

## 2. LASEROVÉ SKENOVÁNÍ – OBECNÝ ÚVOD

Cílem této kapitoly je uvést do problematiky laserového skenování. Nejdříve jsou vysvětleny základní pojmy, dále jsou laserové skenovací systémy rozděleny dle jejich vlastností a osvětlen princip této technologie (včetně obecného postupu skenování). V textu nejsou opomenuty ani otázka bezpečnosti práce s laserovými přístroji a výhody a nevýhody technologie. Nakonec jsou uvedeny firmy užívající laserové skenování u nás a to včetně konkrétních aplikací metody.

### 2.1. ZÁKLADNÍ POJMY - KLÍČOVÁ SLOVA

Předtím, než bude popsáno laserové skenování, je třeba vysvětlit základní terminologii, často používanou v diplomové práci.

**laserový skenovací systém (LSS)** – systém umožňující převod reálného objektu do počítačového virtuálního modelu CAD. Jeho součástí jsou 3D laserový skener, software pro jeho ovládání, software pro zpracování a příslušenství

**3D laserový skener** – zařízení provádějící 3D skenování, tj. proces, při kterém určuje prostorové souřadnice bodů a ukládá je do paměti

**Cyrax 2500 (HDS 2500)** – laserový skener, který vyrábí firma Cyra Technologies Inc.

**Callidus 1.1** - laserový skener, produkt firmy Callidus Precision Systems GmbH

**Cyclone** – ovládací software pro skener Cyrax 2500

**RealWorks Pro Version** - modelovací software, produkt francouzské firmy MENSİ, S. A.

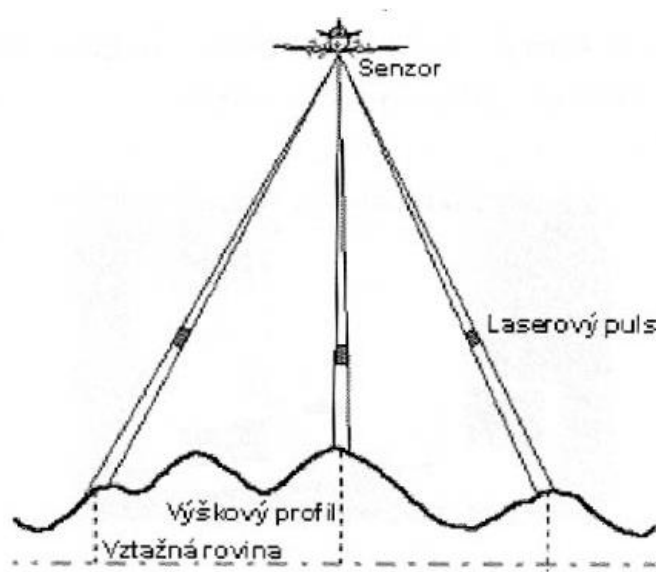
**mračno bodů** – soubor zaměřených bodů ve 3D, jenž mají pravidelný úhlový rozestup (ukázka mračna bodů – viz. *příloha č. 1*)

## 2.2. ROZDĚLENÍ LASEROVÝCH SKENOVACÍCH SYSTÉMŮ

Jednotlivé typy skenerů se liší v několika podstatných vlastnostech jako je zorné pole, přesnost, dosah, některé systémy jsou schopny poskytnout doplňující údaje (např. radiometrické informace, snímky skenovaného objektu apod.).

### 2.2.1. Dělení na 2D a 3D skenery

Optická část 2D skenerů vychyluje laserový paprsek pouze v jedné rovině, při snímání plošného nebo prostorového objektu je přístroj nesen letadlem nebo vrtulníkem. **2D (letecké) skenery** (obr. č. 2.1) jsou využívány při získávání digitálního modelu terénu větších území, mapování břehů vodních toků, záplavových území a zejména pak při dokumentaci liniových staveb.



