

**ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE**

**STAVEBNÁ FAKULTA**

**Katedra geodézie**

# **ZÁKLADY FOTOGRAMETRIE**

**3. vydanie**

**Učebný text pre študentov bakalárskeho štúdia odboru geodézia  
a kartografia**

**<http://svf.utc.sk/kgd>**

**Prof. Ing. Ladislav Bitterer, PhD.**

**2005**



## PREDHOVOR

Predložený text predstavuje tretie vydanie učebného textu fotogrametrie s názvom Základy fotogrametrie. Dlhé obdobie, ktoré uplynulo od druhého vydania, s ohľadom na zmeny v symbolike a terminológii, ako aj vývoj v oblasti digitálnej fotogrametrie a diaľkovom prieskume Zeme, si vynútilo úplné prepracovanie učebného textu.

Učebný text je určený pre študentov bakalárskeho štúdia odboru geodézia a kartografia a študentov stavebných smerov Stavebnej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline. Učebný text obsahuje základy fotogrametrie a príklady jej aplikácií v pozemnej fotogrametrii, so zvláštnym ohľadom na dopravné líniové stavby.

Pri zostavovaní učebného textu som mal na zreteli súčasný stav vo vývoji fotogrametrie, ktorý je orientovaný výhradne k digitálnej fotogrametrii a v súčasnom období k jej najpoužívanejšiemu produktu ortofotomape. Zložité opticko-mechanické fotogrametrické prístroje, náročné na vyhodnocovateľskú fotogrametrickú prax, sú nahradzované fotogrametrickým obrazovým pracoviskom PC s výbavou SW na digitálne vyhodnotenie obsahu meračských snímok. Geometrické princípy analógovej a digitálnej fotogrametrie sú totožné. Líšia sa v technológii prípravy optického modelu na vyhodnotenie a v postupoch vyhodnotenia. Digitálna fotogrametria priniesla zjednodušenie vyhodnocovacieho procesu ale zriadenie fotogrametrického pracoviska je naďalej finančne náročné a tak sa fotogrametriou a jej praktickou aplikáciou zaoberá veľmi málo pracovísk.

Rozlišovacia schopnosť digitálneho fotogrametrického záznamu zatiaľ nedosahuje úroveň analógovej fotogrametrickej snímky. Taktiež digitálne vyhodnotenie výškopisu prostredníctvom digitálneho modelu reliéfu nedosahuje kvalitu analógového vyhodnotenia. Je možné predpokladať, že podľa špecifických požiadaviek na fotogrametrické vyhodnotenie bude naďalej používaná analógová i digitálna fotogrametria, obe vo vyhranených aplikáciách. Nesporne bude vývoj fotogrametrie napredovať v digitálnej fotogrametrii s automatizáciou vyhodnocovacieho procesu.

Učebný text je zostavený tak, aby v ňom bolo možné nájsť základy analógovej a digitálnej fotogrametrie. Okrem toho sú v ňom uvedené základy diaľkového prieskumu Zeme (DPZ). Viac miesta v texte je venované prístrojovému vybaveniu, ktoré študenti ŽU používajú na cvičeniach. Študenti, ktorí budú pokračovať v inžinierskom štúdiu, nájdu prehĺbenie základov fotogrametrie v špecializovanom predmete „Fotogrametria a diaľkový prieskum Zeme“ a pochopiteľne aj v príslušnej odbornej literatúre. Keďže predpokladám, že nie každý bakalár odboru geodézia a kartografia bude pokračovať v inžinierskom štúdiu, tento učebný text obsahuje komplexnú problematiku fotogrametrie vo svojich základoch. Taktiež tento učebný text môže byť užitočný aj študentom priemysloviek odboru geodézia ako aj študentom stavebných smerov na pochopenie pôvodu fotogrametrických podkladov a ich použiteľnosti v projekčnej činnosti.

Tento učebný text bude voľne prístupný na internete.

Za to že tento učebný text vznikol, ďakujem pani Weissovej za trpezlivosť pri jeho napísaní a nakreslení obrázkov a mojej dcére Alene za jazykovú korektúru.

