

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4106 Zemědělská specializace

Studijní obor: Pozemkové úpravy a převody nemovitostí

Katedra: Katedra krajinného managementu

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Možnosti zaměření prostorového členění malých stavebních objektů

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bc. Martin Pavel

Autor diplomové práce: Bc. Jaroslava Bísková

České Budějovice, 2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jaroslava BÍSKOVÁ**  
Osobní číslo: **Z12686**  
Studijní program: **N4106 Zemědělská specializace**  
Studijní obor: **Pozemkové úpravy a převody nemovitostí**  
Název tématu: **Možnosti zaměření prostorového členění malých stavebních objektů**  
Zadávací katedra: **Katedra krajinného managementu**

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

Cílem práce je popsat a zhodnotit možnosti, časovou náročnost a dosažitelnou přesnost u různých metod zaměření prostorového členění malých stavebních objektů, jako jsou např. památníky, kašny, sochy nebo fasády malých staveb.

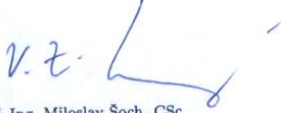
Práce by měla obsahovat:

- stručný popis a vývoj jednotlivých geodetických metod
- stručný popis a vývoj vybavení pro geodetická měření
- příklady nebo návrhy užití, přesnosti a zhodnocení v práci zmíněných metod.

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.  
Pu S.: Knowledge based building facade reconstruction from laser point clouds and images, NGC, Delft 2010.  
Valentová M.: Digitální pozemní fotogrammetrie pro dokumentaci památkových objektů. ČVUT, Praha 2003.  
Maas H.: Airborne and terrestrial laser scanning, Whittles, Dunbeath 2010.  
Pavelka K.: Fotogrammetrie 2, ČVUT, Praha 2011.  
Kašpar M.: Laserové skenovací systémy ve stavebnictví, Vega Hradec Králové 2003  
Kuda F., Ferko M.: Základy správy majetku: zeměměřické činnosti v životním cyklu staveb, VŠB - TU Ostrava, Ostrava 2009.

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. Milošlav Šoch, CSc.  
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studená 13  
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.

25. 4. 2014

.....

**Poděkování:**

Ráda bych poděkovala vedoucímu své diplomové práce Ing. Bc. Martinu Pavlovi za odborné připomínky k danému tématu a cenné rady v průběhu tvorby diplomové práce. Velký dík patří také mé rodině.

## **Abstrakt**

Cílem diplomové práce je popsat, zhodnotit použití a přesnost u jednotlivých geodetických metod a jejich vývoj pro zaměření prostorového členění malých stavebních objektů, jako například památníků, kašen, soch a dalších objektů. Popisuje již zmíněné metody i potřebné vybavení pro geodetická měření od eklimetru u stolové metody až po moderní laserové skenery. Podrobněji jsou popsány metody fotogrammetrie a laserového skenování. U laserového skenování je velmi zajímavý jeho rychlý vývoj. Již dnes je možnost využít velmi moderní technologie, díky nimž je možné získat trojrozměrné obrazy využitelné hlavně pro dokumentaci památek či jiných stavebních objektů.

**Klíčová slova:** fotogrammetrie, skenování, 3D, zaměření, metody

## **Abstract**

The aim of the thesis is to describe and evaluate the use and accuracy of the individual geodetic methods and their development focus for the spatial division of small structures, such as monuments, fountains, statues and other objects. It describes the aforementioned methods and necessary equipment for geodetic measurements from eklimetr at table methods to modern laser scanners. Methods of photogrammetry and laser scanning are described in detail. Rapid development in the laser scanning is very interesting. It is already a possibility to use very advanced technologies that make it possible to obtain three-dimensional images useful mainly for documentation of monuments and other buildings.

**Key words:** photogrammetry, scanning, 3D, focus, methods

## Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Geodetické metody grafické.....</b>	<b>11</b>
2.1. Stolová metoda .....	11
2.2. Metoda stolové tachymetrie .....	12
<b>3. Geodetické metody číselné .....</b>	<b>13</b>
3.1. Ortogonální metoda .....	13
3.2. Polární metoda.....	18
3.3. Metoda protínání .....	21
3.4. Metoda číselné tachymetrie .....	21
<b>4. Fotogrammetrické metody .....</b>	<b>22</b>
4.1. Historie .....	23
4.1.1. Vývoj fotogrammetrie ve světě.....	23
4.1.2. Vývoj fotogrammetrie na našem území.....	25
4.2. Druhy fotogrammetrie .....	26
4.2.1. Kombinovaná metoda (jednosnímková).....	26
4.2.2. Univerzální (dvousnímková) metoda.....	27
4.2.3. Pozemní fotogrammetrie.....	27
4.2.4. Letecká fotogrammetrie .....	31
4.2.5. Analytická metoda .....	32
4.2.6. Digitální fotogrammetrie .....	32
4.2.7. Integrovaná metoda.....	33
<b>5. Laserové skenování.....</b>	<b>33</b>
5.1. Princip skenování .....	34
5.2. Skenovací systémy .....	36
5.3. Software.....	38

5.4.	Vlivy působící na kvalitu měřených dat.....	39
5.5.	Přístroje a systémy.....	39
5.5.1.	Laserové skenery – typy .....	40
5.5.2.	Typy triangulačních 3D skenerů.....	48
<b>6.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>55</b>
<b>7.</b>	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>58</b>



## 1. Úvod

Diplomová práce popisuje vývoj, zhodnocení použití a přesnost jednotlivých metod využitelných pro zaměření malých stavebních objektů převážně historických jako například soch, kašen, památníků nebo i fasád malých stavebních objektů.

Z historického hlediska je první metodou použitelnou pro zaměření stolová metoda. Jedná se o nejstarší metodu, která se již dnes nepoužívá. Situace se zakreslovala přímo v terénu pomocí údajů zjištěných přístrojem zvaným eklimetr na měřický stůl, na kterém byl připevněn mapový podklad. Postupně se metody vyvíjely. Ortogonální metoda byla postupně nahrazována metodou polární. Dále bylo možné použití metody protínání či číselné tachymetrie. Metodami používanými v současnosti převládají fotogrammetrie a laserové skenování.

Praxe prokázala, že oproti klasickým geodetickým metodám zaměření objektů má fotogrammetrie v této oblasti měření mnohé výhody. Klasickými geodetickými metodami jako je například již zmíněná ortogonální nebo polární metoda je zaměření velmi obtížné a nevhodné, jak časově tak finančně. Velmi často bývá okolo zaměřovaných objektů rušný dopravní provoz. Proto je snaha omezit měření v terénu na minimum, což použití pozemní fotogrammetrie dovoluje a může se přenést značná část práce na fotogrammetrická pracoviště. Při vyhodnocování snímků se mohou na objektech snadněji určit různé drobné detaily, jako ozdoby, křivky a podobně. Další výhodou je i dokumentační hodnota snímků, rychlost pořízení snímků, vysoká přesnost v porovnání s přímým měřením, a snadnější určování drobných detailů fasád budov.

Díky tomu má zvlášť pozemní fotogrammetrie své uplatnění v mnoha oborech. Jako příklad lze uvést vyhotovení plánů skutečného stavu zájmových objektů před a po jejich rekonstrukci, dokumentace složitějších objektů, architektonické plánování, dokumentace uměleckých předmětů či zaměření špatně dostupných míst (zbytky zřícenin, ...).

V dnešní době je nutnost zaměřování již zmíněných historických převážně stavebních objektů pro vyhotovení stavební dokumentace, která je poté využívána stavebními projektanty při opravách a rekonstrukcích těchto objektů. Problém může nastat v případě zaměřování malých stavebních objektů s malým vnitřním prostorem.

Proto je potřeba najít takovou metodu, která by umožňovala bez problémů zajistit zhotovení potřebné dokumentace objektu pro následnou rekonstrukci. Vhodnou metodou by se v těchto případech mohlo stát již zmíněné laserové skenování.

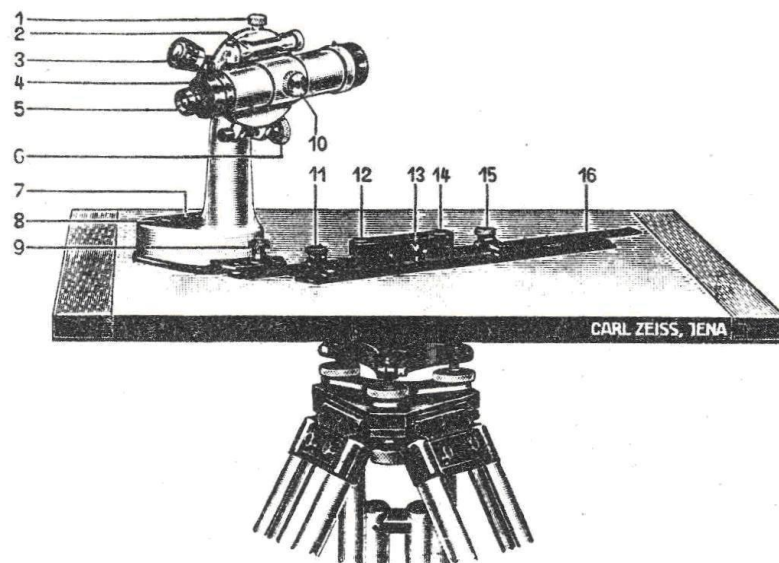
## 2. Geodetické metody grafické

Jsou charakteristické tím, že při nich se mapa vyhotovuje přímo v terénu na základě přímého pozorování a určování bodů grafickým protínáním vpřed nebo grafickým určováním směrů a optickým měřením vzdáleností k nim příslušejících. Mapy vytvořené přímo v terénu jsou nenahraditelným originálem, sice se jimi nedají sestrojít originály v jiných měřítkách, ale umožňují velmi dokonalé znázornění výškopisu (*Císař a kol., 1966*).

### 2.1. Stolová metoda

Nejstarší metodou je metoda měřického stolu, též nazývaná stolová metoda. Dnes se již tato metoda nevyužívá. Stolová metoda je velmi jednoduchá. (*Kukuča, 1986*). Mezi geodetickými metodami byla stolová metoda první metodou v 19. století, která dávala spolehlivé výsledky a umožnila presentovat mapy dostatečně přesné a kompletní. Stolová metoda převažovala v mapování více než půl století (*Maršík, 1998*). Při stolové metodě zeměměřič v terénu měl tzv. měřický stůl, což byla rovinná dřevěná deska rozměrů asi 60 x 60 cm, připevněná na trojnohý stativ. Pomocí libely se stůl urovnal do vodorovné polohy. Na stole byl připevněný tzv. mapový podklad, což byl v podstatě list papíru se zakreslenými body trigonometrickými apod. a s vykresleným rámem mapy v určeném (mapovém) měřítku (*Maršík a Maršíková, 2007*).

Přístroj, který byl používán pro tento druh měření, se nazývá *eklimetr* (obr. č. 1). Je to v podstatě dalekohled s výškovým děleným kruhem připevněný na kovové pravítko. Pravítko umožňuje určit směr na nový bod namísto vodorovného kruhu, jako tomu bylo u teodolitu (*Maršík, 1998*). Když byl později dalekohled eklimetru vybavován výškovým kruhem a dálkoměrnými nitěmi, bylo možné zaměřit i výškové úhly a vzdálenosti (*Maršík a Maršíková, 2002*). Tak se dala při jednom měřickém procesu určovat vzdálenost i převýšení bodů a pořizovat tak polohopisnou i výškopisnou složku mapy přímo v terénu (*Maršík a Maršíková, 2007*).



1. hrubá ustanovka dalekohledu,
2. nivelační libela (s opravným šroubem),
3. lupa k odečítání výškového kruhu,
4. ochranné pouzdro rektifikačních šroubků nitkového kříže,
5. okulár s dálkoměrným zařízením,
6. jemná ustanovka dalekohledu,
7. trubicová libela rovnoběžná s přímkou záměrnou,
8. trubicová libela rovnoběžná s točnou osou dalekohledu (7 a 8 tvoří soustavu křížových libel),
9. šroub k upevnění pravítka,
10. zaostřovací šroub obrazu dalekohledu,
11. a 15. upevňovací šroub rovnoběžných pravítek,
12. a 14. výřez k odečítání konce magnetky busoly,
13. aretační šroub busoly,
16. nastavovací index pro rýsovací pravítko.

Obr. č. 1 Měřický stůl Zeiss-Jena (*Hons a Šimák, 1959*)

## 2.2. Metoda stolové tachymetrie

Metoda stolové tachymetrie byla ve své době nejefektivnější metodou (*Maršík a Maršíková, 2007*). Kombinuje metody měřického stolu a metody číselné tachymetrie. Od těchto metod se liší hlavně tím, že vodorovné směry na určované body se místo měření úhloměrným přístrojem a zapisováním do polního zápisníku sestavují z daných stanovisek graficky na měřickém stole přímo v terénu. Vzdálenosti se určují nitkovými nebo diagramovými dálkoměry a nanášejí se na graficky vyznačené směry rovněž přímo v terénu (*Císař a kol., 1966*).

