning System) a družicový, nebo letecký dálkový průzkum Země (DPZ). K dispozici je stále více a více dat z mnoha různých zdrojů (Iliffe a Lott, 2008).

Na internetu je k nalezení mnoho různých map, které zobrazují letecký pohled. Mezi nejznámější určitě patří hlavně pro české uživatele Mapy.cz, z celosvětového pohledu jsou nejznámější Google Maps, dále tuto službu poskytují Bing Maps, HERE Maps, nebo ViaMichelin atd.

## 6.1 Metodika

Má práce začala výběrem vhodných internetových mapových aplikací, které zobrazují letecké snímky. Poté jsem porovnával jednotlivé snímky podle několika kritérií, nejvíce jsem se zaměřil na kvalitu jejich pořízení. Zhodnotil jsem, jak se u snímků liší velikost jejich rozlišení, jakou mají ostrost obrazu a jak velké jednotlivé snímky jsou. Dále jsem zhodnotil, jestli se pořízené snímky dále upravovaly, nebo zdali zůstali bez dalších úprav. Zaměřil jsem se na porovnání budov, jestli jsou zobrazeny v kolmém nebo šikmém úhlu a jak je s tímto jevem při dodatečných úpravách leteckých snímků naloženo. U pozemních snímků jsem porovnával opět jejich kvalitu a zhodnotil jsem i s jakou hustotou pokrytí se snímky pořizují.

## 6.2 Mapy.cz

Kromě aktuálních leteckých snímků z let 2014 a 2015 je zde možné zobrazit i archivní snímky z let 2010-2012 (mapová sada Letecká 2012), 2004-2006 (mapová sada Letecká 2006) a 2001-2003 (mapová sada Letecká 2003). Letecký mapový podklad je tvořen kombinací satelitního snímkování a leteckého snímkování. Pro malé přiblížení je pro celý svět zobrazen satelitní snímek NASA Blue Marble Next Generation, viz příloha č. 1, kde je zobrazena část České republiky. Pro větší přiblížení na území mimo Českou a Slovenskou republiku je zobrazena mozaika ze satelitních snímků družice Landsat 7. Tyto snímky jsou však při velkém přiblížení velmi rozmazané a nenajdou velkého uplatnění, viz příloha č. 2, kde je zobrazen Londýn při největším přiblížení.

Na území České republiky a v příhraničí je zobrazeno ortofoto z leteckého snímkování. Snímkování probíhá každý rok s rozlišením 10cm/pixel, přičemž je nafocena vždy polovina území. Celá ČR je tedy aktualizována vždy v dvouletém intervalu. Snímky jdou dostatečně přiblížit a mapy jsou velmi ostré, viz příloha č. 3, kde je zobrazena zástavba v Českých Budějovicích 7. Na území Slovenské republiky je zobrazeno rovněž ortofoto z leteckého snímkování. Rozlišení snímků je 25cm/pixel, přičemž je nafocena vždy jedna třetina území a celá SR je tak aktualizována vždy v tříletém intervalu. Zde se dá mapa přiblížit o něco méně než u snímků České republiky, přibližně na dvojnásobné měřítko. Snímky jsou také velmi kvalitní, viz příloha č. 4, kde je zobrazena zástavba v centru Bratislavy.

V další příloze, č. 5, jsou zobrazeny hranice České republiky, za nimiž je zřetelně poznat, kde končí letecké ortofoto a začínají družicové snímky. Letecké snímky mají skutečnou barvu jako snímaný povrch, zato všechny družicové snímky jsou zbarvené do modra. Při snímání musí být překonána velká vzdálenost (od družice k Zemi) a důsledkem rozptylu slunečního světla je u kolmých snímků zachyceno modré spektrum záření. V některých částech snímků je zachycena i oblačnost, přes kterou není zemský povrch vidět.

Pro porovnávání následujících leteckých map jsem zvolil oblast v Českých Budějovicích 7, v okolí nemocnice.



## Letecká mapa 2003

Jak již bylo zmíněno výše, tato mapa byla vyhotovena v letech 2001 až 2003 a to brněnskou firmou GEODIS. Mapa nejde příliš přiblížit, viz příloha č. 6. Na tomto snímku jsou jednotlivé budovy sice dobře rozpoznatelné, ale jsou již značně rozmazané.

Mapa je složena z jednotlivých snímků a v zastavěné oblasti lze snadno najít místa, kde jsou snímky napojeny. Uprostřed snímků jsou budovy zobrazeny kolmo, ale čím více se přibližujeme okraji snímku, tím jsou budovy více zkreslené, jsou zobrazeny ze šikmého pohledu. Na příloze č. 7 je červeně vyznačeno, kde jsou snímky přibližně napojeny, v okolí je vidět, že budovy pod touto čarou jsou zachyceny z jižní strany (vidíme jižní strany budov) a budovy nad ní jsou zachyceny ze strany severní (vidíme severní strany budov). Podle budov můžeme tedy zjistit, jaké mají jednotlivé snímky rozměry. Každý snímek je čtvercový a zobrazená plocha zemského povrchu z jednoho rektifikovaného snímku je přibližně o rozměrech 3,8x3,8 kilometru.

Tyto, dnes již neaktuální snímky se hodí k porovnávání s těmi novějšími. Můžeme na nich vidět, jak se mění zástavba v zastavěných oblastech, jak se větší města rozrůstají, anebo i jak se mění využívání půdy atd.

## Letecká mapa 2006

Hned v dalším roce (2004) se začala vytvářet nová letecká mapa České Republiky, která byla dokončena v roce 2006. Mapa byla opět vyhotovena firmou GEODIS. Mapa má tentokrát o něco lepší rozlišení, viz příloha č. 8, kde máme porovnání leteckých snímků stejného území z roku 2003 (vlevo) a 2006 (vpravo). Mapu lze tentokrát o něco více přiblížit, ale při velkém přiblížení už snímky nejsou ostré, vyobrazované území je rozmazané (viz příloha č. 9).

Mapa je opět složená z jednotlivých leteckých snímků, které jsou tentokrát menší než snímky z roku 2003. Mají opět čtvercový tvar a zobrazená plocha zemského povrchu z jednoho rektifikovaného snímku je přibližně o rozměrech 2,6x2,6 kilometru. Díky tomu, že jsou snímky menší, tak není zkreslení (šikmý pohled) budov tak velké jako u okrajů snímků předešlého snímkování. Přesto je pořád velmi znatelné.

## Letecká mapa 2012

Další „letecká mapa“ vznikla s již větším časovým odstupem. Snímkovat se začalo až po čtyřech letech v roce 2010 a mapa byla dokončena v roce 2012. Snímkování se opět ujala brněnská firma GEODIS. Mapa má již i při velkém přiblížení kvalitní rozlišení, pro porovnání je v příloze č. 10 porovnaná tato mapa z roku 2012 (vpravo) s předešlou z roku 2006 (vlevo). Mapu lze již zas o něco více přiblížit, viz příloha č. 11. Rozlišení je již oproti předchozímu snímkování na velmi vysoké úrovni.

Mapa je opět poskládaná ze čtvercových snímků. Zobrazená plocha zemského povrchu z jednoho rektifikovaného snímku je přibližně o rozměrech 1,5x1,5 kilometru, jde tedy opět o menší území, než u předešlého mapování. Snímky byly, stejně jako u předchozích dvou leteckých mapování, pořízeny někdy během jara až léta, lze to přibližně v městském prostředí určit podle listnatých stromů.

## Letecká mapa 2016

Od ledna roku 2016 jsou k dispozici nové letecké snímky celé České Republiky. Předešlá mapová vrstva z let 2010 až 2012 byla nahrazena novým ortofotem, které je složené z více než 96 tisíců kvalitnějších snímků pořízených v posledních dvou letech (2014-2015). Ostré letecké snímky pokrývají 82 710km<sup>2</sup> české republiky a jejího nejbližšího pohraničí. Snímky zabírají po zpracování 2,1 terabajtů obrazových dat. Novou mapu nafotila společnost TopGis, přičemž finální část jejího zpracování, kam patří i takzvané pyramidování nebo dlaždicování, provedl tým Mapy.cz.

Nová vrstva, skládající se přesně z 96 374 leteckých snímků, je vedle aktuálnosti i viditelně kvalitnější. Snímky jsou ostřejší a mají vyšší kontrast, viz příloha č. 12, kde je srovnání s předchozí mapovou vrstvou, nová z roku 2016 je vpravo a starší z roku 2012 vlevo. Mapa je i při maximálním přiblížení velmi ostrá, viz příloha č. 13. Jeden rektifikovaný snímek zobrazuje necelý kilometr čtvereční zemské plochy, proto již není, ani u okrajů snímku, zkrácení budov (pohled z šikmého úhlu) příliš viditelný, viz příloha č. 14, na které je zachyceno okrajové území snímků a při pohledu na budovy již není vidět tolik jejich stěn, jako při předchozích mapování.

Tvorba letecké mapy není úplně nejrychlejší a nejjednodušší proces. Nejprve se musel připravit plán letu. Určilo se, jak vysoko letadla poletí, jak daleko od sebe budou letové řady, s jakou hustotou se pořídí snímky a území se rozdělí na bloky. Poté se muselo počkat na příhodné počasí, což může občas trvat i několik týdnů. Letecké snímkování totiž vyžaduje nebe bez mraků. Jakmile letadla vyletěla, křížovala vždy nad konkrétním blokem a v pravidelných rozestupech pořizovala snímky. Přičemž pro každý snímek zaznamenávají polohu a naklonění kamery, ze které je následně vypočítána poloha snímku na Zemi. Po nafocení se provedlo zpřesnění naměřené polohy pomocí diferenční GPS a také aerotriangulace, neboli další zpřesnění polohy snímků prostřednictvím vlíčovacích a spojovacích bodů. V prvním případě se jedná o body na zemi se známou polohou, v tom druhém o shodné body na překrývajících se snímcích.

Následovala ortorektifikace, tedy odstranění chyby v poloze transformací fotky ze středového promítání do kolmého. Jednoduše řečeno, pokud vysoký kopec vyfotíme ze šikma, tak se jeho vrchol na fotce nachází jinde, než by měl být. Proto se pomocí digitálního modelu terénu celá fotka narovná tak, aby byla poloha přesná nehledě na nadmořskou výšku. Poté již bylo k dispozici spousta vzájemně se překrývajících fotek s přesnou polohou, avšak protože byla každá pořízena v jinou

chvíli, jsou mezi nimi barevné rozdíly. Následuje tedy mozaikování. Fotky jsou nařezány v místech, kde je řez nejméně znát, a upraví se barevně tak, aby byly spoje co nejméně patrné. Načež přichází sešití, neboli spojení snímků do jedné velké plochy, která je pak pro snadnější manipulaci opět nařezána na menší pláty. V tento okamžik přecházely snímky do rukou specialistů Mapy.cz pro další zpracování.

Protože k zobrazení celého světa na Mapy.cz je použit jiný souřadný systém než při leteckém snímkování, muselo být snímkování na území ČR transformováno z Křovákova do Mercatorova zobrazení. A aby lidé nestahovali zbytečně velká data, bylo provedeno takzvané pyramidování. Nejde o nic jiného než snížení rozlišení obrazu, které se zobrazí při oddálení mapy. A konečně, aby lidé nestahovali data z nechtěných oblastí, bylo nařezáno ortofoto na malé dlaždice.

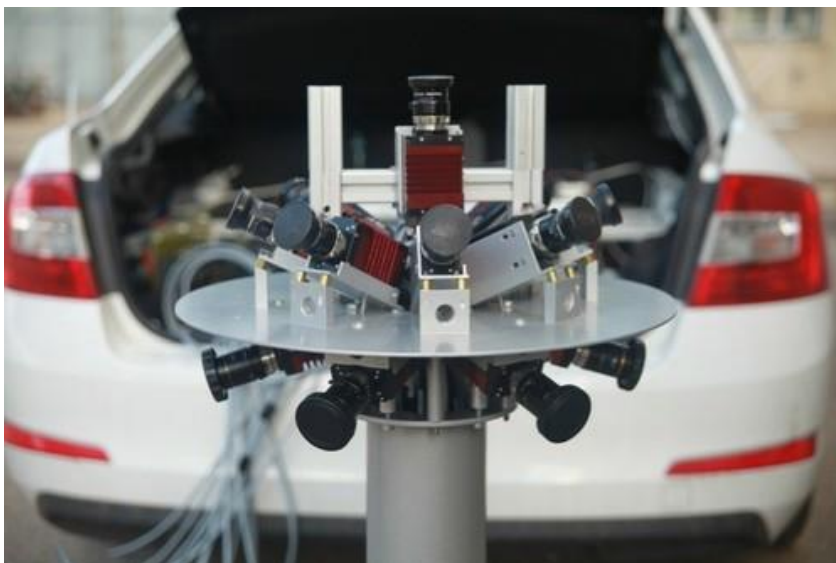
### Panoramatické snímky

Na Mapy.cz lze zobrazit i panoramatické snímky. V současné době pokrývají téměř 81 % všech zpevněných komunikací v České Republice, to znamená, že pokrývají více než 101 tisíc kilometrů všech zpevněných komunikací České republiky z celkových asi 126 tisíc. Kromě měst a cest zveřejňují Mapy.cz i panoramu běžně neprůjezdných areálů, virtuální prohlídky focené ze stativu, ale i dříve nafocené snímky.

10. února 2016 byly vydány nejnovější panoramatické snímky, které byly zachyceny nejnovějšími kamerami s větším dynamickým rozsahem, mezi ně patří některé části Prahy a Plzně, města Pardubického kraje, Vysočina a kraje Olomoucký, Královéhradecký, Liberecký a Ústecký včetně jejich krajských měst. Doplňují je i snímky z částí Vysočiny, Plzeňského, Karlovarského, Královéhradeckého a Jihočeského kraje, pro které byly ještě použity předchozí typy kamer Ladybug 3. Dohromady je v této vlně přes 4,2 milionu snímků zachycených ve 21 tisících kilometrech obrazového záznamu. Pokud k těmto číslům přičteme i více než 55 tisíc snímků areálů, jakými jsou parky, zoo nebo nemocnice, a přes 1 500 snímků virtuálních prohlídek ze stativu, dostaneme se na opravdu velká kvanta dat, ve kterých se kromě technického zpracování muselo také anonymizovat téměř 436 tisíc obličejů a registračních značek aut, což se provádí pomocí software společnosti Eyedea Recognition. Při tomto procesu se ovšem ztratí i některá chtěná data. Například některé značky a cedule jsou také rozmazány, jelikož je software nerozezná od registračních značek.

V současné době je každý automobil pro snímkování vybaven 15 kamerami Prosicilica GT od společnosti AVT, což v praxi znamená finální rozlišení fotografií 72 Mpix. Kamery zachytí každou sekundou až 3,5 Gbyte dat, snímků ve formátu RAW, které jsou následně kvůli snížení datového objemu převedeny do JPG. Automobily mají tzv. autonomní navigační jednotku. Ta pomocí dvou antén s technologií GPS/GLONASS zaznamenává přesnou polohu. Ta je upřesněna ještě pomocí IMU (inerciální jednotka měřící náklony a zrychlení automobilu ve všech

osách) a odometru (zařízení přimontované na kolo auta měřící vzdálenost, kterou ujelo). Za pomoci těchto dat je možné spočítat polohu auta i v případě slabého či žádného GPS signálu.



Obrázek č. 6 - Seskupení 15 kamer

[Zdroj: <http://1.im.cz/seznam/blog/articles/MapyPanorama5.jpg>]

I přes spuštění panoramatických prohlídek pro téměř celou republiku zůstává Panorama v hledáčku týmu Mapy.cz. Auta budou určitě jezdit i letos. V plánu mají dofocení chybějících oblastí, kam patří části Karlovarského kraje a okresu Nymburk, a zpracování již nafocených dat Vysočiny a dalších asi 40 měst, většinou ze Středočeského kraje. Následně se pustí do aktualizace největších měst a lokalit, které mají snímky z roku 2013. Současně s focením panoramy autem budou rozšiřovat svůj záběr o turisticky zajímavé lokality a trasy, které snímají pomocí stativu nebo krosny.

Na jednotlivých panoramatických snímcích je zaznamenán den, kdy byl pořízen. V zájmovém území byly snímky pořízeny 23. března 2015, viz příloha č. 15. V další příloze (č. 16) můžeme vidět okolí sledovaného území. Vidíme, že panoramatické snímky byly pořízeny téměř ve všech okolních ulicích. Vynechán je zde areál nemocnice, přestože se v těchto mapách takovéto areály vyskytují, tak Českobudějovická nemocnice mezi ně nepatří.