V Žiline 3. 1. 2005

Ladislav Bitterer



## OBSAH

<b>PREDHOVOR</b> .....	3
<b>HISTÓRIA FOTOGRAMETRIE</b> .....	9
<b>1. ÚLOHA A ROZDELENIE FOTOGRAMETRIE</b> .....	11
<b>2. ZÁKLADNÉ POJMY A VZŤAHY</b> .....	15
2.1 Vnútoraná orientácia snímky .....	15
2.2 Určenie nominálnych hodnôt prvkov vnútornej orientácie snímky .....	16
2.3 Skreslenie objektívu. ....	20
2.4 Vonkajšia orientácia snímky .....	20
2.5 Určenie prvkov vonkajšej orientácie snímky .....	21
2.6 Vzťah medzi snímkovými súradnicami a uhlami .....	22
2.7 Fotografická snímka .....	23
2.8 Digitálna snímka .....	24
<b>3. STEREOŠKOPICKÉ VIDENIE A MERANIE</b> .....	26
3.1 Prirodzené priestorové (stereoskopické) videnie .....	26
3.2 Umelé stereoskopické videnie .....	27
3.2.1 Pomôcky na stereoskopické videnie .....	28
3.2.2 Stereoskopické meranie .....	30
3.2.3 Pomôcky na meranie snímkových súradníc .....	30
3.3 Stereokomparátor Zeiss 1818 .....	31
3.3.1 Overenie justáže stereokomparátora .....	32
3.3.2 Orientácia snímok a postup merania na stereokomparátore .....	33
<b>4. ANALYTICKÉ VYJADRENIE VZŤAHOV V POZEMNEJ     STEREOFOTOGRAMETRII</b> .....	35
4.1 Normálny prípad stereofotogrametrie .....	35
4.2 Prípad rovnobežne stočených osí .....	36
4.3 Transformácia fotogrametrických súradníc na geodetické súradnice .....	38
<b>5. TEÓRIA CHÝB POZEMNEJ FOTOGRAMETRIE</b> .....	40
5.1 Chyby vonkajšej orientácie a ich vplyv na optický model .....	40
5.2 Vplyv chýb prvkov vnútornej orientácie .....	44
5.3 Presnosť fotogrametrického vyhodnotenia .....	46
<b>6. VYHOTOVENIE SNÍMOK V POZEMNEJ FOTOGRAMETRII</b> .....	48
6.1 Digitálne meračské komory pre pozemnú fotogrametriu .....	49
6.2 Semimetrické komory .....	50
6.3 Fototeodolit Photo 19/1318 Zeiss .....	51
6.3.1 Rektifikácia a skúška fototeodolitu .....	55
6.4 Univerzálna meračská komora UMK 10/1318 Zeiss .....	57
6.5 Prieskum územia, voľba a umiestnenie fotogrametrickej základnice .....	59
6.5.1 Stanovenie optimálnej dĺžky fotogrametrickej základnice .....	60
6.5.2 Určenie dĺžky základnice .....	61
6.5.3 Rozmiestnenie základníc z hľadiska tvaru záujmovej oblasti .....	62
6.6 Vlčové body .....	62
6.7 Fotografické práce .....	64
6.8 Fotolaboratórne práce .....	65
6.9 Fotogrametrické snímkovanie digitálnymi a semimetrickými komorami .....	65
<b>7. METÓDY VYHODNOTENIA POZEMNÝCH FOTOGRAMETRICKÝCH SNÍMOK</b> .....	67