### 3. Geodetické metody číselné

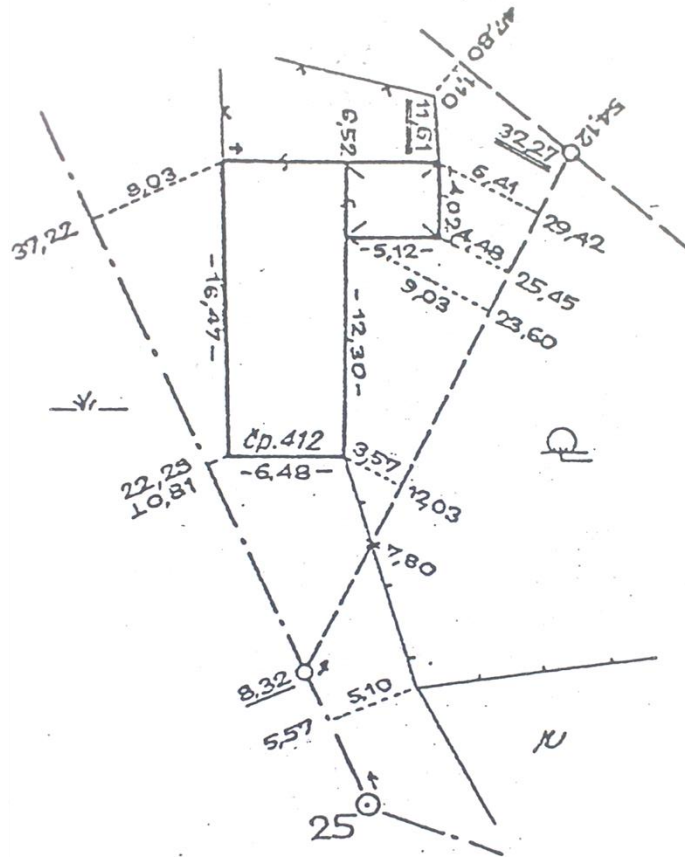
Jsou charakteristické tím, že údaje o bodech se zjišťují přímo v terénu určenými číselnými hodnotami (originálními), které se zapisují většinou v terénních dokumentech (zápisnicích). Poté se mohou zpracovávat početně a graficky tak, že se podle nich může vyhotovit mapa v libovolném měřítku (*Císař a kol., 1966*).

#### 3.1. Ortogonální metoda

Koncem 19. a na počátku 20. století byla stolová metoda postupně nahrazována ortogonální metodou. Na rozdíl od metody polární, není potřeba mít ani teodolit (*Bumba, 2008*). Ortogonální metoda (pravoúhlých souřadnic), nazýváme také polygonová, určuje polohu bodů od různě položených os úseček krátkými pořadnicemi. Je to soubor velkého množství samostatných, různě orientovaných soustav pravoúhlých souřadnic spojených v jediný celek známým vztahem k základní soustavě pravoúhlých souřadnic, do níž se všechny dílčí soustavy dají převést jednoduchou transformací. Jde o nejpřesnější metodu, pronikne se s ní téměř všude, bohužel je ale nejnákladnější a výsledkem všech prací při ní je pouze polohopis. Používá se jí hlavně v sídlištích, v průmyslových závodech, v nepřehledném a málo sklonitém terénu, při měřeních doplňujících neúplné zaměření jinými metodami (*Císař a kol., 1966*).

Pro ortogonální metodu je potřeba mít pentagonální hranol, pásmo, výtyčky a dále měřický náčrt a připravenou síť měřických přímek mezi pevnými body určenými protínáním či polygonizací (*Maršík a Maršíková, 2002*).

Měření probíhá tak, že se na jednotlivé body postaví pomocník s výtyčkou. Měřič pomocí hranolu spouští kolmice z bodů na pásmo (v rovinném terénu ležící na zemi). Na tomto pásmu se odečítají hodnoty zde označené jako souřadnice  $x$  (nazývají se staničení) a druhým pásmem se měří délky souřadnic  $y$  (kolmice). Naměřené hodnoty se zakreslují do polního náčrtku (obr. č. 2), (*Novák a Murdych, 1988*).

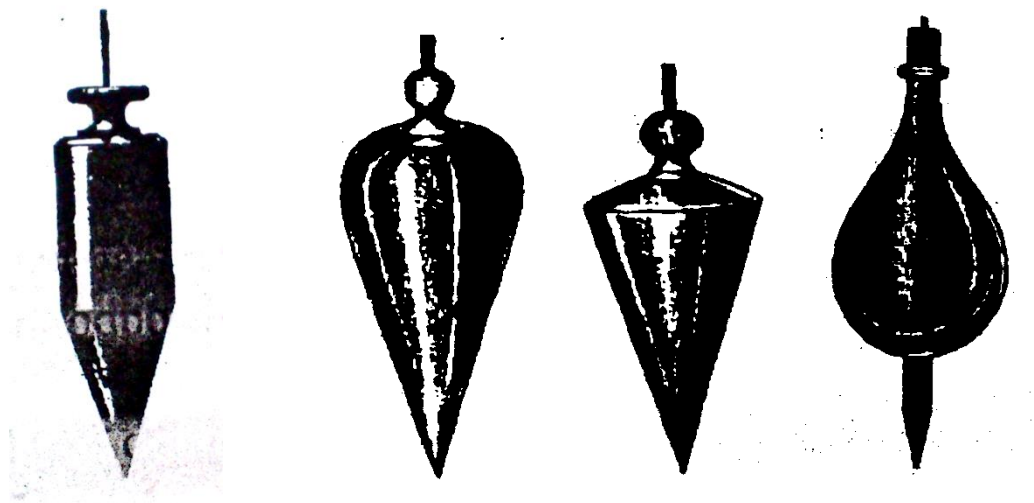


Obr. č. 2 Polní náčrtek při měření ortogonální metodou (Novotný, 1995)

Jde tedy o místní souřadnicový systém, který má počátek v jednom z bodů měřické přímky. Výšková měření je nutno při této metodě provádět zvlášť a jinou metodou (Maršík a Maršíková, 2002). Pro plynulý postup měřických prací při ortogonální metodě je optimální toto složení měřické skupiny: 1 vedoucí, který kreslí polní náčrtek a organizuje postup prací; 1 měřič, který vytyčuje kolmice a dvě dvojice pomocníků u obou pásem (Novotný, 1995). Dosah měření od jedné měřické přímky je jen několik desítek metrů. Relativní polohopisná přesnost nejbližších předmětů je 2 až 3 cm, v rozsahu jedné měřické přímky 5 až 10 cm, při přechodu na jiné pevné body přes 10 cm. Výsledná přesnost je však v grafické mapě  $mg = 0,1$  až  $0,2$  mm (Maršík a Maršíková, 2002). Pevné body signalizujeme výtyčkami a k délkovému měření používáme dvě pásma: delší (nejlépe 50 m dlouhé) je napnuto směrem polygonové strany (nebo měřické přímky) s počátkem na jednom koncovém bodě a slouží k odečtení vzdálenosti paty kolmice od počátku neboli staničení; kratším pásmem pak postupně odměřujeme délky kolmic vytyčovaným hranolem, přičemž tyto kolmice nemají zpravidla přesáhnout 30 m. Delší pásmo po zaměření všech bodů prvního úseku přenášíme na další; poslední čtení (pokud není třeba přímku

prodloužit) pak udává polohu koncového bodu měřické přímky nebo polygonové strany. Souřadnicové měření doplňujeme ještě zjištěním tzv. odvodových měř, což jsou délky stran půdorysů všech předmětů měření. Naměřené hodnoty spolu s dalšími údaji zaznamenáváme do polního náčrtu. Před měřením do něho zakreslíme měřickou síť a postupně pak – alespoň v přibližném měřítku – kreslíme půdorysy všech předmětů měření a zapisujeme zjištěné číselné i jiné údaje. Polní náčrt má být opatřen orientací k severu, datem měření a podpisem měřiče. Větší územní rozsah zachycujeme na několika náčrtech, které na sebe navazují ve vhodně voleném kladu listů (Novotný, 1995).

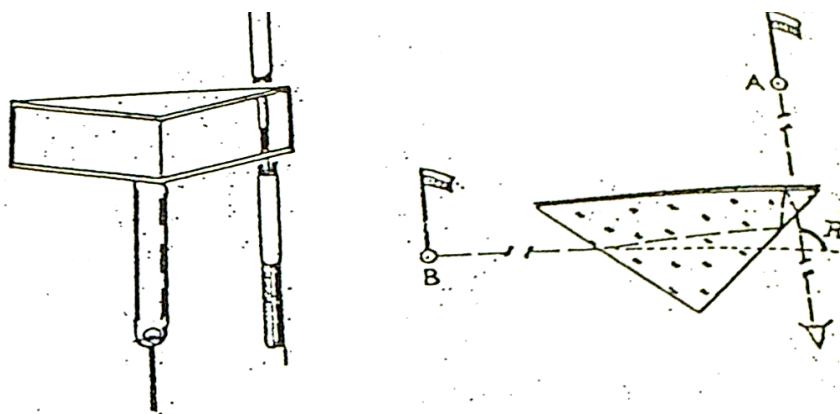
*Olovnice* je pomůcka, která pomáhá při měření svislice. Může být používána buď samostatně, nebo jako součást dalších přístrojů (Maršík, 1998). Je založena na fyzikálním jevu, že volně padající těleso bude směřovat vždy do středu země. Pokud se zavěsí těleso na závěs, po uklidnění zaujme směr zemské tíže, neboli svislý (Hánek a kol., 2007). Olovnice je tvořena závažím a závěsem o vhodné délce, k jehož nastavení slouží jednoduchá zařízení. Osa závaží musí být přesným prodloužením závěsu. Někdy se používá tzv. tyčové olovnice, což je kovová tyč s vhodně upraveným závěsným zařízením (Novotný, 1995). Rotační těleso olovnice má různý tvar. Nejvhodnějším tvarem je válcový s protáhlým hrotem (obr. č. 3). Někdy se používají i olovnice tvaru srdcového, trojúhelníkového, hruškového. Hmotnost olovnice používaných v měřické praxi bývá od 100 g do 250 g. Vhodným materiálem na závěs olovnice je pletená hedvábná šňůra, která se nekrotí a při zkracování či prodlužování délky závěsu pomocí průvlaky nebo geodetického uzlu má dostatečné tření. Přesnost prostředí (centrování) se udává hodnotou 1 – 2 mm (Hánek a kol., 2007).



Obr. č. 3 Válcová olovnice s hrotem a další tvary olovníc (Hánek a kol., 2007)

Vytyčování stálých úhlů, tj. úhlu pravého ( $90^\circ$ ) a přímého ( $180^\circ$ ) patří v měřické praxi k častým úlohám, které jsou řešeny nejrůznějšími pomůckami a přístroji. Nejpoužívanější z nich jsou trojboké a pětiboké hranoly.

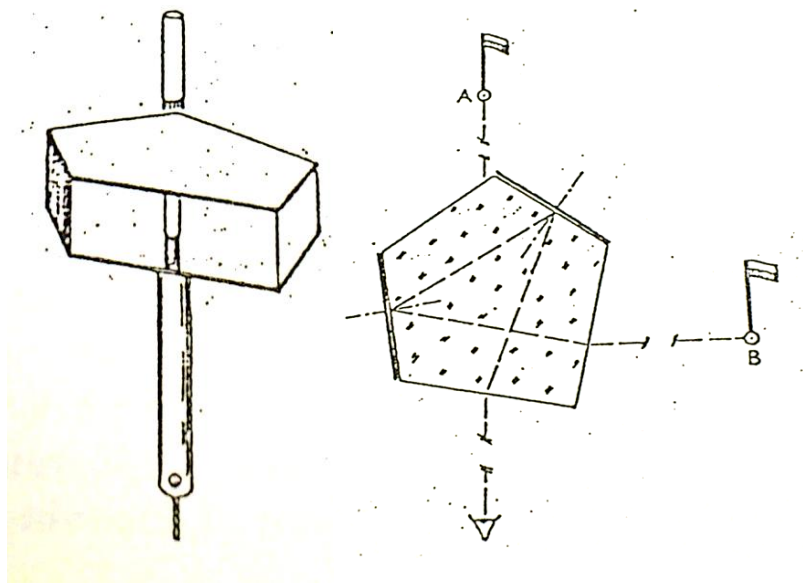
*Trojboký hranol* (obr. č. 4) má základnu vodorovného řezu ve tvaru rovnoramenného trojúhelníka; jeho přeponová stěna je amalgamována a slouží jako zrcadlo. Při vytyčování kolmic je nutné natočit hranol tak, aby se paprsek uvnitř hranolu odrazil dvakrát. Stane se tak tehdy, pokud bude přeponová stěna buď přibližně rovnoběžná, nebo kolmá k dané přímce. Jinak se odrazí paprsek uvnitř hranolu jen jednou a vznikne tzv. pohyblivý obraz, který místo pravého úhlu vytyčuje zcela obecný směr (Novotný, 1995).



Obr. č. 4 Trojboký hranol (Novotný, 1995)



*Pentagonální hranol* je vyhotoven z optického skla (Maršík, 1998). Pětiboký hranol (obr. č. 5) neboli pentagon je dokonalejší pomůckou k vytyčování stálých úhlů; tvarem jeho vodorovného řezu je pětiúhelník s jedním pravým úhlem (Novotný, 1995). Je používán tehdy, když je potřeba najít pravý úhel mezi dvěma přímkami. Dvojitý pentagonální hranol umožňuje najít přímou spojnicí mezi dvěma body, a zároveň najít kolmici k této přímce (Maršík, 1998). Paprsek se odráží na dvou amalgamových stěnách svírajících vzájemně úhel  $45^\circ$ , takže vzniká jasný obraz. Pětiboké hranoly se sestavují do dvojic či trojic, takže vznikají dvojité a trojitě pentagony (hranolové kříže), které umožňují přesné vytyčení přímého úhlu spolu s oboustranným vytyčením úhlů pravých. Podmínkou pro dosažení přesných výsledků je svislá poloha výtyček i samostatného hranolu. Proto jsou objímky hranolových křížů zpravidla opatřovány kardanovým závěsem, který při použití těžší olovnice zajišťuje samočinně svislou polohu této pomůcky. Úhlová přesnost většiny hranolů ( $+ 1'$ ) umožňuje vytyčování stálých úhlů do vzdálenosti 50 m s maximální chybou do 25 mm, zejména v rovinatém území. K vytyčování na větší vzdálenosti a v členitém terénu je třeba úhloměrného přístroje, teodolitu (Novotný, 1995).