V panoramatickém zobrazení si je možno prohlédnout i některé interiéry budov. Snímky byly pořízeny kamerou na stativu a v Jihočeském Kraji si můžeme prohlédnout Českobudějovické muzeum Koněšpřežky (viz příloha č. 17), nebo Hornické muzeum Rudolfov. V České Republice je pak několik desítek takto zobrazených známých míst.

## Ptačí pohled

Ptačí pohled umožňuje pohled na krajinu, jak už název napovídá, z "ptačího pohledu". Jedná se o digitální fotografie zemského povrchu pořízené z letadla. Na rozdíl od klasického (kolmého) leteckého snímku, který se pořizuje kamerou natočenou kolmo k zemi, je v případě ptačího pohledu kamera natočená šikmo pod úhlem 45°. Proto se také mluví o šikmých snímcích.

Díky naklonění kamer nejsou na snímcích zobrazeny pouze střechy domů. Naopak umožňují pohled na fasády domů a přináší tak unikátní spojení rozhledu po široké oblasti a zároveň pohledu bližšího lidskému vnímání, které přináší ještě lepší orientaci v krajině. Šikmé snímky jsou pořizovány ve čtyřech směrech odpovídajících světovým stranám, na každý objekt se můžeme podívat ze všech čtyř stran, viz příloha č. 18, kde máme zájmové území zobrazeno ze severního a východního ptačího pohledu a v příloze č. 19 je zobrazeno z jižního a západního pohledu. Při prozkoumávání různých míst ptačím pohledem, můžeme nalézt i některé starší snímky, viz příloha č. 20, kde je zobrazeno opět zájmové území a při určitém posunu pohledu se zobrazuje horní viditelně starší snímek, jindy zas nový, který je zobrazen dole. Mezi snímky je několika měsíční až roční rozestup. Starší snímek lze také rozeznat podle své barvy, je viditelně tmavší, což značí, že byl pořízen jinou fotografickou komorou.

Šikmé snímky pořídila společnost GEODIS a v současné době je šikmými snímky pokryto přes 220 největších obcí v České Republice (přibližně 80 % všech obcí nad 6 000 obyvatel).

## 3D pohled

Na 3D pohled/mapy je možno se podívat ve větších, nebo turisticky zajímavých městech, v současnosti je jich 21, ale připravují se podklady i pro další města. V Jihočeském Kraji lze kompletně zobrazit České Budějovice, Český Krumlov a Hlubokou nad Vltavou. 3D modely jdou zobrazit ze všech stran, lze přizpůsobit výška pohledu, i náklon pohledu (budovy lze zobrazit v jakémkoliv úhlu). Trojrozměrné zobrazení umožňuje lepší představu o terénu a přináší lepší obrázek o daném místě. V příloze č. 21 je vidět 3D model zájmového území. Ze snímku je patrné, že některé hrany budov jsou pokroucené, ale na tomto území nejde o velké chyby. V některých částech se stává, že budovy jsou tak zdeformované, že je nelze ani identifikovat, v 3D modelu se tedy vyskytují nějaké ty chyby, ale většinou funguje celkem slušně.

Na vytvoření trojrozměrných map se podílela společnost Citationtech, která vytváří softwarový systém Melown Maps<sup>TM</sup>, který 3D modely leteckých snímků zpracovává a zobrazuje. Na 3D mapách se podílela i Vysoká škola báňská, díky jejímuž „superpočítači“ se mohl urychlit výpočet 3D modelu, který trval pouhý jeden rok, bez něj by výpočet trval i několik let. Použité letecké snímky pochází opět od firmy GEODIS, při prohlížení 3D modelu je ovšem znát, že snímky byly pořízeny již

před několika lety a tudíž není 3D model úplně aktuální. Stáří leteckých snímků lze odhadnout podle nových zástaveb a snímky pořízené pro 3D model Českých Budějovic pochází z roku 2012, nebo i starší.

### 6.3 Google Maps

Na Google Maps je k dispozici pouze jedna letecká mapová vrstva, která je průběžně aktualizována, žádné archivní snímky zde k zobrazení nejsou. Stejně jako u Mapy.cz jde o kombinaci družicových snímků při malém přiblížení a při velkém přiblížení se zobrazují letecké kolmé snímky. Družicové snímky nejsou pořizovány jen z jednoho zdroje, je využíváno několik družic a nejvýznamnější jsou Landsat 7, Spot 6 a Spot 7. Družicové snímky jsou neustále průběžně aktualizovány.

Při bližším pohledu se zobrazují klasické letecké snímky. Pro každý stát jsou tyto snímky vyhotoveny odděleně, vždy jde o dílo jiné společnosti. Kvalita a rozlišení jednotlivých snímků se může proto lišit, na určitých územích jsou kvalitní, jinde méně.

Pro Českou Republiku vyhotovila snímky brněnská firma GEODIS. Letecké snímky nejsou vždy vyhotoveny pro celou Českou Republiku, ale vždy jen pro část. Proto jsou na některých územích starší a někde novější snímky. Nejnovější snímkování proběhlo v roce 2015, například v Praze. Pro zájmové území jsou dostupné snímky z roku 2010, což ovšem neplatí pro celé České Budějovice. V některých částech Budějovic jsou snímky novější a to z roku 2013. Rozdíl mezi několika lety starými snímky a těmi novějšími je velmi zřetelný, viz příloha č. 22, kde je vlevo zobrazen snímek zájmového území z roku 2010 v porovnání s pravým snímkem, který byl pořízen v roce 2015 v Praze.

Mapu lze přiblížit na poloviční měřítko než u Mapy.cz, obraz je pak ale velmi rozmazán a to hlavně u starších map, kdy je - dalo by se říci - nepoužitelný. Viz příloha č. 23. Na těchto starších snímcích jsou budovy opět u okrajů snímků vidět ze šikmých úhlů (jsou vidět jejich stěny), ale jelikož se mapa skládá z několika různých snímků z různé doby, nejde přibližná velikost snímků z mapy vyčíst.

Při porovnání Google Maps a Mapy.cz vychází jako lepší volba české stránky. Snímky Google Maps nedosahují takové kvality, ani takového rozlišení jako snímky na Mapy.cz. V příloze č. 24 vidíme srovnání zájmového území, vlevo mapy Google a vpravo Mapy.cz. Při tomto porovnání hraje největší roli jiný čas pořízení snímků, snímek z Google Maps je přibližně o pět let starší, proto nedosahuje takové kvality. Pro lepší porovnání slouží příloha č. 25, kde vidíme vlevo snímek z mapy Google z roku 2015 (jde o nejnovější zde dostupné letecké snímky) a vpravo aktuální snímek z Mapy.cz. I při tomto porovnání má snímek z Mapy.cz o něco lepší rozlišení, ale největší rozdíl najdeme v zobrazení budov. U Google Maps vidíme budovy z velkého úhlu, budovy jsou sice umístěny u okraje snímku, ale i přes to je to velký nedostatek, oproti zobrazení snímku u Mapy.cz kde se s tímto jevem u nových map velmi dobře vypořádali a tento efekt již není tak znatelný.

Google Maps ovšem v kvalitě snímků omlouvá fakt, že se nezaměřují jen na jedno území, ale zobrazují doslova celý svět. V určitých částech světa budou letecké snímky kvalitnější, jinde zase méně kvalitní. Vše záleží na tom, která společnost snímky pořizuje a také jak precizně jsou následně zpracovávány.

Na Google Maps jsou ovšem velmi kvalitní družicové snímky. Jelikož jsou používána data z několika různých družic, tak se na snímcích neobjevuje například oblačnost a snímky mají realistickou barvu, viz příloha č. 26.

### 3D pohled

3D mapy lze zobrazit ve všech větších městech. Na území se můžeme podívat ze všech stran i úhlů a z jakékoliv výšky. Na 3D model se můžeme koukat ve dvou režimech, 2D a 3D. V režimu 2D koukáme stejně jako u klasického leteckého snímku shora. Budovy jsou ovšem vymodelovány ve 3D, takže místa uprostřed zobrazované plochy vidíme přesně kolmo, ale čím více jsou budovy od středu, tak začíná vynikat 3D efekt, viz příloha č. 27. V porovnání s klasickým leteckým kolmým snímkem, je toto zobrazení výrazně tmavší, avšak budovy jsou zobrazeny více kolmo, obraz vypadá více realisticky. V režimu 3D již vidíme zobrazované území v šikmém úhlu. 3D modely budov vypadají méně realisticky než na Mapy.cz, jsou více umělé, ale zato jsou jejich hrany více ostré, není zde tolik deformací.

Ve 3D zobrazení jsou i okolní terény (například kopce za městem). V modelu můžeme koukat i ve vodorovné poloze, čímž můžeme přibližně nasimulovat výhled z nějaké budovy, viz příloha č. 29, kde je zobrazen přibližný pohled z Černé věže v Českých Budějovicích, konkrétně na jih.

### Street View

Street View jsou 360° snímky pořízené většinou z komunikací, stejně jako panorama u Mapy.cz. Můžeme si prohlédnout okolí téměř všech zpevněných komunikací a další zajímavé lokality. U snímku je vždy uvedeno, kdy byl pořízen, viz příloha č. 30, kde je zobrazeno zájmové území. Ze snímku je patrné, že byl pořízen v červnu roku 2014, jde tedy o něco starší snímek než u panoramy, ale ve stejné kvalitě. V příloze č. 31 je vidět (modře zvýrazněno) pro které komunikace je Street View dostupný, síť je o něco hustší než u konkurenční panoramy.

Některá zajímavá, autem nedostupná místa jsou focená ze stativu. Takto můžeme nahlédnout i do tisíců interiérů budov, jako je například Hvězdárna a planetárium v Českých Budějovicích, kde byly snímky pořízeny v lednu 2016, viz příloha č. 32. Jen v Českých Budějovicích lze takto navštívit několik desítek míst, tedy více než umožňují Mapy.cz.

Česká Republika je touto funkcí téměř celá pokryta, na rozdíl například od Německa, kde se tato funkce nesešla s dobrým ohlasem a je zde pokryto jen dvacet měst, viz příloha č. 33, kde vidíme pokrytí v Evropě.

## 6.4 Bing Maps

Ze začátku je vhodné zhodnotit tyto mapy jako celek. Pro české uživatele je určitě nevýhoda, že zde není podpora českého jazyka a u některých českých měst není ani jejich český název. Dále jsou Bing Maps velmi složité na ovládání, s porovnáním s Mapy.cz a Google Maps, které jsou velmi intuitivní. Není zde ani například grafické měřítko, a proto nelze z mapy určovat ani přibližné vzdálenosti.

Stejně jako u předchozích map, tak i Bing Maps je kombinací družicových a leteckých snímků. Družicové snímky pochází z několika různých družic. Jsou celkem kvalitní a v dobrém rozlišení. Snímaný povrch má na družicových snímcích reálné barvy, ale na hodně místech je zachycena oblačnost, přes kterou není zemský povrch vidět.

Letecké snímky jsou dostupné jen pro některé oblasti. V České Republice jsou roztroušeny po celém území. Kde nejsou letecké snímky dostupné, tak se zobrazují družicové snímky. Například pro České Budějovice jsou dostupné pouze snímky družicové, viz příloha č. 34. Když už jsou k dispozici letecké snímky, tak jsou snímky na horší úrovni rozlišení než u jiných výš popsaných poskytovatelů, viz příloha č. 35. Každý letecký snímek pochází z jiné doby a je pořízen jinou fotogrammetrickou komorou, proto má odlišnou barvu. Na většině leteckých snímků je zachycena i oblačnost, tudíž v některých místech není zemský povrch vůbec vidět. Ve státech západní Evropy a v Severní Americe jsou již letecké snímky na lepší úrovni. Jejich kvalita se liší podle toho, která společnost je pořídila a kdy byly pořízeny.

### Bird's eye

Jde o zobrazení, kdy je zemská plocha zobrazena z "ptačího pohledu". Jedná se o digitální fotografie, které jsou pořízené z letadla a to pod úhlem 45°. Na krajinu se můžeme podívat ze všech čtyř světových stran. Tyto snímky nejsou pro Českou republiku dostupné. Jsou vytvořeny pro Severní Ameriku, Austrálii, Japonsko a pro státy ze západní Evropy.

### Streetside

Jde o 360° snímky, které jsou pořízené většinou z komunikací, stejně jako Street View u Google Maps a panorama u Mapy.cz. Tato služba má ale velmi malé pokrytí, tyto snímky jsou dostupné jen pro některá města ve Velké Británii, Francii, Španělsku a nejvíce snímků pochází z USA. Jejich kvalita je v porovnání s konkurencí o něco nižší.



## 7. Výsledky práce

Jednotlivé internetové mapové aplikace od rozdílných společností vždy zobrazují letecké snímky s různou kvalitou. Při zaměření na Českou Republiku (a Slovensko) jsou nejvhodnější letecké snímky z Mapy.cz. Jelikož se zaměřují na takto malé území, mohou si dovolit rozsáhlé úpravy pořízených snímků, které mají následně vysokou kvalitu. Při globálním pohledu jsou vhodnější Google Maps, ve kterých jsou k dispozici letecké snímky celého světa. V různých částech světa se letecké snímky odlišují hlavně svojí kvalitou. Při porovnání se snímky z Mapy.cz, je vidět, že u těchto snímků není prováděno tolik jejich dodatečných úprav. Je to pochopitelné, jelikož zde pracují s mnohonásobně více snímky a jejich rozsáhlé úpravy by byly časově a finančně velmi nákladné. Bing Maps jsem se věnoval jen okrajově, jelikož jsou zde letecké snímky dostupné jen v některých oblastech. Porovnat s Mapy.cz téměř nejdu, protože právě pro Českou a Slovenskou Republiku nejsou na mnoha územích letecké snímky k dispozici a pokud ano, tak ve velmi špatné kvalitě. Bing Maps se více zaměřuje na Severní Ameriku a státy západní Evropy, kde jsou dostupné kvalitnější letecké snímky, ale v porovnání s Google Maps pořád zaostávají. Ani zde snímky nedosahují takové kvality, jako u konkurence.

Například Martin Vyleťal také zastává názor, že Mapy.cz jsou oproti Google Maps propracovanější. I v nezapadlejších vískách na nich lze najít například autobusovou zastávku. Většina objektů je opatřena popisným číslem, které byste na Google Maps hledali marně. Mapy.cz mají na rozdíl od Googlu vlastní kartografickou redakci, kterou získaly akvizicí digitální divize společnosti Planstudio. Ta se stará o aktualizace map a ověřuje tipy od uživatelů. Google jde naproti tomu cestou crowdsourcingu, což znamená, že může každý uživatel mapy vhodně doplňovat.

## 8. Závěr

Cílem této práce bylo porovnat letecké snímky z období mezi lety 2002 a 2016, které jsou volně k dispozici na internetu. Zhodnoceny jsou zde snímky od tří internetových poskytovatelů mapových aplikací a to Mapy.cz, Google Maps a Bing Maps. Snímky jsou porovnány podle několika hledisek, jako je kvalita rozlišení, čas pořízení, metoda pořízení a podobně. Nejvíce jsem se zaměřil na české Mapy.cz, kde je pro Českou Republiku a Slovensko nejvíce dostupných snímků. Vedle nejnovějších snímků jsou zde i snímky archivní, které dobře posloužily k samotnému porovnávání. Tyto snímky jsou následně porovnávány se snímky konkurenčních Google Maps a Bing Maps. Nejde pouze jen o snímky letecké, ale i družicové a pozemní, např. snímky pořízené z komunikací (Panorama, Street View) nebo i z interiérů některých budov. Porovnání proběhlo na mnoha příkladech. Cíl práce byl splněn.

Letecké snímky se neustále musejí pořizovat nové, aby byly aktuální. Snímkování trvá dlouhou dobu. Například pořídit snímky pro celou Českou Republiku trvá dva roky, proto by měly být nové snímky dostupné vždy v dvouletém intervalu. Jelikož od roku 2016 jsou k dispozici nejnovější snímky, můžeme předpokládat, že nové budou připraveny v roce 2018.