Obr. č. 2.1: Letecký laserový skener

Oproti tomu optický systém 3D skenerů vychyluje laserový paprsek do celého zorného pole skeneru, a proto přístroj zůstává při skenování v klidu. **3D (pozemní) laserové skenery** se používají především při pozemním skenování objektů menšího rozsahu a při požadované vyšší hustotě a přesnosti zaměřených bodů. Nacházejí uplatnění v architektuře, archeologii, při dokumentaci průmyslových provozů, v dopravním stavitelství, při určování kubatur, apod.

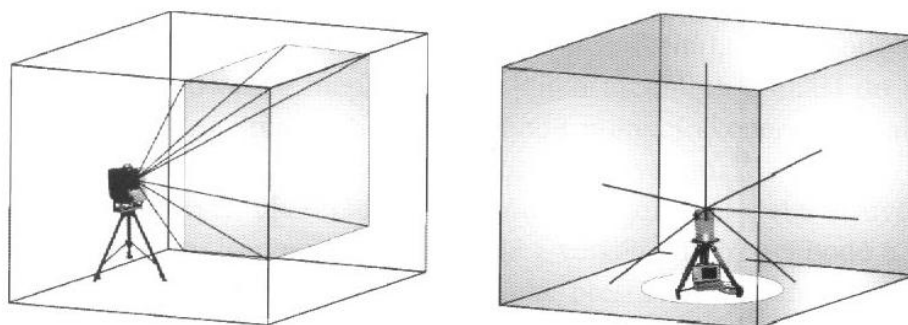
### 2.2.2. Dělení dle zorného pole

Zorným polem se rozumí maximální úhlový rozdíl krajních výstupních laserových svazků paprsků. Zorné pole se udává ve stupních v horizontálním a vertikálním směru.

**LSS kamerové** mají relativně malé zorné pole. Příkladem tohoto typu skeneru je Cyrax 2500 se zorným polem  $40^\circ \times 40^\circ$  (viz. kapitola 3.1). Přístroje nacházejí uplatnění při skenování vzdálených objektů. Ve vodorovném a svislém směru je paprsek laseru vychylován pomocí dvojice zrcadel.

**LSS panoramatické** skenují téměř celé okolí a jsou tedy vhodné pro zaměřování interiérů. Do této skupiny patří např. LSS Callidus (viz. kapitola 3.3), jehož zorné pole činí  $360^\circ \times 180^\circ$ . Laserový paprsek je ve vertikálním směru vychylován pomocí rotujícího hranolu, ve směru horizontálním je rotace přístroje zajištěna pomocí servomotorů.

Více o principech rozmítání laserového svazku – viz. [1].



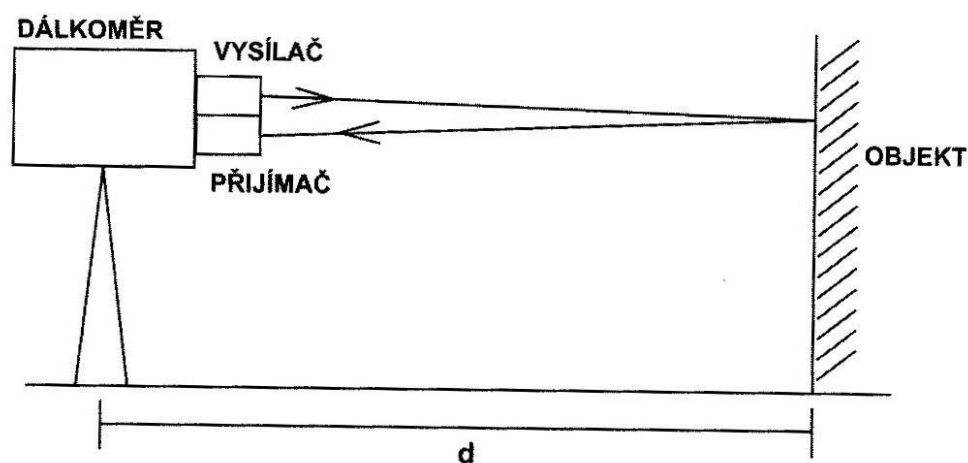
Obr. č. 2.2: Kamerový a panoramatický skener

### 2.2.3. Dělení dle principu měření délky

**Dálkoměrné skenery** využívají pasivního odrazu, tj. odrazu přímo od povrchu měřeného objektu. Obecně elektronický dálkoměr funguje dle schématu na obr. č. 2.3. Elektromagnetické vlnění vycházející z vysílače, se odráží od zaměřovaného objektu a vrací se zpět do přijímače umístěného na počátku měřené délky.