Obr. č. 5 Pětiboký hranol a tvar vodorovného řezu (Novotný, 1995)

*Pásma* je poslední používanou pomůckou z dříve hojně využívané skupiny přímých měřidel, využívá se především k měření kratších délek (Hánek a kol., 2007). Pásma je kovový pásek, velmi tenký a obvykle 1 cm široký. Na pásku je vyryta nebo

vyleptána centimetrová stupnice. Měřická pásma jsou povětšinou 20 nebo 30 m dlouhá. Krátké vzdálenosti mohou být měřeny pásmem s velkou přesností (Maršík, 1998). Materiálem, ze kterého je vyrobeno pásmo je ocel, umělá hmota a ve zvláštních případech invar (tj. slitina oceli a niklu). Nejmenším dílkem stupnice bývá 1 mm, ale také až 1 cm (Hánek a kol., 2007).

Výtyčka je nejjednodušší pomůcka pro měřické práce, za to je velmi užitečná (Maršík, 1998). Používá se k signalizaci měřických bodů na menší vzdálenosti, a to do 300 m (Hánek a kol., 2007). Jedná se o válcovou tyč o průměru obvykle 2,5 cm a většinou délky 2 m. Výtyčka je obvykle ve spodní části opatřena kovovým bodcem (Maršík, 1998). Natřena je střídavě červeně a bíle v pruzích po dvaceti centimetrech. Nejběžnějším materiálem, ze kterého jsou výtyčky vyráběny, je hliník, dříve dřevo. Průřez výtyčky je kruhový, trojúhelníkový nebo ve tvaru kruhové výseče. V posledním případě je průřezem svazku výtyčky kruh a svazek se tak výhodněji přenáší (Hánek a kol., 2007).

### 3.2. Polární metoda

Ortogonální metoda byla postupně nahrazena tzv. polární metodou, když ve dvacátých letech 20. století se začaly vyrábět optické dálkoměry. Optické dálkoměry umožňovaly měřit nejen vzdálenosti a vodorovné úhly, ale i převýšení. V naší praxi byly používány dva termíny k označení měřických postupů s využitím optických dálkoměrů. Jestliže se měřila pouze polohopisná složka mapy, používal se obvykle termín polární metoda (Maršík a Maršíková, 2002).

Při metodě polární (polárná) se určují body polárními souřadnicemi, tj. vodorovnými úhly  $a$  a délkami  $d$ . K měření se používají teodolity různých typů, které umožňují zaměřit úhly a obvykle též opticky zaměřit délky. Podobný postup je i při měření stolovém, kdy zaměřené směry (rajony) a délky se vyznačují přímo v měřickém náčrtku (Novák a Murdych, 1988). Stanovisková síť (polygonová nebo trojúhelníková) je zvolena tak, aby umožnila zaměření maximálního počtu podrobných bodů z jednoho stanoviska. Výsledky měření se zapisují do vhodného

zápisníku a zakreslují se do jednoduchého polního náčrtu. Podrobné body se číslují, přičemž zvláštní pozornost vyžaduje souhlas číslování v zápisníku a v náčrtu.

Měřická skupina je obvykle čtyřčlenná: vedoucí určuje polohu a pořadí zaměřovaných bodů a kreslí polní náčrt, měřič pracuje s přístrojem, kterým může být buď optický dálkoměr vybavený úhломěrnými stupnicemi, vhodný typ univerzálního teodolitu nebo tzv. totální stanice. Další členové skupiny jsou: zapisovatel, který zaznamenává naměřené hodnoty do zápisníku a pomocník, který přenáší lat' nebo signál (podle druhu použitého dálkoměru).

Polární metoda je vhodná zejména pro situační měření v členění území (oplocené pozemky, výškové rozdíly) a na komunikacích s velkou frekvencí (Novotný, 1995). Délky se měří zpravidla opticky přesnými dvojobrazovými dálkoměry, výjimečně přímo nebo trigonometricky. Používá se jí zejména v přehledném i členitém terénu a hlavní její výhodou je snadné překonávání obtíží při měření ve svahu a rychlé určení poměrně velkých vzdáleností v dosahu asi do 100 m (Císař a kol., 1966).

Přístroje, které se v geodetické praxi používají pro měření směrů a úhlů, se nazývají *teodolity*. Podle konstrukce se dělí na optickomechanické a elektronické, ty mají většinou ještě vestavěný dálkoměr – tzv. totální stanice. Oba typy mají hlavní součásti stejné, liší se konstrukcí a způsobem čtení na dělených kruzích. Podle přesnosti se teodolity dělí na minutové (stavební), vteřinové a triangulační (Hánek a kol., 2007).

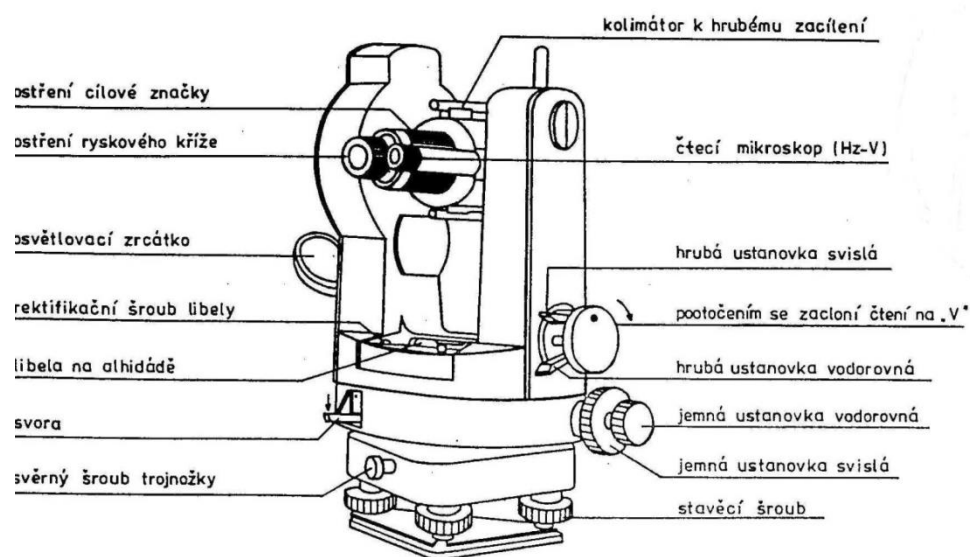
*Teodolit* (obr. č. 6) je přístroj pro měření vodorovných a výškových úhlů. Jeho hlavními částmi jsou: dalekohled, alhidáda a limbus. Dolní částí přístroje je podstavec, zvaný též podnožka, neboť má tvar rovnostranného trojúhelníku. Součástí trojnožky jsou tři stavěcí šrouby. Trojnožka se připevňuje středním šroubem ke stativu. Uprostřed trojnožky je čep, kolem kterého se otáčí alhidáda. Osa čepu je hlavní osou celého přístroje.

Dalekohled se může sklánět (otáčet) kolem vodorovné osy (Maršík, 1998). Dalekohled většiny teodolitů je astronomického (Keplerova) typu, tj. získávají se převrácené obrazy. Skládá se ze dvou optických systémů, objektivu a okuláru. V obrazové rovině objektivu se nachází skleněná destička s nitkovým křížem (Novotný, 1995). Nitkový kříž je vyryt nebo vyleptán na již zmíněné skleněné

destičce. Čočka dalekohledu je používána k zaostření obrazu do roviny nitkového kříže.

Uvnitř alhidády je kovová deska se skleněným kruhem. Tento kruh se nazývá limbus, nebo také vodorovný kruh. Na okraji skleněného kruhu je vyryta nebo vyleptána úhlová stupnice. Deska s limbem musí být pevně spojena s trojnožkou při měření vodorovných úhlů. Výškový kruh, rovněž vyrobený ze skla, je uvnitř pouzdra diskového tvaru vedle dalekohledu (Maršík, 1998).

Nutnou součástí teodolitu jsou libely, jejichž počet kolísá podle účelu použití přístroje. Vždy najdeme libelu alhidádovou, která slouží k urovnání (horizontaci) celého přístroje. U většiny teodolitů se používá k horizontaci odečítacího zařízení (indexu) svislého kruhu libela indexová, jejíž funkci přejímá u jednodušších přístrojů alhidádová libela (Novotný, 1995). Všechny osy přístroje, svislá osa, vodorovná osa a optická osa, musí být vzájemně na sebe kolmé a musí se protínat v jednom bodě. Je to nejdůležitější věc pro správnou funkci teodolitu. Osa libely musí být kolmá ke svislé ose přístroje a musí být rovnoběžná s rovinou vodorovného kruhu. Alhidáda může být otáčena a dalekohled skláněn volně, když je vyhledáván měřický bod. Jakmile je bod nalezen, čepy horizontální a vertikální osy mohou být upevněny tzv. ustanovkami. Potom je třeba nastavit měřený bod přesně do středu nitkového kříže. K tomu slouží dva šrouby, zvané jemné ustanovky. Vedle okuláru dalekohledu je ještě jeden menší okulár. Tímto okulárem je možné pozorovat vodorovný a výškový kruh (Maršík, 1998).



Obr. č. 6 Teodolit Zeiss Theo 020A (Hánek a kol., 2007)

*Stativy* slouží k umístění měřického přístroje nebo pomůcky nad geodetický bod a umožňují pohodlné měření. Hlava stativu – deska, je vyrobena z mosazi nebo ze slitin kovů. V ploše hlavy stativu je kruhový otvor, v němž můžeme ve třmenu volně pohybovat středním upínacím šroubem, který slouží k bezpečnému upevnění přístroje ke stativu. Podle konstrukce noh rozdělujeme stativy na skládací a pevné. Skládací stativy jsou vhodné pro přepravu, protože jejich délku zkracuje zhruba o polovinu. Používají se při běžných měřických pracích a s výhodou ve svažitém terénu. Pevné stativy používáme pro měřické práce vyžadující větší přesnost, např. nivelaci (*Hánek a kol., 2007*).

### **3.3. Metoda protínání**

Protínání (zejména vpřed) určuje body nepřímo, trigonometricky, 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 (nezbytná viditelnost ve směru), zpravidla při řídkém polohopisu a pro určování bodů ve zvlášť členitém a obtížném terénu (na skalách, srázích, 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 jakémkoli svahu na dosahovou vzdálenost asi desetkrát větší, než je tomu u polární metody (*Císař a kol., 1966*).

### **3.4. Metoda číselné tachymetrie**

Tachymetrie je vlastně méně přesná metoda polární, při níž se délky převážně měří nitkovými nebo diagramovými tachymetry (dálkoměry). Použije-li se při tachymetrii výjimečně přesných dvojobrazových dálkoměrů zároveň s měřením polohopisu, přejde metoda v přesnou číselnou tachymetrii (*Císař a kol., 1966*). Pro tento způsob je potřeba předem připravit síť měřických stanovisek a při vlastním měření je nutno vést měřický náčrt. Metoda číselné tachymetrie je použitelná pro

polohopisné i výškopisné mapování pro technické účely v nezastavěném území i v území s roztroušenou zástavbou (Maršík a Maršíková, 2002). Základem tohoto způsobu měření je, že záměrný kříž dalekohledu u teodolitu byl doplněn tzv. dálkoměrnými nitěmi (Maršík, 1998).

Všechny určovací prvky se určují v terénu a poznamenávají do polního náčrtu a tachymetrického zápisníku, podle nichž se vyhotovuje mapa až v kanceláři. Metody číselné tachymetrie se používá pro mapování 1:5000 a pro zaměřování bodů nestálých hranic, určených při THM jen v hrubých rysech a také při údržbě hranic v mapách velkých měřítek (např. kultury, cesty v témž vlastnictví), (Císař a kol., 1966).

#### **4. Fotogrammetrické metody**

Tradiční fotogrammetrie vychází z fotografického záznamu. Slovo *fotografie* má svůj původ v řečtině (*Fotos* – světlo a *Graphos* – kresba, záznam). Fotografický záznam lze provádět klasicky formou analogové světlocitlivé vrstvy (běžná fotografie) nebo digitálně (Pavelka, 2003). Pro získání snímku lze použít zařízení od běžných fotoaparátů po specializované měřické fotogrammetrické komory. Z měřických snímků lze odvodit umístění, velikost a tvar předmětu měření v prostoru či určit vzájemnou polohu jednotlivých bodů apod. Ve své podstatě je fotografický snímek středovým průmětem skutečnosti, tedy zobrazovaných předmětů, do roviny snímku (Hánek a kol., 2007).

Podle stanoviště fotografování se dělí fotogrammetrie na dva hlavní oddíly: pozemní, která je starší, a leteckou, jejíž rozvoj začal až ve dvacátých letech 20. století. Podle počtu snímků, které se současně zpracovávají (vyhodnocují) se rozeznává fotogrammetrie jednosnímková, dvousnímková a případně i vícesnímková. Ve dvousnímkové fotogrammetrii má výjimečné postavení tzv. stereofotogrammetrie, kde se využívá schopnosti lidských očí vidět prostorově, neboli stereoskopicky (Maršík, 1998).

Pro zpracování měřického snímku je v ideálním případě třeba znát nebo vypočítat tzv. prvky vnitřní a vnější orientace. Prvky vnitřní orientace jsou konstanta komory

(ohnisková vzdálenost), poloha hlavního snímkového bodu (průsečík osy záběru a roviny snímku, definován snímkovými souřadnicemi) a vyjádření distorze objektivu (vady zobrazení způsobené objektivem). Prvky vnější orientace jsou poloha projekčního centra (ohnisko) a vyjádření natočení snímku pomocí rotací v jednotlivých osách. Pokud jsou známy tyto prvky, lze vyjádřit prostorovou přímkou, na které měřený bod leží. Z úplného popisu polohy bodů jsou třeba alespoň dva snímky daného objektu z různých stanovisek. Pokud nejsou prvky orientace známy, je možno je vypočítat s využitím tzv. vlíčovacích bodů, tzn. bodů u nichž známe geodetické souřadnice i snímkové souřadnice (*Hánek a kol., 2007*).

