

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Krajinného managementu

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Přesnost zaměření fasády historického objektu – metody,
možnosti, podmínky

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bc. Martin Pavel

Autor: Bc. Jitka Dvořáková

České Budějovice, 2014

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta zemědělská

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jitka DVOŘÁKOVÁ**
Osobní číslo: **Z12687**
Studijní program: **N4106 Zemědělská specializace**
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**
Název tématu: **Přesnost zaměření fasády historického objektu - metody, možnosti, podmínky**

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 shrnout a přehlednou formou popsat a zhodnotit jednotlivé metody zaměření fasád historického objektu. Stručný popis jejich možností a dosažitelné přesnosti.

Práce by měla obsahovat:

- popis a vývoj metod,
- popis a vývoj přístrojového vybavení,
- zhodnocení metod z hlediska přesnosti.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **55-60 stran textu**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Schütze B. - Engler A. - Weser H.: Lehrbuch Vermessung - Grundwissen. SEW Verlag, Dresden 2007.

Vitásek J. a kol.: Vybrané geodetické práce ve stavebnictví, Brno: VUT, 1998

Pu S.: Knowledge based building facade reconstruction from laser point clouds and images, NGC, Delft 2010.

Maas H.: Airborne and terrestrial laser scanning, Whittles, Dunbeath 2010.

Kuda F., Ferko M.: Základy správy majetku: zeměměřické činnosti v životním cyklu staveb, VŠB - TU Ostrava, Ostrava 2009.


Ratiborský J. Geodézie 1: měření a výpočty, Praha: České vysoké učení technické, 2011

Hánek P.: Stavební geodézie, Praha ČVUT 2007.


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

Datum zadání diplomové práce: **4. března 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2014**


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13
370 05 České Budějovice
L.S.


doc. Ing. Pavel Ondr, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 20. března 2013

Prohlášení:

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to - v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou – 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.

20.4.2014

.....

Poděkování

Tímto bych chtěla velice poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Bc. Martinu Pavlovi a geodetické firmě THEINER za cenné rady a připomínky při tvorbě diplomové práce. Velký dík patří také mé rodině a přátelům za podporu během studia.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá metodami zaměřování fasády historického objektu. V úvodní části je stručná historie měření a obecné zásady, dále jsou popsány jednotlivé metody od nejstarších po nejmodernější včetně jejich přesností při zaměřování fasády. Podrobněji je popsána metoda fotogrammetrie a skenování, která je v současnosti nejmladší metodou využívanou při zaměřování fasád objektů. V závěru je zhodnocení metod z hlediska přesnosti a využitelnosti.

Cílem práce je popsat a zhodnotit jednotlivé metody zaměřování od historie do současnosti včetně potřebných přístrojů a jejich přesností.

Klíčová slova: fasáda, fotogrammetrie, skenování, přesnost

Abstract

This thesis deals with methods of surveying the facade of the historic building. The introductory section is a brief history of measurement and guidelines, as well as various methods are described from oldest to youngest, including their accuracy in targeting the facade. In more detail, a method for scanning and photogrammetry, which is currently the youngest methods used in surveying facades. In conclusion, the evaluation methods in terms of accuracy and usability.

The aim is to describe and evaluate different methods of surveying from history to the present, including the necessary instruments and their accuracy.

Key words: facade, photogrammetry, scan, precision

Obsah

1. Úvod	8
2. Historický přehled	10
3. Zaměřování památkových objektů	10
4. Obecné zásady	11
5. Metody	12
5.1 Trigonometrické určování výšek předmětů (objektů)	12
5.1.1 Vyhotovení průčelí	15
5.1.2 Přesnosti trigonometrického určování výšky předmětu.....	16
5.2 Protínání vpřed	18
5.3 Fotogrammetrie	19
5.3.1 Rozdělení fotogrammetrie	20
5.3.2 Fotogrammetrické objektivy.....	28
5.3.3 Fotogrammetrické pozemní komory.....	29
5.3.4 Přesnost blízké fotogrammetrie	34
5.3.5 Použití ve stavebnictví.....	36
5.4 Skenovací systémy	38
5.4.1 3D skenery	39
5.4.2 Statické systémy	40
5.4.3 Kinematické systémy	46
5.4.4 Vlivy působící na kvalitu měřených dat	47
5.4.5 Typy skenerů.....	47
6. Porovnání fotogrammetrie a laserového skenování	55
7. Literatura	58

1. ÚVOD

Člověk je od přírody zvědavý tvor a ovládá ho touha po poznání. Počátky geodézie ve starověkém Egyptě a v antickém Řecku byly úzce spjaty s měřením zemského povrchu. To pokračovalo i ve starém Římě a také v závěru středověku.

Lidská společnost se velmi rychle vyvíjela, zejména od 19. století. Nové potřeby měřičských technologií se objevily ve stavebnictví a průmyslu, při důlní činnosti atd. I když mapování je stále hlavní oblastí zeměměřičství, geodetické metody měření mohou dobře sloužit i těmto novým potřebám. V posledních letech se uplatňovala hlavně fotogrammetrie, zejména pozemní, ale s vyvinutím nové měřické technologie, 3D skenování, se zaměřování fasád objektů výrazně ulehčilo a urychlilo.

Technologie laserového skenování si v krátkém čase své existence našla celou řadu aplikací v různých oborech. Některé z těchto aplikací se objevily pouze na krátkou dobu v podobě experimentálních studií a některé se naopak staly komerčně úspěšné a jsou dnes běžnou pracovní náplní společností praktikujících laserové skenování. Dokumentace architektonických památek patří mezi ty úspěšnější, které se objevily již s nástupem této technologie a udržely se dodnes.

3D prostorové laserové skenování je zcela unikátní metodou pro získávání prostorové informace o objektech. Jedná se o bezkontaktní určování prostorových souřadnic s mimořádnou rychlostí, přesností, komplexností a bezpečností. Následuje zpracování takto získaných údajů ve specializovaných softwarech - prostorové modelování a vizualizace 3D modelů objektů. 3D modely jsou pak téměř dokonalým obrazem reality. Laserové skenery jsou schopny zachytit i ty nejdrobnější detaily. Přesnost samozřejmě záleží na typu přístroje. 3D laserové skenování nabízí široké využití v řadě oborů, ať už se jedná o stavebnictví (projektování staveb, návrhy interiérů budov, rekonstrukce, 3D modely měst, konstrukce a rozsáhlé potrubní systémy), archeologické průzkumy, památkovou péči (fasády historických budov, restaurátorství soch), inženýrskou geodézii (dokumentace a pasportizace liniových staveb), lze ho využít také v automobilovém průmyslu či kriminalistice (havárie, záznam z místa činu), pro sportovní zařízení (výstavba golfových hřišť), digitální modely terénu, povodňové a hydrologické modelování, měření objemu kubatur nebo sledování posunů terénu a objektů.

Cílem této práce je shrnout a zhodnotit jednotlivé metody zaměření fasád historického objektu.

2. HISTORICKÝ PŘEHLED

Geodézie provází výstavbu již od samého počátku. Důkazy o tom je možné nalézt již ve starověku. Je zřejmé, že velké starověké stavby vyžadovaly použití poměrně dokonalých vytyčovacích postupů při tehdejší úrovni měřicí techniky. Například egyptské pyramidy jsou důkazem, že již v tehdejší době existovaly přesné postupy pro vytyčování dlouhých přímek, pravých úhlů, astronomických azimutů a pro přesné vytyčování výškových úrovní. Příkladem může být Cheopsova pyramida v Gíze, která byla vystavěna přibližně r. 2525 př. n. l. jako jehlan s čtvercovou podstavou. Přesné proměření této pyramidy vykonal r. 1921 německý archeolog a zeměměřič Borchardt. Přitom vyšly najevo ohromující skutečnosti: odchylky délek stran se pohybují okolo 0,1 m, max. odchylka pravoúhlosti je menší než 0,07 gon, max. výškový rozdíl základů pyramidy je 12 mm a azimutální odchylka směru obou jejích stran od astronomického severu je menší než 0,05 gon. Kromě toho směr chodby vycházející z pohřební komory na povrch je přesně severní, což mohlo být zajištěno pouze vytyčením pomocného orientačního bodu vzdáleného 0,5 km.

Nároky kladené na geodetické činnosti ve výstavbě neustále rostou se zaváděním nových progresivních stavebních technologií. Proto je nutné neustále vyvíjet adekvátní měřicí metody a v co nejvyšší míře využívat moderní přístrojovou techniku (ŠVÁBENSKÝ, VITULA, BUREŠ, 2006).

3. ZAMĚŘOVÁNÍ PAMÁTKOVÝCH OBJEKTŮ

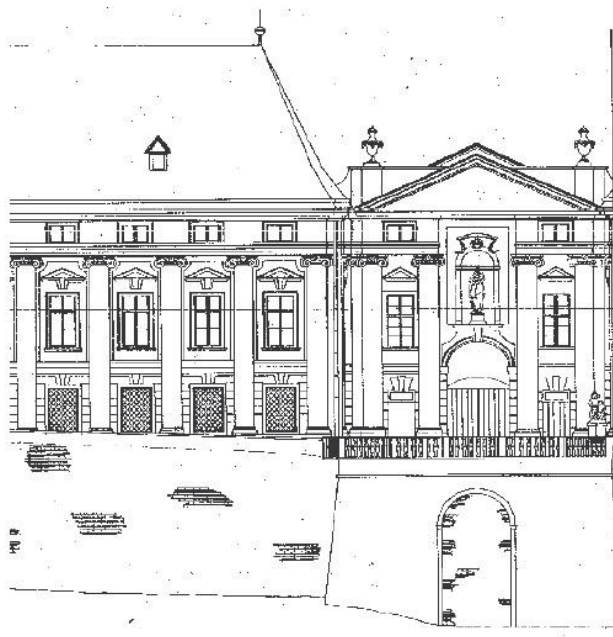
V naší zemi se nachází značné množství stavebních kulturních památek, které tvoří část kulturního dědictví našeho národa. Jako takové musí být odpovídajícím způsobem udržovány a chráněny, aby mohly být uchovány následujícím generacím. Stát každoročně vynakládá na tyto účely značné finanční prostředky. Značné množství památek je soustředěno v hlavním městě Praze, mnoho dalších je však rozptýleno prakticky na celém území našeho státu (BUREŠ, 2006).

4. OBECNÉ ZÁSADY

Aby bylo možné historické budovy řádně udržovat, prozkoumávat, popřípadě navrhovat jejich úpravy (rekonstrukce, odstraňování pozdějších neslohových rušivých přístaveb, modernizace vnitřního zařízení apod.), je třeba mít k dispozici jejich přesné stavební dokumentační výkresy a další potřebné údaje. Protože historické budovy mívají většinou nepravidelný a složitý půdorys, měnící se tloušťku zdí, stropy nesené klenbami a pilíři, střechy se zvláštní složitou konstrukcí krovu, členité fasády se sochařskou a architektonickou výzdobou atd., musí být zaměřeny odpovídajícími metodami.

Pro zaměřování památkových stavebních objektů se ustálila metodika, která byla popsána ve směrnici pro zaměřování nemovitých kulturních památek.

Častým případem při zaměřování historických stavebních objektů je polohové a výškové určení nepřístupných bodů na fasádách, střechách, štítech budov apod. takové body lze zaměřovat protínáním vpřed nebo optickým protínáním, jejich výšky lze určovat trigonometricky. V současnosti se nabízí použití totální stanice s bezhranolovým měřením vzdáleností. Při zaměřování architektonicky složitých fasád a průčelí se s výhodou používá rovněž metod jednosnímkové či dvousnímkové (stereo) fotogrammetrie, pomocí při vykreslování však může být i obyčejná fotografie, další možností je použití 3D skenerů (ŠVÁBENSKÝ, 2006).