Podle principu získání vzdálenosti se dálkoměrné skenery dále dělí do tří skupin, viz. více[5].

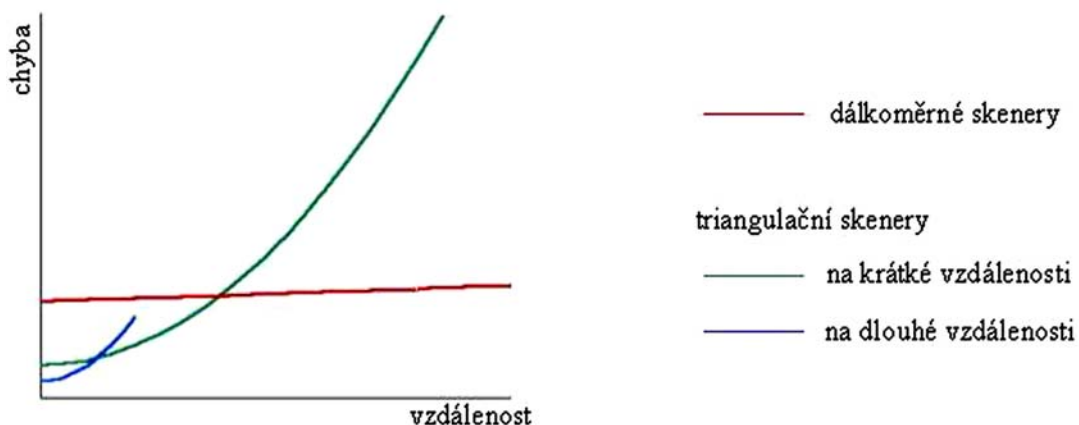
- *impulzní LSS* – k určení délky využívají tranzitní čas, který elektromagnetický impulz potřebuje k průchodu dvojnásobku měřené délky (tam a zpět).
- *fázové LSS* – vyslaný signál je modulován harmonickým vlněním a délka je určována z fázového rozdílu mezi vyslaným a přijatým signálem
- *frekvenční LSS* – určují zázněje, které vznikají jako produkt skládání časově posunutých frekvenčně modulovaných vln



Obr. č. 2.3: Princip elektronického měření délky

**Triangulační skenery** určují délku pomocí vestavěné základny řešením obecného rovinného trojúhelníku (tj. vzdálenost je spočtena na základě známé základny a přilehlých úhlů). Délka základny je omezujícím faktorem. S rostoucí měřenou délkou klesá přesnost LSS.

Srovnání přesností měření délek znázorňuje následující graf (převzato z [5]).



Graf. č. 2.1: Přesnost měření délek LSS

### 2.2.4. Dělení dle dosahu a přesnosti

Při volbě vhodného LSS pro konkrétní aplikaci musí být brán ohled na dosah přístroje a s tím související přesnost. Ne vždy je požadována vysoká přesnost výsledku, závisí to na účelu dokumentace a požadavcích zadavatele. Toto rozdělení je znázorněno v následující tabulce (převzato z [5]).