## **4.1. Historie**

### **4.1.1. Vývoj fotogrammetrie ve světě**

Fotogrammetrie jako měřická technika je jen o málo mladší než sama fotografie, vynalezená v roce 1839. Francouzský důstojník a geodet Aimé Laussedat (obr. č. 7) již v roce 1850 použil fotografické snímky k měření architektonických památek a v roce 1861 poprvé pro topografické účely, a to při mapování údolí Sény v okolí Paříže (*Maršík, 1998*). Laussedat se věnoval rozvoji nové měřické techniky, po stránce teoretické i praktické, několik desetiletí a vysloužil si ve světové odborné literatuře jméno „otec fotogrammetrie“. A. Meydenbauer začal používat fotografické snímky v roce 1858 při měření v architektuře. Právě Meydenbauer poprvé použil v jedné ze svých odborných publikací v roce 1867 název „fotogrammetrie“ pro označení nové měřické techniky. Tento název byl potom mezinárodně uznán a zaveden. V počátcích rozvoje fotogrammetrie, téměř do konce 19. století, převládaly grafické metody pro rekonstrukci tvaru a rozměrů předmětů z fotografických snímků (*Maršík a Maršíková, 2007*).



Obr. č. 7 Francouzský důstojník a geodet Aimé Laussedat [1]

Koncem 19. století byly položeny základy stereoskopie. Praktickým průkopníkem stereofotogrammetrie byl Dr. C. Pulfrich (Zeiss Jena), který v roce 1901 zkonstruoval první přístroj pro stereoskopické měření snímkových souřadnic – *stereokomparátor*. Ten je dodnes nejpřesnějším přístrojem pro měření na snímcích (Pavelka, 2003).

Skutečně revoluční změna přišla v polovině osmdesátých let. Překotný rozvoj výpočetní techniky umožnil vznik prvních digitálních systémů a vznikla tak digitální fotogrammetrie (Pavelka, 2009). Po roce 1988 vznikly stereofotogrammetrické pracovní stanice, schopné zpracovat prakticky libovolné měřické snímky ve velmi volné konfiguraci. S novými možnostmi výpočetní techniky se opět zavedla průseková fotogrammetrie prostřednictvím réseau komor. Nové možnosti využití, zjednodušení snímání obrazu a zlevnění celého procesu přinesly nové digitální komory (po roce 1995). Jednoduchá obsluha digitálních fotoaparátů, jejich neustále se zlepšující parametry a existence programů pro přímé vyhodnocení 3D na základě běžných snímků vedou ke zpřístupnění digitální levné fotogrammetrie širší odborné veřejnosti (Pavelka, 2003).



#### 4.1.2. Vývoj fotogrammetrie na našem území

Na našem území začínal rozvoj fotogrammetrie velmi záhy. V roce 1862 použil poprvé fotografické snímky pro měřické práce profesor Karel Kořistka (obr. č. 8), (Maršík a Maršíková, 2007). Po něm se zabýval fotogrammetrií u nás prof. Fr. Steiner, který také napsal jednu z prvních učebnic fotogrammetrie, ve které uvedl i některé ukázky tehdejšího měření v Praze. Mezi prvními pracemi bylo např. mapování Tater průsekovou fotogrammetrií (Pavelka, 2003). Na přelomu 19. a 20. století rozvíjel na pražské technice fotogrammetrii profesor geodzie František Novotný. Velkým propagátorem fotogrammetrie od počátku století až do 30. let byl profesor brněnské techniky Augustin Semerád. Hlavní rozvoj fotogrammetrie u nás nastal ale až v 50. letech 20. století, kdy bylo zahájeno a během let také dokončeno celostátní mapování (Maršík a Maršíková, 2007).



Obr. č. 8 Český geodet a průkopník fotogrammetrie Karel Kořistka (Pavelka, 2009)

V naší zemi měly dominantní postavení výrobky firmy Carl Zeiss Jena (bývalá NDR) vzhledem ke stavu před rokem 1989. Z tohoto důvodu byly u nás nejrozšířenější i fotogrammetrické přístroje této značky, mezi něž patří pro pozemní fotogrammetrii „stereoautograf“ a „technokrat“. Fotogrammetrie se stala běžnou metodou díky současné relativitě jednoduché a přístupné digitální technologii (Pavelka, 2003).

## 4.2. Druhy fotogrammetrie

### 4.2.1. Kombinovaná metoda (jednosnímková)

Přechodem mezi metodami přímého měření v terénu (geodetickými) a nepřímého měření (fotogrammetrickými) je metoda kombinovaná. Při této metodě je polohopis pořizován fotogrammetricky optickým přetvořením (překreslením) snímků na přístroji zvaném překreslovač (Maršík a Maršíková, 2002). Z fotograficky překreslených snímků sestavených podle mapových listů, vznikne tzv. fotoplán. Na podkladě fotoplánu potom je pořízen výškopis přímým měřením (geodeticky) v terénu (Maršík, 1998). Překreslovače začaly být vyráběny ve dvacátých letech 20. století a v návaznosti na to se začala používat kombinovaná metoda pro mapování. Díky tomu se dožila určité renesance metoda stolové tachymetrie, protože právě doměřování výškopisu na fotogrammetricky vyhotoveném polohopisu (fotoplánu) eklimetrem na měřickém stole se ukázalo jako nejvhodnější.

Při jednosnímkové fotogrammetrii se využívá pouze samostatných měřických snímků. Vzhledem k tomu, že na jednom snímku můžeme měřit pouze rovinné souřadnice, lze jednosnímkovou fotogrammetrií určit opět jen rovinné souřadnice předmětu měření a lze ji použít tehdy, je-li předmět měření rovinný anebo blízký rovině. Vztah, popisující řešení jednosnímkové fotogrammetrie, se nazývá kolineace a je vyjádřen projektivní transformací. Pozemní fotogrammetrie využívá jednosnímkových metod pro tvorbu fotoplánů rovinných objektů, např. nepřilíš členitých fasád domů, v letecké fotogrammetrii bývá osa záběru převážně svíslá, proto lze jednosnímkovými metodami získat polohopisnou složku mapy rovinatého území; stejným způsobem lze ale zpracovat i šikmé snímky opět za předpokladu

rovinatosti vyhodnocované plochy. V případě prostorového členění takovéto plochy dochází k radikálním posunům jednotlivých objektů, které znemožňují přesné vyhodnocení (*Pavelka, 2003*).

#### **4.2.2. Univerzální (dvousnímková) metoda**

Do oblasti stereofotogrammetrie patří metoda univerzální. Na přístrojích zvaných univerzální vyhodnocovací přístroje jsou zpracovány stereoskopické dvojice snímků zachycujících určitou část území. Vyhodnocovací přístroje jsou složitá optická a mechanická zařízení umožňující pořídit polohopisnou a výškopisnou složku mapy z fotografických snímků. Podle uspořádání a druhu výstupních informací se tato metoda člení na grafickou a numerickou. Pro univerzální metodu grafickou je potřeba, aby ke stereoskopickému vyhodnocovacímu přístroji byl připojen pravoúhlý koordinatograf (*Maršík, 1998*). Výsledkem vyhodnocení snímků je kontinuální (souvislý) záznam polohopisných čar i výškopisných čar. Univerzální metoda numerická předpokládá připojit k vyhodnocovacímu přístroji registrační zařízení umožňující zaznamenávat souřadnice  $x$ ,  $y$ ,  $z$  libovolného měřeného bodu. Pro zpracování tohoto způsobu fotogrammetrického vyhodnocování je potřeba mít k dispozici pro početní zpracování souřadnic alespoň malý počítač a vhodný software (*Maršík a Maršíková, 2007*).

#### **4.2.3. Pozemní fotogrammetrie**

Metoda pozemní fotogrammetrie byla používána pro mapování už v 19. století, zejména poté, co byl v roce 1911 zkonstruován první stereoskopický vyhodnocovací přístroj stereoautograf Orel-Zeiss (*Maršík, 1998*). Na tomto přístroji, stejně jako na přístrojích vyráběných později ve 20. století pro leteckou fotogrammetrii, byl ovládán pohyb měřické značky (kroužku o průměru asi 0,04 mm) po zdánlivém stereoskopickém modelu dvěma ručními koly a jedním nožním kotoučem ve třech vzájemně na sebe kolmým směrem ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). To umožňovalo jak měření jednotlivých

bodů, tak kontinuální (čárové) vyhodnocení jak polohopisných, tak výškopisných čar (vrstevnic) na mechanicky připojeném kreslicím stole (*Maršík a Maršíková, 2007*).

U metody pozemní fotogrammetrie je stanovisko zpravidla nepohyblivé, lze tedy určit prvky vnější orientace. Dosah je cca 500 m. Přesnost měření je vzhledem k charakteru úlohy podobnému protínání závislá na vzdálenosti objektu komory, pohybuje se v rozmezí 0,01 – 0,1 m (*Hánek a kol., 2007*). Nedostatkem pozemní fotogrammetrie ovšem je, že jednotlivé předměty měření jsou vzájemně zakrývány a snímek obsahuje často nevyhodnotitelných oblastí (zakrytých prostor) a dále má další podstatnou vadu – přesnost měření v prostorové složce (vzdálenost k objektu) ubývá se čtvercem vzdálenosti.

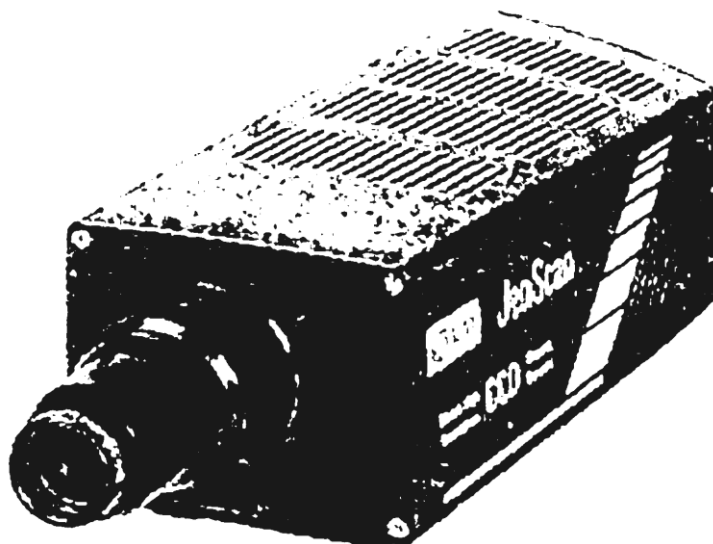
Zejména z tohoto důvodu se pozemní fotogrammetrie hodí objekty, které jsou přibližně ve stejné vzdálenosti (fasády domů, strmé břehy říčních koryt, stěny lomů, skály apod.).

Trendem poslední doby jsou speciální aplikace pozemní fotogrammetrie, které lze najít v řadě zcela odlišných oborů (lékařství, design, strojírenství apod.), velký rozvoj v oblasti dokumentace např. památkových objektů je dán zejména cenově přístupnými digitálními kamerami a zpracovatelskými programy. Celá tato oblast je v anglické odborné literatuře „*Close Range Photogrammetry*“ a její význam vzrůstá (*Pavelka, 2003*).

### **Speciální digitální komory**

Digitální pozemní fotogrammetrické komory využívaly prozatím postupného snímání obrazu (systém macro-scanning) pohybující se řádkou nebo maticí prvků CCD. Příkladem může být komora UMK-Highscan, která vznikla adaptací klasické komory UMK pro pozemní fotogrammetrii (*Pavelka a Hodač, 2008*). V obrazové rovině se místo fotografické desky nacházejí čtyři přesné matice CCD (748 x 512 prvků o velikosti  $11\mu\text{m}$  urovnané s tolerancí řádky  $2\mu\text{m}$ ) a zařízení pro jejich přesný posun (přesnost vedení až  $1\mu\text{m}$ ). Snímání obrazu na formát 13 x 18 cm trvá 6 minut a vznikne přitom skoro 200 MB dat. Přesnost určení prostorové souřadnice je udávána až přibližně 0,05‰ (tj. na 20 m přibližně 1 mm). Specialitou je využití systému micro-scanning – mikroposun matice pro zvýšení rozlišovací schopnosti

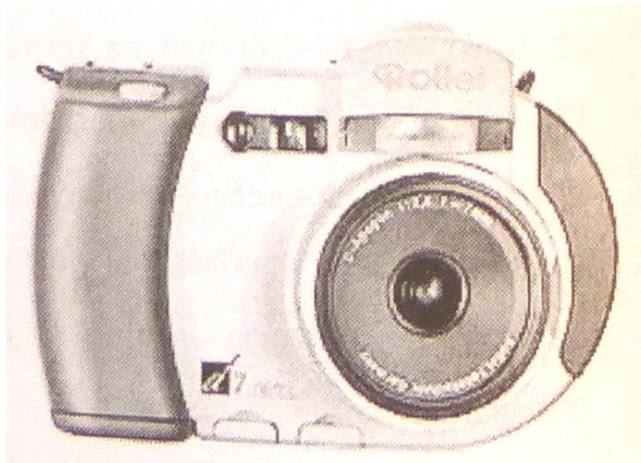
například komora JenScan 4500MC (obr. č. 9). Jedná se ale vesměs o starší zařízení, dnes již nástupem digitálních fotoaparátů překonaná. Zajímavé jsou ale konstrukce, dnes je běžné užití sériových digitálních fotoaparátů (Pavelka, 1998).