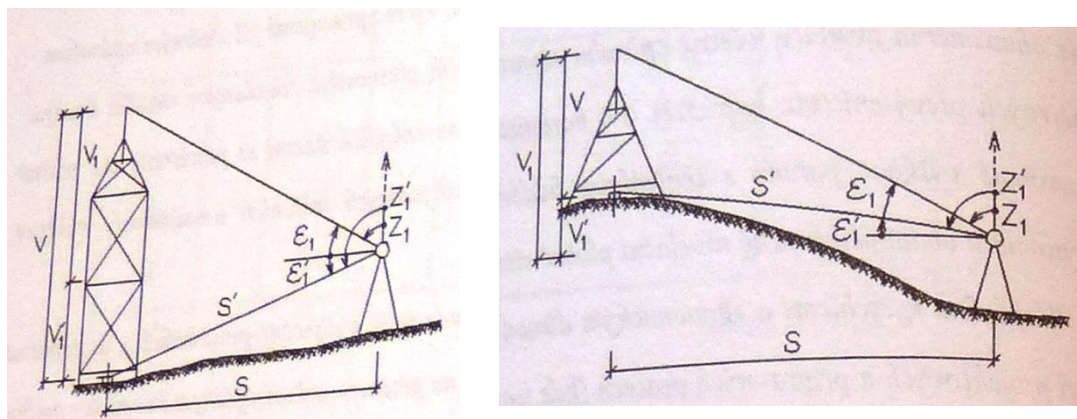
(Obr. č. 1 Fasáda historického objektu; ŠVÁBENSKÝ, 2006)

5. METODY

5.1 Trigonometrické určování výšek předmětů (objektů)

V případě, že není možné měření výšky objektu např. pásmem (pata a vrchol jsou nepřístupné), používá se některé z metod nepřímého – trigonometrického určení výšky. Měřenými veličinami mohou být šikmé nebo vodorovné délky, zenitové nebo výškové úhly.

Nejjednodušší případ nastává, jestliže pata i vrchol leží (alespoň přibližně) na jedné svislici a pata je přístupná délkovému i úhlovému měření. Příkladem může být určení výšek měřické věže, nebo signálu pyramidy nad stabilizační značkou (obr. č.2 a 3) (BLAŽEK, SKOŘEPA, 2004).



(Obr. č. 2 Měřická věž; BLAŽEK, SKOŘEPA, 2004) (Obr. č.3 Pyramida; BLAŽEK, SKOŘEPA, 2004)

Základna se umísťuje pokud možno rovnoběžně s frontou zaměřovaného objektu. Vzdálenost základny od objektu se volí tak, aby měřené zenitové úhly nebyly menší než 50 gon a úhel protnutí vodorovných směrů nebyl příliš malý nebo velký (nejlépe v rozmezí 50 gon až 150 gon), dle možností v měřeném prostoru. Délka základny se zvolí tak, aby se přibližně rovnala dvojnásobku vodorovné vzdálenosti od nejvzdálenějšího zaměřovaného bodu objektu k základně (POSPÍŠIL, 2010).

Pokud je pata nepřístupná délkovému, ale přístupná úhlovému měření, jsou 2 způsoby řešení, které jsou ekonomicky téměř rovnocenné a liší se pouze možnostmi kontroly. V obou případech je nutno zvolit dvojici pomocných stanovisek a změřit potřebné veličiny.

1. Způsob (obecné základny), stanoviska S_1 a S_2 , jejichž spojnice vytváří základnu Z , se volí vzhledem k předmětu v obecné poloze, ale tak, aby vzniklý trojúhelník měl příznivý geometrický tvar blízký rovnostrannému trojúhelníku a délka základny byla dobře měřitelná. Způsob je vhodný v přehledném terénu, umožňujícím rozvinutí základny (obr. č. 4). K určení výšky V bez jakékoliv možnosti kontroly stačí změřit na stanovisku S_1 vodorovný úhel ω_1 a zenitové úhly z_1 a z'_1 , na stanovisku S_2 vodorovný úhel ω_2 a vodorovnou vzdálenost obou stanovisek – základnu z . Pak platí:

$$S_1 = Z \frac{\sin \omega_1}{\sin(\omega_1 + \omega_2)}, \quad V = V_1 - V'_1 = S_1 (\cotg z_1 - \cotg z'_1)$$

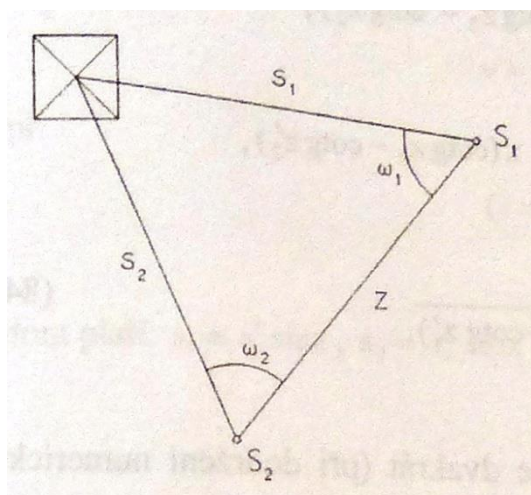
Protože je též možné vypočítat

$$S_2 = Z \frac{\sin \omega_2}{\sin(\omega_1 + \omega_2)},$$

je vhodné pro početní kontrolu změřit navíc zenitové úhly z_2 a z'_2 též na stanovisku S_2 a vypočítat

$$V = V_2 - V'_2 = S_2 (\cotg z_2 - \cotg z'_2).$$

Pokud rozdíl obou výsledků vyhovuje požadované přesnosti, považuje se za výslednou hodnotu aritmetický průměr.



(Obr. č. 4 Obecná základna; BLAŽEK, SKOŘEPA, 2004)

Je-li základna ve svislé rovině, pomocná stanoviska S_1 a S_2 , jejichž spojnice vytváří základnu, se volí v jedné svislé rovině (v přímce) obsahující měřený předmět. Délka základny by měla být alespoň rovna určeným výškovým rozdílům. Způsob je

vhodný v zastavěném terénu, kde není možnost rozvinutí základny (např. úzká ulice). K určení výšky V je třeba změřit kromě vodorovné délky základny též dvojice zenitových úhlů na obou stanoviskách S_1 a S_2 . Podle obrázku č. 5 platí

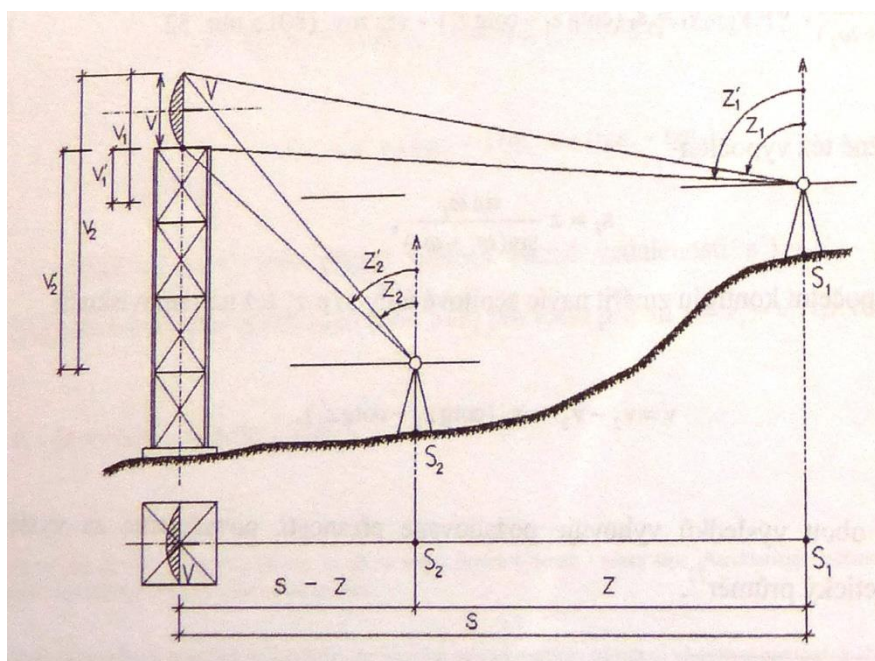
$$V = S (\cotg z_1 - \cotg z'_1) = (S - Z)(\cotg z_2 - \cotg z'_2),$$

$$S(\cotg z_1 - \cotg z'_1) = S(\cotg z_2 - \cotg z'_2) - Z(\cotg z_2 - \cotg z'_2),$$

z čehož

$$S = Z \frac{(\cotg z_2 - \cotg z'_2)}{(\cotg z_2 - \cotg z'_2) - (\cotg z_1 - \cotg z'_1)}$$

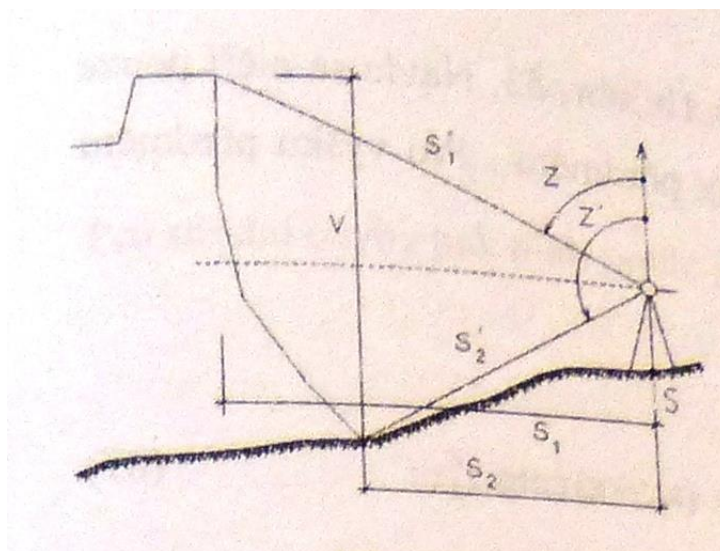
Dosazením do rovnice vyjde výška předmětu sice dvakrát, jde však pouze o početní kontrolu, neznámá S byla určena porovnáním jednoho a téhož výškového rozdílu (BLAŽEK, SKOŘEPA, 2004)



(Obr. č. 5 Základna ve svislé rovině; BLAŽEK, SKOŘEPA, 2004)

2. Způsob je poněkud složitější. Pata a vrchol neleží na jedné svislici, ale je přístupná úhlovému i délkovému měření. Příkladem může být určení výšky opěrné zdi (obr. č. 6). Z vhodně zvoleného stanoviska S se změří zenitové úhly z a z' a šikmé (popř. vodorovné) vzdálenosti s'_1 , s'_2 . Pak platí:

$$V = s'_1 \cos z - s'_2 \cos z'$$



(Obr. č. 6 Opěrná zeď; BLAŽEK, SKOŘEPA, 2004)

5.1.1 Vyhotovení průčelí

Pro vyhotovení pohledu průčelí se musí určit šířkové (horizontální) míry (např. římsy, sloupy, okna, dveře,...). K zaměření se může použít pásma, které se vodorovně napne po fasádě, a jednotlivé prvky se na něj promítají a hodnoty se zanáší do měřického náčrtu, nebo je-li základna vhodně zvolena, tj. rovnoběžně s fasádou objektu, zvolí se počátek souřadnicového systému v levém koncovém bodu základny a kladný směr osy X se vloží do spojnice na druhý koncový bod základny. Poté se vypočtou souřadnice na i-tý podrobný bod (POSPÍŠIL, 2010).



(Obr. č. 7 Průčelí domu; POSPÍŠIL, 2010)

5.1.2 Přesnosti trigonometrického určování výšky předmětu

Výška předmětu byla ve všech uvedených případech dána součtem (resp. rozdílem) dílčích výškových rozdílů. Pro rozbor přesnosti se dá použít nejjednodušší případ $V = V_1 \pm V'_1$.

Pro vytvoření představy o reálné dosažitelné přesnosti v měření zenitových úhlů je uvedena tabulka č. 1 závislosti m_v na Z (80° , 70° , 50°), m_z (0,50 mgon, 1 mgon) a S (30 m, 50 m, 100 m).

Pro představu o dosažitelnosti přesnosti v měření délek Z a m_s (1 cm, 2 cm, 5 cm) je uvedena tabulka č. 2.