## 9. Seznam použité literatury, zdroje

- [1] BÖHM, J. *Fotogrammetrie*. 1. vyd., Ostrava, Vysoká škola báňská - technická univerzita Ostrava, 2002, 16 s.
- [2] ČAPEK, R. *Dálkový průzkum a fotointerpretace z hlediska geografa I*. 1. vyd., Praha, Univerzita Karlova v Praze, 1978, 164 s.
- [3] ČAPEK, R. *Dálkový průzkum a fotointerpretace z hlediska geografa II*. 1. vyd., Praha, Univerzita Karlova v Praze, 1978, 124 s.
- [4] DOBROVOLNÝ, P. *Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu*. 1. vyd., Brno, Masarykova univerzita, 1998, 208 s. ISBN 80-210-1812-7.
- [5] FIALA, R., JEDLIČKA, K. *Dálkový průzkum Země*. 1. vyd., Ústí nad Labem, Centrum pro virtuální realitu a modelování krajiny, 2010, 18 s.
- [6] GÁL, P. *Fotogrametria*. 2. vyd., Bratislava, Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1965, 598 s.
- [7] GOJDA, M., BREJCHA, R., BROŽ, M., ČULÍKOVÁ, L., CHYBÍKOVÁ, K., KREJČOVÁ, K., MALINA, O., STARKOVÁ, L., ŠMEJDA, L. *Studie k dálkovému průzkumu v archeologii*. 1. vyd., Plzeň, Západočeská univerzita v Plzni, 2010, 119 s. ISBN 978-80-7043-922-7.
- [8] HALOUNOVÁ, L., PAVELKA, K. *Dálkový průzkum Země*. 1. vyd., Praha, ČVUT, 2005, 192 s. ISBN 80-01-03124-1.
- [9] ILIFFE, J., LOTT, R. *Datums and map projections for remote sensing, GIS and surveying*. 2. vyd., Dunbeath, Whittles Publishing, 2008, 208 s. ISBN 978-1-904445-96-8.
- [10] KOLÁŘ, J. *Dálkový průzkum Země*. 1. vyd., Praha, SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990, 176s. ISBN 80-03-00517-5.
- [11] LINDER, W. *Digital photogrammetry: a practical course*. 3. vyd., Berlin, Springer, 2009, 220 s. ISBN 978-3-540-92725-9.
- [12] MARŠÍK, Z. *Dějiny zeměměřičtví*. 1. vyd., Brno, CERM - VUT, 1998, 109 s. ISBN 80-214-0972-X.
- [13] MARŠÍKOVÁ, M., MARŠÍK, Z. *Dějiny zeměměřičtví a pozemkových úprav v Čechách a na Moravě v kontextu světového vývoje*. 1. vyd., Praha, Libri, 2007, 182 s. ISBN 978-80-7277-318-3.
- [14] PAVELKA, K. *Fotogrammetrie 1*. 1. vyd., Praha, ČVUT, 2009, 200 s. ISBN 978-80-01-04249-6.

- [15] PAVELKA, K. *Fotogrammetrie 2*. 1. vyd., Praha, ČVUT, 2011, 163 s. ISBN 978-80-01-04719-4.
- [16] PAVELKA, K., HODAČ, J. *Fotogrammetrie 3: digitální metody a laserové skenování*. 1. vyd., Praha, ČVUT, 2008, 190 s. ISBN 978-80-01-03978-6.
- [17] SVATOŇOVÁ, H., LAUERMANN, L. *Dálkový průzkum Země - aktuální zdroj geografických informací*. 1. vyd., Brno, Masarykova univerzita, 2010, 96 s. ISBN 978-80-210-5162-1.
- [18] ŠMIDRKAL, J. *Fotogrammetrie a DPZ I*. 2. vyd., Praha, ČVUT, 1991, 225 s. ISBN 80-01-00653-0.
- [19] ŠMIDRKAL, J. *Fotogrammetrie a DPZ II*. 2. vyd., Praha, ČVUT, 1992, 228 s. ISBN 80-01-00836-3.
- [20] UREN, J., Price, W.F. *Surveying for engineers*. 5. vyd., Basingstoke, Palgrave Macmillan, 2010, 816 s. ISBN 0230221572.
- [21] VOSELMAN, G., MAAS, H.G. *Airborne and terrestrial laser scanning*. 1. vyd., Dunbeath, Whittles Publishing, 2010, 318 s. ISBN 978-1-904445-87-6.
- [22] ZEMEK, F., BROM, J., CIBULKA, M., FABIÁNEK, T., FROUZ, J., HANUŠ, J., HANZL, V., HESSLEROVÁ, P., HLAVINKA, P., HOMOLOVÁ, L., JANOUTOVÁ, R., JIRKA, V., KŘEN, J., LECHNER, P., LUKAS, V., MACHALA, M., MALENOVSKÝ, Z., MARŠÁLEK, B., MARŠÁLKOVÁ, E., MIKITA, T., NEDBAL, V., NOVOTNÝ, J., PAVLÍKOVÁ, M., PIKL, M., PIVOVARNÍK, M., POKORNÝ, J., PROCHÁZKA, J., MORENO, F.R., SEMERÁDOVÁ, D., VINCÍKOVÁ, H., VINDUŠKOVÁ, O., ŽALUD, Z. *Letecký dálkový průzkum Země: teorie a příklady hodnocení terestrických ekosystémů*. 1. vyd., Brno, Centrum výzkumu globální změny AV ČR, 2014, 155 s. ISBN 978-80-87902-07-3.

## Internetové zdroje

- [23] Náповěda Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://napoveda.seznam.cz/cz/mapy/caste-dotazy/caste-dotazy-k-mapam/>
- [24] Seznam Blog [online], [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://seznam.seznamblog.cz/tagged/Mapy>
- [25] Náповěda Google Maps [online], [cit. 2016-04-01]. Dostupné z: <https://support.google.com/maps?hl=cs#topic=3092425>

- [26] Náповěda Bing Maps [online], [cit. 2016-04-05]. Dostupné z:  
<http://onlinehelp.microsoft.com/en-us/bing/ff808582.aspx>
- [27] Lupa [online], [cit. 2016-04-12]. Dostupné z:  
<http://www.lupa.cz/clanky/souboj-mapovych-titanu-vyrovnaji-se-nove-mapy-cz-mapam-googlu/>

## 10. Seznam obrázků

Obrázek č. 1 - Princip fungování DPZ .....	19
Obrázek č. 2 - Elektromagnetická vlna .....	20
Obrázek č. 3 - Souhrn radiometrických veličin .....	22
Obrázek č. 4 - Schéma radiometru .....	37
Obrázek č. 5 - Operační systém SLAR .....	39
Obrázek č. 6 - Seskupení 15 kamer .....	52

## 11. Seznam příloh

- Příloha č. 1 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-29]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka?x=15.1282829&y=49.7674462&z=8&l=0>
- Příloha č. 2 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-29]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka?x=-0.0999695&y=51.5098489&z=12&l=0>
- Příloha č. 3 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-29]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka?x=14.4680364&y=48.9622628&z=20&l=0>
- Příloha č. 4 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-29]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka?x=17.1089957&y=48.1418980&z=19&l=0>
- Příloha č. 5 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-29]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka?x=14.4102697&y=48.6835567&z=10&l=0>
- Příloha č. 6 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-30]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka-2003?x=14.4677145&y=48.9621325&z=18&l=0>
- Příloha č. 7 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-29]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka-2003?x=14.4676153&y=48.9523331&z=18&l=0>

- Příloha č. 8 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-29]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka-2003?x=14.4671298&y=48.9617204&z=18&l=0> /  
<https://mapy.cz/letecka-2006?x=14.4671298&y=48.9617204&z=18&l=0>
- Příloha č. 9 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-30]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka-2006?x=14.4672344&y=48.9616358&z=19&l=0>
- Příloha č. 10 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-30]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka-2006?x=14.4672344&y=48.9616358&z=19&l=0> /  
<https://mapy.cz/letecka-2012?x=14.4673068&y=48.9616006&z=19&l=0>
- Příloha č. 11 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-30]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka-2012?x=14.4672921&y=48.9614412&z=20&l=0>
- Příloha č. 12 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-30]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka-2012?x=14.4672921&y=48.9614412&z=20&l=0> /  
<https://mapy.cz/letecka?x=14.4672921&y=48.9614412&z=20&l=0>
- Příloha č. 13 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-31]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka?x=14.4673055&y=48.9614835&z=20&l=0>
- Příloha č. 14 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-31]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka?x=14.4673109&y=48.9597990&z=18&l=0>
- Příloha č. 15 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-30]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka?x=14.4668917&y=48.9614185&z=20&l=2&pano=1&pid=33553002&yaw=1.592&fov=1.257&pitch=-0.025>
- Příloha č. 16 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-30]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka?x=14.4714830&y=48.9615700&z=16&l=0&pano=1>
- Příloha č. 17 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-30]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka?x=14.4718297&y=48.9683266&z=20&l=2&pano=1&pid=39203335&yaw=5.469&fov=1.371&pitch=0.140>
- Příloha č. 18 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-31]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka?x=14.4673440&y=48.9612205&z=17&l=2&or=2&oc=9hH54xSbLQ&source=addr&id=9041540> /  
<https://mapy.cz/letecka?x=14.4630004&y=48.9616012&z=16&l=2&or=1&oc=9hHf6xSbM-&source=addr&id=9041540>
- Příloha č. 19 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-31]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka?x=14.4630004&y=48.9616012&z=16&l=2&or>

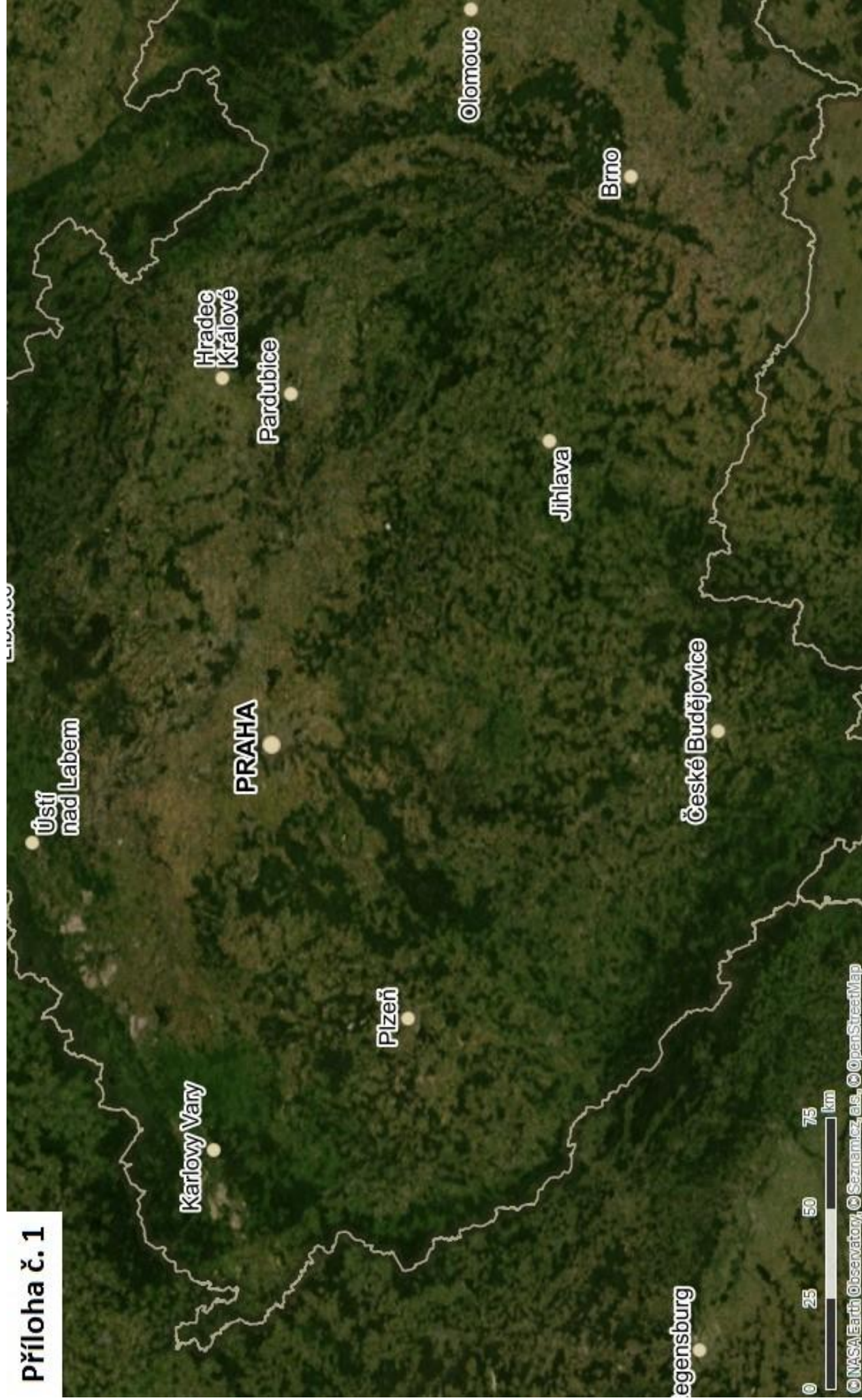
=0&oc=9hHhUxSbMS&source=addr&id=9041540 /  
<https://mapy.cz/letecka?x=14.4630004&y=48.9616012&z=16&l=2&or=3&oc=9hHfXxSbK7&source=addr&id=9041540>

- Příloha č. 20 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-31]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/letecka?x=14.4630004&y=48.9616012&z=16&l=2&or=2&oc=9hHeDxSbMw&source=addr&id=9041540> /  
<https://mapy.cz/letecka?x=14.4630004&y=48.9616012&z=16&l=2&or=2&oc=9hHdRxSbR0&source=addr&id=9041540>
- Příloha č. 21 Mapy.cz [online], [cit. 2016-03-31]. Dostupné z:  
<https://mapy.cz/zakladni?x=14.4672590&y=48.9613505&z=18&l=2&m3d=1&posx=461003.996&posy=5423307.411&posz=180&orientx=-58.614&orienty=-35.579&orientz=0>
- Příloha č. 22 Google Maps [online], [cit. 2016-04-01]. Dostupné z:  
<https://www.google.cz/maps/@48.9616241,14.4678488,127m/data=!3m1!1e3?hl=cs> /  
<https://www.google.cz/maps/place/Dykova,+Praha/@50.0741908,14.4491451,124m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x470b948260f770e9:0xaa6080fc636e2637?hl=cs>
- Příloha č. 23 Google Maps [online], [cit. 2016-04-01]. Dostupné z:  
<https://www.google.cz/maps/@48.9614634,14.4671755,32m/data=!3m1!1e3?hl=cs>
- Příloha č. 24 Google Maps / Mapy.cz [online], [cit. 2016-04-01 / 2016-03-31]. Dostupné z:  
<https://www.google.cz/maps/@48.961537,14.4672828,127m/data=!3m1!1e3?hl=cs> /  
<https://mapy.cz/letecka?x=14.4670457&y=48.9616697&z=19&l=0>
- Příloha č. 25 Google Maps / Mapy.cz [online], [cit. 2016-04-01 / 2016-03-31]. Dostupné z:  
<https://www.google.cz/maps/@50.0760789,14.4157091,124m/data=!3m1!1e3?hl=cs> /  
<https://mapy.cz/letecka?x=14.4150204&y=50.0759143&z=19&l=0&q=Dittrichova%201958%2F1>
- Příloha č. 26 Google Maps [online], [cit. 2016-04-01]. Dostupné z:  
<https://www.google.cz/maps/@50.0510593,17.5955617,509868m/data=!3m1!1e3?hl=cs>
- Příloha č. 27 Google Maps [online], [cit. 2016-04-02]. Dostupné z:  
<https://www.google.cz/maps/@48.9617358,14.4673321,135m/data=!3m1!1e3?hl=cs>
- Příloha č. 28 Google Maps [online], [cit. 2016-04-02]. Dostupné z:  
<https://www.google.cz/maps/@48.9596606,14.4635994,186a,20y,50.86h,59.97t/data=!3m1!1e3?hl=cs>