Obr. č. 9 Komora JenScan 4500MC (Pavelka a Hodač, 2008)

### **Rollei d7 metric**

Rollei d7 metric (obr. č. 10) byla digitální zrcadlovka s pevným vestavěným objektivem Rollei D-Apogon 2,8/7,3 mm: 0,6 - 4,5 m (odpovídá objektivu s ohniskovou vzdáleností 28mm) a barevným displejem 2,5". Komora byla konstruována pro měřické účely. Rozlišovací schopnost obrazu ale byla malá a tak se příliš neujala (1280 x 1024 pixelu a barevná hloubka 30 bitů RGB). Záznam obrazu je typu Raw bez komprese, má velikost 1,8 MB pro uložení, data jsou zaznamenávána přes paměťový systém pro použití karty Smartmedia, CompactFlash; PCMCIA typu I, II a III, harddisk PCMCIA. Kamera byla od výrobce kalibrovaná a dodávána se softwarem pro nevzorkování obrazu, který umožňuje odstranit nežádoucí zkreslení systému (Pavelka a Hodač, 2008).



Obr. č. 10 Rollei d7 Metric (*Pavelka a Hodač, 2008*)

### **Q16 MetricCamera**

Komora Q16 MetricCamera je plně automatická digitální komora odvozená od komory 6006, kde je filmová kazeta nahrazena adaptérem s maticí CCD detektorů. Výjimečností komory je fakt, že matice detektorů pokrývá celou plochu snímku 6 x 6 cm. Obsahuje 4096 x 4096 CCD prvků o velikosti 15 $\mu$ m. Data jsou ukládána ve formě 12 nebo 8 bitů, užít lze různých objektivů 40 - 80 mm, data se ukládají na médium Iomega JAZ drive s kapacitou 1GB, sejmutí jednoho obrazu trvá 25 - 30 s (*Pavelka, 1998*).

### **Rollei ChipPack**

Tato komora vychází z modelu Rollei 6000. Kazeta je nahrazena maticí CCD 2048 x 2048 prvků CCD. Užito je kvantování digitálního obrazu na 256 úrovní (8 bitů). Jeden snímek je sejmuto za cca 10 s a představuje 4 MB dat. Tato kamera slouží zejména pro digitální zpracovatelský software Rollei CDW a MRS (*Pavelka a Hodač, 2008*).

#### 4.2.4. Letecká fotogrammetrie

V letecké fotogrammetrii se postupně vyvinulo několik pracovních způsobů používaných vesměs pro mapování. Vzájemně se od sebe liší nejen pracovním postupem, ale i používanou přístrojovou technikou. Přechodem mezi metodami přímého měření v terénu (geodetickými) a nepřímého měření (fotogrammetrickými) je metoda kombinovaná. Při této metodě je polohopis pořizován fotogrammetricky optickým přetvořením (překreslením) snímků na přístroji zvaném překreslovač. Z fotograficky překreslených snímků sestavených podle mapových listů vznikne tzv. fotoplán. Na podkladě fotoplánu potom je pořízen výškopis přímým měřením v terénu. V souvislosti s touto metodou doznala určité krátké renesance ještě ve 30. letech 20. století stolová tachymetrie, neboť tímto způsobem bylo možno pořídit výškopis rychle a efektivně (*Maršík a Maršíková, 2007*).

U letecké fotogrammetrie je stanovisko, potažmo fotokomora, umístěno v letadle či jiném dopravním prostředku a tedy zpravidla nelze přesně určit prostorovou polohu snímku v okamžiku jeho pořízení a vyhodnocení je potom složitější a je nutno využít pozemních vlíčovacích bodů. Přesnost je v řádu dm až m. Česká republika byla topograficky mapována z převážné části a využitím letecké fotogrammetrie a geodetickým doměřováním zakrytých oblastí (*Hánek a kol., 2007*).

Při metodě letecké fotogrammetrie je stanovisko pro pořízení snímku umístěné v letadle anebo v jiném pohybujícím se dopravním prostředku. Na snímku se zobrazí značně větší plocha než ve fotogrammetrii pozemní. Nevýhodou je, že nelze zpravidla dostatečně přesně určit prostorovou polohu snímku v okamžiku jeho pořízení a tedy i způsoby zpracování budou složitější než při použití pozemní fotogrammetrie. Vzhledem k tomu, že se pořizují především přibližně kolmé snímky, je vzdálenost od místa fotografování k objektům (vzhledem k výšce letu) přibližně stejná a tudíž je přibližně stejná i přesnost vyhodnocení. Právě v této oblasti nastal v poslední době významný pokrok, daný zaváděním zařízení GPS/INS, která umožňují určovat prvky vnější orientace jednotlivých snímků přímo při letu (*Pavelka, 2003*).

#### 4.2.5. Analytická metoda

Další metodou je analytická fotogrammetrická metoda. Měřické informace získané z fotografických snímků jsou při této metodě zpracovávány početně s využitím pouček a vzorců z analytické geometrie. Na přístrojích zvaných přesné stereokomparátory se měří snímkové souřadnice  $x'$ ,  $y'$  a snímkové paralaxy  $p_x$ ,  $p_y$  s chybou ne větší než 0,005 mm. Snímkové souřadnice a paralaxy se zaznamenávají registračním zařízením připojeným ke komparátoru a dále se potom zpracovávají na počítači. Tato metoda se začala silně rozvíjet v souvislosti s rozvojem výpočetní techniky. Podrobné měření na jednotlivých stereoskopických snímkových dvojicích však není typické pro tuto metodu (*Maršík a Maršíková, 2007*). Analytická fotogrammetrická metoda je nejčastěji používána pro zhušťování podrobného bodového pole, pro vytváření sítí vlíčovacích bodů potřebných pro podrobné vyhodnocení jinou metodou (*Maršík a Maršíková, 2002*). Takový způsob fotogrammetrického zhušťování bodového pole se nazývá analytická aerotriangulace a je při něm počítačově zpracováváno měření na velkém počtu (100 a více) fotografických snímků (*Maršík a Maršíková, 2007*). V 60. letech 20. století se začaly vyrábět tzv. vyhodnocovací přístroje se zabudovaným počítačem, který nahradil opticko-mechanické prvky dřívějších univerzálních přístrojů. První analytické vyhodnocovací přístroje měly k ovládní měřické značky dvě ruční kola a nožní kotouč. Stejně jako univerzální vyhodnocovací přístroje (*Maršík a Maršíková, 2002*).

#### 4.2.6. Digitální fotogrammetrie

Poslední vývojové období fotogrammetrie a v něm se rozvíjející metody zaznamenávání a zpracování dat jsou označovány jako digitální fotogrammetrie (*Maršík a Maršíková, 2007*). Přístroj pro stereoskopické pozorování a zpracování digitálních snímků, známý pod názvem Image Station. Je to v podstatě výkonný počítač a monitor s velkou obrazovkou (*Maršík, 1998*). Z paměti počítače se na obrazovce ukazují střídavě v rychlém sledu (padesátkrát za jednu časovou vteřinu) levý a pravý snímek za snímkové stereoskopické dvojice. Stereoskopický vjem umožňující speciální polaroidické brýle, které musí mít zhodnocovatel (měřič) neustále na očích. K ovládní měřické značky je u tohoto přístroje opět speciální



desetitlačítková myš. Fotografické měřické snímky je možné „digitalizovat“ na zvlášť výkonných snímačích a potom ukládat do paměti počítače (*Maršík a Maršíková, 2007*).

Digitální technologie využívá digitální obraz. Pro převod snímkových souřadnic do geodetického systému se užívá též prostorové transformace, 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, 2003*).

#### **4.2.7. Integrovaná metoda**

Nejmladší fotogrammetrickou metodou, která doznala největšího rozmachu v 60. letech 20. století, je metoda integrovaná. Je to způsob, při kterém jsou polohopis i výškopis získávány při jediném vyhodnocovacím procesu stereoskopické dvojice snímků (*Maršík, 1998*). Vyhodnocování a záznam dat jsou prováděny sestavou přístrojů, jejichž základními částmi jsou stereoskopický vyhodnocovací přístroj, diferenciální překreslovač a zařízení pro záznam výškopisu. Výsledkem celého technologického procesu je ortofotomapa, tj. mapa, kde základem polohopisu je ortogonálně překreslený snímek (*Maršík a Maršíková, 2007*).

### **5. Laserové skenování**

V posledních letech došlo k výraznému rozvoji nových technologií sběru informací. Obecně se jedná o novou technologii přímého určování prostorových souřadnic pomocí zařízení – tzv. 3D skenerů (*Pavelka, 2003*). Od počátku 21. století již můžeme hovořit o jejím běžném komerčním nasazení. Tato technologie ohromila obrovskou efektivností sběru dat. Skenovací systémy dokážou při využití impulsní dálkoměrné technologie měřit tisíce bodů a při využití fázové technologie desetitisíce bodů za vteřinu. Po čase používání skenerů se však ukázalo, že jejich „úzkým hrdlem“ je zpracování naměřené množiny bodů (tzv. mračna bodů). Existující

projekty často obsahují stovky milionů bodů a poměr mezi dobou sběru dat a jeho zpracováním se pro běžné aplikace uvádí 1/10 až 1/100 (*Pospíšil, 2007*).

Doposud nevyřešeným problémem skenovacích systémů je jejich kalibrace. U klasických teodolitů se metodika kalibrace vyvíjela desetiletí a obsahuje značně sofistikované metody. Naproti tomu jsou kalibrační metody skenovacích systémů teprve v počátcích vývoje. Existuje zde jistá podobnost skenovacích systémů a totálních stanic s bezhranolovým měřením, u nichž je ale výhodou snazší manipulace. Problémem skenovacích systémů je také neznalost jejich vnitřních principů, které výrobci z konkurenčních důvodů tají. Stejně tak jsou utajovány algoritmy ke zpracování naměřených dat (*Kašpar, 2003*). Z těchto a dalších důvodů výrobci u skenovacích systémů neuvádějí běžné charakteristiky přesnosti zaměřených bodů. Tato nová metoda se jeví být podobným fenoménem jako ve své době technologie globálního pozičního systému GPS. Skenovací systémy umožňují bezkontaktní určování prostorových souřadnic, 3D modelování a vizualizaci složitých staveb a konstrukcí, interiérů, podzemních prostor, libovolných terénů apod., s mimořádnou rychlostí, komplexní a bezpečností. Prakticky lze skenovací systémy využívat hlavně ve stavebnictví a příbuzných oborech (*Pospíšil, 2007*).

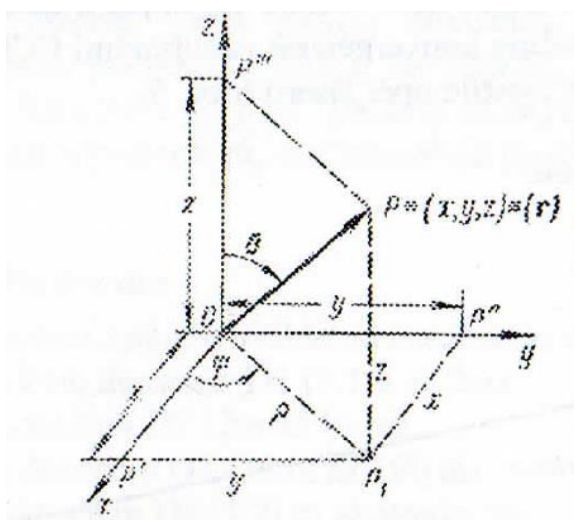
### **5.1. Princip skenování**

Vzhledem k vlastnostem, které má laserové záření, jsou lasery velmi výhodným zdrojem záření pro skenovací systémy. Laserové záření je nezávisle na typu laseru a konkrétních technických datech ve vysoké míře monochromatické, koherentní, intenzivní a s využitím doplňující optické soustavy vysoce směrové (*Vrbová, 1994*). Ve skenovacích systémech je měření vzdálenosti založeno převážně na elektronickém způsobu měření anebo na optickém (měření ze známé základny). Podle principu měření se elektronické dálkoměry využívané ve skenovacích systémech dělí na impulsní, fázové a frekvenční (*Kašpar a kol., 2004*).

Základním principem fungování laserového skeneru je prostorová polární metoda (obr. č. 11). K určení souřadnic bodu P je třeba znát délku průvodce  $r$  (měřená délka) a úhly  $\theta, \varphi$ . Úhly jsou získávány například z polohy zrcadel, které rozmítají laserový svazek a délka například impulsním dálkoměrem skeneru synchronizovaně s polohou

zrcadel. Jinou variantou metody je určení polohy bodu ze základny. Výsledkem výpočtu jsou 3D souřadnice měřeného bodu objektu v souřadnicovém systému skeneru. Pro naskenování bodů objektu se používá různých principů rozptýlení laserového svazku (Kašpar, 2003), pomocí kterých jsou na povrchu objektu měřeny body v profilech ve zvolené hustotě, výsledkem měření skenovacího systému je mračno bodů. Vzhledem k tomu, že souřadnicový systém skeneru je obecně orientován a umístěn, je většinou nutno provést transformaci bodů do požadovaného souřadnicového systému. Dalším krokem zpracování mračna bodů je aproximace měřených bodů geometrickými entitami, to je křivkami a plochami, případně tělesy. Jakkoli toto vyjádření zní jednoduše, jedná se o nejnáročnější část zpracování.

Tělesa mohou být např. koule, kvádr, válec, kužel a další. Takto vytvořený digitální model umožňuje měření, úpravy a další operace, ale z hlediska lidského vnímání může být nepřehledný a proto se přistupuje k vizualizaci, jejíž výsledek slouží jak pro prezentační účely, ale hlavně usnadňuje orientaci v modelu a dále umožňuje rozšíření modelu o další údaje, jako jsou materiály, textury a osvětlení apod. Dalším krokem zpracování modelu je tedy jeho vizualizace, která spočívá hlavně v přiřazení materiálů (jejich textur), osvětlení a zpracování zobrazení pomocí programu. Takto vytvořený model umožňuje mimo jiné virtuální prohlížení, lze je využít např. pro prezentaci modelu, zhodnocení vlivu nové zástavby na stávající ráz krajiny apod., (Pospíšil, 2007).