S [m]	Z [gon]	m_z	m_v
30	80	5	4
		1	1
	70	5	4
		1	1
	50	5	7
		1	1
50	80	5	6
		1	1
	70	5	7
		1	1
	50	5	11
		1	2
100	80	5	12
		1	2
	70	5	14
		1	3
	50	5	22
		1	4

(Tab. č. 1 Přesnosti zenitových úhlů; BLAŽEK, SKOŘEPA, 2004)

Z [gon]	m_s [mm]	m_v [mm]
80	10	5
	20	9
	50	23
70	10	7
	20	14
	50	36
50	10	14
	20	28
	50	71

(Tab. č. 2 Přesnost měření délek; BLAŽEK, SKOŘEPA, 2004)

Z uvedených tabulek lze stanovit požadovanou přesnost měřených veličin pro konkrétní případ. Bude-li např. požadavek na určení výšky předmětu řádově s centimetrovou přesností ($m_v = 1 \text{ cm}$), bude stačit (při $Z > 70 \text{ gon}$ a $S < 50 \text{ m}$) pro měření zenitových úhlů minutový teodolit. V ostatních případech ($Z < 70 \text{ gon}$ nebo $S > 50 \text{ m}$) je již nutno použít alespoň desetivteřinového teodolitu. Pro tutéž požadovanou centimetrovou přesnost je při $Z > 70 \text{ gon}$ nutno již změřit délku se

střední chybou menší než jeden centimetr. Pozor u strmých záměr ($Z < 70$ gon), kdy tuto centimetrovou přesnost v určení výšky předmětu prakticky nelze dosáhnout přímým měřením délky a je proto nutné odpovídající přístrojové vybavení, např. elektrooptický dálkoměr (BLAŽEK, SKOŘEPA, 2004).

5.2 Protínání vpřed

Protínání vpřed je trigonomecká metoda tzn., že základním výpočetním obrazcem je trojúhelník. Rozlišují se dva typy protínání dle měřených veličin a to buď protínání vpřed z úhlů nebo z délek (HÁNEK A KOL., 2007).

Určuje body nepřímou, číselným protnutím alespoň ve dvou směrech vycházejících ze stanovisek, daných souřadnicemi v jednotné soustavě pravoúhlých souřadnic. Je to obdoba polární metody, protože body se určují opět směrem a vzdáleností, pro jejíž určení se musí řešit trojúhelník. Používá se jí v přehledném terénu, zpravidla při řídkém polohopisu a pro určování bodů ve zvlášť členitém a obtížném terénu (na střeších, přes překážky) a ve velkých vzdálenostech od stanoviště. Hlavní výhodou je rychlé překonávání velkých vzdáleností i obtíží při měření bodů na nepřístupných místech a v jakémkoliv svahu na dosahovou vzdálenost asi desetkrát větší, než je tomu u polární metody (CÍSAŘ, JANEČEK, BOGUSZAK, 1966).

Přesnost zaměření bodů je závislá na kódu kvality podrobných bodů polohopisu, viz tabulka č. 3 [1].

Kód kvality	3	4	6	7	8
Přesnost v m	0,14	0,26	0,21	0,42	1,0

(Tab. č. 3 Kritéria přesnosti podrobných bodů polohopisu; [1])

5.3 Fotogrametrie

Počátky fotogrametrie sahají daleko před vynález fotografie. Prvním, kdo uvedl do praxe centrální promítání, které je základní zobrazovací metodou ve fotogrametrii, byl Leonadro da Vinci. Ten popsal a sestrojil dírkovou komoru, která umožňovala překreslování pozorovaného předmětu pomocí centrální projekce. Tuto komoru opatřil spojnou čočkou Jan Kepler a byla nazvána camera clara. Vynález fotografie, který reprezentoval Niepce a Daguerre, dále zdokonalil H.F. Talbot, který jako první zavedl do technologie zpracování proces negativ – pozitiv a uskutečnil tak poprvé zhotovení většího počtu stejných fotografií z jednoho negativu. Do této doby byla každá fotografie neopakovatelným originálem. Dva roky po vynálezu fotografie zkonstruoval slovenský vědec prof. J.M. Petzval první moderní objektiv a zavedl do geometrické optiky exaktní výpočetní metody, čímž významně přispěl k rozvoji fotogrametrie (BÖHM, 2002).

Fotogrametrie je věda, způsob a technologie, která se zabývá získáváním dále využitelných měření a dalších produktů, které lze získat z fotografického záznamu. Ten lze pořídit analogovou formou na světlocitlivé vrstvy nebo digitálně. Pro získání snímku lze použít zařízení od amatérských fotoaparátů až po specializované měřičské fotogrammetrické komory.

Ve své podstatě je fotografický snímek středovým průmětem skutečnosti, tedy zobrazovaných předmětů, do roviny snímku.

Pro zpracování měřičského snímku je v ideálním případě třeba znát nebo vypočítat tzv. prvky vnitřní a vnější orientace. Prvky vnitřní orientace jsou konstanta komory (ohnisková vzdálenost f), poloha hlavního snímkového bodu (průsečík osy záběru a roviny snímku, definován snímkovými souřadnicemi x_0, y_0) a vyjádření distorze objektivu (vady zobrazení způsobené objektivem). Prvky vnější orientace jsou poloha projekčního centra (ohnisko, též vstupní pupila, dán geodetickými souřadnicemi X_0, Y_0, Z_0) a vyjádření natočení snímku pomocí rotací v jednotlivých osách (ω, φ, κ v pořadí os x, y, z). Pokud jsou známy tyto prvky, lze vyjádřit prostorovou přímkou, na které měřený (určovaný) bod leží. K úplnému popisu polohy bodů jsou třeba alespoň dva snímky daného objektu z různých stanovisek. Pokud nejsou prvky orientace známy, je možno je (velmi komplikovaně) vypočítat

s využitím tzv. vlíčovacích bodů, tzn. bodů, u nichž známe geodetické souřadnice i snímkové souřadnice (HÁNEK A KOL., 2007).

5.3.1 Rozdělení fotogrammetrie

Fotogrammetrii jako takovou lze rozdělit podle následujících kritérií:

- 1) Podle polohy stanoviště, z něhož byl snímek pořízen na:
 - a) Pozemní
 - b) Leteckou
- 2) Podle počtu vyhodnocovaných snímků:
 - a) Jednosnímkovou
 - b) Dvou a vícesnímkovou
- 3) Podle způsobu zpracování
 - a) Metody analogové
 - b) Metody analytické
 - c) Metody digitální
- 4) Podle druhu záznamu vstupních hodnot fotogrammetrického vyhodnocení snímků
 - a) Grafické
 - b) Číselné (numerické), (BÖHM, 2002).

Pozemní fotogrammetrie

U metody pozemní fotogrammetrie je stanoviště zpravidla na nepohyblivém, geodeticky zaměřeném bodě (HÁNEK A KOL., 2007). Náročnost na technické i fotografické vybavení je v těchto případech mnohem menší než u fotogrammetrie letecké. Je možno exponovat delšími expozičními časy a není tak náročná na stav počasí (oblačnost a vítr apod.). Její nevýhodou je skutečnost, že předměty měření se častokrát zakrývají a snímek tak obsahuje velké procento nevyhodnotitelných oblastí.

Hodí se tedy pro objekty, které jsou přibližně stejné vzdálenosti od přístroje a jsou převážně výškově citelné (fasády budov, stěny lomu, skalnatý terén). Dosah pozemní fotogrammetrie je závislý na typu měřické komory a rámcově se pohybuje kolem 500 m (BÖHM, 2002). Přesnost měření je vzhledem k charakteru úlohy podobnému protínání závislá na vzdálenosti objektu od komory, pohybuje se v řádu 0,01 – 0,1 m (HÁNEK A KOL., 2007).

Letecká fotogrammetrie

Při letecké fotogrammetrii je stanovisko pořizovaného snímku umístěno v pohybujícím se nosiči (letadlo, vrtulník, letecký model). Snímek zobrazuje větší plochu a za jednotku času se fotograficky zpracuje mnohem větší oblast zájmového území (BÖHM, 2002). Nevýhodou je, že nelze zpravidla přesně určit prostorovou polohu snímku v okamžiku jeho pořízení a tedy i způsoby zpracování jsou složitější než při pozemní fotogrammetrii (PAVELKA, 2003).

Jednosnímková fotogrammetrie

Metody jednosnímkové fotogrammetrie mohou být použity ve speciálních případech a to tehdy, pokud měřený předmět je rovinný nebo alespoň přibližně rovinný. Může se jednat např. o plochou fasádu budovy, plochý terén. Vztah mezi skutečnými (geodetickými, prostorovými) souřadnicemi je dán projektivní transformací (HÁNEK A KOL., 2007).

Pozemní fotogrammetrie využívá jednosnímkových metod pro tvorbu fotoplánů rovinných objektů, např. nepříliš členitých fasád domů (PAVELKA, 2003). U hloubkově členitých objektů by se příliš projevoval rozdíl mezi středovým průmětem snímku a pravouhlým průmětem a způsoboval radiální posuny podrobných bodů $\Delta r''$ podle vztahu:

$$\Delta r = \Delta r'' * m_F, \quad \frac{\Delta r}{\Delta y} = \frac{r'}{f} \quad \Delta r'' = \frac{\Delta y * r'}{f * m_F}$$

kde m_F je měřítkové číslo. Při požadavku maximálních rozdílů $\Delta r''_{\max}$, nesmí být hloubkové členění objektu větší než Δy :

$$\Delta y_{\max} = \frac{f * m_F * \Delta r''_{\max}}{r'}$$

Z uvedených vzorců je zřejmé, že je důležitý výběr vhodné komory. Použití dlouhoohniskových komor ale přináší problém malého zorného úhlu, což je obzvlášť výrazné při zaměřování památkových objektů, kde je obvykle limitována maximální možná vzdálenost od objektu (např. šířka ulice). Dále je zjevné, že zkreslení radiálním posunem bodů roste směrem od středu snímku a je tedy žádoucí části s většími výstupky umístit pokud možno do středu snímku. V případě, že je objekt hloubkově členitý a rozdíly v souřadnici y přesahují stanovenou mez, je možné překreslit objekt po vrstvách (po částech, které mají přibližně stejnou výšku či vzdálenost od stanoviska; pro každou vrstvu je zapotřebí minimálně 4 vlíčovacích bodů). Pokud nelze užít ani překreslení po částech, je nutno užít metodu stereofotogrammetrickou.

Využití pozemní jednosnímkové fotogrammetrie je zejména v zaměřování fasád stavebních objektů, fotoplánů fresek, archeologických nalezišť a dále při vlícování řezů, např. při metodě světelných řezů (slouží zejména pro zaměřování řezů chodeb, tunelů a jiných vnitřních tmavých prostor) (PAVELKA, 2009).

Dvou a vícesnímková fotogrammetrie

Pomocí dvousnímkové fotogrammetrie lze vyhodnotit z dvojice snímků prostorové souřadnice objektu. Předmět měření musí být současně zobrazen na obou snímcích. Pokud se k vyhodnocení snímků používá stereoskopického vjemu, mluví se o stereofotogrammetrii. Ta je vzhledem ke svým univerzálním vlastnostem nejvíce využívána v dnešní době (BÖHM, 2002).

Vícesnímková fotogrammetrie slouží pro 3D zpracování a vyžaduje vždy nejméně dva vzájemně se překrývající snímky. Z jediného snímku lze určit pouze 2D souřadnice a pro přechod na 3D souřadnice je zapotřebí další měření – tím je další snímek. Předmět měření musí být současně zobrazen na obou snímcích a ze snímkových souřadnic téhož objektu na obou snímcích je možno vypočítat jeho prostorovou 3D polohu (PAVELKA, 2003).

Pokud osy záběrů snímků jsou navzájem konvergentní, hovoří se o vícesnímkovém prostorovém protínání. Technologicky se jedná o průsekovou fotogrammetrii. Konvergentní množinou orientovaných snímků lze vyhodnotit pouze bodově za předpokladu, že stejný bod či objekt lze identifikovat minimálně na dvou snímcích (PAVELKA, 2009).

Metoda analogová

Tato metoda využívá pro vyhodnocení opticko-mechanických zařízení. Tyto přístroje vytváří modelový stav jako při vlastním snímkování. Přístroje jsou velmi složité a k vyhodnocování na nich je potřebný dlouhodobý zácvik speciálně vyškolených pracovníků, aby vyhodnocení bylo dostatečně přesné a produktivní (BÖHM, 2002).

Při této dnes již nepoužívané technologii se mechanicky, opticky nebo kombinací obou možností vytvářel analogický stav jako při vlastním snímkování. Pro analogové zpracování snímků je třeba využívat přesných, složitých jednoúčelových analogových vyhodnocovacích strojů, které dnes již nejsou používány. Přesto je tato technologie zejména pro archivní snímky a nepřiliš velké objemy dat v řadě případů i rychlejší a levnější, než při dnešní digitální technologii (PAVELKA, 2009).