7.1 Grafické vyhodnotenie .....	68
7.2 Vyhodnotenie analógovými vyhodnocovacími prístrojmi .....	71
7.2.1 Stereoautograf 1318 Zeiss .....	72
7.2.2 Technocart Zeiss .....	74
7.2.3 Analógové vyhodnotenie na stereoautografe .....	75
7.3 Numerické analógové vyhodnotenie .....	81
7.4 Analytické vyhodnotenie .....	81
7.5 Priešková fotogrametria .....	82
7.5.1 Grafické vyhodnotenie prieškovovej fotogrametrie .....	84
7.5.2 Analytické vyhodnotenie prieškovovej fotogrametrie .....	84
<b>8. APLIKÁCIE POZEMNEJ FOTOGRAMETRIE PRE ÚČELY DOPRAVNÉHO PROJEKTOVANIA .....</b>	<b>89</b>
8.1 Vyhodnotenie podkladov pre účely dopravného projektovania .....	89
8.1.1 Mapové projekčné podklady .....	91
8.1.2 Vyhodnotenie profilov .....	91
8.1.3 Vyhodnotenie nárysu projektu .....	93
8.2 Vyhodnotenie posunov a pretvorení fotogrametrickými metódami .....	96
8.2.1 Vyhodnotenie posunov pretvorení metódou reálnej základnice .....	97
8.2.2 Vyhodnotenie zvislých posunov a pretvorení metódou časovej základnice .....	98
8.2.3 Využitie fotogrametrie v experimentálnom výskume .....	99
8.3 Meranie priečnych rezov v tunelovej rúre .....	102
<b>9. LETECKÁ FOTOGRAMETRIA .....</b>	<b>104</b>
9.1 Mierka zvislej leteckej snímky .....	104
9.2 Vyhotovenie leteckých snímok .....	105
9.2.1 Analógové letecké meračské komory .....	105
9.2.2 Digitálne letecké meračské komory .....	107
9.2.3 Vyhotovenie analógových letetských snímok .....	109
9.2.4 Vyhotovenie stereoskopických snímok (záznamov) digitálnymi komorami .....	111
9.2.5 Letový plán .....	112
9.2.5 Požiadavky na vlícovacie body v leteckej fotogrametrii .....	114
<b>10. METÓDY VYHODNOTENIA LETECKÝCH MERAČSKÝCH SNÍMOK .....</b>	<b>116</b>
10.1 Stereometrické vyhodnotenie .....	116
10.2 Priestorové vyhodnotenie leteckých snímok .....	119
10.3 Priestorové vyhodnotenie leteckých snímok na analógových prístrojoch .....	121
10.3.1 Orientácia snímok .....	122
10.3.2 Vzájomná orientácia snímok .....	123
10.3.3 Absolútna orientácia optického modelu .....	126
10.3.4 Grafické vyhodnotenie na analógových prístrojoch .....	128
10.4 Numerické vyhodnotenie .....	129
10.5 Presnosť a hospodárnosť analógového priestorového vyhodnotenia .....	129
10.6 Jednosnímkové vyhodnotenie leteckých snímok .....	131
10.6.1 Vplyv terénneho reliéfu na zobrazenie .....	131
10.6.2 Metódy prekresľovania meračských snímok .....	133
10.6.3 Diferenciálne prekresľovanie snímok .....	135
10.6.4 Integrovaná metóda mapovania .....	139
10.7 Presnosť a hospodárnosť analógovej leteckej fotogrametrie .....	140
<b>11. MATEMATICKÉ ZÁKLADY ANALYTICKEJ FOTOGRAMETRIE .....</b>	<b>142</b>
11.1 Priestorový súradnicový systém .....	142
11.2 Matematická formulácia podmienky kolinarity v analytickej fotogrametrii .....	142
11.3 Analýza numerického riešenia analytickej fotogrametrie .....	148

<b>12. VYHODNOTENIE DIGITÁLNYCH LETECKÝCH SNÍMOK</b>	149
12.1 Práca s digitálnym obrazom snímky	149
12.2 Digitálne fotogrametrické vyhodnocovacie systémy	151
12.3 Pracovný postup pri orientácii digitálnych fotogrametrických snímok	152
12.4 Digitálna obrazová korelácia	153
12.5 Digitálny model reliéfu	154
12.6 Ortofotosníмка	155
12.7 Výpočet jasu novej polohy prvku na prekreslenej snímke	156
12.8 Rádiometrická korekcia digitálneho obrazu	157
12.9 Ortofotomozaika	157
12.10 Presnosť digitálnej ortofotomapy	160
<b>13. AEROTRIANGULÁCIA</b>	161
13.1 Prístrojová aerotriangulácia	161
13.2 Analytická aerotriangulácia	163
13.2.1 Etapové riešenie analytickej aerotriangulácie	165
13.2.2 Schutovo riešenie	167
13.2.3 Tomsovo riešenie	169
13.3 Komplexné riešenie analytickej aerotriangulácie	169
13.4 Digitálna aerotriangulácia	172
13.4.1 Vlíčovacie body	172
13.4.2 Program na automatickú aerotrianguláciu	173
13.4.2 Presnosť digitálnej automatickej aerotriangulácie	175
<b>14. DIAĽKOVÝ PRIESKUM ZEME</b>	178
14.1 Vznik diaľkového prieskumu Zeme	178
14.2 Diaľkový prieskum Zeme	179
14.3 Nosiče aparátúr	180
14.3.1 Letecké nosiče	180
14.3.2 Organizácia snímkového letu	181
14.3.3 Umelé družice Zeme	181
14.4 Fyzikálne základy získavania dát	184
14.4.1 Spektrálne pásma v DPZ	185
14.5 Prístroje pre DPZ	186
14.5.1 Nezobrazujúce prístroje	187
14.5.2 Zobrazujúce prístroje	187
14.5.2.1 Kamery	187
14.5.2.2 Rádiometre	188
14.5.2.3 Skenery	190
14.5.2.4 Aktívne rádiometre	192
14.6 Spracovanie dát	194
14.6.1 Metodika spracovania dát	196
14.6.2 Metodika interpretácie družicových snímok a ich využitie	197
14.6.3 Programové vybavenie a hardvér	199
14.7 Aplikácie DPZ	200
14.7.1 Meteorológia	200
14.7.2 Hospodárske aplikácie	201
14.7.3 Životné prostredie a vedy o Zemi	204
14.7.4 Kartografia a GIS	205
14.7.5 Vojenské využitie	208
14.8 Perspektíva rozvoja DPZ	209
<b>15. SYMBOLY POUŽÍVANÉ V UČEBNOM TEXTE</b>	210
<b>16. POUŽITÁ LITERATÚRA</b>	211