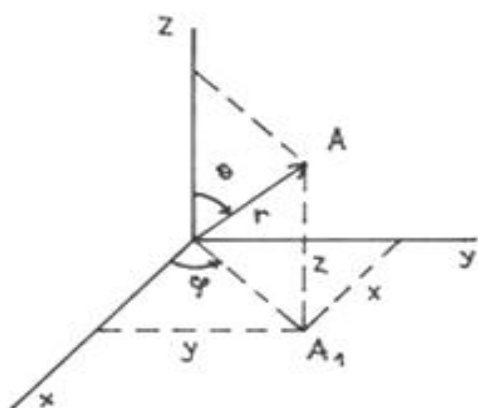
LSS na vzdálenosti	délka [m]	přesnost [mm]	princip	užitelnost pro
krátké	0,1 - 2	0,01 - 1	triangulační	umělecké předměty, sochy
střední	2 - 10	0,5 - 2	triangulační	sochy, interiéry
dlouhé	10 - 100	5	dálkoměrný	architekturu
velmi dlouhé	> 100	> 50	dálkoměrný	terén (pozemní či letecky)

Tab. č. 2.1: Dělení LSS dle dosahu

## 2.3. PRINCIP TECHNOLOGIE

Laserový skener vysílá k snímanému objektu laserový paprsek. Každá poloha naskenovaného bodu je zaznamenána jako horizontální úhel  $\varphi$  a vertikální  $\theta$  a šikmá vzdálenost k cílovému bodu. Úhly jsou měřeny relativně k jednomu postavení přístroje a nasměrování skeneru laserovou optikou. Pomocí **prostorové polární metody** skener z naměřených hodnot vypočte prostorové souřadnice bodů a uloží je do paměti.

Vzorce pro výpočet souřadnic bodu A byly převzaty z [1].



$$X = r \cdot \cos\varphi \cdot \sin\theta$$

$$Y = r \cdot \sin\varphi \cdot \sin\theta$$

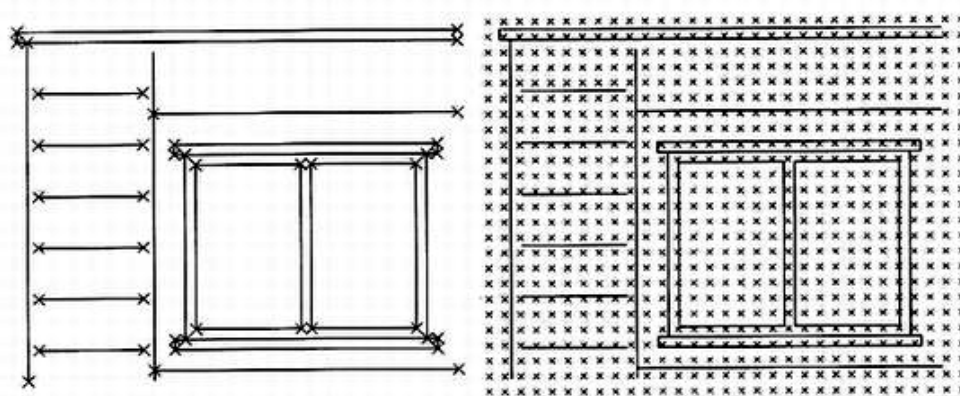
$$Z = r \cdot \cos\theta$$

Obr. č. 2.4: Prostorová polární metoda

Skener měří vzdálenosti a směry, od osy přístroje k měřenému objektu, ve velmi husté matici bodů, tzv. **mračnu bodů** (viz. *příloha č. 1*). Některá laserová skenovací zařízení navíc měří i intenzitu přijatého záření, dle které je jednotlivým bodům přiřazen stupeň šedi, případně barva pro zobrazení, což při zpracování dat usnadňuje orientaci v mračnu.

Laserové skenování patří mezi neselektivní metody měření. Narozdíl od klasických metod geodézie nejsou měřeny charakteristické body objektu, ale body jsou rozmístěny v pravidelném úhlovém rastru.

Jelikož mračno často obsahuje několik miliónů bodů, běžné CAD systémy nejsou schopny takové množství dat přímo importovat. A proto každý výrobce dodává i software, který obsahuje funkce pro zpracování mračna do požadovaného výstupu.



Obr. č. 2.5: Sběr dat při geodetickém zaměření (vlevo)  
a při laserovém skenování

V dnešní době se výrobou laserových skenerů zabývá mnoho firem a na trhu je tak řada přístrojů s různými schopnostmi a vlastnostmi – viz. [1].