Metoda analytická

Při této metodě se měří snímky na přístrojích zvaných komparátory a k výpočetním pracím je potřeba mít počítač vybavený náročným softwarem (MARŠÍK, MARŠÍKOVÁ, 2002).

Metoda analytická převádí snímkové souřadnice do geodetických pomocí prostorových transformací, které se řeší na počítačích. Takto se dají zpracovat prakticky libovolné snímky (pořízené různými typy komor, různě stočené), nicméně pro stereofotogrammetrické zpracování jsou vhodné snímky s alespoň přibližně rovnoměrnými osami záběru a dostatečným překryvem (BÖHM, 2002).

Zde je nutno rozlišovat analytické vyhodnocení obsahu snímku a analytické vyhodnocení stroje.

Analytické vyhodnocení obsahu snímku využívá pro převod snímkových souřadnic do geodetického systému prostorovou transformací, která se řeší na počítači. Snímkové souřadnice se měří na poměrně jednoduchých, ale přesných strojích typu komparátor, transformace se provádí v dnešní době na libovolném výkonném počítači. Zpracovat lze takto prakticky libovolné snímky (pořízené různými komorami a libovolně stočené). Pro stereofotogrammetrické analytické vyhodnocení je vhodné z důvodu co nejlepšího stereovjemu použít snímky alespoň přibližně s rovnoběžnými osami záběru a dostatečným překrytem. V tomto případě není třeba mít signalizované body pro podrobné vyhodnocení. Pro metody, využívající princip průsekové fotogrammetrie, je zase vhodné užít snímky s vhodným úhlem protnutí os záběrů; podrobné body musí být přirozeně nebo uměle signalizovány.

Analytické vyhrnovací stroje využívají konstrukce stereokomparátoru ve spojení s počítačem. Práce probíhá na originálních snímcích a po nutných orientacích snímků jsou vypočteny transformační klíče. Zhodnocovatel ovládá modelové souřadnice, z nichž se počítají snímkové souřadnice, na které se stroj za podmínky stereovidění automaticky nastaví. Zároveň se vypočtou geodetické souřadnice snímaných bodů (PAVELKA, 2009).

Metoda digitální

Revoluční změna přišla v polovině osmdesátých let. Překotný rozvoj výpočetní techniky umožnil vznik prvních digitálních systémů a vznikla tak digitální fotogrammetrie (PAVELKA, 2003).

Metoda využívá jako vstupní informace digitální obraz. To může být naskenovaný klasický snímek, nebo snímek pořízený přímo digitálním fotoaparátem. Snímkové souřadnice se měří přímo na obrazovce. Pro vytvoření prostorového vjemu obrazu na monitoru počítače je potřebný speciální hardware a software (BÖHM, 2002).

Digitální technologie využívá digitální obraz. Pro převod snímkových souřadnic do geodetického systému se užívá též prostorovou transformaci, která se řeší na počítači. Snímkové souřadnice se měří přímo na obrazovce. Jednodušší systémy si vystačí s běžným počítačem a programem, pro stereometry je nutno doplnit počítač o hardwarové doplňky umožňující stereovidění (PAVELKA, 2009).

Grafické metody

Mezi nejstarší grafické metody patří historická proužková metoda, která přímo vychází z Pappovy věty. Je určena pro bodové vyhodnocení. Pomocí proužku papíru lze také získat informace ze snímku nebo naopak do snímku body dodat. Při troše trpělivosti lze do snímku zakreslit pravidelnou čtvercovou síť, která bude u šikmého snímku perspektivně zkreslena; pomocí sítě lze přibližně odečíst polohu v terénu. Takto se postupovalo již např. v renesančním malířství (PAVELKA, 2009).

Při grafickém způsobu vyhodnocení snímků je k vyhodnocovacímu přístroji připojen kreslicí stůl, na kterém se v reálném čase vykreslují vyhodnocená data. Grafické metody vyhodnocení jsou relativně rychlé, ale vyžadují zkušeného vyhodnocovatele. Nevýhodou je, že tento výstup nelze dále přímo zpracovávat výpočetní technikou a jeho reprodukce a editace je taktéž nekvalitní. Přesnost takto vyhodnocených snímků je taky poměrně malá (přibližně $\pm 0,2$ mm v měřítku mapy) (BÖHM, 2002).

Přístroje na vyhodnocování grafické metody

Obkreslovač

Obkreslovač je zařízení, které se skládá ze stojanu, svislé desky pro uchycení snímku, předsádkových čoček a dvojitého hranolu spojeného polopostříbřenou přeponou. Ten umožňuje pozorovat snímek na svislé desce i podloženou mapu na stole. Tímto způsobem lze doplňovat mapy přímou kresbou do mapového listu. Přesnost vyhodnocení je pochopitelně malá a metody se používalo pro doplňování lesnických map a pro vojenské účely. Dnes je již nepoužívá (PAVELKA, 2009).

Překreslovač

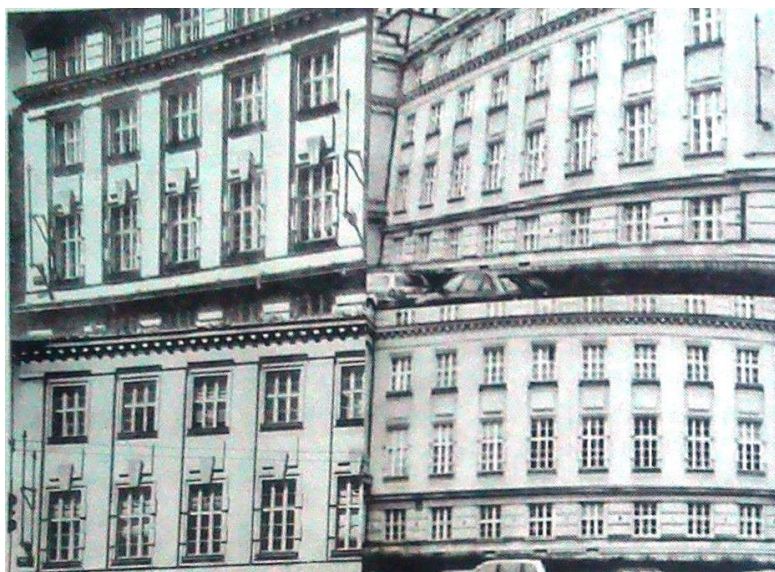
Překreslovače byly vyráběny v malých sériích již od počátku století, dnes již se nepoužívají. Jedná se o poměrně složité opticko – mechanické zařízení, které provádí převod šikmého snímku na snímek svislý do požadovaného měřítka pomocí lícovacího mapového podkladu. Konstruovány byly jako mohutné laboratorní přístroje podobné běžnému zvětšovacímu fotografickému přístroji, ovšem umožňující více stupňů volnosti. Nejjednodušší způsob překreslení snímku by bylo použití stejného objektivu jako při vlastním snímkování, což ovšem nelze zajistit, protože objektivy jsou zaostřeny na nekonečno a promítnutý snímek by nebyl ostrý. Proto je nutno použít jiného objektivu a odlišné ohniskové vzdálenosti f_p a opticko – mechanicky zajistit plnění základních podmínek:

- ostré zobrazení bodu (dáno tzv. čočkovou rovnicí)
- dodržení ostrosti zobrazení v celé rovině i při naklonění průměty; je nutno, aby se rovina snímku, rovina průměty a střední rovina objektivu protínaly ve společné průsečnici (PAVELKA, 2009).

Digitální překreslení

Digitální překreslení je nejjednodušší metodou digitální fotogrammetrie. Jednosnímková metoda odpovídá postupu při klasickém opticko – mechanickém překreslení snímku. Digitální řešení je ale nesrovnatelně rychlejší a elegantnější.

Platí stejné principy pro překreslování snímků, jako u řešení analogového, tj. překreslovat lze jednoduše pouze rovinný předmět nebo terén. Analogovým způsobem lze získat překreslený rovinný útvar ve formě fotoplánu cca za půl dne s přesností 0,3 – 0,6 mm v měřítku plánu. Digitálně lze ten samý výsledek až s dvojnásobnou přesností získat za 30 minut. Postup je jednoduchý a lze ho aplikovat prakticky na libovolném software, který umí provádět kolineární transformaci obrazu na základě lícovacích bodů (PAVELKA, 2009).



(Obr. č. 8 Originální snímek a fotoplán, pořízený měřickou komorou (vlevo), snímek, pořízený obyčejným fotoaparátém a jeho digitálně překreslená podoba – zaklenutí obrazu, vlivem neodstraněné radiální distorze je jasně viditelné (vlevo); PAVELKA, 2009)

Číselné (numerické) metody

Číselný způsob vyhodnocení se zakládá na automatické registraci zájmových souřadnic jednotlivých vyhodnocovacích bodů buď přímo do paměti počítače, nebo na jiné paměťové médium. Výsledkem je vektorový nebo bitmapový soubor, který se dá na počítači dále zpracovávat (BÖHM, 2002).

Tento základní dnešní způsob vyhodnocení spočívá v tom, že se automaticky registrují souřadnice jednotlivých vyhodnocovaných bodů do paměti počítače nebo na jiné datové médium a zpracovávají se buď přímo, nebo v jiném zpracovatelském

systemu do výsledné podoby. Výsledky jsou v podobě vektorové (linie, body, polygony, plochy, atributy) nebo v podobě rastrové. Výhodou je jejich přenositelnosti, ukládání, editace, atd. (PAVELKA, 2009).

5.3.2 Fotogrammetrické objektivy

Objektivy, používané ve fotogrammetrických komorách, musí být konstruovány tak, aby optické vady byly omezeny na minimum. Přesto neexistuje dokonalý objektiv, který by neměl žádné optické vady. U amatérských objektivů musí být zůstatkové vady kalibrovány a následně zaneseny do vyhodnocování.

Fotogrammetrické objektivy se obecně dělí na:

- a) základní
- b) širokoúhlé
- c) teleobjektivy
- d) transfokátory, (BÖHM, 2002)

Základní objektivy

Charakteristickým prvkem základního objektivu je skutečnost, že délka jeho ohniskové vzdálenosti se přibližně rovná velikosti úhlopříčky snímkového formátu. Obrazový úhel základních objektivů se pohybuje ve vzdálenosti na daném formátu od 40 do 60 stupňů (BÖHM, 2002). Konstanta komory $f = 210 - 305$ mm, pojmenování končí na -ar, např. Tessar (PAVELKA, 2009).

Širokoúhlé objektivy

Širokoúhlé objektivy se vyznačují obrazovým úhlem větším než 60 stupňů (BÖHM, 2002). Konstanta komory $f = 110 - 150$ mm, pojmenování objektivů končí na -on, např. Lamegon (PAVELKA, 2009).

Teleobjektivy

Teleobjektivy jsou určeny pro snímání vzdálených předmětů. Jejich význačnou vlastností je tedy to, že mají velkou ohniskovou vzdálenost. Obrazový úhel je menší než 40 stupňů (BÖHM, 2002).

Transfokátory

Zoom objektivy neboli transfokátory jsou objektivy zvláštní konstrukce, jejichž ohniskovou vzdálenost a tím i obrazový úhel je možno plynule měnit, přičemž obraz je tvořen ve stejné obrazové rovině. Ve fotogrammetrii se nepoužívají právě z důvodu změny ohniskové vzdálenosti, která musí být u těchto přístrojů konstantní a přesně známá (BÖHM, 2002).

5.3.3 Fotogrammetrické pozemní komory

Měřické komory jsou takové komory, u kterých známe přesně prvky vnitřní orientace. Tyto komory lze rozdělit podle konstrukce a použití na:

- komory s vodorovnou osou záběru
- komory s naklonitelnou osou záběru
- dvojité komory
- speciální komory
- digitální komory

Hlavní součásti klasické fotogrammetrické komory jsou:

- tělo komory s úchytem na stativ
- objektiv
- značkový rám
- záměrné zařízení
- kazet 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 obyčejně nemají patřičnou opticko – fotogrammetrickou dokonalost a pracují s formátem menšího rozměru. Pro běžné dokumentační aplikace nebo technické zaměření to obyčejně ve spojení s patřičným softwarem stačí, přesné práce je ale třeba provádět s kvalitní fotogrammetrickou komorou (PAVELKA, 2009).