- Příloha č. 29 Google Maps [online], [cit. 2016-04-01]. Dostupné z:  
<https://www.google.cz/maps/@48.9762163,14.475434,59a,20y,181.32h,83.32t/data=!3m1!1e3?hl=cs>
- Příloha č. 30 Google Maps [online], [cit. 2016-04-01]. Dostupné z:  
<https://www.google.cz/maps/@48.961441,14.4667863,3a,75y,77.95h,93.25t/data=!3m6!1e1!3m4!1sJZRxGTJcP2NqDjiULyK01g!2e0!7i13312!8i6656?hl=cs>
- Příloha č. 31 Google Maps [online], [cit. 2016-04-02]. Dostupné z:  
<https://www.google.cz/maps/@48.9623566,14.467716,1243m/data=!3m1!1e3?hl=cs>
- Příloha č. 32 Google Maps [online], [cit. 2016-04-02]. Dostupné z:  
[https://www.google.cz/maps/@48.9725246,14.4704994,3a,75y,222.99h,78.29t/data=!3m8!1e1!3m6!1sDfmA7beWMLQAAAQvOcTjmg!2e0!3e2!6s%2F%2Fgeo2.ggpht.com%2Fcbk%3Fpanoid%3DDfmA7beWMLQAAAQvOcTjmg%26output%3Dthumbnail%26cb\\_client%3Dmaps\\_sv.tactile.gps%26thumb%3D2%26w%3D203%26h%3D100%26yaw%3D91.778595%26pitch%3D0!7i13312!8i6656?hl=cs](https://www.google.cz/maps/@48.9725246,14.4704994,3a,75y,222.99h,78.29t/data=!3m8!1e1!3m6!1sDfmA7beWMLQAAAQvOcTjmg!2e0!3e2!6s%2F%2Fgeo2.ggpht.com%2Fcbk%3Fpanoid%3DDfmA7beWMLQAAAQvOcTjmg%26output%3Dthumbnail%26cb_client%3Dmaps_sv.tactile.gps%26thumb%3D2%26w%3D203%26h%3D100%26yaw%3D91.778595%26pitch%3D0!7i13312!8i6656?hl=cs)
- Příloha č. 33 Google Maps [online], [cit. 2016-04-03]. Dostupné z:  
<https://www.google.cz/maps/@52.2191798,13.5473459,3358178m/data=!3m1!1e3?hl=cs>
- Příloha č. 34 Bing Maps [online], [cit. 2016-04-05]. Dostupné z:  
<http://www.bing.com/maps/>
- Příloha č. 35 Bing Maps [online], [cit. 2016-04-05]. Dostupné z:  
<http://www.bing.com/maps/>

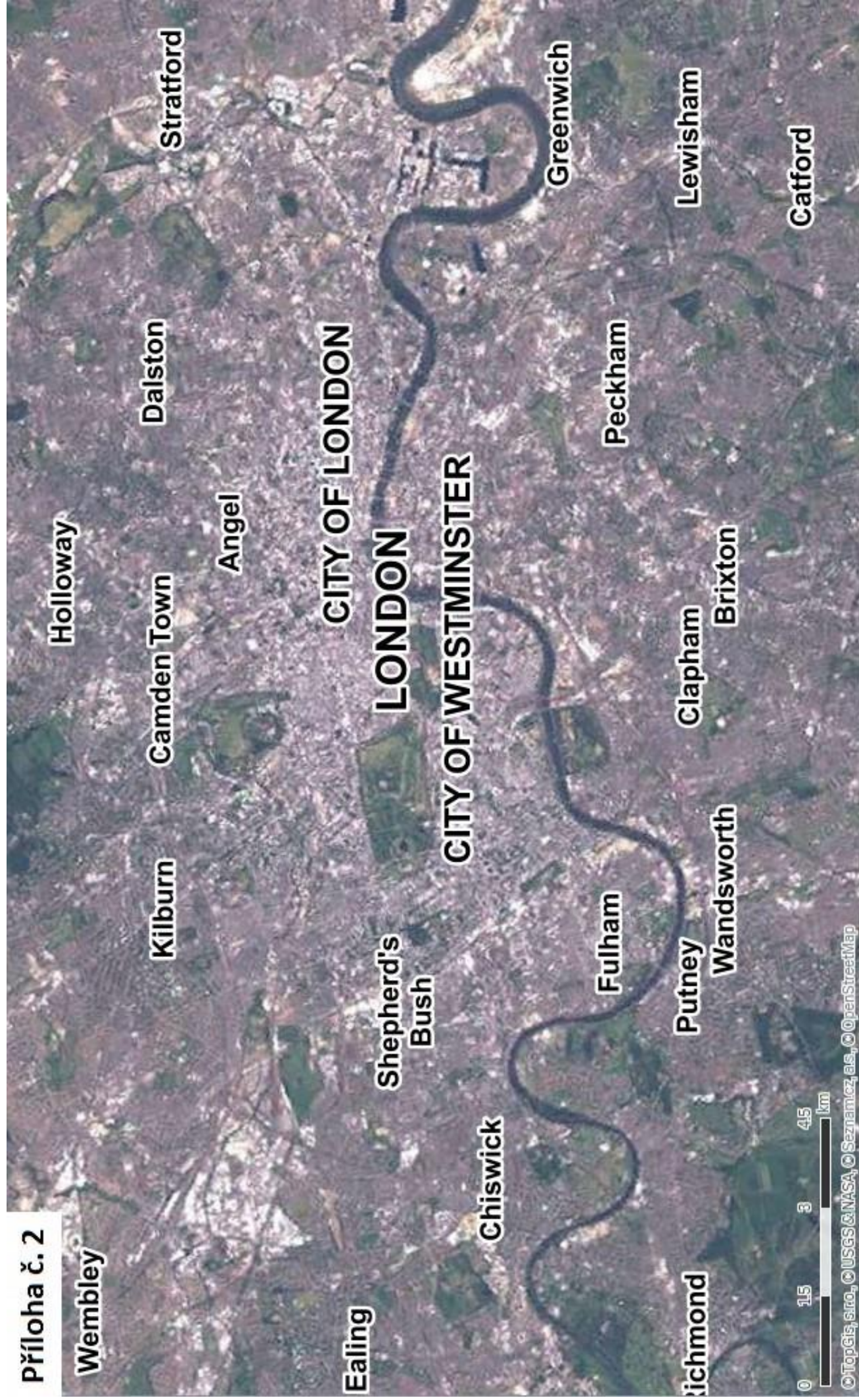


# Příloha č. 1



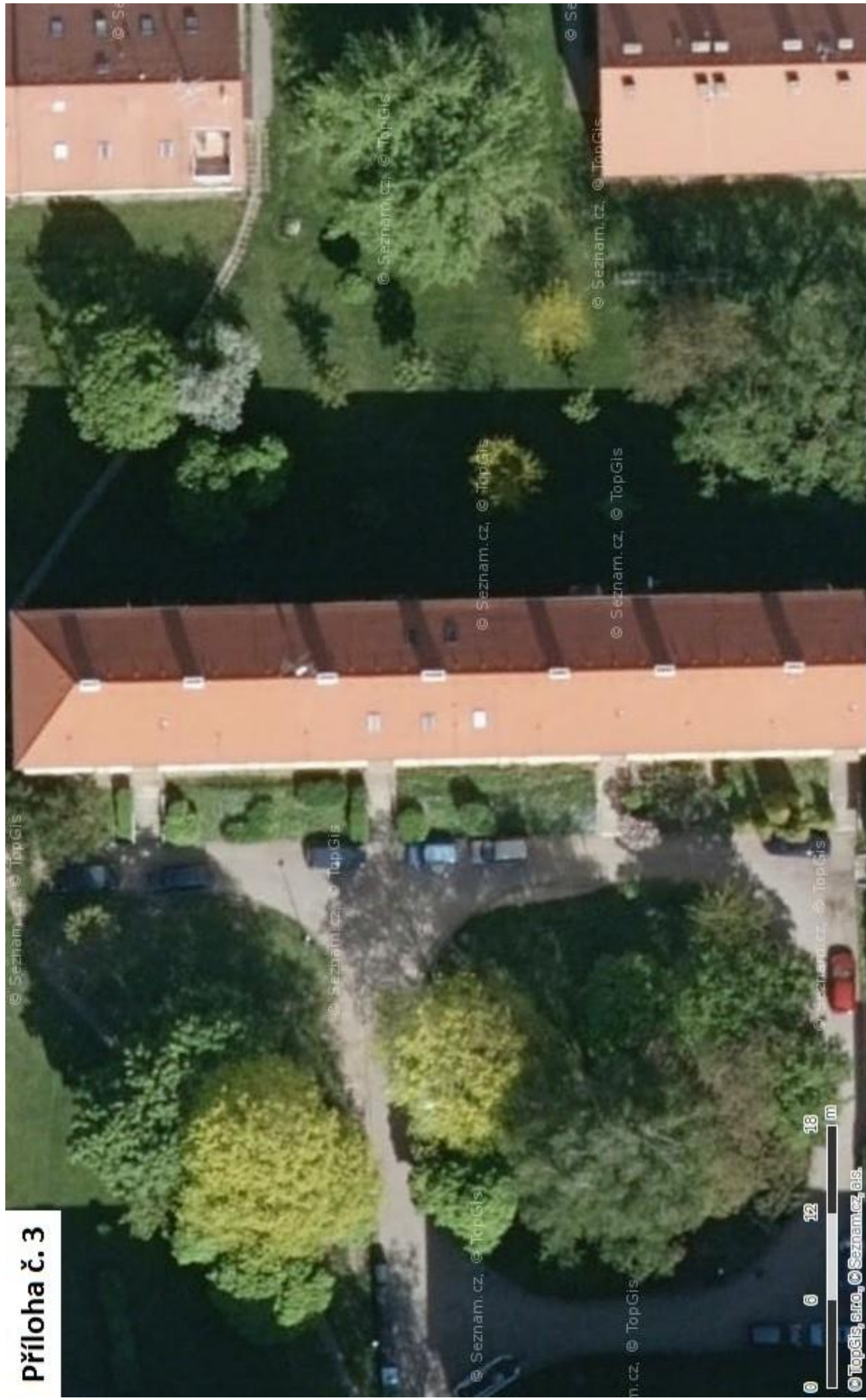


Příloha č. 2



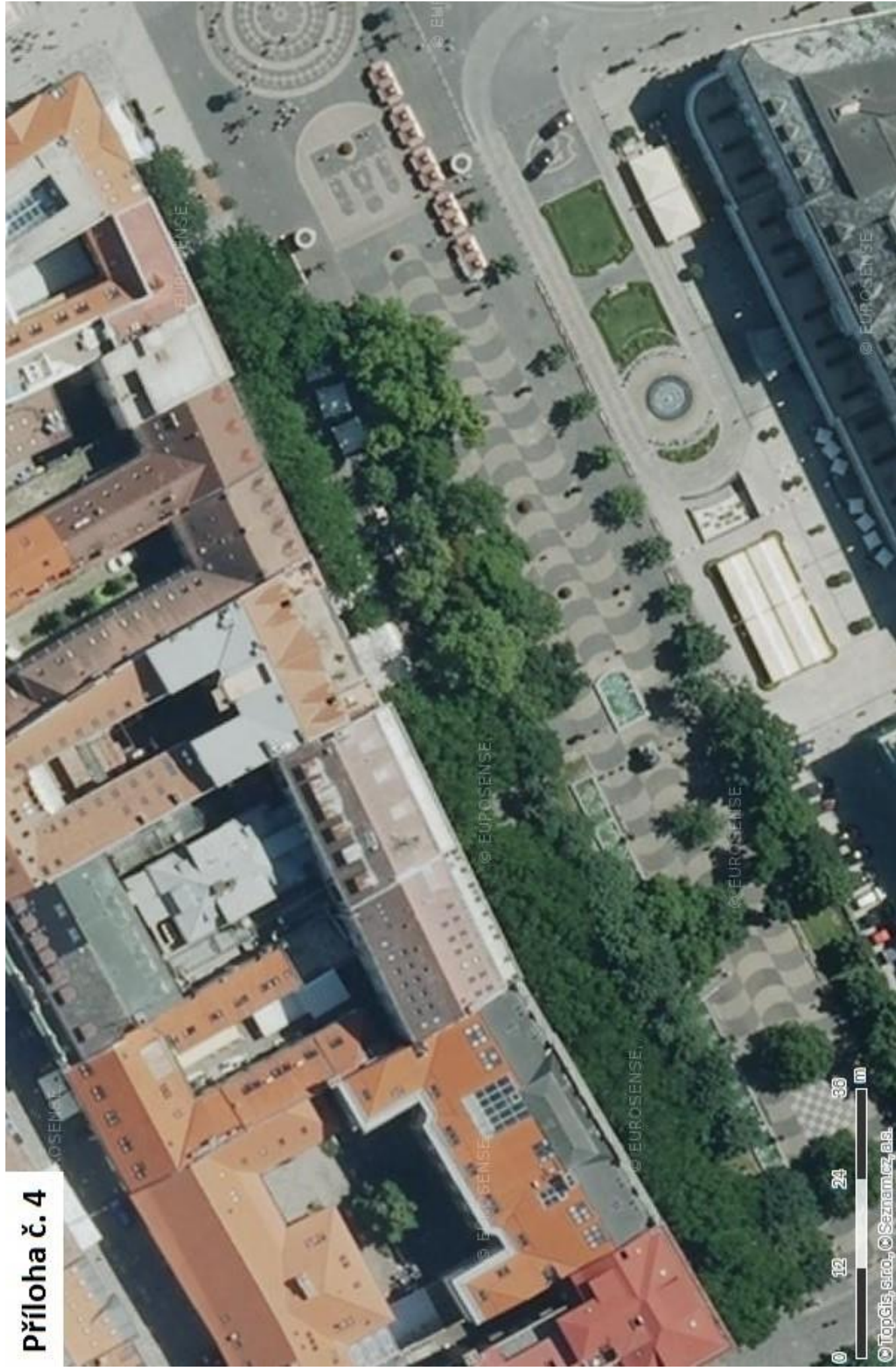


## Příloha č. 3





# Příloha č. 4





# Příloha č. 5





**Příloha č. 6**





Příloha č. 7







2003



2006

Příloha č. 8



**Příloha č. 9**

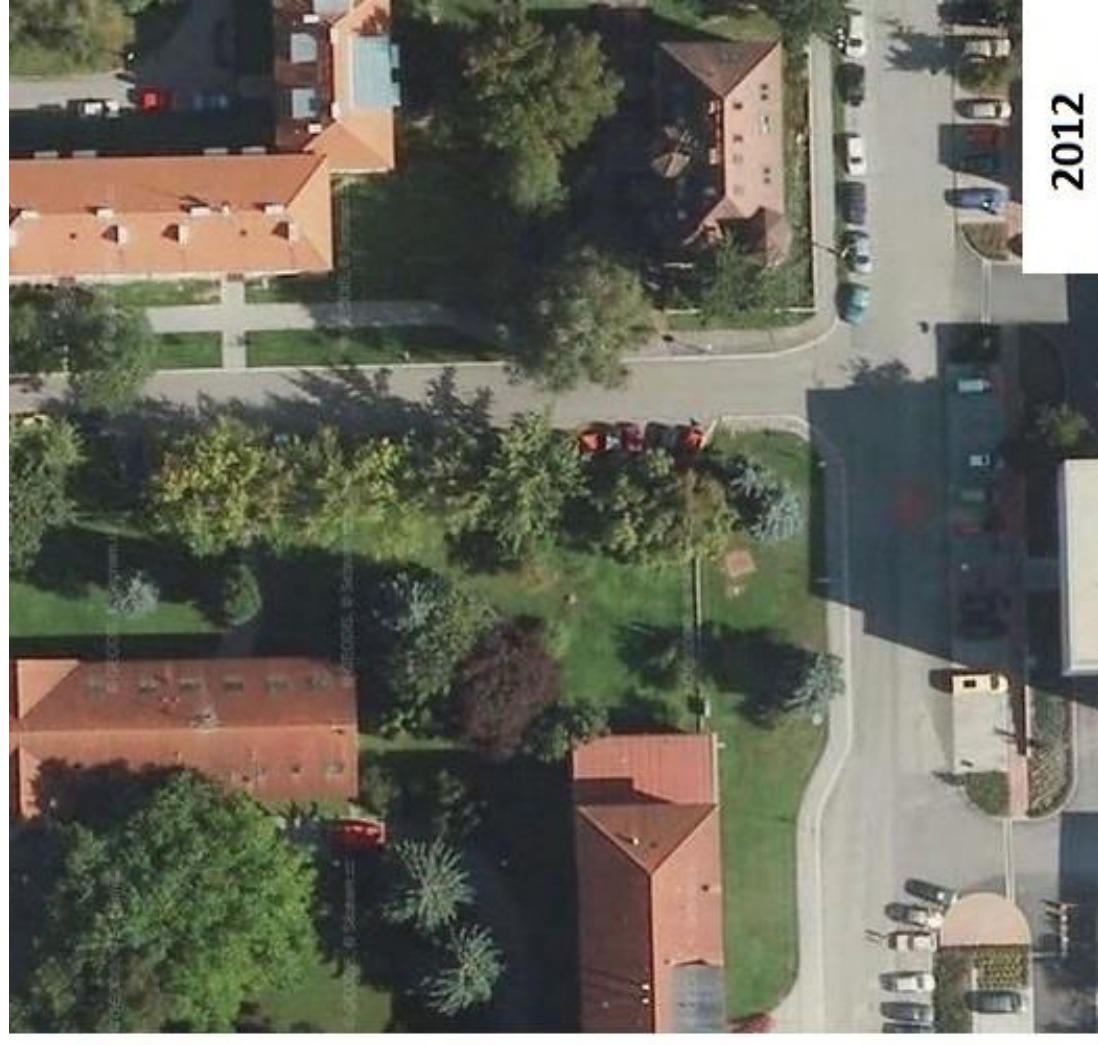


0 12 24 36  
m  
© TopGis, s.r.o., © Seznam.cz, a.s.