### 2.4. OBECNÝ POSTUP SKENOVÁNÍ

Stejně jako geodetické zaměření, tak i tuto metodu lze rozdělit na několik kroků. Nejprve je potřeba provést přípravné práce, následuje sběr dat v terénu, tj. vlastní skenování, a kancelářské zpracování. Získané dílčí skeny (tzn. naskenované mračno bodů z jednoho stanoviska) se spojí do jednoho mračna a poté následuje vyhodnocení.

#### 2.4.1. Přípravné práce

Před vlastním skenováním se provádí rekognoskace předmětu zájmu, sběr dostupných podkladů a předběžně jsou navrhnutá stanoviska skenování tak, aby bylo pokryto celé zájmové území. Při výběru stanovisek musí být brán ohled na možnosti přístroje, především na jeho dosah a zorné pole.

### 2.4.2. Práce v terénu

Skenování na jednom stanovisku probíhá v následujících krocích:

- aktivace skenovacího systému
- výběr oblasti skenování a nadefinování hustoty mračna
- vlastní skenování, případně vyhledání terčů a jejich doskenování s větší hustotou

Detailnější postup skenování je popsán v kapitole č.3.

### 2.4.3. Spojování skenů

Každé mračno bodů je skenováno v místním souřadnicovém systému skeneru. Ke vzájemnému spojení skenů musí být v jejich překrytových částech minimálně tři spojovací či vlíčovací body. Pokud je k dispozici nadbytečný počet, dochází k vyrovnání. Na rozmístění těchto bodů jsou kladeny obdobné požadavky jako u fotogrammetrie. Spojovací body by měly být rozloženy tak, aby pokryly celou překrytovou část skenů, nejlépe polohově i výškově. Není vhodné, aby byly umístěny v jedné rovině. Konfigurace vlíčovacích bodů by měla vystihnout celý objekt.

Spojovací body slouží pouze ke spojování mračen, tj. k provedení relativní orientace. Vlíčovací body navíc umožňují umístění mračna do místního či státního souřadnicového systému (tj. absolutní orientaci), musí být zaměřeny pomocí klasických geodetických metod.

K signalizaci bodů slouží speciální terče či hranoly. Většina skenerů je schopna autodetekce terčů (hranolů) a na základě doskenování s větším rozlišením vypočte jejich střed.

Proces, při kterém se skeny spojují a umísťují do požadovaného systému, se nazývá **registrace**. Identickým bodům jsou přiřazeny jednoznačné identifikátory, program vypočte prostorovou transformaci a skeny sloučí do jednoho celku.



### 2.4.4. Vyhodnocení

Vyhodnocení je nejnáročnější část zpracování, závisí především na požadavcích zadavatele. Nejčastějším výstupem bývají přesné 3D vektorové CAD modely, které vznikají aproximací jednotlivých částí mračen pomocí tzv. primitiv (tzn. matematicky definovatelné plochy jako je např. válec, sféra, rovina). Prostorovým objektem lze proložit libovolnou řeznou rovinou a tak vytvořit rovinný řez. Vyhodnocovací programy obsahují i nástroje pro tvorbu nepravidelných trojúhelníkových sítí (viz. *příloha č. 1*), vrstevnic, animací, přiřazení materiálů, osvětlení, apod.

Více informací o zpracování lze nalézt např. v [1], [6].

## 2.5. BEZPEČNOST PRÁCE

Jak již plyne z názvu, při laserovém skenování se pracuje s laserovým paprskem. Ten je tvořen téměř rovnoběžným monochromatickým svazkem paprsků, který lze pomocí čočky soustředit do velmi malého prostoru. Vzniká tak záření s vysokou hustotou zářivého toku a energie. Hrozí nebezpečí poškození sítnice oka, proto je potřeba při práci s laserovými přístroji dbát na ochranu zdraví, zejména zraku.