Obr. č. 11 Schematické znázornění prostorové polární metody (Pospíšil, 2007)

## 5.2. Skenovací systémy

Skenovací systémy lze dělit podle různých kritérií. Jedním z nich je umístění skeneru při skenování. Je-li skener umístěn pevně na Zemi, hovoříme o statických systémech, je-li umístěn na pohybuujícím se nosiči (autu, drezíně, vrtulníku, letadle a dalších) o kinematických systémech. Dále je možno skenery dělit podle měřícího principu, podle zorného pole, podle dosahu, přesnosti určení polohy a rychlosti skenování (*Pospíšil a Štroner, 2005*).

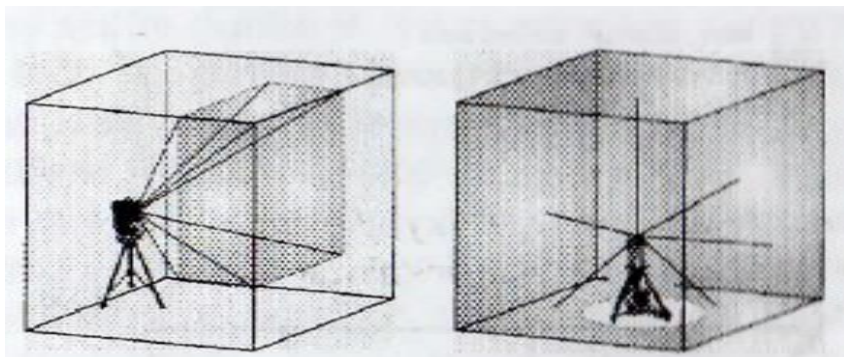
### Dělení skenerů podle principu

Skenery mohou být děleny do skupin podle měřícího principu. U skeneru přímo měřícího 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 zorného pole

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 (*Luhmann, 2005*). U panoramatických skenerů (obr.

č. 12) je otáčeno celou dálkoměrnou součástí pomocí servomotorů, což umožňuje postihnout téměř celé okolí (*Pospíšil, 2007*).



Obr. č. 12 Kamerový a panoramatický skener (*Pospíšil, 2007*)

### Dělení skenerů podle dosahu

Podle dosahu můžeme skenovací systémy přibližně rozdělit do čtyř skupin:

- Systémy s velmi krátkým dosahem D1 (0,1 m až 2 m)
- Systémy s krátkým dosahem D2 (2 m až 10 m)
- Systémy se středním dosahem D3 (10 m až 100 m)
- Systémy s dlouhým dosahem D4 (100 m až stovky m), (*Pavelka, 2006*)

### Dělení skenerů podle přesnosti

Podle přesnosti můžeme skenery rozdělit 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 určují 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 (2 mm až 6 mm) a konečně polární skenery s dlouhým dosahem skenování D4 s přesností P4 (10 mm až 100 mm), (*Pospíšil, 2007*).

## Dělení skenerů podle rychlosti skenování

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

- Systémy s velmi vysokou rychlostí R1 (více jak 50 000 bodů za sekundu)
- Systémy s vysokou rychlostí R2 (1000 až 50 000 bodů za sekundu)
- Systémy se střední rychlostí R3 (10 až 1000 bodů za sekundu)
- 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*).

### 5.3. Software

Nejvíce se vyvíjející stránkou této technologie je nepochybně nutný speciální software. Běžné systémy pro vedení a editaci digitálního modelu terénu nebo systémy CAD nebyly schopny zpracovat miliony podrobných bodů, běžné u laserového skenování. Jejich úprava a implementace nových modulů pro vizualizaci a zpracování vzniká teprve v současné době (*Pavelka a Hodač, 2008*).

Software můžeme rozdělit na programy pro sběr dat, zpracování dat a management projektů. Jsou to programy pro ovládání skeneru (nastavení oblasti a parametrů), programy pro záznam dat a základní vizualizaci. Programy pro spojování jednotlivých skenů (ruční, korelační, lícovací body), programy pro zpracování mračka bodů (manipulace s daty – filtrace, zředění, vytvoření trojúhelníkové sítě – mesh), programy pro extrakci dílčích primitiv z mračka bodů, tvorba hran, potažení texturou z digitální fotografie, tvorba fotorealistických 3D modelů, export vyhodnocené informace do výměnných formátů (např. dxf). Pro zpracování měřených dat existují speciální programy buď přímo vytvořené pro konkrétní skener, nebo program univerzální (*Pospíšil, 2007*).

Cena speciálního software pro 3D skenování je velmi vysoká a nezdědka občas dosahuje statisíců Kč. Stává se tak rovnocennou položkou při plánování nákupu 3D skeneru. Bez vhodného software je využití 3D skenerů velmi problematické (*Pavelka a Hodač, 2008*).

#### **5.4. Vlivy působící na kvalitu měřených dat**

Na kvalitu dat působí celá řada vlivů, se kterými je nutné při skenování počítat jako je přesnost měření, přesnost transformace, geometrie a povrch skenovaných objektů. 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  $\theta, \varphi$ . Tyto veličiny jsou ovlivňovány nejen kvalitou jednotlivých komponentů 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 objektu stejně jako u povrchu zaměřovaného materiálu záleží na úhlu dopadu dálkoměrného svazu na zaměřovaný objekt (*Pospíšil, 2007*).

#### **5.5. Přístroje a systémy**

V oblasti skenovacích přístrojů a systémů lze v posledních čtyřech letech spatřovat krom jiného trend směřující k vývoji finančně nenáročných skenerů s postačující přesností. Při tomto vývoji se používají různé postupy a principy pro určení 3D souřadnic. Tento trend se podařilo zachytit vývojem skeneru s virtuálními binárními značkami (*Koska a kol., 2004*).

### 5.5.1. Laserové skenery – typy

#### Riegl

##### LMS Z390i – přenosný skener s vysokým rozlišením

Skener (obr. č. 13) má dosah až 400 m (při odrazivosti 80%, při odrazivosti 10% jen 140 m), měří od 1m. přesnost měření je 6 mm, při opakovaném průměrovaném měření až 2 mm (relativně). Rychlost měření je 8000 - 11000 bodů/s., divergence paprsku 0,3 mrad. 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 a Hodač, 2008*).



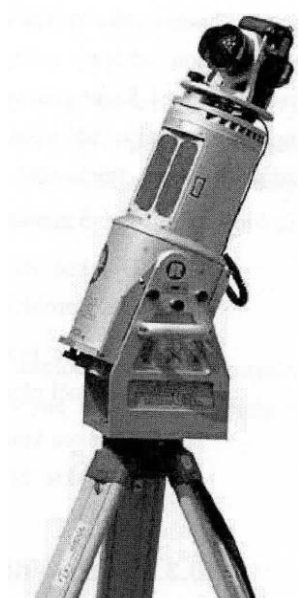
Obr. č. 13 Laserový skener Riegl LMS Z390i [2]

##### LMS Z420i – přesný skener s dlouhým dosahem

Skener (obr. č. 14) 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 průměrovaném



měření až 4 mm. Rychlost měření je 8000 - 11000 bodů/s., divergence paprsku 0,25 mrad. Rozsah měření vertikálně 80° a horizontálně 360°, rozlišení až 0,002°. Parametry a konstrukcí je podobná s typem LMS Z390i (Pavelka a Hodač, 2008).



Obr. č. 14 Laserový skener Riegl LMS Z420i (Pavelka, 2011)

### **LMS Z210ii-S**

3D laserový skener Riegl LMS Z210ii-S (obr. č. 15) je robustní senzor speciálně navržen pro rychlé pořízení vysoce kvalitních trojrozměrných obrazů pro průmyslové aplikace i při vysoce náročných podmínkách prostředí. Skener poskytuje jedinečnou a bezkonkurenční kombinaci širokého zorného pole, vynikající rozsah výkonu měření i při nízkých odrazech sílové plochy, vysokou přesnost a rychlé získávání dat. Rozsah měření je 95° x 360°, přesnost je udávána až 10 mm, rychlost měření až 10 000 bodů/s a datové rozhraní TCP/IP [3].



Obr. č. 15 Laserový skener Riegl LMS Z210ii-S [3]

## **Trimble (Mensi)**

### **GX 3D Scanner**

Laserový skener (obr. č. 16) firmy Trimble je novou generací skenerů, které se vyznačují vyšší přesností a snazším ovládáním. 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 měřeních; při jediném odrazu je přesnost cca 2x horší. Modelování plochy lze s přesností až 2 mm. Průměr laserové stopy na 50 m je 3 mm, odstup bodu je volitelný a na 100 m dosahuje i 3,2 mm. Ovládání skeneru je přes notebook nebo Pocket PC. Přístroj obsahuje elektronickou libelu, dvouosý kompenzátor, možnost zavádění atmosférických korekcí ke 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 aj., (Pavelka a Hodač, 2008).



Obr. č. 16 Laserový skener Trimble GX 3D Scanner (*Pavelka a Hodač, 2008*)

### **TX5 3D scanner**

Trimble 3D TX5 laserový skener (obr. č. 17) je revoluční a vysoce univerzální řešení pro širokou škálu aplikací 3D skenování. Kompaktní a lehká konstrukce zajišťuje bezkonkurenční mobilitu na pracovišti, zvyšování produktivity. Skener je opatřen integrovanou barevnou kamerou pro vytvoření fotorealistických scén a dotykovým displejem. Skener má rozsah od 0,6 m až 120 m. Rychlost měření je 122000 - 976000 bodů/s., divergence paprsku je 0,19 mrad. Rozsah měření vertikálně 300° a horizontálně 360°, rozlišení až 0,009° [4].



Obr. č. 17 Laserový skener Trimble TX5 3D Scanner [4]

## Callidus

### CPW 8000

Laserový skener CPW 8000 (obr. č. 18) je modifikovaný nový přístroj, využívající obou principů měření vzdálenosti a času letu paprsku vyslaného a přijatého pulzu, kde výsledná vzdálenost se vypočte jako  $s=c.t/2$  ( $s$  je vzdálenost,  $t$  je čas,  $c$  rychlost světla) i fázového rozdílu. Laserový paprsek je modulován vysokou frekvencí, fázový posun  $\Delta\phi$  mezi emitovaným a přijatým signálem je měřen s vysokou přesností. Maximální vzdálenost měření je 80 m, typická přesnost je 2 mm (na 30 m). Divergence laserového paprsku je udávána na 2 mm na 10 m. Výrazně se zlepšila přesnost v úhlech (stejně v obou směrech  $0,002^\circ$ ). Při rozlišení  $0,02^\circ$  ale jeden panoramatický sken trvá již téměř hodinu (měří se také ale 135milionů bodů). Měřicí rozsah je  $360^\circ \times 300^\circ$ , rychlost 50000 bodů/s (Pavelka a Hodač, 2008).



Obr. č. 18 Laserový skener Callidus CPW 8000 [5]

## Leica (Cyra)

### Leica ScanStation P15

Leica ScanStation P15 (obr. č. 19) dosahuje extrémně vysoké rychlosti skenování milionů bodů za sekundu a poskytuje nejvyšší možnou kvalitu 3D dat pro projekt skenování s rozsahy až do 40 metrů (minimální rozsah 0,4 m). Divergence paprsku 0,2 mrad. Rozsah měření vertikálně 270° a horizontálně 360°, rozlišení až 0,009°. Díky robustní konstrukci skeneru ho lze použít i při nejnáročnějších podmínkách. Pracuje při teplotách v rozmezí od -20 ° C do +50 ° C, a také umožňuje 3D skenování v plném slunečním svitu nebo úplné tmě. ScanStation P15 nabízí intuitivní a uživatelsky přívětivé rozhraní dotykové obrazovky. V kombinaci s WLAN dálkovým ovládním, lze skener ovládat pomocí libovolného přenosného zařízení [6].



Obr. č. 19 Laserový skener Leica ScanStation P15 [6]

### Leica HDS6000

Nový typ laserového skeneru (obr. č. 20) používá měření fázového rozdílu; rychlost i hustota měření byla u tohoto nového modelu zvýšena o 50%, byla zjednodušena konstrukce, baterie je uvnitř přístroje, který má také „*scan control panel*“ pro jednodušší manipulaci a zaměření snímané oblasti. Novinkou je integrovaný boční ovládací panel, *wireless* PDA nebo ovládním pomocí notebooku. Rozsah měření 360° x 310°, rychlost 500tisíc bodů/s, rozbíhavost laserového paprsku 8 mm na 25 m, 14 mm na 50 m, přesnost je udávána poměrně složitě, nepřináší ale

žádné podstatné zlepšení, která u principu laserového skenování prozatím lze jen těžko výrazně zvýšit; přesnost 1 měření v poloze 6 mm, v délce 4 mm (do 25 m) a 10 mm v poloze či 5 mm ve vzdálenosti do 50ti metrů (záleží ale na odrazivosti); přesnost modelování plochy 2 - 3 mm na 25 m (Pavelka a Hodač, 2008).



Obr. č. 20 Laserový skener Leica HDS6000 [7]

## Zoller-Fröhlich

### IMAGER 5006h

Skener (obr. č. 21) má rozsah od 0,4 m až 79 m, rychlost je udávána až 500tisíc pixelů/s. Průměr laserové stopy po opuštění zařízení (ve vzdálenosti 1m) je prakticky u všech zařízení stejná a pohybuje se okolo 3 mm. Divergence paprsku je 0,22 mrad. Rozsah měření vertikálně 310° a horizontálně 360°, rozlišení až 0,007° [8].