2006



2012

Příloha č. 10



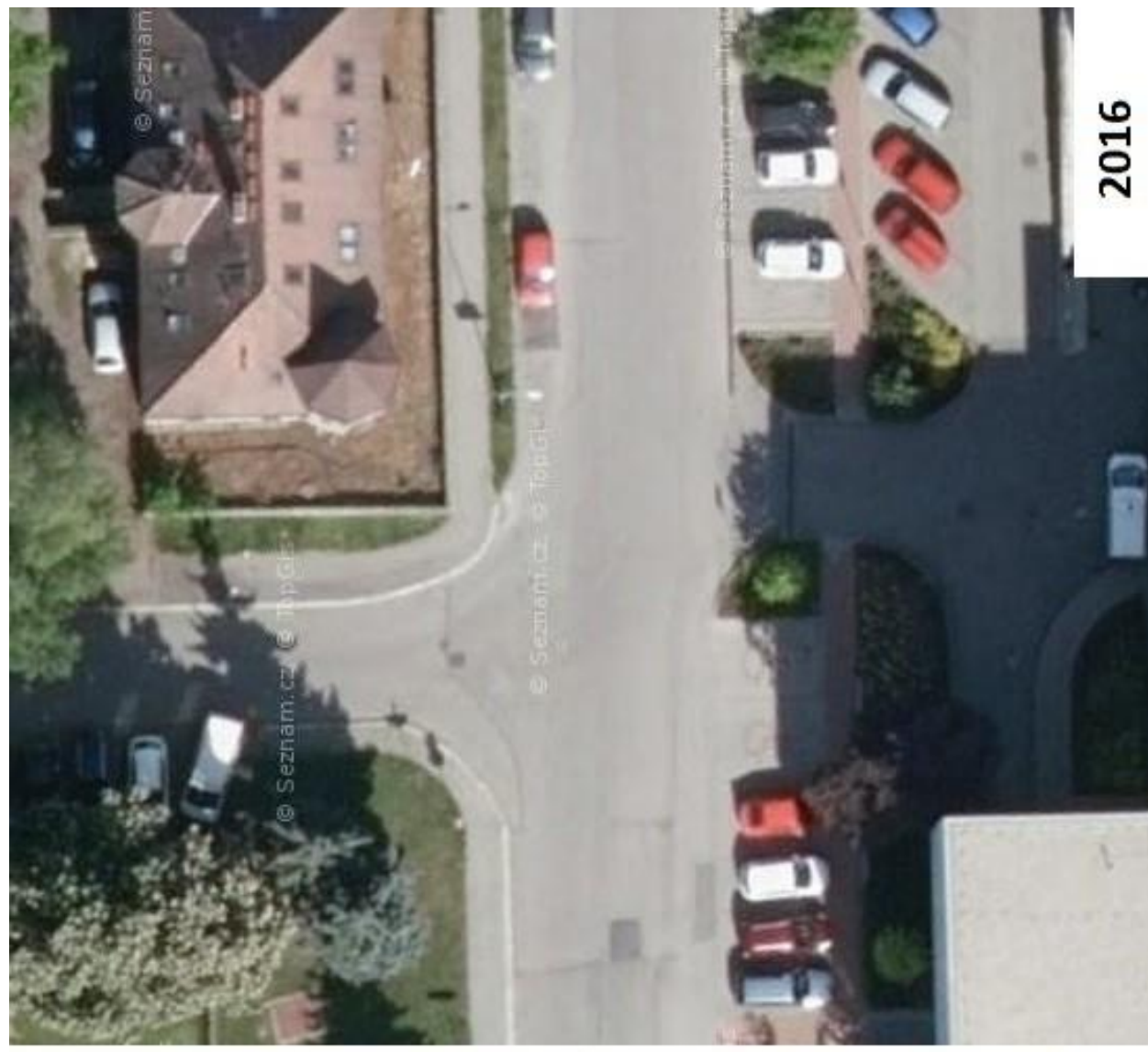
**Příloha č. 11**



**Příloha č. 12**



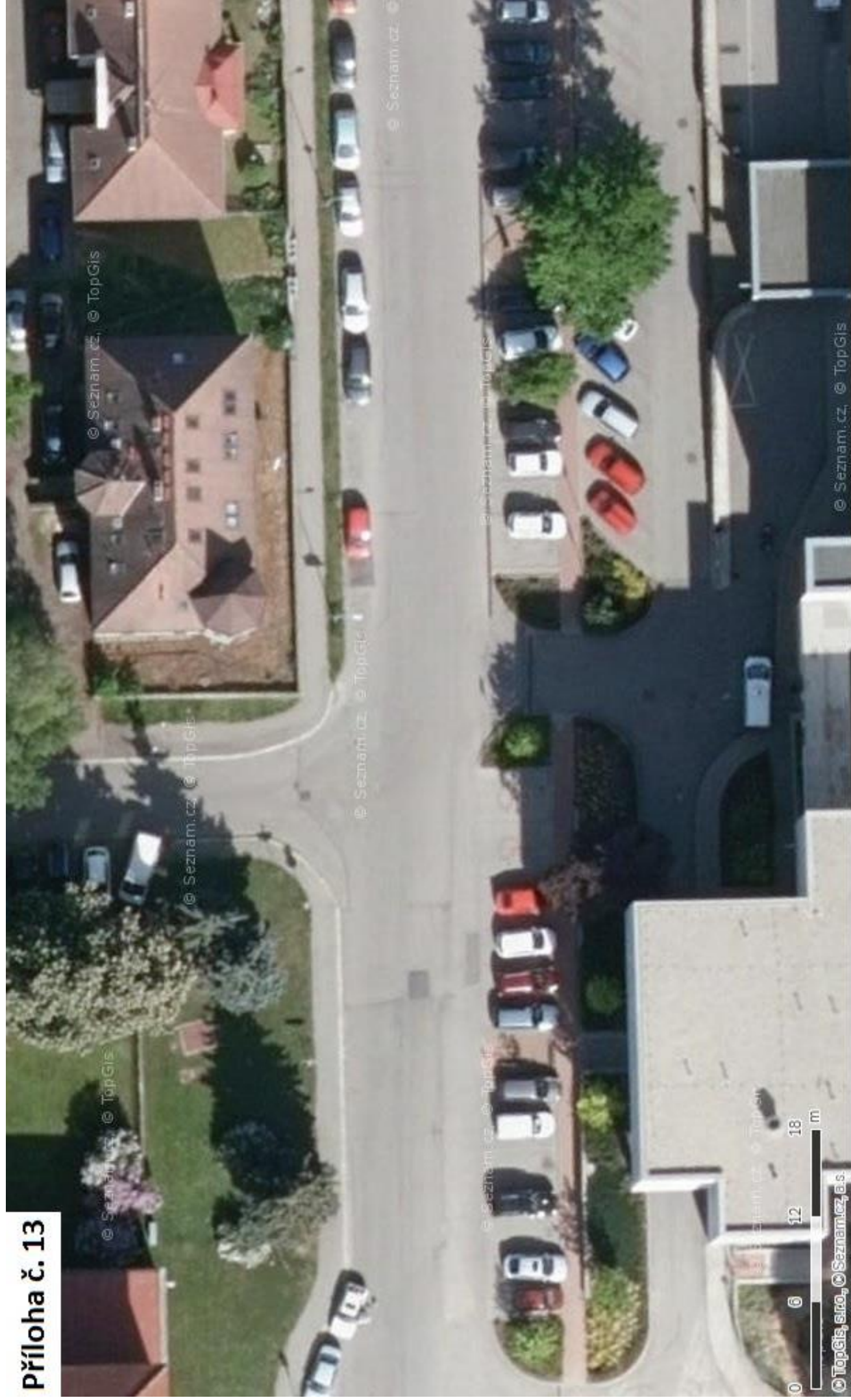
**2012**



**2016**



# Příloha č. 13



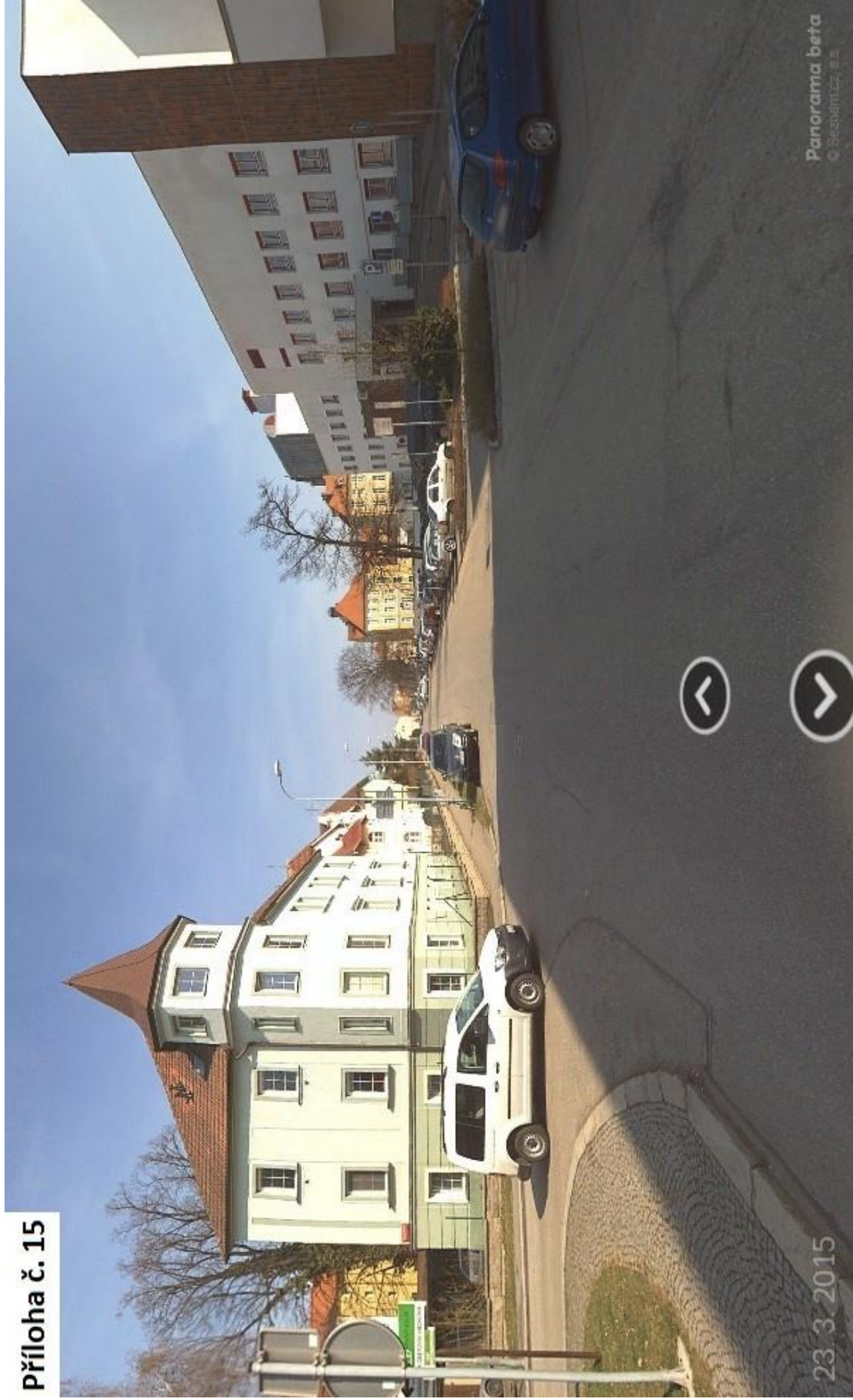


# Příloha č. 14





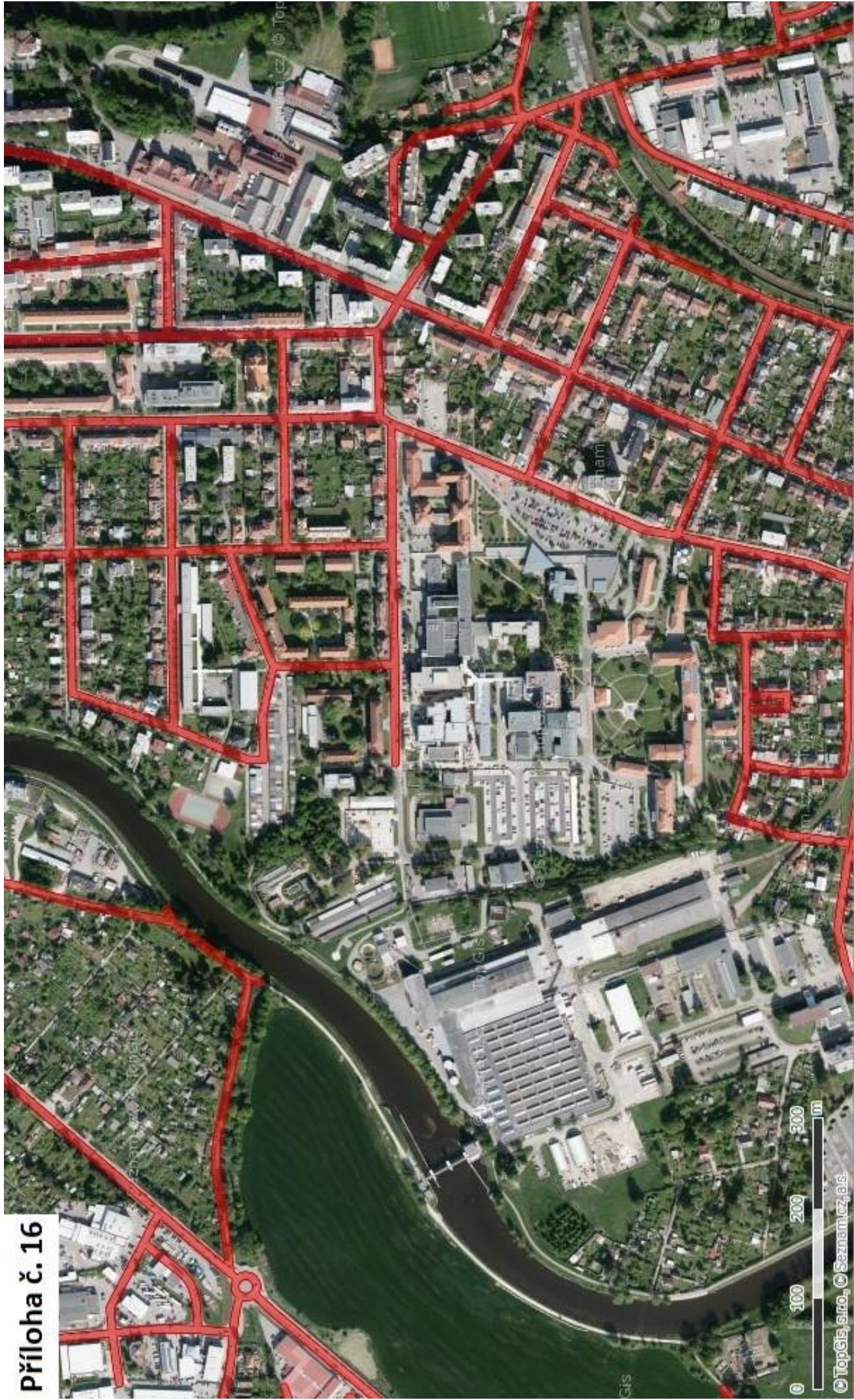
Příloha č. 15



23.3.2015

Panorama beta  
© Seznam.cz, a.s.