Ochranu zdraví ulehčuje zařazení laserů do čtyř tříd dle stupně nebezpečnosti jejich záření (viz [1]). Toto rozdělení, spolu s přípustnými hodnotami a dalšími opatřeními, řeší Směrnice č. 61 ministerstva zdravotnictví ČSR z roku 1982. Kromě této směrnice byla ještě vydána technická norma ČSN EN 60 825 a nařízení vlády č. 480/2000 Sb. O ochraně zdraví před neionizujícím zářením.

Předpisy pro práci s laserovými přístroji jsou komplikované. Riziko poškození zdraví nezávisí jen na intenzitě emitovaného laserového záření, ale i na době, po kterou je záření emitováno, vlnové délce a na divergenci laserového svazku.

### **2.6. VÝHODY A NEVÝHODY TECHNOLOGIE**

Jak již bylo v úvodu zmíněno, mezi výhody laserových skenovacích systémů patří vysoká rychlost pořízení výchozích dat (tisíce bodů za vteřinu), tedy zkrácení prací v terénu a s tím související finanční úspory. Jelikož jde o bezkontaktní metodu získávání dat, lze zaměřit obtížně přístupná či nebezpečná místa v jakýchkoliv světelných podmínkách (za snížené viditelnosti či tmy). Souřadnice zaměřených bodů jsou získány v reálném čase, tj. buď během měření, nebo hned po něm. Data jsou pořízená s přesností, která se liší přístroj od přístroje, a pohybuje se řádově v desetinách milimetrů až v centimetrech. Další velkou výhodou je automatický a systematický sběr bodů a s tím spojená kompletnost pořízených dat. V důsledku velké hustoty rastru zaměřených bodů je na objektu zachycena geometrie detailů i drobné nerovnosti povrchu. Kompletnost dat snižuje potřebu dalších návštěv dokumentovaného objektu, například v případě dodatečných změn či při pozdějším doplňování projektu.

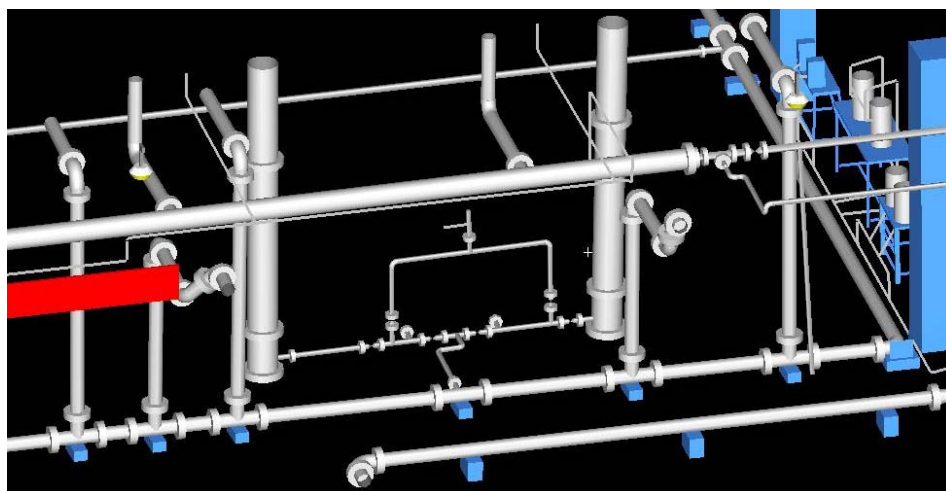
Ve zpracování dat se uplatňuje pokročilý stupeň automatizace. Přídavné softwary umožňují efektivní 3D modelování, generování 2D výkresů, vizualizaci měřených objektů pomocí transformace pořízených digitálních fotografií na mračno bodů, aj.

Kromě výčtu výhod mají laserové skenovací systémy i nevýhody. Jednou z nich je vysoká pořizovací cena skeneru. To je asi hlavní důvod, proč v naší republice tak málo firem vlastní LSS. Velká hustota zaměřených bodů má za následek velký objem dat, což klade vysoké nároky na hardware užitý při jejich zpracování (viz. kapitola č. 5.2). Za nevýhodu se dá považovat i velká hmotnost přístrojů. Většinu skenerů zvládne ovládat jedna osoba, ale přemísťování přístroje mezi stanoviisky jí bude činit velké obtíže.