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 (HANZL, 2006).

Komory s vodorovnou osou záběru

Do této skupiny patří dnes již historické přístroje, jejichž hlavním představitelem je fototeodolit PhoTheo, předválečný TAN 19/1318 nebo lehká expediční měřická komora TAF 16/1318, konstruovaná podle návrhu prof. Finsterwaldera již v roce 1925. 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 fotografického záznamu běžným požadavkům naprosto stačily. Dalším problémem je, že většina fotogrammetrických snímků se zpracovává digitálně a skenování skleněných desek je problematické (PAVELKA, 2009).

Komory s naklonitelnou osou záběru

U nás jsou nejrozšířenější komory typu UMK, i ve světě jsou velmi známé pro svou vysokou optickou kvalitu. Do roku 1969 se u nás používaly téměř výhradně fototeodolity s vodorovnou osou záběru, zejména PhoTheo. V tomtéž roce firma Zeiss Jena přišla na trh s novým přístrojem především pro oblast průmyslové a inženýrské fotogrammetrie. Byla to širokoúhlá univerzální měřická komora typu UMK 10/1318, která se stala později základem měřického systému UMK 1318, do kterého patří další typy. Údaje typového oznámení představují základní parametry tj. konstantu komory a rozměry snímku v centimetrech (PAVELKA, 1998).



(Obr. č. 9 Komora typu UMK 10/1318; [2])

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 prvky vnější orientace. Osy záměry jsou kolmé ke směru základny fotografování. Vyráběly je závody Wild, Karl Zeiss Jena a Opton Oberkochen (dnes

Zeiss). Přesnost jednotlivých typů nebyla stejná, dělily se dle přesnosti na přístroje prvního řádu a druhého řádu. Dvojitě komory prvního řádu vycházely z jednotlivých komor UMK a speciálního závěsu, komory druhého řádu měly pevnou konstrukci a poloviční formát. Dvojitě komory druhého řádu se dnes již prakticky nevyužívají (PAVELKA, 2009).

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 plošnému filmu. Jistou nevýhodou těchto zařízení byla i poměrně velká spotřeba elektrické energie, čímž bylo limitováno jejich použití. Kolem roku 2006 začaly výrobci snižovat cenu digitálních zrcadlovek a byl prolomen rozměr matice adekvátní kinofilmu (24x35mm). Dostupnost těchto zařízení velmi rychle ovládla trh a také velmi blízko fotogrammetrii (PAVELKA, 1998).

Výhodou digitálních komor je okamžité zhodnocení snímku, vymazání nevhodných snímků, lepší radiometrické rozlišení a vyšší citlivost detektorů oproti fotografické emulzi, nižší náklady při častém snímání, ekologická nezávadnost procesu, možnost on-line zpracování snímků, nízká hmotnost komor, stálost rozměru obrazu, archivace a plnohodnotné kopírování snímků (PAVELKA, 2009).

Kamery s pohyblivým CCD senzorem

V pozemní fotogrammetrii je na rozdíl od letecké, bezproblémové použití kamer, které obsahují místo pevného CCD čipu pohyblivou matici CCD senzorů. Zde je kamera umístěna pevně na stativu a je určena pro snímání především nepohyblivých objektů, tudíž není problém případná delší expozice. Tato technologie má proti nepohyblivému čipu jednu výhodu – je tak možno získat při dnes dlahovém rozlišení CCD čipů mnohem větší objem dat.

K zástupcům tohoto typu profesionální fotogrammetrické kamery patří Rollei RSC. Kamera je konstruována pro kontrolu kvality, deformační analýzu v průmyslu a své uplatnění by mohla najít i při velmi přesných měřeních v hornictví, stavebnictví, geologii a jiných oborech (obr. č. 10) (BÖHM, 2002).



(Obr. č. 10 Digitální fotogrammetrická komora Rollei RSC; BÖHM, 2002).

Kamery s pevným CCD senzorem

Nejrozšířenější kategorií digitálních přístrojů jsou fotoaparáty s jedním pevným maticovým CCD čipem. Zajímavým modelem této kategorie je profesionální fotogrammetrická kamera Relleid d7 Metric. Obsahuje CCD čip o velikosti 1280x1024 pixelů, jedná se o kalibrovaný fotogrammetrický přístroj. Její využití je směřováno do blízké fotogrammetrie, kde je tolerována nižší přesnost vyhodnocení (obr. č. 11) (BÖHM, 2002).



(Obr. č. 11 Digitální fotogrammetrická kamera Rollei d7 Metric; BÖHM, 2002)

5.3.4 Přesnost blízké fotogrammetrie

Přesnost určení souřadnic bodů v blízké fotogrammetrii závisí na geometrických a negeometrických faktorech.

Ke geometrickým faktorům patří:

- 1) Měřítko snímku, což je dáno konstantou kamery (ohniskovou vzdáleností) a vzdáleností projekčního centra od objektu. Větší měřítko znamená větší přesnost.
- 2) Velikost úhlu, pod kterým se paprsky protnou. Optimální úhel protnutí paprsků je 90° , avšak tento úhel je příliš velký, pro dobrou identifikaci a měření bodů je žádoucí, aby osa terče (bodu) svírala s paprskem úhel ne větší než 30° .
- 3) Rozmístění vřícovacích bodů. Vřícovací body musí obklopovat rovnoměrně celý prostor s objektovými body. V opačném případě přesnost klesá.
- 4) Geometrie snímkování. Nejvyšší přesnosti dosáhneme, když v blízké fotogrammetrii použijeme konvergentní snímkování z více stanovisek. Za konfiguraci snímkování z více stanovisek je považováno měření objektu,

když zájmový prostor je zobrazen na třech a více snímcích, které jsou pořízeny z míst od sebe vzdálených. Metoda snímkování z více stanovisek má dvě významné vlastnosti, které mají významný vliv na zvýšení přesnosti a spolehlivosti: a) bod je určen protnutím více jak dvěma konvergentními paprsky, b) nadbytečnost měření. U metody snímkování z více stanovisek se rovněž lépe hledají odlehlá měření a eliminují systematické chyby. Kromě vlíčovacích bodů je dobré mít na snímku i několik signalizovaných bodů, které jsou rozděleny po celé ploše snímku a slouží jako navazovací (spojovací) body a body sloužící pro zkvalitnění výpočtu prvků vnější orientace snímků (HANZL, 2006).

Mezi negeometrické faktory patří:

- 1) Matematický model odstranění systematických chyb, zejména zkreslení objektivu (dokonalejší model zlepši přesnost, kvalitnější objektiv nepotřebuje složitý model).
- 2) Přesnost měření snímkových souřadnic.
- 3) Počet snímků z jednoho stanoviska (zvýší se počet měření).
- 4) Tvar (symetrie) a osvětlení bodů.
- 5) Použití kamery s reseau (eliminace deformace filmu zlepši přesnost), nerovinnost filmu v souvislosti s velikostí obrazového úhlu kamery (u širokoúhlých objektivů se více projeví chyby z nerovnosti filmu).
- 6) Způsob vyrovnání v souvislosti s metodou eliminace odlehlých měření (HANZL, 2006).

Přesnost fotogrammetrie při zpracování snímků na překreslovačích se může charakterizovat středními chybami v poloze bodů na plánu $\pm 0,3$ až $0,4$ mm. Proto se pozemní fotogrammetrie velmi výhodně uplatní při měření strmých, neporostlých svahů (BÖHM, 2002).

Existuje několik možností, jak zvýšit přesnost měření při daném přístrojovém vybavení. Jde o opakování nastavení a měření bodů na snímku, bod na objektivu je reprezentován shlukem terčů a opakování expozice z jednoho stanoviska. Největší efekt přináší opakování expozic z jednoho stanoviska, nejmenší efekt opakování

měření snímkových souřadnic. Není však účelné provádět více jak tři snímky z jednoho stanoviska, další přírůstek přesnosti je zanedbatelný (HANZL, 2006).

Hlavní faktory omezující přesnost fotogrammetrických měření

Hlavní faktory omezující přesnost fotogrammetrických měření převážně u neměřických komor jsou systematické chyby zahrnující deformace záznamového média ve snímkové rovině a zkreslení objektivu. U filmu se jedná zejména o nerovnost filmu. Nerovnost filmu je nebezpečná zejména u kamer se širokoúhlými objektivy na okraji snímku. Ta je způsobena tím, že neměřické komory nejsou konstrukčně speciálně upraveny pro zabezpečení rovnosti filmu. Tento nedostatek lze částečně eliminovat pomocí přídavných parametrů. Povrch filmu může být ve tvaru např. viz obr. č. 12. Digitální snímače nevykazují významné deformace (HANZL, 2006).



(Obr. č. 12 Deformace filmu v rovině snímku; HANZL, 2006)

5.3.5 Použití ve stavebnictví

Ve stavebnictví se pozemní fotogrammetrie používá především pro dokumentaci stavebních objektů, ať již památkových, nebo nových. Lze ji využít jak pro zaměrování exteriérů, tak i interiérů. Dokumentace stavu kleneb, které by se jinak těžko zaměřovaly, je pomocí pozemní fotogrammetrie velmi rychlá a snadná. Pro rovinné stavební objekty se využije jednosnímkové fotogrammetrie, pro dokumentaci prostorově členitých staveb stereofotogrammetrie (obr. č. 13) (BÖHM, 2002).



(Obr. č. 13 Fasáda – snímek a vyhodnocený výkres; HANZAL 2006)

Využití pozemní jednosnímkové fotogrammetrie je zejména v zaměřování fasád stavebních objektů, fotoplánů, archeologických nalezišť a dále při vlíčovacích řezů, např. při metodě světelných řezů, která slouží zejména pro zaměření řezů chodeb, tunelů a jiných vnitřních tmavých prostor (PAVELKA, 1998).

Fotogrammetricky lze sledovat i deformace staveb při zatěžovacích zkouškách či jejich sedání při výstavbě, určovat rozměry a tvary objektů ve výstavbě. Dvojitých komor lze využít při zaměřování kulturních památek (soch, plastik). Při vyhodnocení lze získat nejen pohledy na tyto objekty, ale vykreslovat i rovnoběžné svislé řezy a podle nich vyhotovit kopie soch.

Jiné uplatnění se nabízí při sledování rovinných deformací, které probíhají při zatěžovacích zkouškách ocelových mostů anebo při návrhu různých konstrukcí. Zde se používá metoda časové základny. Její princip spočívá v tom, že ze stejného místa pořizujeme snímky o stejných prvcích vnitřní i vnější orientace v průběhu celé zkoušky. Začne-li se projekt prohýbat, projeví se průhyb změnou snímkových

souřadnic. Ve stereokomparátoru se průhyb projeví změnou horizontální paralaxy (deformační paralaxy p).

Jsou-li roviny snímku a deformační přesně rovnoběžné, stačí pak měřenou deformační paralaxu vynásobit měřítkovým číslem snímku m_s .

$$\text{Průhyb: } z = m_s * p,$$

kde se m_s určí pomocí vlíčovacích bodů v rovině deformací (BÖHM, 2002).

5.4 Skenovací systémy

Poměrně nová technologie, založená na prostorové polární metodě (i když existují výjimky, zvláště u skenerů určených pro krátké vzdálenosti) a bezhranolovém dálkoměru. Přístroje, tzv. laserové skenery, umožňují neselektivní měření obrovského množství bodů na povrchu objektu. Řádově se jedná o tisíce bodů měřených za sekundu a celkem o miliony bodů (tzv. mračno bodů, viz obr. č. 14), ze kterých lze objekt s využitím předpokladů o jeho geometrii vymodelovat. Výsledkem zpracování může být CAD model, nad kterým lze ve specializovaných programech provádět měření, výpočty kubatur apod.



(Obr. č. 14 Mračno bodů; PU, 2010)

Pro usnadnění orientace bývá jednotlivým bodům přiřazena barva podle množství zpět odraženého signálu, tím se v podstatě odlišují jednotlivé materiály. Jednotlivá mračna bodů pořízená z různých stanovisek lze spojovat a vytvářet tak komplexní obraz měřeného prostoru. Přístroje nelze použít pro skenování hladkých, lesklých a záření pohlcujících materiálů. Obvyklá maximální vzdálenost měření je 50 – 100 m, ale existují přístroje měřící předměty o velikosti 1 m a také přístroje skenující na vzdálenost 1000 m. Přesnost měření se pohybuje řádově v milimetrech, je závislá na vzdálenosti, typická přesnost je 6 mm na vzdálenost 50m (HÁNEK A KOL., 2007).