Obr. č. 21 Laserový skener IMAGER 5006h [8]

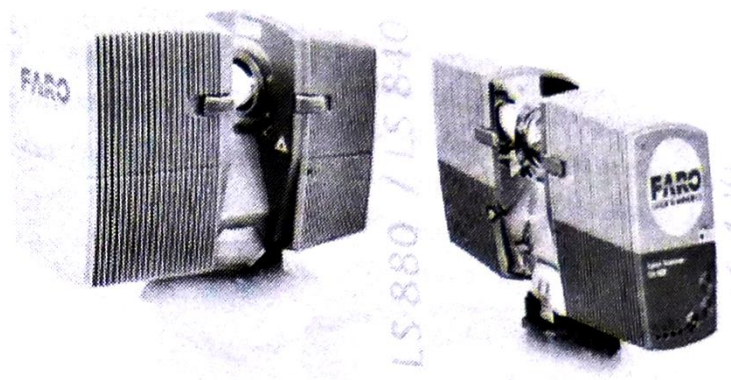
## Optech

V roce 2006 byl předveden laserový skener **ILRIS 36D** (*Intelligent Laser Range Imaging System*), skener kamerového typu se schopností zaměřovat objekty až do vzdálenosti 1500 m při ideální odrazivosti cílené plochy (80% odrazivosti) s přesností měření 8 mm/100 m. Zorné pole činí  $-20^\circ$  až  $90^\circ$  a  $-90^\circ$  až  $20^\circ$  ve svislé rovině a  $360^\circ$  ve vodorovné rovině. Tento systém je ojedinělý zejména svým dosahem, který výrazně předhání konkurenci (až o řád, to je dáno použitím silného laseru původně pro letecký model). Náklonem zařízení na speciální podložce lze docílit kompletního pokryvu celého okolí ( $360^\circ \times 360^\circ$ ). Rychlost měření je udávána 2000bodů/s (*Pavelka a Hodač, 2008*).

## Faro

### FARO LS 880

Novější firmou, vyrábějící laserové skenery je Faro. Klasická konstrukce skeneru (obr. č. 22) umožňuje dosah 0,6 m až 76 m, rozsah měření vertikálně  $320^\circ$  a horizontálně  $360^\circ$  s maximální rozlišením 470000 x 16384 bodů, chyba (na 20 m) je udávána 3 mm. Divergence paprsku je 0,25 mrad [9].



Obr. č. 22 Laserový skener FARO (*Pavelka a Hodač, 2008*)

## Sick

V tomto případě se jedná zejména o technické zařízení (samostatný díl); prodává se laserová hlava (obr. č. 23), která bývá součástí technologických linek, kde zajišťuje kontrolu či hlídání provozu. Jako laserový skener je třeba laserovou hlavu montovat do skenovacího zařízení a vytvořit software pro přenos dat. Tato hlava je součástí levných laserových skenerů, obvykle na univerzitách, ale je součástí i např. laserového skeneru starší generace Callidus (Pavelka a Hodač, 2008).



Obr. č. 23 Laserová hlava SICK (Pavelka a Hodač, 2008)

### 5.5.2. Typy triangulačních 3D skenerů

#### Mensi

Triangulační skenery mají obecně vyšší přesnost než laserové skenery. Prvním často využívaným zařízením je Mensi 25S (obr. č. 24). Hustota měřených bodů je kolem 2 mm, přesnost 0,5 - 2 mm je závislá na vzdálenosti měření (doporučeno do 10 m); maximální vzdálenost měření je dána velikostí základny a je 25 m (přesnost 10 mm). Skenovat lze oblast 320° x 46°. Nevýhodou je ale pomalé měření (cca 100 bodů/s), interference světla (lépe je měřit v šeru nebo v noci), (Pavelka a Hodač, 2008).





Obr. č. 24 Část dokumentace mausolea Maxmilianiana I., Mensi 25S (Pavelka, 2006)

## LORS

### LORS I

Při řešení grantového projektu 103/02/0357 „Moderní optoelektronické metody topologie ploch“ byl vyvinut prototyp laserového a optického rotačního skeneru LORS I pro snímání malých předmětů (Koska a kol., 2004). Systém se skládal ze tří základních komponent – digitální kamery, laserového modulu a točny. *Digitální kamera* byla přesně umístěna na *teodolitu* a ve spojení s ním určovala zenitový a vodorovný úhel měřeného bodu. *Laserový modul* vytvářel laserovou rovinu. *Točna* byla charakterizována konstantní úhlovou rychlostí a byla u ní známa poloha středu otáčení a zajištěna vodorovnost. Měřený bod v prostoru byl pak určen průsečíkem stopy laserové roviny na předmětu a optické přímky, která je daná snímkovými souřadnicemi stopy z digitální kamery. Byly vytvořeny algoritmy pro měření a jeho zpracování. Dále bylo zpracováno programové zabezpečení pro měření a vyhodnocení a také výroba a sestavení prototypu (Pospíšil, 2007).

### LORS II

V rámci grantového projektu 205/04/1398 „Využití 3D skenerů v geodézii a památkové péči“ byla *změněna metoda určení prvků vnitřní a vnější orientace digitální kamery* (Koska a kol., 2005). K tomu účelu bylo vytvořeno stacionární

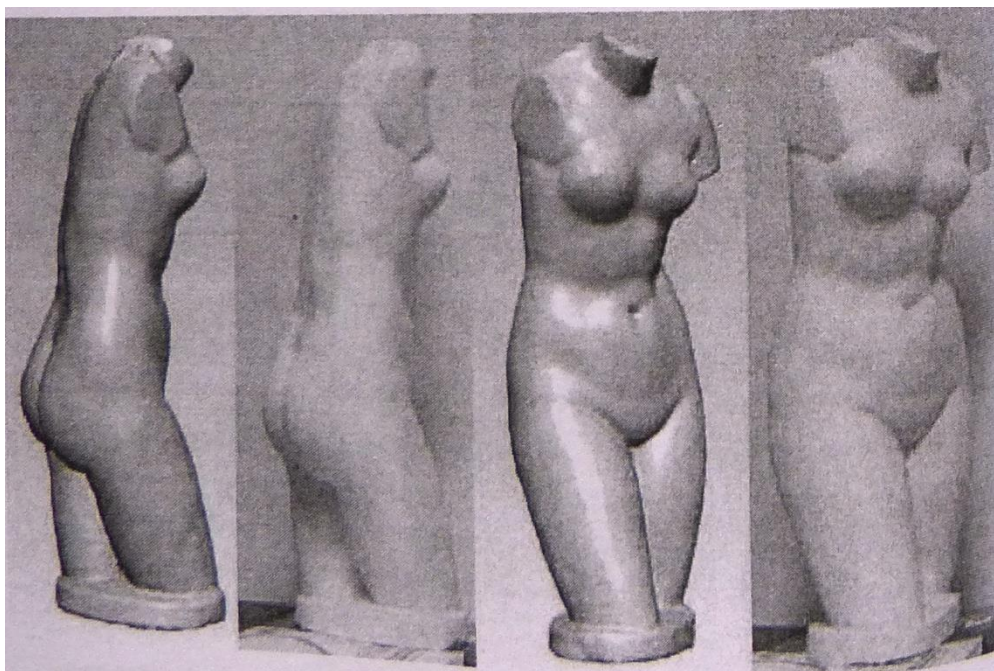
prostorové kalibrační bodové pole, tzv. kalibrační klec, s dvaceti body umístěnými kolem točny a zaměřovaného předmětu. Bodové pole je součástí systému a umožňuje měnit pozici kamery v závislosti na skenovaném předmětu a jeho tvaru, protože určení prvků vnitřní i vnější orientace je možné v kterékoli fázi měření ve spojení s novým postupem jejich určení – Direktní Lineární Transformací (DLT, výpočet se provádí iteračně metodou nejmenších čtverců a jeho součástí je výpočet polohy hlavního snímkového bodu a koeficientů radiální distorze), (*Pospíšil, 2007*).

Při měření je nutné točnu urovnat tak, aby její osa rotace byla přesně svislá a následně určit její polohu. Využívá se digitální kamera s rozlišením 1280 x 1024 a frekvencí snímkování 16 snímků za sekundu, která je umístěna do vhodné pozice na fotografickém stativu a prvky její orientace jsou určeny z bodů kalibrační klece. Při měření kamera snímá sekvence snímků zachycující pohyb objektu na točně. Z vlíčovacích bodů na kalibrační kleci se počítají prvky vnitřní a vnější orientace kamery a s jejich využitím dále měřené body na objektivu v profilu signalizovaném laserovou stopou. Pro vyhodnocení je třeba znát prostorové souřadnice vlíčovacích bodů stabilizovaných na kalibrační kleci, rovnici laserové roviny a souřadnice osy rotace točny.

Dále je třeba také určit dobu 1 otočky točny, což lze ze získané sekvence snímků. Stabilizace cílů na kalibrační kleci je provedena tak, že lze využít automatické vyhledávání středu terčů a tím zpřesnit určování snímkových souřadnic včetně zápisu do souboru. První fázi určení souřadnic bodů profilu je určení snímkových souřadnic pixelů, které zachycují stopu laseru na objektu, druhou fázi je pak určení snímkových souřadnic středů laserové stopy. Určení snímkových souřadnic hledaných pixelů je na základě metody vylepšeného prahování (*Štroner a Pospíšil, 2001*).

Dále se počítají prostorové souřadnice bodů profilu z rovnic DLT a zjištěných snímkových souřadnic a podle „časové“ souřadnice (čas pořízení snímku) se pak body profilu v prostoru otáčí kolem středu rotace točny tak, aby se body jednotlivých profilů rozprostřely zpět do bodů tělesa. Výsledkem výpočtů jsou prostorové souřadnice bodů objektu. Pro potřeby posouzení přesnosti upraveného skenovacího systému LORS II byl vytvořen kalibrační přípravek tvořený šesti přesnými prostorově umístěnými koulemi (o průměru 36,9 mm). Určené body byly proloženy koulemi s daným poloměrem metodou nejmenších čtverců (MNC). Pro porovnání byly středy koulí určeny geodetickými metodami. Pro určení dosažené přesnosti byla

využita prostorová transformace středů koulí kalibračního přípravku určených LORSem na geodeticky určené souřadnice. Z testování vyplynulo, že skener je vhodný pro skenování menších předmětů (obr. č. 25) do velikosti max. 0,4 m, a určuje polohu bodu se směrodatnou odchylkou v jedné souřadnici do 0,5 mm. Výhodou systému je také možnost využití více různých kamer a to i současně (Pospíšil, 2007).



Obr. č. 25 Výsledky ze skeneru LORS II v porovnání s originálem (Pavelka a Hodač, 2008)

### LORS III

Výraznou změnou oproti předchozí verzi je *změna pohonu a řízení točny* (Koska a kol., 2006). Doposud byla vždy točna poháněna motorkem s konstantní úhlovou rychlostí a úhel pootočení byl odvozen z doby pohybu točny. Nově byl pořízen krokový motor s řídicí deskou, základní krok motoru je  $1,8^\circ$  a přesnost kroku je  $0,1^\circ$ . Deska je propojena s počítačem pomocí sériového portu a řízena ASCII příkazy. Pro zmenšení kroku a zvýšení přesnosti byla pořízena šneková převodovka s převodovým poměrem 60:1. Další významnou inovací systému byla *změna digitální kamery* na zrcadlovku Canon EOS D350 s fyzickým rozlišením snímače 8 Mpixelů (3456 x 2304), s portem USB 2.0, s možností vývoje vlastního ovládacího

programu a možností plného manuálního ovládání rychlosti závěrky, nastavení clony a ostření. Pro skenování je použit jednoduchý program LORS – Scanning, který ovládá jak digitální kameru, tak krokový motor točny. Nastavuje se pouze umístění snímku, rozsahu otáčení a velikosti kroku otáčení. Pro vyhodnocení je nyní použit program nazvaný LORS – Processing. Po nastavení detekčních parametrů stopy RGB filtru a rozsahu filtrované oblasti proběhne automatická detekce snímkových souřadnic stopy laserového svazku. Po zadání konfiguračních parametrů výpočtu (parametry DLT, parametry točny, parametry laserové roviny a úhlový krok mezi snímky) se rovněž automaticky provede výpočet prostorových souřadnic. Přesnost systému byla určena zaměřením již zmíněného kalibračního přípravku a jeho porovnáním s přesnými souřadnicemi shodnostní prostorovou transformací. Směrodatná odchylka z transformace byla 0,2 mm (*Pospíšil, 2007*).

#### **LORS IV**

V rámci grantového projektu 103/06/0094 „Zpracování a analýza produktů hromadného sběru 3D dat terestrickými skenovacími systémy“ vzniklo nové řešení, které má řadu výhod oproti původnímu systému. Je možné skenovat objekty větších rozměrů až 1,6 m x 2,2 m x 1,4 m, je možné získat z jediného snímku kvalitní *barevnou informaci* pro všechny vypočtené 3D souřadnice a je možné použít jednodušší rozdílnou metodu detekce laserové stopy. Systém tvoří *pevná základna* o délce 1m. Na jednom konci základny je upevněna točna, s pevně uchyceným laserovým modulem, na druhém konci je umístěna digitální kamera (*Koska a kol., 2006*).

Snímkové souřadnice jednotlivých pixelů laserové stopy na měřeném objektu při známých parametrech vnější a vnitřní orientace digitální kamery definují přímky v prostoru. Parametry vnitřní a vnější orientace digitální kamery jsou zjištěny a popsány pomocí parametrů direktní lineární transformace. Jsou známy parametry točny (bod a směrový vektor osy rotace). Kalibrací byl určen vztah mezi aktuální polohou točny a parametry laserové roviny. Prostorový bod je definován jako průsečík laserové roviny a záměrné přímky. *Pro kalibraci systému* bylo nutné určit parametry všech komponent systému. Určení prvků vnitřní a vnější orientace kamery

bylo provedeno zaměřením kalibračního pole (20 bodů) o rozměrech zorného pole kamery ve vzdálenosti 2 m (*Pospíšil, 2007*).