## 2.7. APLIKACE TECHNOLOGIE LSS V ČESKÉ REPUBLICE

LSS se nejvíce využívají v inženýrské geodézii, například při zaměřování skutečného stavu budov, nepřístupných skalních celků, složitých technologických celků a konstrukcí (potrubí) a při zjišťování objemu zemních prací nebo skládek. Při dokumentaci průběhu výstavby či ražby tunelů umožňují rychlou a efektivní kontrolu kvality podzemního díla v jednotlivých etapách výstavby. Své uplatnění nalézají také v architektuře při dokumentaci památek, zaměřování fasád, krovů, interiérů a vysokých kleneb. Ve světě se tato technologie dále používá pro zaměřování archeologických nálezů, v automobilovém průmyslu pro kontrolu karosérií a letecké LSS při topografickém mapování.

Více informací o možnostech uplatnění LSS nabízí např. [6], [7].



Obr. č. 2.6: Potrubní technologie úpravy vody

Laserscanning se během posledních tří let stále více rozšiřuje i v České republice. V lednu 2002 zakoupila laserový skenovací přístroj Cyrax 2500 **Stavební geologie – Geotechnika a. s.** Od nového roku využívá HDS 3000 pro řešení nejrůznějších zakázek z oblasti geotechniky a inženýrské geodézie. K projektům firmy např. patří zaměření skutečného stavu primárního ostění silničního tunelu Mrázovka, či zaměření vápencového skalního masivu pro výpočet odtěženého masivu při výstavbě tramvajové trati Hlubočepy – Barrandov. Kromě zakázek z oblasti inženýrské geodézie, se Geotechnika podílela na zaměření několika

historických památek – jako je např. zaměření skutečné trojrozměrné geometrie horní části levé věže sv. Mikuláše na Staroměstském náměstí v Praze nebo měření podzemních prostor Pražského hradu. K zajímavým aplikacím patřilo přesné zaměření interiérů a exteriérů filmových kulis, jehož cílem bylo získat digitalizované scénérie filmové virtuální reality. Firma sídlí v Praze 5 v Geologické ulici. Více informací lze nalézt na webových stránkách firmy [12].

Další pražskou firmou vlastníci produkt společnosti Cyra Technologies Inc. (konkrétně Cyrax 2500) je společnost **Gefos a.s.** se sídlem na Praze 8. Nejvíce zakázek patří opět do oblasti inženýrské geodézie. V současné době firma dokončila dokumentaci objektu Sazka Arény, včetně inženýrských sítí. Kromě toho je obchodním zástupcem firmy Leica – viz. internetové stránky [13].

Součástí vybavení laboratoře fotogrammetrie **Fsv na ČVUT v Praze**, je laserový skenovací systém Callidus. Laboratoř ho nyní využívá především k seznámení studentů s touto technologií v rámci výuky v terénu. Bližší informace nabízí [14].

**Geodis Brno, spol. s r. o.** používá skener Riegl LMS-Z360 převážně pro dokumentaci památek. Většinou se však jedná pouze o naskenování objektů, registraci mračen bodů a natransformování snímků (pořízenými skenerem) na zaměřený rastr bodů. Geodis Brno podepsal se společností RIEGL Laser Measurement Systems GmbH smlouvu o prodeji výrobků firmy RIEGL v České a Slovenské republice. Informace o této společnosti lze nalézt na internetových stránkách [15].

Poslední firmou, která má ve své nabídce služeb zahrnuto laserové skenování, je pražská společnost **Inset s. r. o.**. Provádí geologické a geofyzikální průzkumy, diagnostiku stavebních konstrukcí a geodetické práce. K dispozici má skener GS100 a k zpracování dat využívá program 3Dipsos – viz. [16].