Skenovací systémy lze dělit podle různých kritérií. Jedním z nich je umístění skeneru při skenování. Je-li skener umístěn pevně na zemi, jde o statický systém, je-li na pohyblivém nosiči (autu, drezíně, vrtulníku,...) jde o kinematický systém. Dále je možno skenery dělit podle měřicího principu, podle zorného pole, podle dosahu, podle přesnosti určení bodu a rychlosti skenování (POSPÍŠIL, 2007).

5.4.1 3D skenery

Vývoj 3D skenerů započal v devadesátých letech minulého století a 3D skenery se dostaly do popředí zájmu odborné veřejnosti kolem roku 2000. Nová technologie přímého určování 3D souřadnic upoutala pozornost zejména pro svou rychlost snímání a ohromné množství přímo měřených prostorových bodů. Zprvu byla tato technologie směřována ve své letecké aplikaci na tvorbu digitálního modelu terénu a ve své pozemní aplikaci na zjišťování prostorových tvarů složitých technologických zařízení, jako např. potrubních systémů v rafineriích apod. Velmi rychle se ale začalo používat 3D skenerů v řadě různých aplikací. 3D skenery jsou často spojovány s laserovým skenováním, které ale tvoří jen určitou podmnožinu těchto zařízení (PAVELKA, 2006).

Mezi důležité vlastnosti 3D skenovacích systémů patří tvar zorného pole. Zorné pole je maximální úhlový rozdíl krajních výstupních svazků paprsků, udává se ve stupních v horizontálním a vertikálním směru. Tato vlastnost je úzce spjata s tím, jakým způsobem je naváděn svazek do bodů rastru.

3D laserové skenery obecně fungují tak, že laserový svazek je naváděn podle programu na body rastru ve sloupcích či řádcích, přičemž je měřen horizontální a vertikální úhel a vzdálenost. U některých modelů je tak činěno pomocí systému dvou zrcadel nebo hranolů se vzájemně kolmými osami otáčení. Tento systém umožňuje rozmítat laserový svazek do relativně malého zorného pole, podobného jako u fotoaparátu nebo kamery a tyto skenery se nazývají kamerové. U panoramatických skenerů je otáčeno celou dálkoměrnou součástí pomocí servomotorů, což umožňuje postihnout téměř celé okolí (POSPÍŠIL, 2007).

5.4.2 Statické systémy

Dělení skenerů

Obecně 3D skenování zahrnuje několik základních typů zařízení, pracujících na různých principech a liší se i využitím, které je dáno přesností, rychlostí a dosahem (PAVELKA, HODAČ, 2008).

Skenery mohou být děleny do skupin podle měřicího principu viz obr. č. 15.



(Obr. č. 15 Rozdělení skenerů podle měřicího principu; POSPÍŠIL, 2007)

U skeneru přímo měřicího prostorovou vzdálenost je využito buď měření tranzitního času anebo vzniklého fázového rozdílu. U jedno kamerového systému je základna

tvořena CCD kamerou a středem rotace zrcátka, snímá se stopa laserového svazku na objektu. U dvou kamerového systému je základna tvořena dvěma konvergentně zaměřenými CCD kamerami a projektorem se vytváří světelný řez, nebo se využije opět laseru (POSPÍŠIL, 2007).

Dělení skenerů podle dosahu

Podle dosahu se skenovací systémy dělí přibližně do čtyř skupin:

- a) Systémy s velmi krátkým dosahem D1 (0,1 m až 2 m)
- b) Systémy s krátkým dosahem D2 (2 m až 10 m)
- c) Systémy se středním dosahem D3 (10 m až 100 m)
- d) Systémy s dlouhým dosahem D4 (100 m a více) (POSPÍŠIL, 2007).

S dosahem je spjato i další dělení podle technologického principu:

- a) Laserové skenery pracující na základě přímého měření prostorové vzdálenosti mezi měřícím zařízením a měřeným bodem (dosah stovky m)
- b) Triangulační 3D skenery pracující na základě měření ze známé základny (dosah 25 m)

Zejména triangulačních systémů existuje řada konstrukčních možností. Využívá se obvykle jedné nebo dvou digitálních kamer a laseru, jehož stopa na objektu je kamerami zaznamenána a vyhodnocována do podoby 3D souřadnic. Laboratorními systémy, určené pro menší předměty, využívají pomalu rotující točny, na kterou se předmět umístí. Jiné systémy využívají zobrazení strukturovaného světla na předmětu a jeho snímání dvěma kamerami; v tomto případě se využívá obdobně jako v digitální fotogrammetrii obrazové korelace (PAVELKA, 2006).

Dělení skenerů podle přesnosti

Podle přesnosti se skenery dělí v závislosti na jejich dosahu také do čtyř skupin. Jsou to skenery s malou základnou určené pro menší vzdálenosti skenování D1 s vysokou přesností P1 (0,01 mm až 1 mm), která však se vzrůstající vzdáleností výrazně klesá. Dále skenery s velkou základnou a skenery přímo určující vzdálenost (polární skenery) s krátkým dosahem skenování D2 s přesností P2 (0,5 mm až 2 mm). Polární skenery se středním dosahem D3 s nepatrným poklesem přesnosti měření s narůstající vzdáleností P3 (2mm až 6 mm) a konečně polární skenery s dlouhým dosahem skenování D4 s přesností P4 (10 mm až 100mm) (POSPÍŠIL, 2007).

Dělení skenerů podle rychlosti skenování

Podle rychlosti měření podrobných bodů lze skenovací systémy přibližně rozdělit do čtyř skupin:

- a) Systémy s velmi vysokou rychlostí R1 (více jak 50 000 bodů za sekundu)
- b) Systémy s vysokou rychlostí R2 (1000 až 50 000 bodů za sekundu)
- c) Systémy se střední rychlostí R3 (10 až 1000 bodů za sekundu)
- d) Systémy s nízkou rychlostí R4 (do 10 bodů za sekundu)

S velmi vysokou rychlostí skenují některé základnové skenery a skenery s polární metodou používající fázové dálkoměry. S vysokou rychlostí skenuje většina polárních skenerů používající pro měření délek tranzitní čas. Nízkou rychlostí měří především přístroje, které nejsou primárně zaměřeny na sběr velkého množství dat, například totální stanice se skenovacím modulem, zde je rychlost cca 1 bod za sekundu (POSPÍŠIL, 2007).

Polární skenery

Polární skenery, též nazývané laserové skenery, využívají pro určení prostorové polohy bodu obecnou prostorovou polární metodu. Na stanovisku, kde je umístěn laserový skener, jsou pro každý měřený bod zaznamenávány automaticky horizontální úhel, vertikální úhel a šikmá vzdálenost od stanoviska měřeného bodu. Vzdálenost se měří na základě vyslaného a předmětem odraženého paprsku laseru, měření se opakuje s vysokou frekvencí, umožněnou rychlostí světla. Klasický laserový skener využívá pro pohyb laserové hlavy v horizontální rovině v jemném kroku zlomků stupně přesný krokový motor, ve vertikální rovině je paprsek laseru vychylován rotujícím zrcátkem nebo hranolem. Existují prakticky dvě základní technické modifikace měření prostorové vzdálenosti:

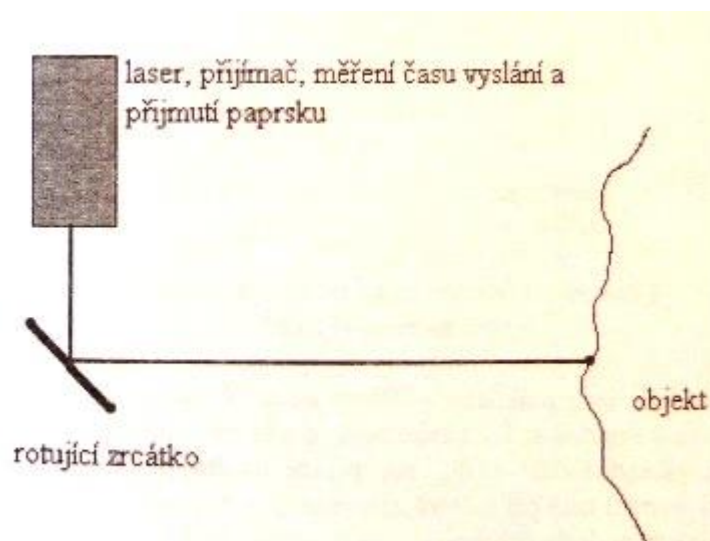
1) Přímé měření vzdálenosti („rating scanner“)

Čas letu laserového pulzu (je vyslán laserový puls a měří se čas mezi vysláním pulzu a přijutím obrazu „time of flight“ = tranzitní čas)

2) Porovnání fáze

(je vyslán paprsek, který je modulován harmonickou vlnou a vzdálenost k předmětu se vypočte jako fázový rozdíl mezi vyslanou a přijatou vlnou)

(PAVELKA, HODAČ, 2008).



(Obr. č. 16 Princip práce laserového skeneru „time of flight“; PAVELKA, HODAČ, 2008)

Laserové skenery se dělí podle konstrukce na systémy:

- a) Stacionární
- b) Mobilní
- c) Letecké

Podle dosahu se dělí na 3 základní třídy:

- a) 0,1 – 1 m
- b) 1m – 10 m
- c) 10 m – 100 m

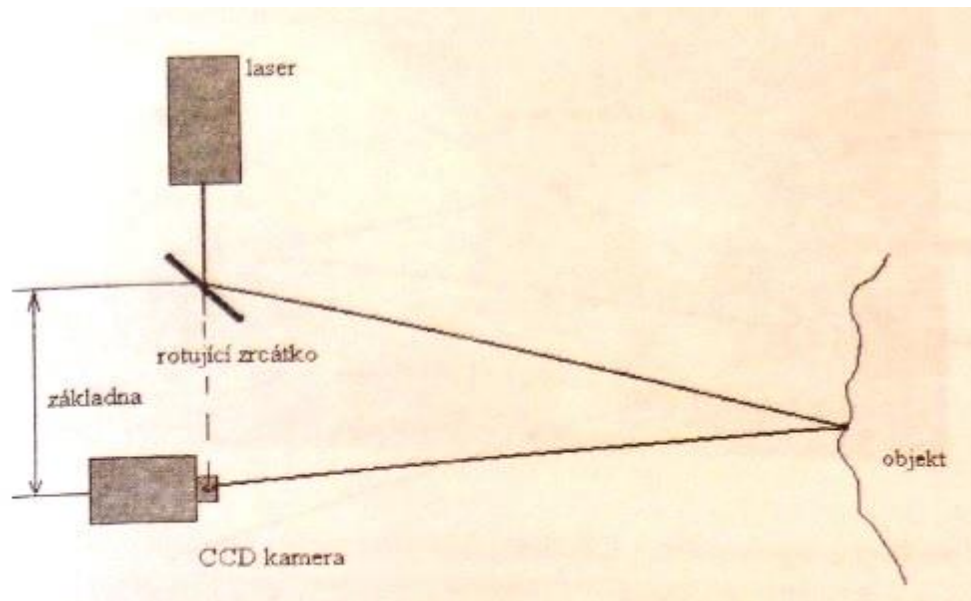
V současné době jsou prakticky všechny laserové skenery vybaveny digitální kalibrovanou kamerou nebo přídatným digitálním fotoaparátem s vysokým rozlišením, případně dále s GPS pro přesné určení polohy skeneru. Většina laserových skenerů také při měření zaznamenává originální hodnoty odrazivosti od jednotlivých podrobných bodů – toho se dá využít pro tvorbu věrného 3D modelu; lepší výsledky ale vykazuje využití digitální fotografie. Po vytvoření zaplochaného 3D modelu je možno vypočítat pro jednotlivé prostorové podrobné body jejich polohu v digitálním snímku a hodnotu patřičného pixelu přenést do třírozměrného modelu. Takto je možno vytvořit fotorealistické 3D modely skenovaných objektů (PAVELKA, 2006).