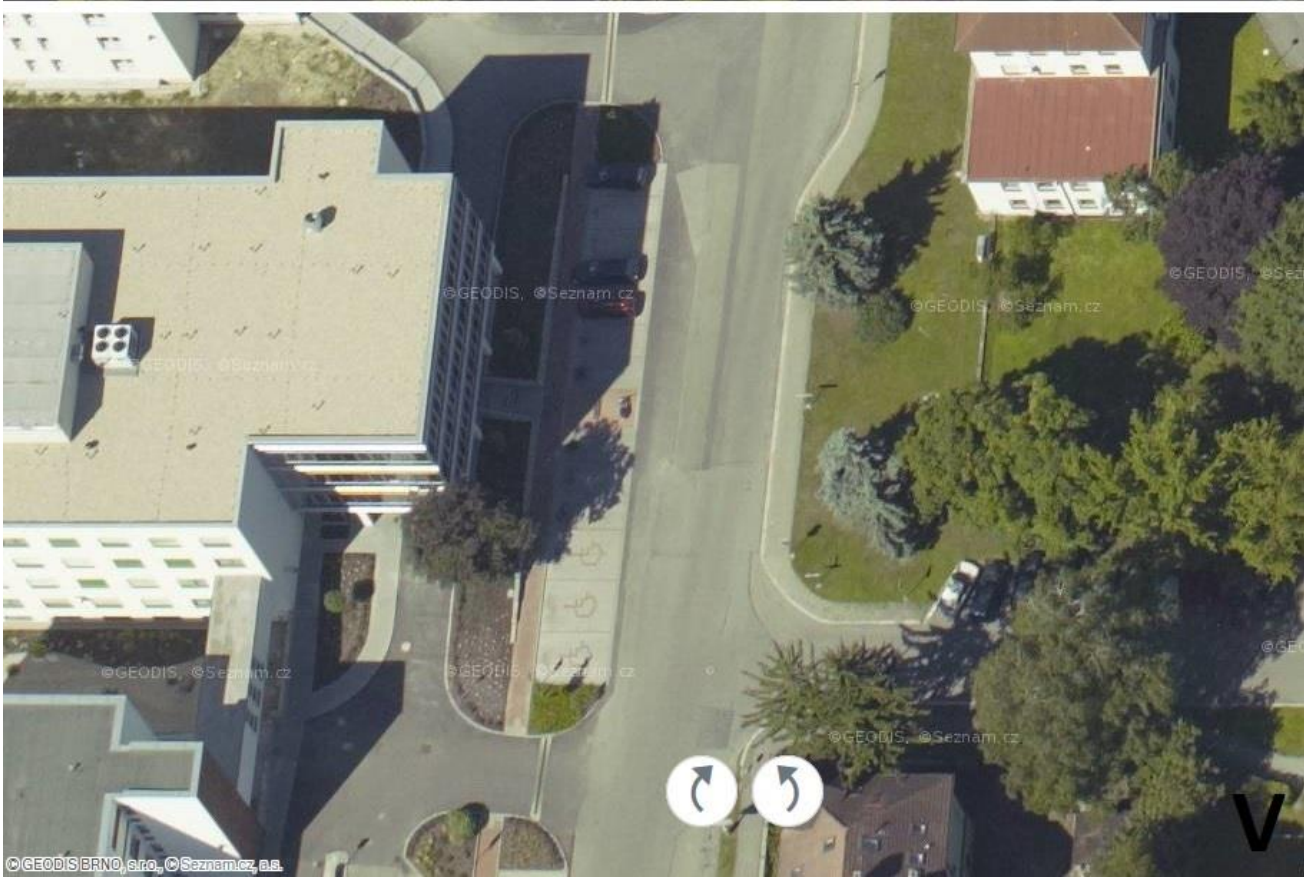
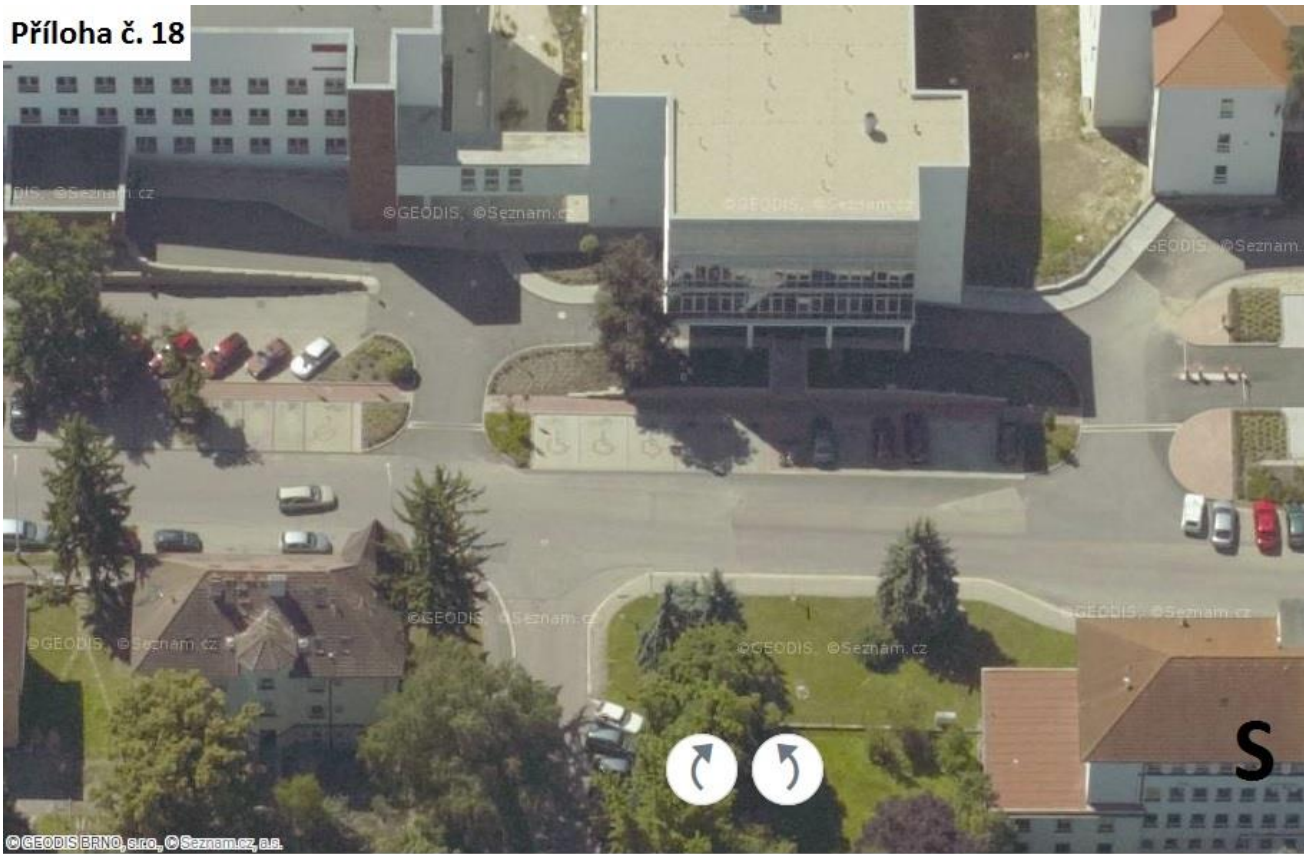


**Příloha č. 16**



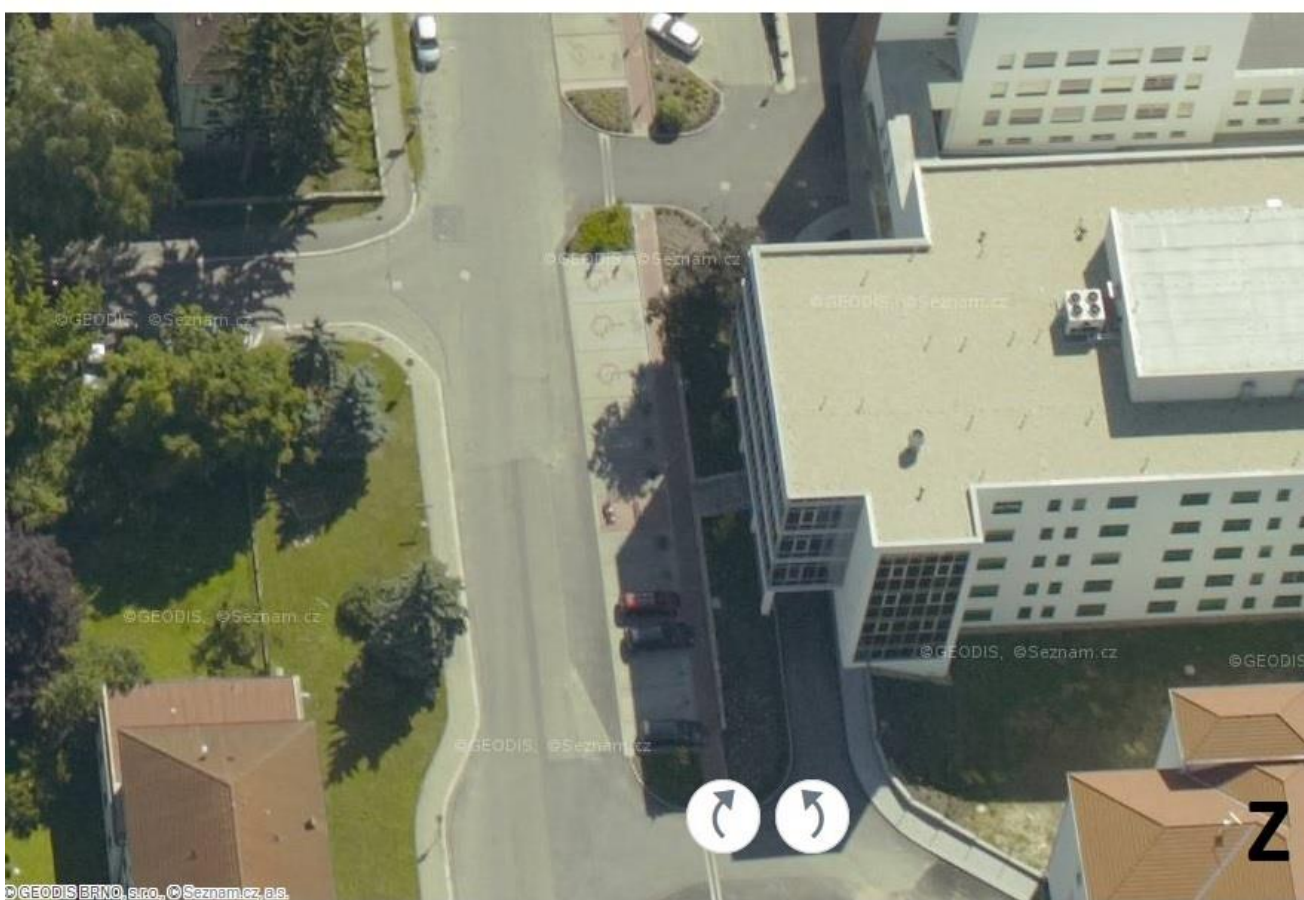
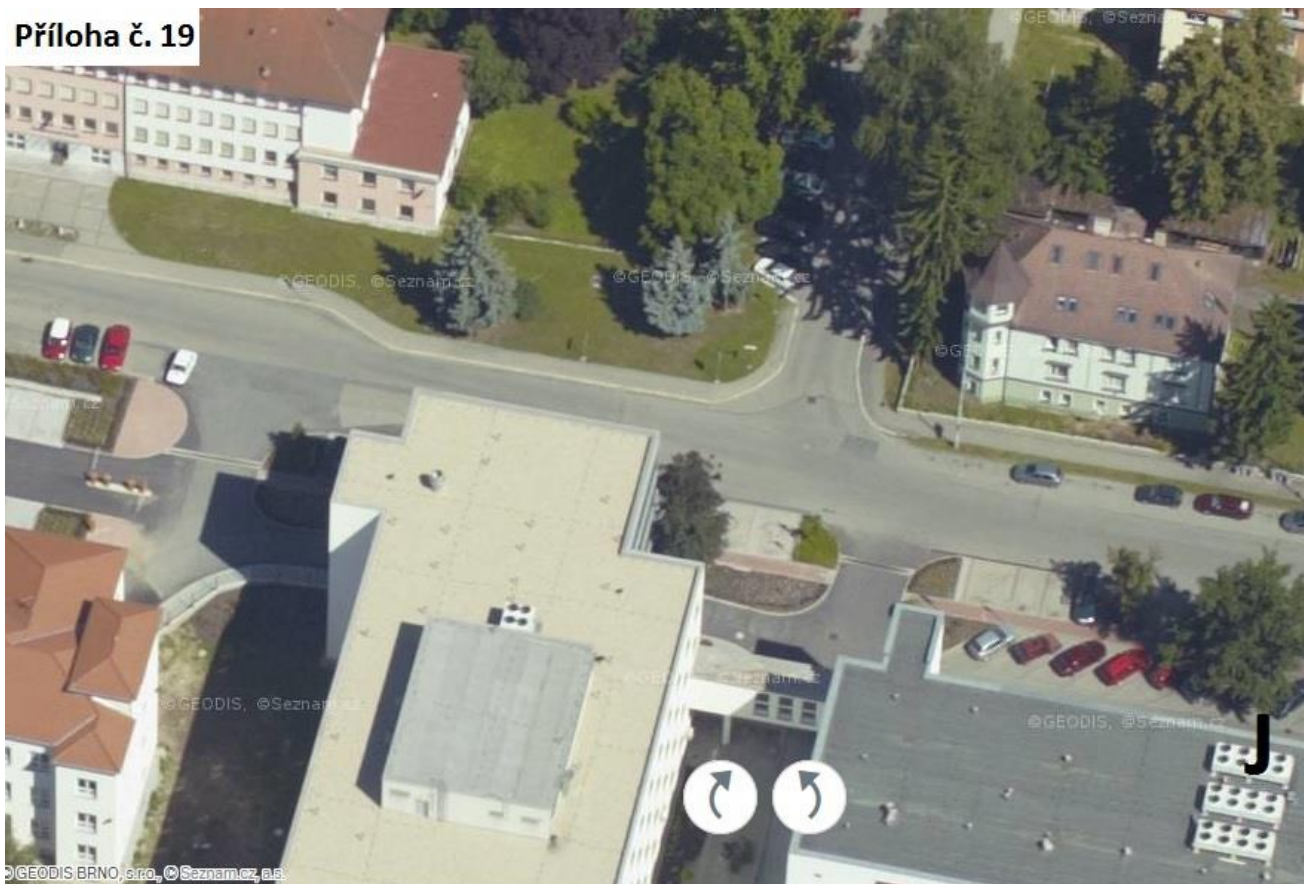