## **Minolta**

Velmi přesný 3D skener Minolta je určen pro dokumentaci a digitální popis památkových předmětů, mechanických součástí, biomedicínckého inženýrství a počítačovou grafikou; přístroj vyniká vysokou přesností prostorového měření; dosavadní laserové skenery mají sice mnohem větší dosah, ale o řád nižší přesnost, která je u řady aplikací nedostatečná. Dosah zařízení je od 0,6 do 2,5 m, lze měnit objektivy (25 mm, 14 mm a 8 mm). Přesnost je udávána až 0,05 mm, volitelná je sestava s rotační točnou. Rychlost snímání je značná, 300 tis.bodů/2,5 s nebo 77tis.bodů/0,3 s. pro pořizování textur je zařízení vybaveno CCD kamerou, pořizující 24bit barevné snímky (*Pavelka a Hodač, 2008*).

## **Leica**

### **Leica T-ScanTS 50 A**

Firma Leica předvedla v letech 2005 – 2006 úplně nové přístroje – jedná se o velmi přesný ruční skener (obr. č. 26), který nepotřebuje na objektu signalizovat body, což je jeho základní výhoda. Ruční část je vybavena čidly, která jsou sledována laserovým zaměřovačem. Bezdrátově se pak přenáší měření do notebooku.

Zařízení má ale nepřekročitelné parametry: maximální hloubka 78 mm, skenovací šířka 90 mm, průměrná vzdálenost měření 86 mm, dosah sledovací hlavy 30 m, přesnost 0,07 – 0,98 mm. Rozsah měření vertikálně 45° a horizontálně 360°. Model vzniká přímo na obrazovce, lze se vracet a dohušřovat mračno bodů [10].



Obr. č. 26 Ruční scanner Leica T-ScanTS 50 A [10]

## **Kreon**

### **Zephyr KZ 50**

Ruční skener Kreon umožňuje zachytit až 30000 bodů/s. Přesnost je velmi vysoká – v ideálním případě až  $5\mu\text{m}$ , běžně 0,015 mm. Váha celého zařízení je jen 360 g. Opět se jedná o ruční skener, poloha podrobných bodů se počítá trigonometricky ze známých prvků vnitřní i vnější orientace. Není třeba signalizovat body na objektu (*Pavelka a Hodač, 2008*).

## 6. Závěr

Cílem diplomové práce bylo věcně shrnout a popsat vývoj, zhodnocení použití a přesnost geodetických metod zaměření prostorového členění malých stavebních objektů. Dokumentace zvláště pak památkových objektů tvoří v současné době velmi výraznou skupinu projektů. Dokumentují se složité sochy, kašny, budovy (fasády), klenby, zříceniny, vykopávky, krovky, sklepy, jeskyně aj.

Jedna z možných použitelných metod je stolová metoda. Tato metoda se již nepoužívá. Jde o zakreslení změřených údajů pomocí přístroje zvaného eklimetr přímo v terénu na mapový podklad, který byl připevněn na měřický stůl. Z hlediska přesnosti a použití výsledků měření například pro dokumentaci historického objektu je nepřesná. Další možnou použitelnou metodou je ortogonální metoda, která byla postupně nahrazována metodou polární. Tyto metody jsou přesnější než metoda stolová a také jsou vhodné pro další použití v oblasti památkové péče. Jsou ale časově náročnější.

V dnešní době je pro zaměřování převážně menších historických objektů používána fotogrammetrie a laserové skenování. U těchto metod záleží na kvalitě zpracovaného materiálu a hlavně na použité technice. Přímo laserové skenování patří mezi nejmladší metody a zaznamenává v dnešní době velký rozvoj, který je umožněn zejména počítačovou technikou. Tato metoda se stále vyvíjí a jednotlivé firmy vyrábějící přístroje je zdokonalují a modernizují. Proto lze předpokládat, že pro malé geodetické firmy je velmi finančně náročné pořízení nových skenerů.

Porovnáním fotogrammetrie a laserového skenování bylo zjištěno, že fotogrammetrie má nižší cenu, vyšší přesnost, více využitelných informací a jedná se o tradiční a vyzkoušenou metodu. Dále fotogrammetrie u prostorově velmi členitých tvarů má vysokou pracnost a některé projekty jsou jen těžko řešitelné.

Oproti tomu laserové skenování má nedefinované linie, menší přesnost, zejména v detailech, nedefinovatelné souvislosti některých prvků na objektu, rychlá deformační analýza (například barevným kódováním), velmi podrobná dokumentace nepravidelných tvarů, automatické vyhodnocení pravidelných útvarů (hranoly, trubky aj.).

### Geodetické metody grafické

Metody	Zhodnocení metod	Přesnost metod
Stolová metoda	- nejstarší metoda, již se nepoužívá, velmi jednoduchá	- první metoda 19. století (spolehlivé výsledky, dostatečně přesné a kompletní)
Metoda stolové tachymetrie	- ve své době nejefektivnější metodou, kombinuje metody měřického stolu a metody číselné tachymetrie	- přesnost je obdobná stolové metodě

### Geodetické metody číselné

Metody	Zhodnocení metod	Přesnost metod
Ortogonální metoda	- určuje se poloha bodů měřením vzájemně na sebe kolmých délek (staničení a kolmic); metodou doplňkovou k metodě neuzívanější (polární metoda)	- relativní polohová přesnost předmětů je 2 až 3 cm, v rozsahu jedné přímky 5 až 10 cm; výsledná přesnost v grafické mapě 0,1 až 0,2 mm
Polární metoda	- vhodná pro situační měření v členitém terénu, délky se měří opticky dálkoměry; nepoužívanější geodetická metoda měření polohy a výšky geodetické dokumentace	- záleží na vlivu měření a vlivu podkladu
Metoda protínání	- obdoba polární metody, použití v přehledném terénu, rychle překonávání velkých vzdáleností; určuje body nepřímou, trigonometricky, číselným protnutím	- kritérium přesnosti podrobných bodů polohopisu je určeno kódem kvality (3 - 0,14 m; 4 - 0,26 m; 6 - 0,21 m; 7 - D110,42 m a kód 8 - 1,00 m)
Metoda číselné tachymetrie	- délka se měří nitkovými nebo diagramovými tachymetry	- méně přesná metoda polární



Metoda	Zhodnocení metod	Přesnost metod
Fotogrammetrie	- fotografický záznam se provádí klasicky analogově nebo digitálně - pro získání snímku lze použít od běžných fotoaparátů po fotogrammetrické komory - pro zpracování snímku se musí vypočítat prvky vnitřní a vnější orientace	- pozemní fotogrammetrie 0,01 až 0,1 m - u letecké fotogrammetrie v řádu dm až m
Laserové skenování	- nová technologie přímého určování prostorových souřadnic pomocí 3D skenerů - efektivnost sběru dat	- přesnost měření se pohybuje řádově v milimetrech (závislá je na vzdálenosti) - obvyklá přesnost je 6 mm na vzdálenost 50 m

Zhodnotíme si jednotlivé metody na konkrétní naprosto specifické práci a to dokumentaci soch. Sochy se obecně velmi špatně dají geodeticky zaměřit a dokumentovat.

Fotogrammetricky je obtížné vyhledávat body, které určují tvar. Lepší možnosti dávají dnešní stereofotogrammetrické systémy – umožňují automatickou tvorbu DMT ze stereozáběrů. Průřezová fotogrammetrie je vhodná pro zjištění skutečných rozměrů, z hlediska přesnosti lze docílit i submilimetrovou přesnost na signalizovaných bodech.

Geodetické zaměření je na tom ještě hůře. Lze provádět maximálně zjišťování základních rozměrů soch. Z hlediska přesnosti je nutno na sochu v obou případech nalepit či jinak umístit terčíky pro sledované body či jako vlčovací body. Jejich signalizace určuje možnou přesnost.

Ani laserové skenování není příliš ideální metodou. Přesnost laserových skenerů je často nedostatečná a na krátké vzdálenosti některé ani nemohou měřit. Výsledky nejsou skvělé, ale rozhodně již mají vypovídací hodnotu a jsou cenné. Řada soch např. barokních je na konci své životnosti a jejich prostorová dokumentace je nesmírně žádoucí. Sochy ale neobsahují ve 3D modelu.

## 7. Použitá literatura

1. Bumba, J.. *České katastry od 11. do 21. století*; GRADA: Praha, 2008, 190 s.
2. Císař, J., Boguszak, F., Janeček, J.. *Mapování, Kartografie*. Praha, 1966.
3. Hánek, P., a kol.. *Stavební geodézie*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007, 133 s. ISBN 978-80-01-03707-2.
4. Hons, J., Šimák, B.. *Pojďte s námi měřit zeměkouli: Kouzelný dalekohled*; Orbis: Praha, 1959, 419 s.
5. Kašpar, M., Pospíšil, J., Štroner, M., Křemen, T., Tejkal, M.. *Laser Scanning in Civil Engineering and Land Surveying*. Hradec Králové: Vega, 2004., 103 s.
6. Kašpar, M.. *Laserové skenovací systémy ve stavebnictví*. 1. vyd. Hradec Králové: Vega, 2003. ISBN 80-900-8603-9.
7. Koska, B., Pospíšil J., Štroner, M.. *Innovations in the Development of Laser and Optic Rotating Scanner LORS*. FIG XXIII. Congress Minuch, October 2006.
8. Koska, B., Štroner, M., Pospíšil, J.. *Algoritmus určování rovnice obecné roviny pro laserové skenování včetně rozborů přesnosti*. Stavební obzor, 2004, roč. 13, č. 2, s. 55-60.
9. Koska, B., Štroner, M., Pospíšil, J.. *Laserový skenovací systém LORS - vývoj a ověřování přesnosti*. Stavební obzor. 2005, roč. 14, č. 4, s. 123-126.

10. Kukuča, J.. *Naša zem – jej meranie a zobrazovanie*; SAV: Bratislava, 1986, 112 s.
11. Luhmann, T.. *Photogrammetrie und Laserscanning Anwendung fur As-Built-Dokumentation und Facility Management*. Wichman Verlag Heidelberg, 2002.
12. Maršík, Z., Maršíková M.. *Geodézie II*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2002, 123 s. ISBN 80-704-0546-5.
13. Maršík, Z., Maršíková, M.. *Dějiny zeměměřictví a pozemkových úprav v Čechách a na Moravě v kontextu světového vývoje*. Praha: Libri, 2007. ISBN 978-80-7277-318-3.
14. Maršík, Z.. *Základy geodézie a kartografie: (pro zemědělské inženýry)*. 2., opr. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 1998, 81 s. ISBN 80-704-0304-7.
15. Novák, V., Murdych Z. *Kartografie a topografie*. Vyd. 1. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1988, 318 s. Učebnice pro vysoké školy (Státní pedagogické nakladatelství).
16. Novotný, M.. *Geodézie a kartografie I.*, 1 st ed.; Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta: České Budějovice, 1995, 73 s.
17. Pavelka, K., Hodač J.. *Fotogrammetrie 3, Digitální metody a laserové skenování*. Praha: ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03978-6.

18. Pavelka, K.. *Fotogrammetrie 1*. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2009, 200 s. ISBN 978-80-01-04249-6.
19. Pavelka, K.. *Fotogrammetrie 10*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1998, 178 s. ISBN 80-010-1863-6.
20. Pavelka, K.. *Fotogrammetrie 2*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011, 163 s. ISBN 978-80-01-04719-4.
21. Pavelka, K.. *Fotogrammetrie*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2003, 247 s. ISBN 80-708-2972-9.
22. Pavelka, K.. *Laserové skenování – nová technologie sběru prostorových dat*. Praha: ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03501-8.
23. Pospíšil, J., Štroner, M.. *Moderní geodetické technologie a přístroje pro laserové skenování*. 2005, roč. 14, č. 8, s. 249-253.
24. Pospíšil, J.. *Současné trendy skenování ve stavebnictví a v příbuzných oborech*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 2007.
25. Štroner, M., Pospíšil, J.. *Neměřická digitální kamera při dynamickém měření přetvoření*. *Stavební obzor*. 2001, roč. 10, č. 3, s. 84-88.
26. Vrbová, M.. *Lasery a moderní optika: oborová encyklopedie*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 1994, 474 s. ISBN 80-858-4956-9.

### **Internetové zdroje:**

[1]

<http://www.lesia.obspm.fr/perso/jacques-crovisier/JV/img/laussedat.jpg>, zobrazeno dne 14. 3. 2014

[2]

<http://www.sapru.ru/Article.aspx?id=19709>, zobrazeno dne 16. 3. 2014

[3]

<http://www.riegl.com/nc/products/industrial-scanning/produktdetail/product/scanner/3/>, zobrazeno dne 16. 3. 2014

[4]

<http://www.trimble.com/3d-laser-scanning/tx5.aspx?dtID=technical>, zobrazeno dne 16. 3. 2014

[5]

[http://focusplan.fi/wp-content/uploads/2012/07/callidus\\_transparent1.png](http://focusplan.fi/wp-content/uploads/2012/07/callidus_transparent1.png), zobrazeno dne 16. 3. 2014

[6]

[http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-P15\\_105174.htm](http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-P15_105174.htm), zobrazeno dne 16. 3. 2014

[7]

[http://hds.leica-geosystems.com/en/Press-Releases\\_5604.htm?id=1328](http://hds.leica-geosystems.com/en/Press-Releases_5604.htm?id=1328), zobrazeno dne 16. 3. 2014

[8]

<http://www.zf-usa.com/3d-laser-scanners/>, zobrazeno dne 16. 3. 2014

[9]

[http://www2.faro.com/FaroIP/Files/File/Techsheets%20Download/SEA\\_Laserscanner840&880.pdf](http://www2.faro.com/FaroIP/Files/File/Techsheets%20Download/SEA_Laserscanner840&880.pdf), zobrazeno dne 16. 3. 2014

[10]

[http://www.leica-geosystems.com/downloads123/m1/metrology/t-scan/brochures/Leica%20T-Scan%20brochure\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.com/downloads123/m1/metrology/t-scan/brochures/Leica%20T-Scan%20brochure_en.pdf), zobrazeno dne 16. 3. 2014