Triangulační 3D skenery

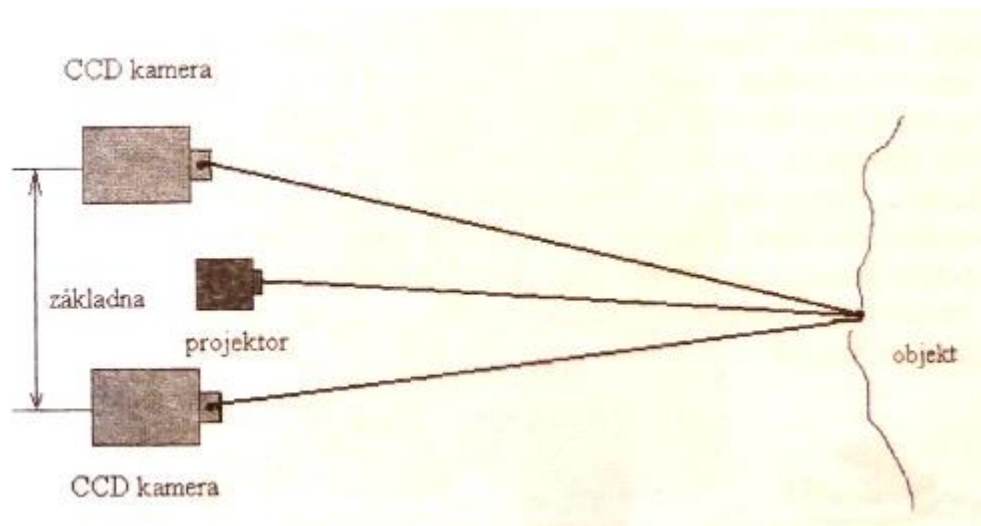
3D skenery využívají měření z konců známé základny. Využívá se řada kombinací a technických řešení. Základními jsou:

- a) Jedna kamera a laser (laser a kamera jsou umístěny na základně, snímá se stopa laseru na objektu; buď se otáčí objekt, nebo se vychyluje zrcátkem laserový paprsek)
- b) Dvě kamery a laser nebo projektor (kamery jsou konvergentně zaměřeny na objekt ze známé základny; projektorem se nasvětluje strukturovaným světlem)

objekt nebo se pro definování podrobných bodů použije stopa laseru)
(PAVELKA, HODAČ, 2008).



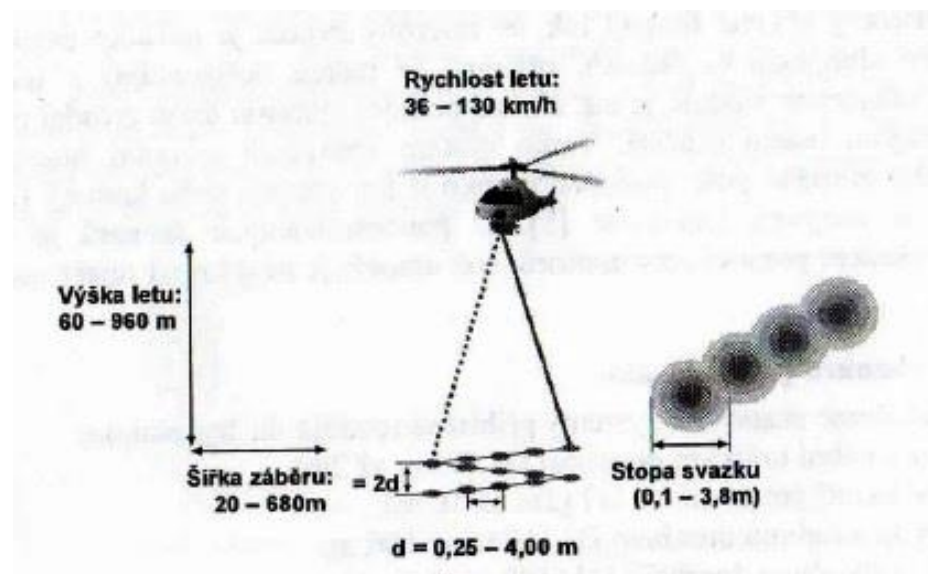
(Obr. č. 17 Princip triangulačních skenerů – jedna kamera a laser; PAVELKA, 2006)



(Obr. č. 18 Princip triangulačních skenerů – dvě kamery a projektor nebo laserové ukazovátko; PAVELKA, 2006)

5.4.3 Kinematické systémy

Jedním ze zástupců je prvotní technologie leteckého laserového skenování, která je běžná ve vyspělých zemích Evropské unie a Spojených státech. Původně vojenská technologie je známá již desetiletí. Do civilní praxe byla uvolněna koncem 80. let dvacátého století, ale masivní rozvoj proběhl až během posledních let, kdy se letecké laserové skenování dostalo i na území České a Slovenské republiky. Pro určování digitálního modelu terénu a měření plošných území bývá laserový systém instalován v letadle, při měření objektů, kde je požadována větší přesnost a hustota bodů je nutné nainstalovat systém do vrtulníku (obr. č. 19). Letadlo létá zpravidla ve výšce od 200 metrů do 1600 metrů rychlostí kolem 200 km/h. absolutní přesnost měřených bodů se pohybuje v rozmezí 0,1 m až 0,3 m. Z těchto parametrů vyplývá, že takto získaný model terénu svou přesností vyhovuje pro většinu aplikací. Velkou výhodou je rychlost jeho získání a zpracování (POSPÍŠIL, 2007).



(Obr. č. 19 Poměry při leteckém skenování; POSPÍŠIL, 2007)

5.4.4 Vlivy působící na kvalitu měřených dat

Na kvalitu získaných dat působí celá řada vlivů, se kterými je nutné při skenování počítat, jako je přesnost měření, přesnost transformace, geometrie a povrch skenovaného objektu. Na přesnost měření působí především přesnost určení jednotlivých prvků, ze kterých se určuje prostorová poloha podrobných bodů, například u skenovacích systémů pracujících na principu polární metody se jedná o přesnost určení délky průvodce r a přesnost určení úhlů φ , θ . Tyto veličiny jsou ovlivňovány nejenom kvalitou jednotlivých komponent skeneru, ale také vnějšími vlivy jako jsou atmosférické podmínky. Dalšími významnými vlivy jsou přesnost spojování jednotlivých naměřených mračen bodů do jednoho výsledného celku a transformace do požadovaného souřadnicového systému. Tvar objektu spolu s vlastnostmi povrchu také výrazně ovlivňují kvalitu naměřených dat. U tvaru stejně jako u povrchu zaměřovaného materiálu záleží na úhlu dopadu dálkoměrného svazku na zaměřovaný objekt (POSPÍŠIL, 2007).

5.4.5 Typy skenerů

Laserové skenery dnes představují ucelenou skupinu zařízení se specifickými vlastnostmi i využitím. Přestože existuje celá řada typů, jejich konstrukce je podobná a liší se jen v detailech a parametrech. Novější systémy jsou v současné době vybaveny fotografickým digitálním kalibrovaným fotoaparátem pro využití při kvalitní dokumentaci pozemních, zejména historických objektů; fotoaparátem s vysokým rozlišením umožňuje pořizovat pravou texturu objektů a vytvářet např. tzv. „pravé ortofoto“, kde nejsou radiálně posunuty ani části staveb (střechy, římsy apod.). Starší zařízení užívaly pro snímání textury pouze malé kamery nebo se přímo měřila i odrazivost z bodu měření. Původní zařízení z přelomu století byla hmotnější, měla nižší přesnost a zejména nepříliš vhodné ovládání, které neumožňovalo přímý výběr skenované oblasti. Současné systémy mají zejména velmi propracovaný systém možností měření i jeho ukládání (PAVELKA, HODAČ, 2008).

Riegl

LMS-Z390i

Jedná se o přesný skener s vysokým rozlišením. Skener má dosah až 400m (při odrazivosti 80%, při odrazivosti 10% jen 140m), měří od 1 m. přesnost měření je 6mm, při opakovaném průměrovém měření až 2 mm. Rychlost měření je 8000 – 11000 bodů/s. Rozsah měření vertikálně 80° a horizontálně 360°, rozlišení až 0,001°. Vestavěná digitální komora s vysokým rozlišením zajišťuje kvalitní snímkování a získání textury objektu. Zařízení obsahuje inklinací senzor a připojení na GPS. Komunikace se skenerem je přes běžný notebook, obslužný software RiSCAN PRO zajišťuje vizualizaci měřených dat, komunikaci se skenerem, manipulaci s daty a jejich ukládání (PAVELKA, HODAČ; 2008).



(Obr. č. 20 Skener Riegl LMS-Z390i; [3])

LMS-Z420i

Skener má dosah až 1000 m (při odrazivosti 80%, při odrazivosti 10% jen 350 m), měří od 2 m. Přesnost měření je 10 mm, při opakovaném průměrovém měření až 4 mm. Rychlost měření je 8000 – 11000 bodů/s. Rozsah měření vertikálně 80° a horizontálně 360°, rozlišení až 0,002° [4].



(Obr. č. 21 Skener Riegl LMS-Z420i; [4])

Trimble (Mensi)

GX 3D Scanner

Laserový skener firmy Trimble je novou generací skenerů, které se vyznačují vyšší přesností a snazším ovládním. Rozsah měření je $360^\circ \times 60^\circ$, přesnost je udávána 1,4 mm do 50 m a 6 mm do max 200 m při opakovaných měření, při jednom odrazu je přesnost cca 2x horší. Modelování plochy lze s přesností až 2 mm. Ovládní skeneru je přes notebook nebo Pocket PC. Přístroj obsahuje elektronickou libelu, dvouosý kompenzátor, možnost zavádění atmosférických korekcí pro zpřesnění výsledků a podprogramy pro orientování systému. Bohaté programové vybavení umožňuje mimo jiné automatické tvorby panoramat, přímé sledování obrazu i skenů, volbu území polygonem na monitoru, automatické rozpoznávání terčů pro vlícování skenů do referenčního systému, video-zoom a jiné (PAVELKA, HODAČ; 2008).



(Obr. č. 22 Skener Trimble GX 3D; [5])

Callidus

CP 3200

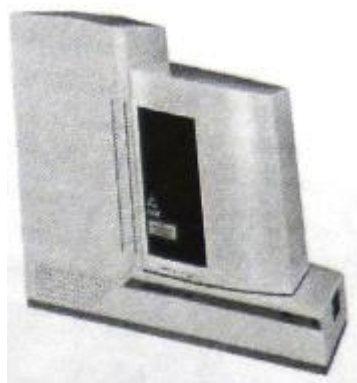
Skener patří k prvním panoramatickým, umožňuje otáčení až o 360° a je určen zejména pro interiéry, kde je velmi jednoduchý na ovládání i samotné měření. Bohužel zabudovaná laserová hlava je původně určena pro technické využití (sledování dopravníků, hlídání nebezpečných prostor při výrobě) a není svou přesností dnes na úrovni ostatních špičkových zařízení tohoto druhu, zejména díky značné rozbíhavosti laserového paprsku. V horizontálním směru má rozlišení $0,0625^\circ$, $0,125^\circ$, $0,25^\circ$, $0,5^\circ$, $1,0^\circ$. Ve vertikálním má rozsah $40 - 180^\circ$ a rozlišení $0,25^\circ$, $0,5^\circ$ a $1,0^\circ$. Udávaná přesnost je 5 mm do 32 m, přesnost modelování povrchu (průměrováním měření a vyhlazením) je udávána až 2,5 mm. Rychlost měření je 1750 bodů/s. zařízení obsahuje elektronický kompas, elektronický inklinátor a systém vyhledávání odrazných hranolů jako možných vřícovacích bodů (PAVELKA, HODAČ; 2008).



(Obr. č. 23 Skener Callidus CP 3200; [6])

CALLIDUS CT 180

Tento prostorový skener využívá rotaci předmětu a pohyb měřicí hlavy v uzavřeném přístroji (z důvodu světelné stopy na objektu). Hustota bodů na objektu lze nastavit až na $10\mu\text{m}$, z toho vyplývá i přesnost – je lepší než 0,1 mm, maximální vzdálenost je 180 mm. Skener je určen pro menší předměty (PAVELKA, HODAČ; 2008).