**Příloha č. 18**



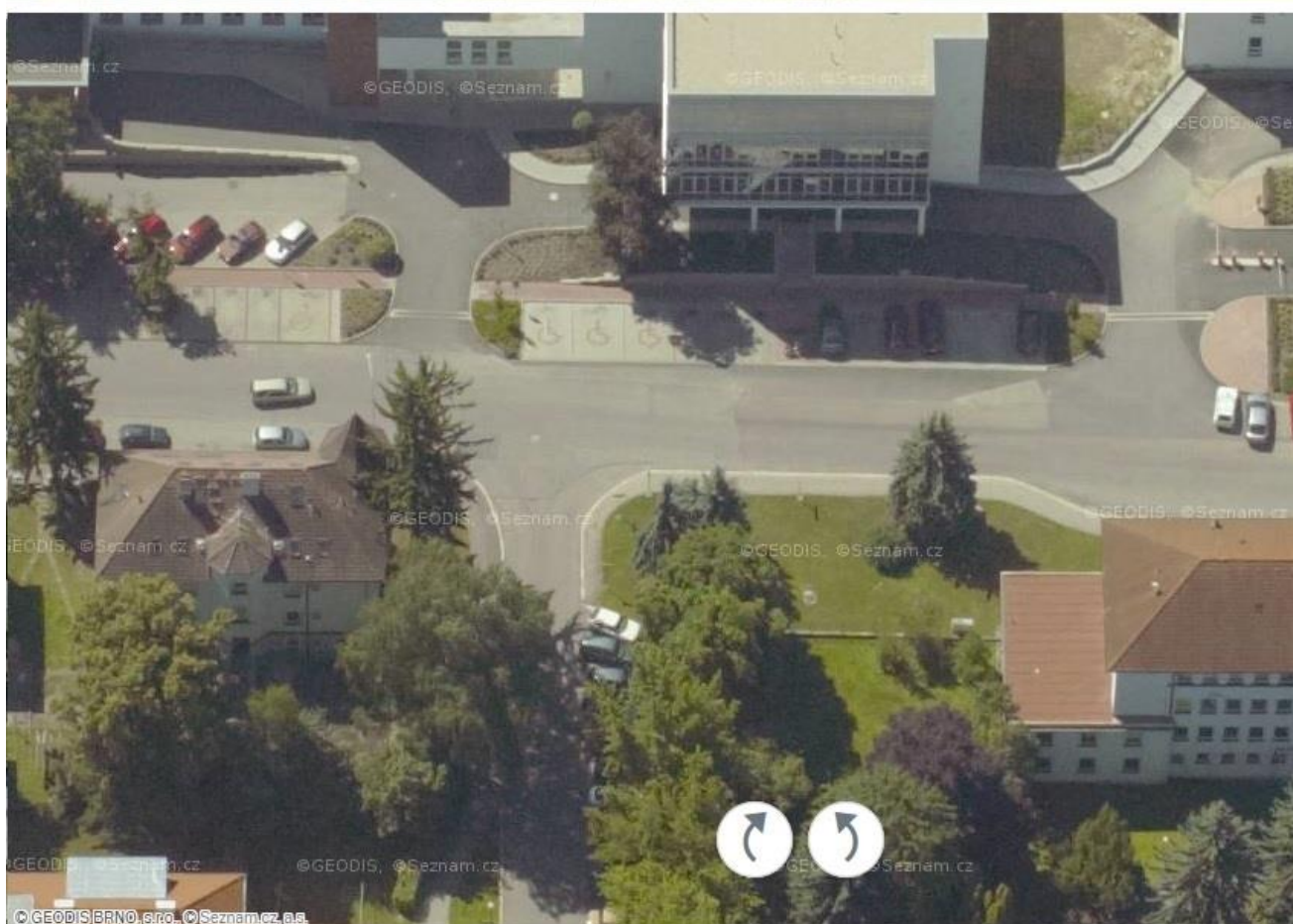
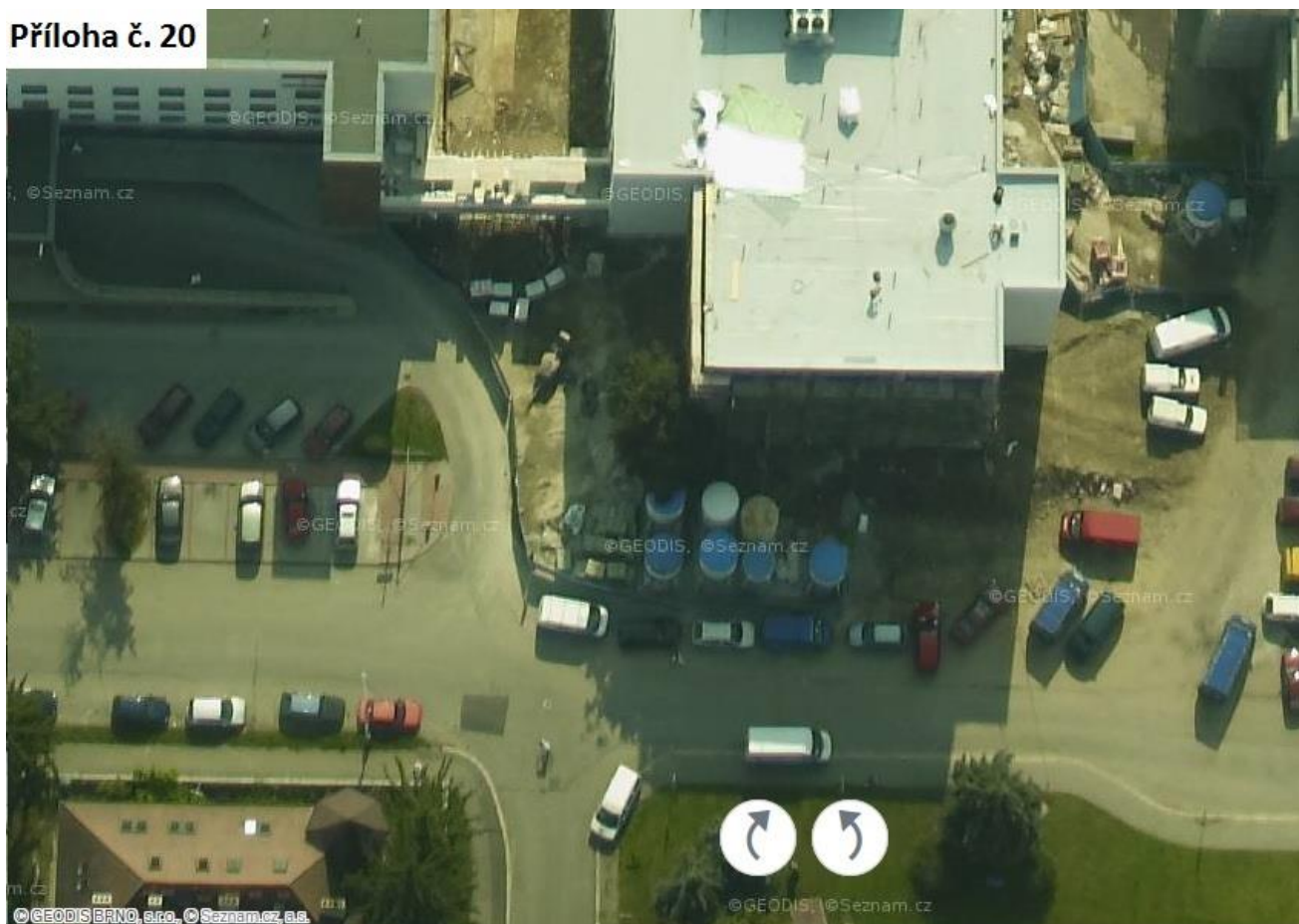


Příloha č. 19



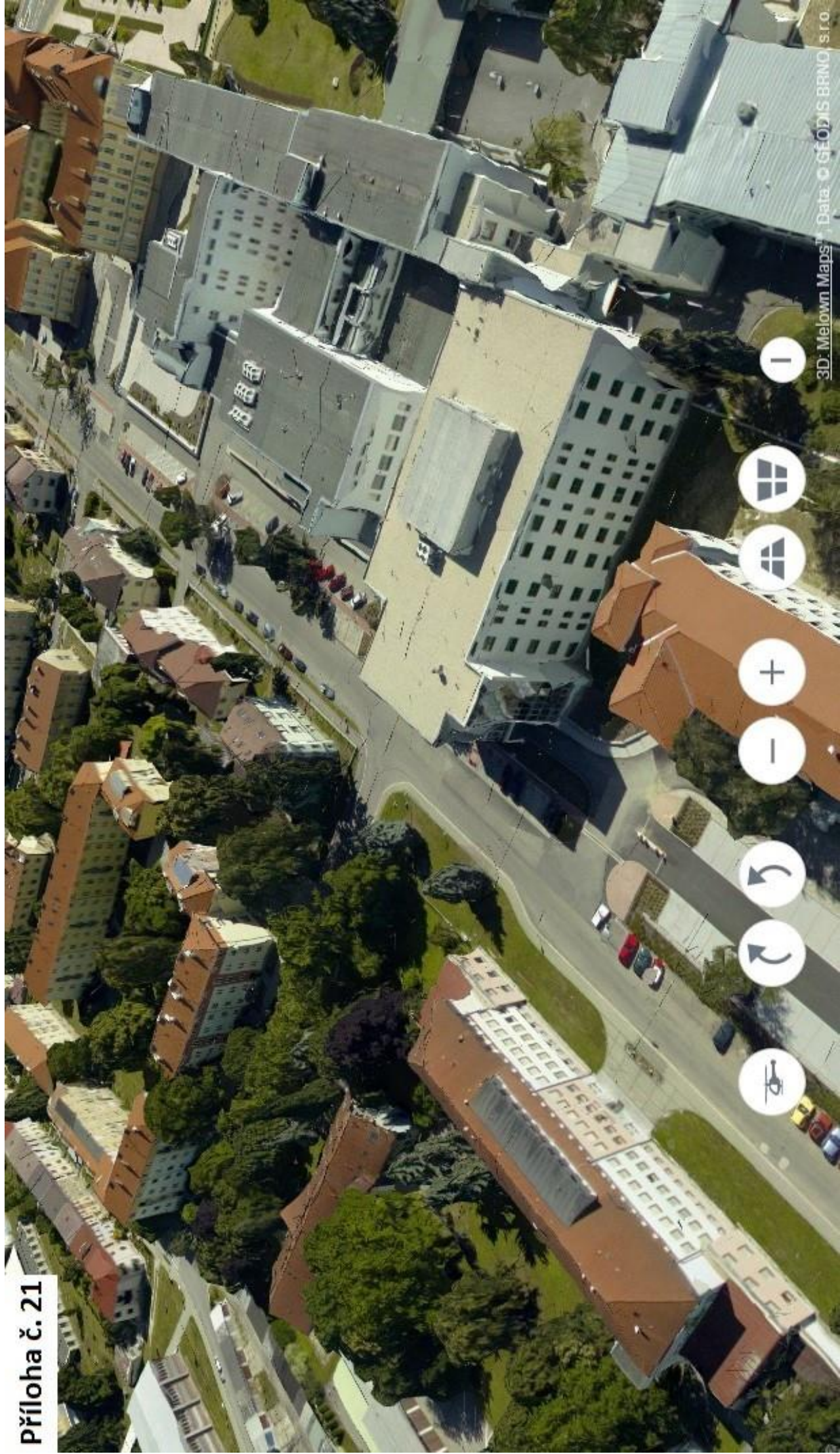


Příloha č. 20





**Příloha č. 21**





Příloha č. 22

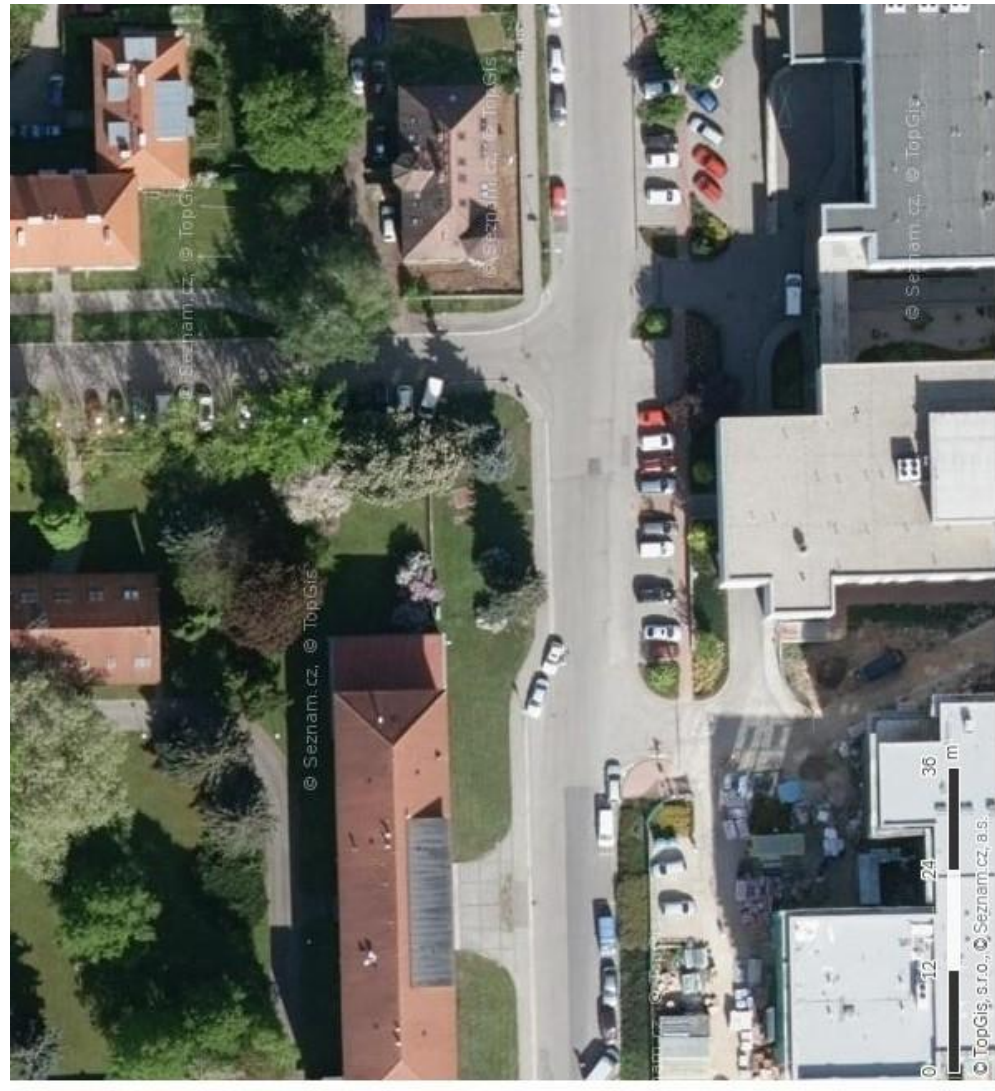


**Příloha č. 23**





**Příloha č. 24**







Příloha č. 25



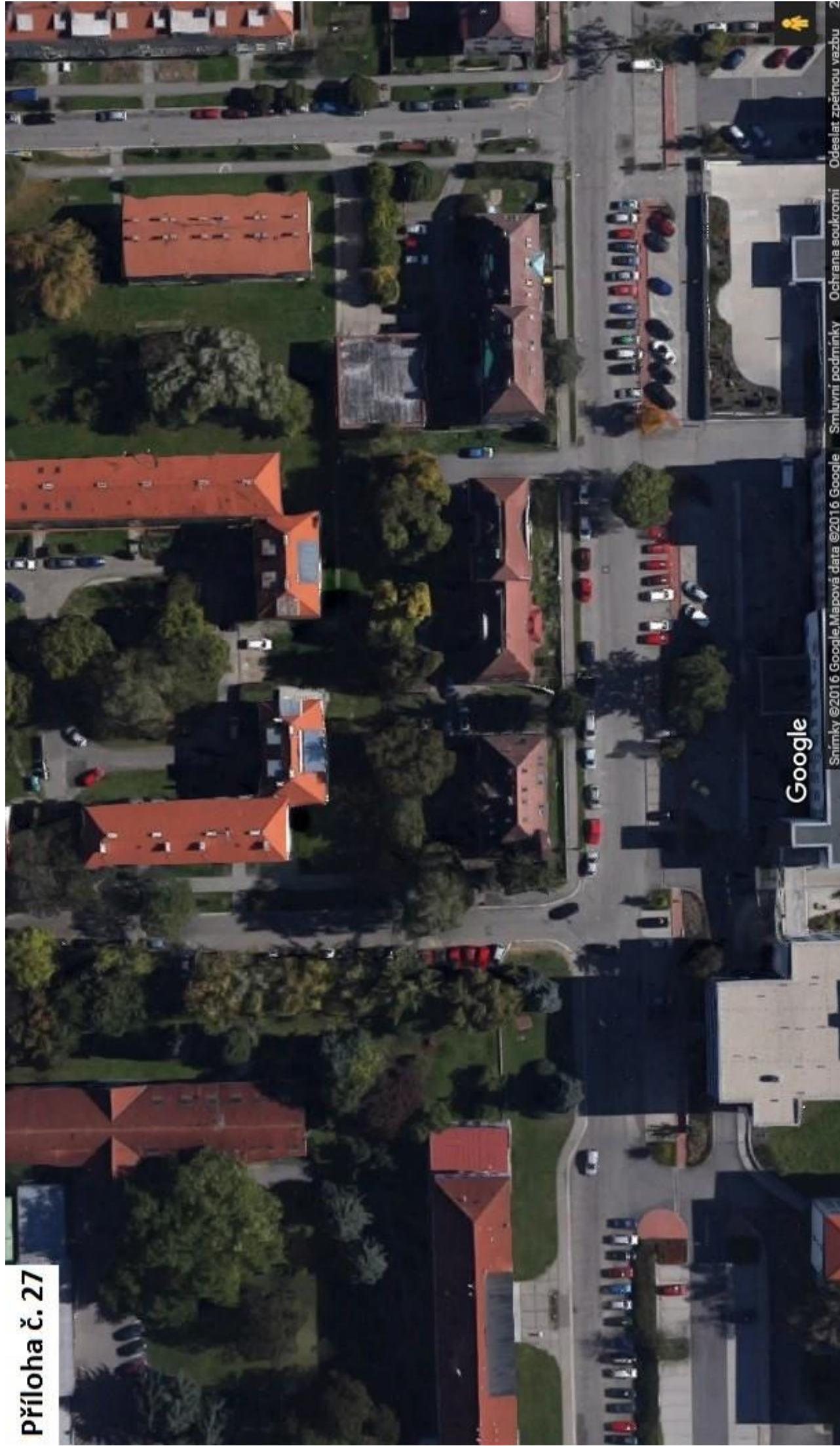


Příloha č. 26





Příloha č. 27



Google



Příloha č. 28



Google



**Příloha č. 29**





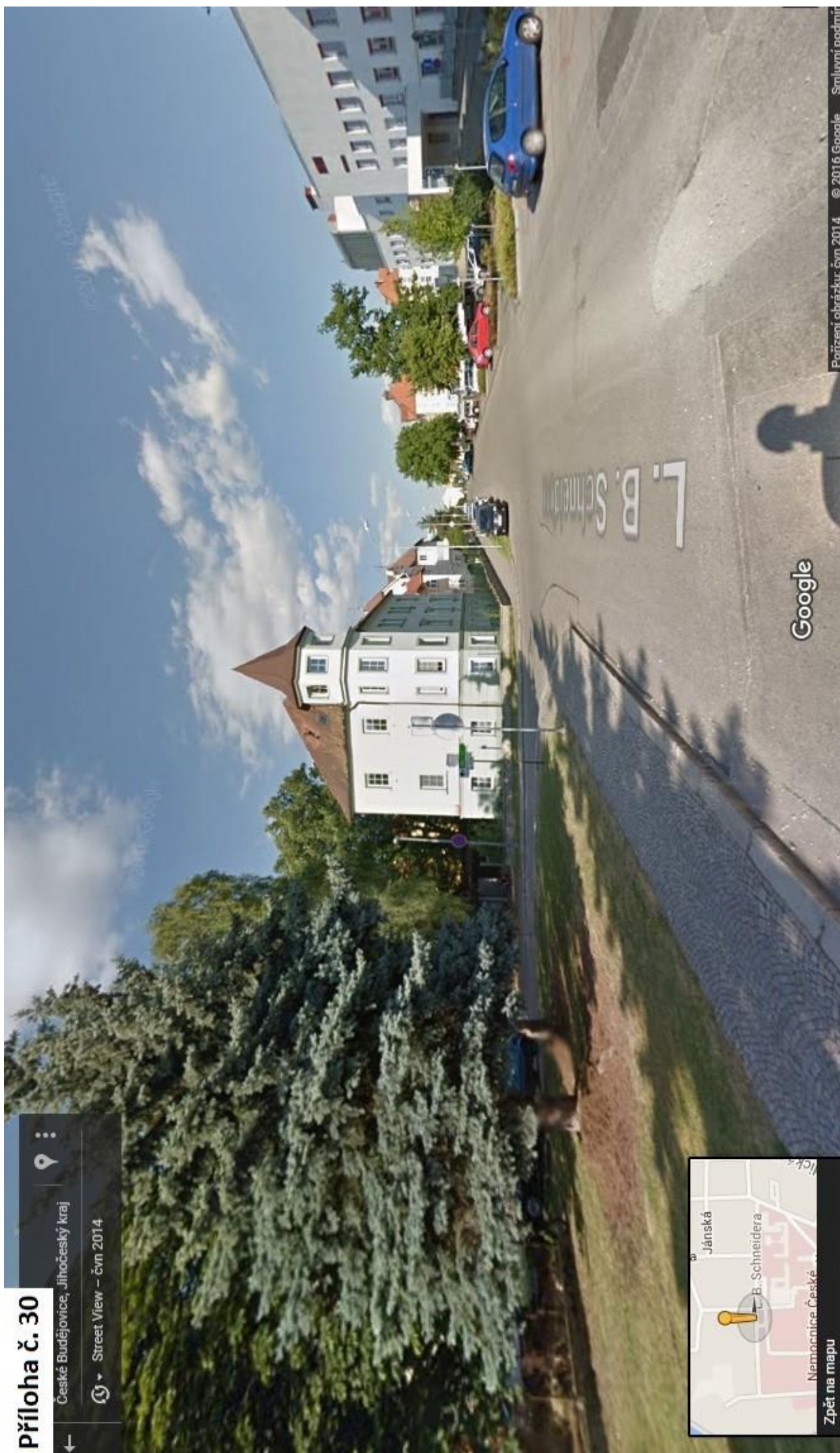
# Příloha č. 30

České Budějovice, Jihočeský kraj

Street View – čvn 2014



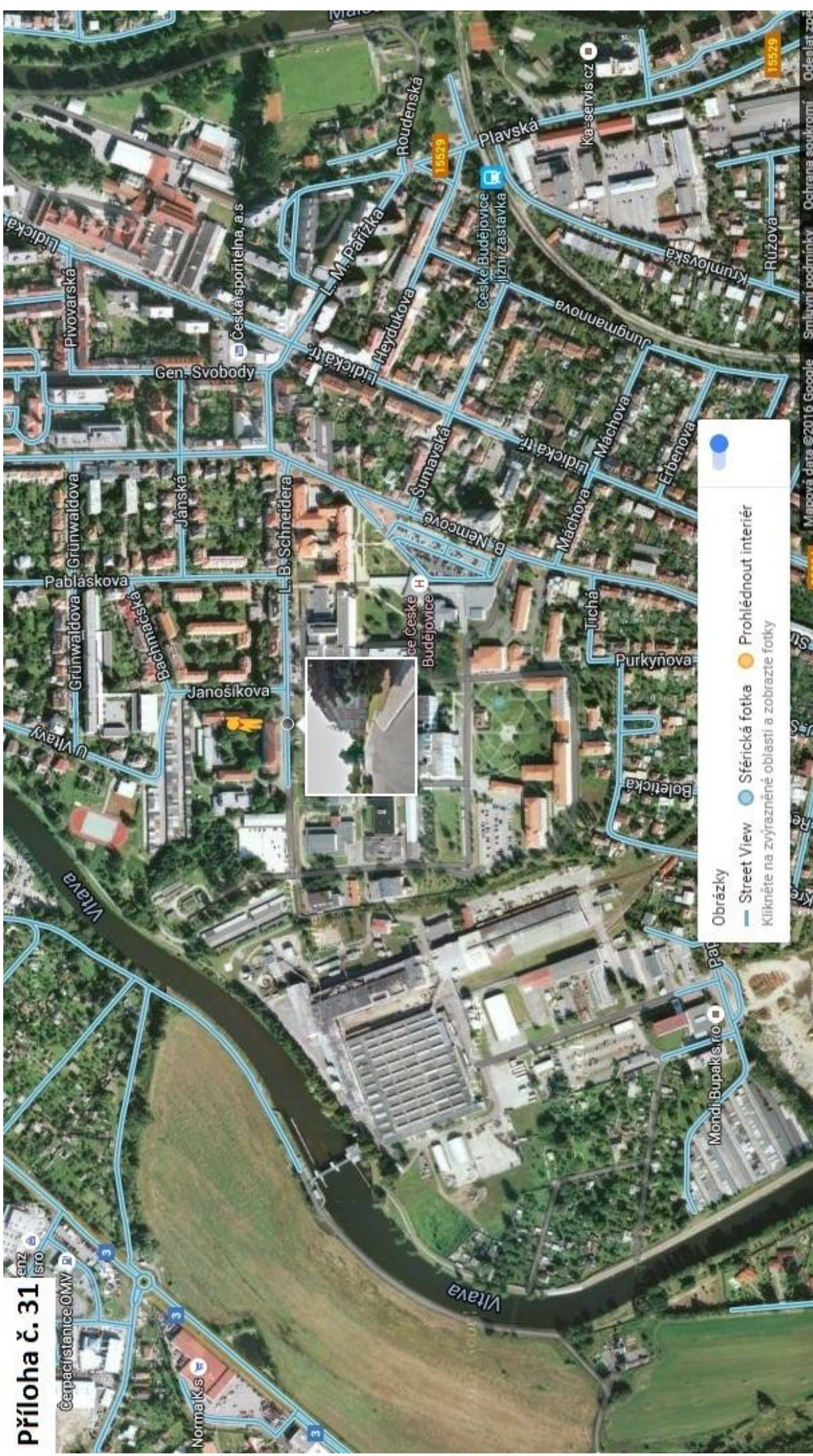
Zpět na mapu



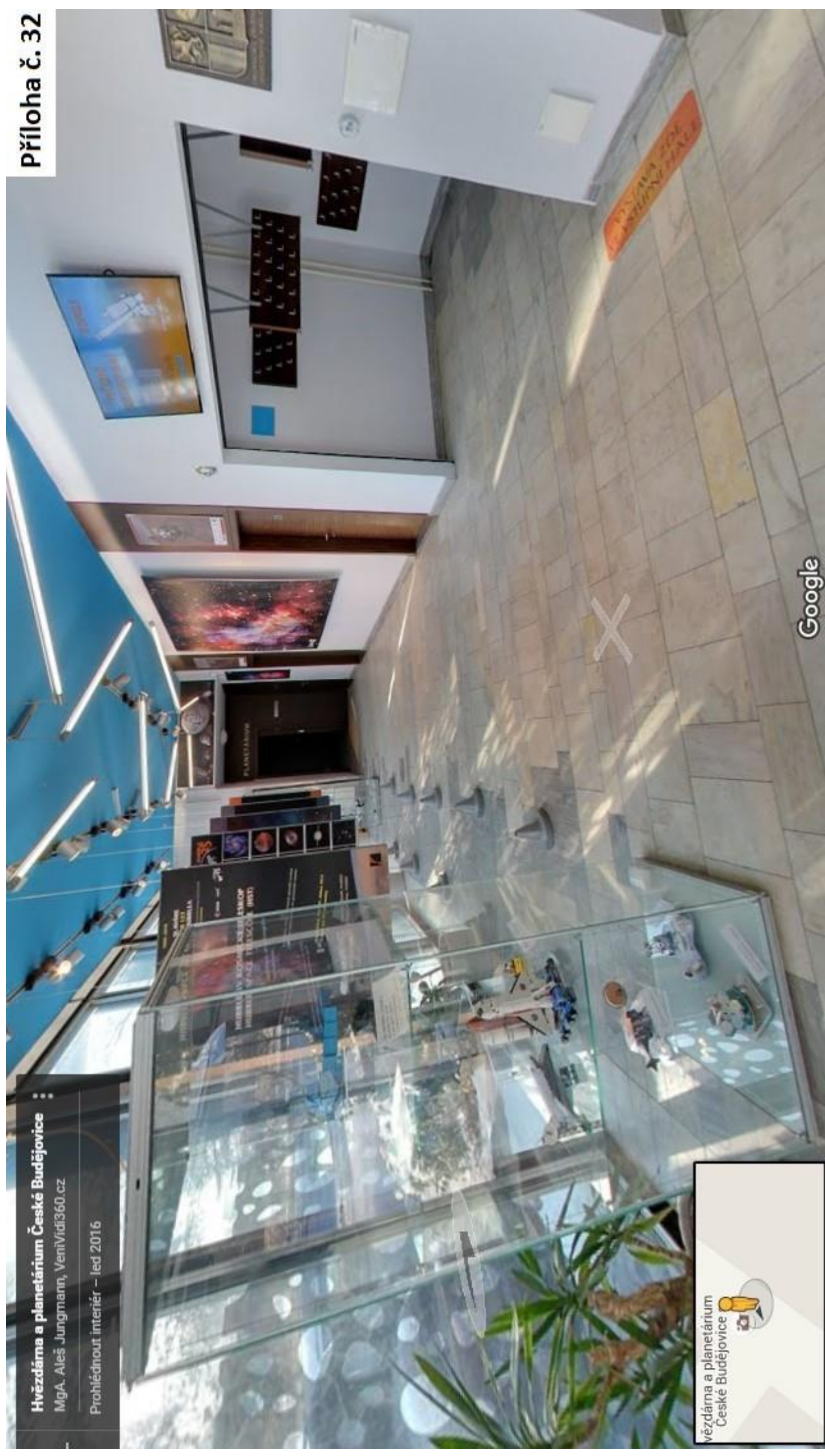
Google



# Příloha č. 31








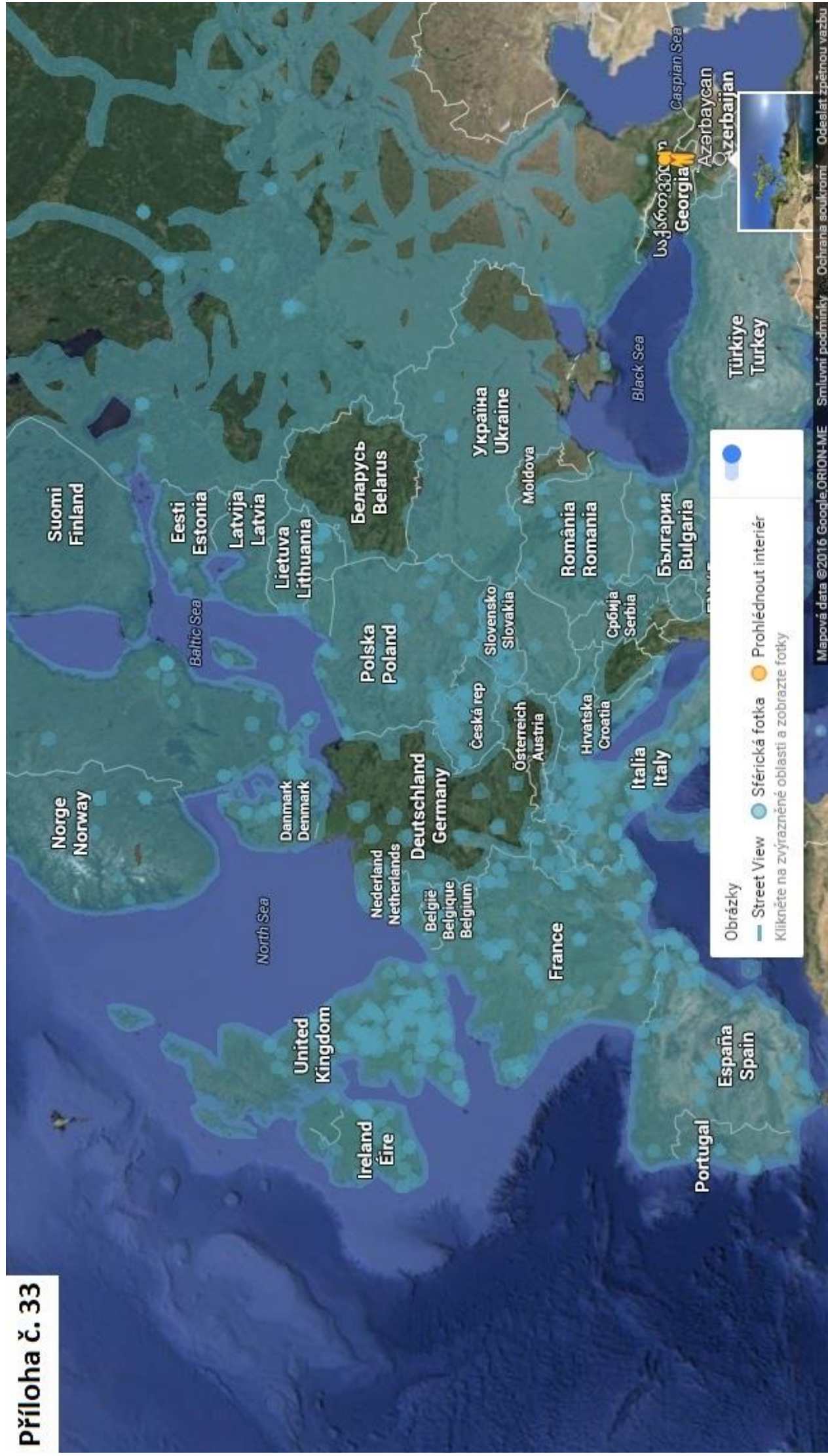
Hvězdárna a planetárium České Budějovice  
MgrA. Aleš Jungmann, VentiVidi360.cz  
Prohlédnout interiéru – led 2016

Hvězdárna a planetárium  
České Budějovice





# Příloha č. 33







World • Czech Republic • South Bohemia • Budweis • Budweis • Budweis



Příloha č. 34