(Obr. č. 24 Skener Callidus CT 180; PAVELKA, HODAČ;2008)

Leica (Cyra)

Firma Cyra přišla s jedním z prvních komerčně použitelných laserových skenerů v roce 1998. Zahájila tak nebývalý rozmach obdobných zařízení, určených na přímé určování 3D souřadnic podrobných bodů objektů. V pozdější době jí zakoupila firma Leica. Další typy byly vyvíjeny pod značkou Leica.

Dosah těchto zařízení je až 300 m při vysoké odrazivosti, běžně kolem 130 m. rozbíhavost laserového paprsku je udávána šířkou stopy 5 mm do 50 m, přesnost v poloze 6 mm, ve vzdálenosti 4 mm. Rychlost skenování až 50000 bodů/s (PAVELKA, HODAČ; 2008).

Leica HDS4500

Druhá řada laserových skenerů využívá měření fázového rozdílu. Tento princip umožňuje velmi vysokou rychlost měření 100000 – 500000 bodů/s [7].



(Obr. č. 25 Skener Leica HDS4500;[7])

Zoller-Fröhlich

IMAGER 5006

Dosah 79 m, elektronický inklinátor, rychlost je udávána až 500000 pixelů/s, přesnost je udávána nezvyklým způsobem jako rozsah šumu na určitou vzdálenost (na 25 m 1 – 3 mm dle odrazivosti) a chyba linearity lepší než 1 mm. Systém obsahuje rotující zrcátko s vertikálním rozlišením 0,009°. Průměr laserové stopy po opuštění zařízení (ve vzdálenosti 1 m) je prakticky u všech zařízení stejný a pohybuje se okolo 3 mm (PAVELKA, HODAČ; 2008).



(Obr. č. 26 Skener Zoller-Fröhlich IMAGER 5006; [8])

Optech

V roce 2006 byl předveden skener ILRIS 36D, skener kamerového typu se schopností zaměřovat objekty až do vzdálenosti 1500 m při ideální odrazivosti cílené plochy (80% odrazivosti) s přesností měření 8 mm/100m. Zorné pole činí -20° až 90° a -90° až 20° ve svislé rovině a 360° ve vodorovné rovině. Tento systém je ojedinělý zejména svým dosahem, který výrazně předhání konkurenci. Náklonem zařízení na

speciální podložce lze docílit kompletního pokryvu celého okolí (360° x 360°). Rychlost měření je udávána 2000 bodů/s [9].



(Obr. č. 27 Skener Optech ILRIS 36D; [9])

Faro

Novější firmou vyrábějící laserové skenery je Faro. Klasická konstrukce umožňuje dosah 80 m, záběr 320 ° x 360° s maximálním rozlišením 470000 x 16348 bodů, chyba (na 25 m při odrazivosti 84%) je udávána 3 mm (PAVELKA, HODAČ; 2008).

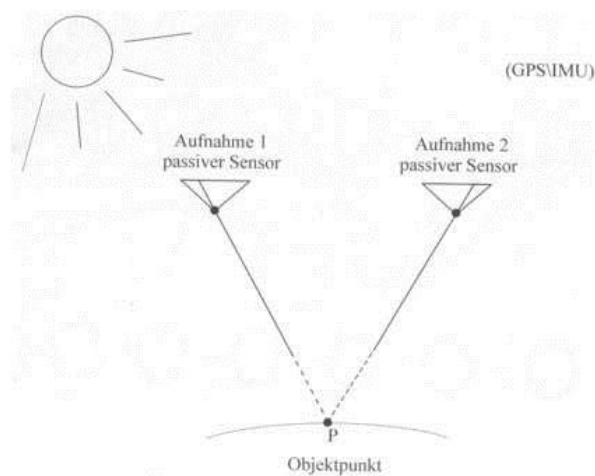


(Obr. č. 28 Skener Faro Focus X 130 [10])

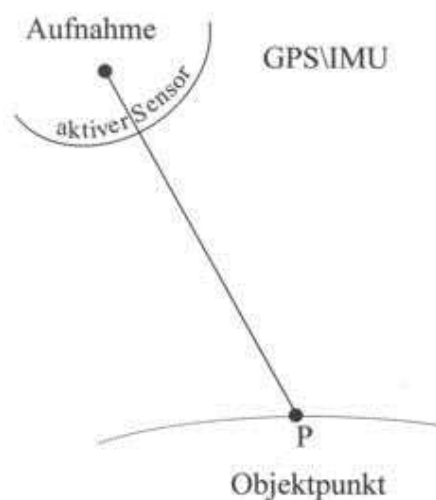
6. POROVNÁNÍ FOTOGRAMMETRIE A LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ

Laserové skenování je nová progresivní technologie, jejímž hlavním problémem je software, který by umožnil efektivní zpracování velkého množství bodů. Byla porovnávána rychlost změření fasády budovy fotogrammetricky a laserovým skenováním s nerozhodným výsledkem. V některých aplikacích je fotogrammetrie stále výhodnější i vzhledem k ceně (HÁNEK A KOL., 2007).

Základní rozdíl mezi laserovým skenováním a fotogrammetrií tkví ve způsobu snímání – fotogrammetrické snímky jsou získávány pasivně, zatímco laserový skener je aktivní systém, který pomocí synchronizovaného měření směru a vzdálenosti udává polární souřadnice obvykle v pruzích. Ve fotogrammetrii se transformace provádí pomocí vlíčovacích bodů, použití GPS je pouze volitelné. Při laserovém skenování se nelze bez měření pozice a orientace, např. pomocí GPS, obejít. Naopak je potřeba je sesynchronizovat s vlastním snímáním (ATTWENGER, BRIESE, 2003).



(Obr. č. 29 Princip stereofotogrammetrie; ATTWENGER, BRIESE, 2003)



(Obr. č. 30 Princip laserového skenování; ATTWENGER, BRIESE, 2003)

Fotogrammetrie je tradiční technologií, která se vyvíjí přibližně 150 let. Pořízení fotogrammetrických snímků je obvykle velmi rychlé. Nevýhodou je relativně pomalé ruční vyhodnocování, podrobné body se vypočítávají vždy z minimálně dvou obrazových záznamů, pořízených z různých míst, pro menší vzdálenosti má vyšší přesnost, která ovšem se zvyšující se vzdáleností výrazně klesá. Fotogrammetrie má lepší možnosti vlícování výsledků do referenčního systému pomocí vlícovacích bodů, dobrou identifikaci hran.

3D skenery mají velmi rychlý sběr přímo měřených 3D bodů, zcela automatický provoz, mají ale špatnou identifikaci hran. U zařízení přímo měřící vzdálenost na základě letu laserového paprsku lze říci, že mají jen mírně se zhoršující přesnost se vzdáleností. Na větší vzdálenost je ale krok měření limitován rozbíhavostí laserového paprsku. Pro zpracování „mračna bodů“ je nutné speciálního programu. Přístroje a zejména pak patřičný software jsou stále ve vývoji a jsou velmi drahé, zařízení velmi rychle stárne a pokrok ve zpracovatelských programech je značný (PAVELKA, 2011).

7. ZÁVĚR

Tato diplomová práce popisuje metody využívané při zaměřování fasád historických objektů a jejich přesnosti při práci.

Metoda	Přesnost
Trigonometrická metoda	Při měření délek řádově v cm Při měření úhlů v rozmezí 0,5 – 1 mgon
Protínání vpřed	Závisí na kódu kvality podrobných bodů polohopisu
Fotogrammetrie	0,01 – 0,1 m
3D skenery	Řádově v mm, závisí na vzdálenosti od objektu měření Typická přesnost 6 mm na 50 m

Na základě technického pokroku a významného rozšíření pozemních 3D skenerů se otevřel nový prostor zejména pro dokumentaci památkových objektů. Tato technologie ale i přes velmi rychlé výsledky fotogrammetrii nevytlačila. Praxe ukázala, že je nutné propojení laserového skenování s digitální fotogrammetrií, ne vše jde dokumentovat pomocí skenování, problémem je i stále vysoká pořizovací cena těchto přístrojů a hlavně cena softwarů potřebných ke zpracování dat.

Oproti klasickým geodetickým postupům má pozemní fotogrammetrie v oblasti zaměření fasád nezanedbatelné výhody. Klasickými geodetickými postupy, např. polární metodou, je zaměření velmi obtížné a neekonomické. Vzhledem k tomu, že okolo zaměřovaných objektů bývá velmi často rušný provoz, je namísto snaha omezit práci v terénu na minimum a použití pozemní fotogrammetrie umožňuje přenést značnou část práce do kanceláře.

Závěrem lze konstatovat, že je obtížné určit, která metoda je nejpřesnější. Jak metoda fotogrammetrická, tak i metoda skenování mají své nezanedbatelné výhody a nevýhody. Pro budoucnost je nutné dále propojovat metodu skenování s fotogrammetrií a pracovat na zlepšení možností zpracování naměřených dat ze skenování a celý postup zaměřování snížit do přijatelných finančních mezí.

8. LITERATURA

1. Blažek, R. *Geodezie 3*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, 162 s
2. Böhm, J. *Fotogrammetrie*. Ostrava: VŠBT, 2002,
3. Císař, J, Buguszak, F, Janeček, J. *Mapování*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1966, 492s
4. Hánek, P. *Stavební geodézie*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007, 133 s
5. Hanzl, V. *Fotogrammetrie*. Brno: VUT, 2006, 101s
6. Maršík, Z., Maršíková M.. *Geodezie II*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2002, 123 s
7. Pavelka, K, Hodač, J. *Fotogrammetrie 3: digitální metody a laserové skenování*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 2008, 190 s
8. Pavelka, K. *Fotogrammetrie 1*. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2009, 200 s
9. Pavelka, K. *Fotogrammetrie*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2003, 247s
10. Pavelka, K. *Fotogrammetrie10*. Praha: České vysoké učení technické, 1998, 95s

11. Pavelka, K. *Laserové skenování - nová technologie sběru prostorových dat: Laser scanning - a new technology for spatial data collecting*. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2006, 32 s
12. Pospíšil, J. *Současné trendy skenování ve stavebnictví a v příbuzných oborech*. Praha: VUT, 2007, 32s
13. Pospíšil, J. *Trigonometrické určení výšek nepřístupných objektů na stavebním objektu*. Praha: České vysoké učení technické, 2010
14. Pu, Shi. *Knowledge based building facade reconstruction from laser point clouds and images*. Delft: Netherlands Geodetic Commission, 2010, ix, 119 p.
15. Švábenský, O. a kol.; *Inženýrská geodézie I*. Brno: VUT, 2006.
16. Švábenský, O. *Geodézie ve stavebnictví*. Brno: VUT, 2006.
17. Attwenger, M., Briese, Ch., *Vergleich digitaler Geländemodelle aus Photogrammetrie und Laserscanning*. VGI. Österr. Z. Vermess. Geoinform., 2003, 271-280 s
18. PAVELKA, K. *Fotogrammetrie 2: VGI*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011, 163 s

Internetové zdroje

[1]

<http://gis.zcu.cz/studium/gen1/html/ch08s04.html>, zobrazeno dne 22.4.2014

[2]

<http://geoforum.pl/?menu=46816,46857,46956&part=1&link=teledetekcja-krotki-wyklad-fotogrametria-rejestracja-obrazu>, zobrazeno dne 12.4.2014

[3]

<http://www.geographica.hr/english/instruments/scanners/riegl>, zobrazeno dne 12.4.2014

[4]

http://www.geokraft.ru/catalog/nazemnye_lazernye_skanery/riegl/nazemnyj_skaner_riegl_lms-z420i/, zobrazeno dne 12.4.2014

[5]

<http://www.macrosurveying.com/3d-scanner-scan-station/75-trimble-gx-3d-scanner.html>, zobrazeno dne 12.4.2014

[6]

http://www.forschung-fuer-die-zukunft.de/index.php?option=show_exponate&funktion=exponate_show_detail&id=1233, zobrazeno dne 12.4.2014

[7]

http://hds.leica-geosystems.com/en/Marketing-Downloads-Images-for-Customers_53641.htm, zobrazeno dne 12.4.2014

[8]

<http://www.zf-laser.com/Z-F-IMAGER-R-5006h.18.0.html>, zobrazeno dne 12.4.2014

[9]

<http://www.dombau.cz/realizace-fasad/technicka-priprava/zamereni-objektu.htm>, zobrazeno dne 12.4.2014

[10]

<http://www.faro.com/products/3d-surveying/laser-scanner-faro-focus-3d/overview>, zobrazeno dne 12.4.2014