## HISTÓRIA FOTOGRAMETRIE

1839 Verejne vyhlásený vynález fotografie J. L. M. Daguerrom.

### Vývoj problému zachytenia obrazu šošovkou na citlivú vrstvu.

1500 Leonardo da Vinci vydal popis, dierkovej komory, ktorá vytvára obraz vonkajších predmetov na stene temnej miestnosti.

1589 Giovanni Batista publikuje pokusy s temnou komorou.

1685 J. Zahn vydáva obsiahle vedecké dielo o optike. Podáva popis tmavej komory (camery obscury). Neskôr sa tento model stáva kresliarskou pomôckou.

1725 A. P. Beztužev (ruský maršál) rozpoznal reakciu chloridu železitého a jeho premenu v chlorid železnatý účinkom svetla.

1727 J. H. Schulze zistil a pokusmi potvrdil, že soli striebra sú citlivé na svetlo a zvlášť, že chlorid striebra na slnečnom svetle stmavne.

1839 J. L. M. Daguerre ustálil daguerrotypie obrazy na nepriehľadných doskách.

Fox Talbot uviedol Kráľovskej učenej spoločnosti v Londíne, že už v r. 1835 sa mu podarilo ustáliť obrazy na papieri. Talbot nahradzuje nepriehľadné dosky priehľadnými a tak sa zaslúžil o vynález kopírovania obrazov tzv. talbotypami.

1847 Victor Niépce použil ako podklad pod citlivú vrstvu sklenenú platňu.

1856 V anglickom Chathamě vzniká prvý ústav na školenie fotografov pre vojenské účely.

1881 Fourtier použil ako podložku citlivej vrstvy celuloid. Malá citlivosť filmu neumožňovala momentky.

1888 H. Godwin dostal patent na výrobu filmu.

1891 T. A. Edison vynášiel perforáciu na svitkovom filme.

Vynález kinematografie sa prisudzuje bratom Lumierovom.

1912 Fischer a Homolka objavili farebnú fotografiu.

### Vývoj fotogrametrie - Od fotografii k mape

1726 Cappeler vo Švajčiarsku vyhotovil mapu pohoria Pilatus na podklade perspektívnych obrázkov, ktoré vyhotovil camerou obscurou.

1791 Beaupré na výskumných cestách vykresľoval mapy pobrežia pomocou kreslených perspektív.

1856 A. Laussedat, francúzsky dôstojník, prvý využil snímky k fotogrametrii na meračské účely.

1858 Felix Turnachon vyhotovil prvé letecké snímky z pripútaného balóna, ktorým sa vzniesol asi 300 m nad Paríž. Gondola balóna mu slúžila za tmavú komoru na prípravu mokrých dosiek.



- 1859 Brunner skonštruoval prvý fototeodolit, ktorým Lausedat v rokoch 1859-64 vykonal viaceré topografické mapovania.
- 1861-65 Za občianskej vojny v Amerike boli vyhotovované snímky na obidvoch stranách z balóna pre výzvedné účely.
- 1893 Stolze podnikol prvé kroky v stereoskopickom videní a meraní.
- 1899 Ruský štátny rada R. Tile skonštruoval panoramograf - prístroj zložený zo 7-ich fotografických aparátov.
- 1901 Pulfrich vedecký pracovník v Jene skonštruoval stereokomparátor.
- 1902 Ital A. Ramza vypúšťa balóny bez posádky s fotografickými prístrojmi.
- 1907 J. Neubronner pripevnil miniatúrny fotografický aparát na prsia holuba.
- 1911 Orel v Zeissových závodoch dokončil prvý stereoautograf.
- 1914- 1918 za I. svetovej vojny sa presunula komora do lietadla, čím sa začala éra leteckej fotogrametrie.
- 1915 podľa T. Scheimpflugovej myšlienky dokončil Gasser dvojité projektor na vyhodnocovanie zvislých snímok.
- 1923 Bauersfeld skonštruoval stereoplanigraf.
- 1947 Fotografovanie z raket. Začína diaľkový prieskum Zeme.
- 1950 Bola vypracovaná teória digitálneho obrazu.
- 1957 Fotografovanie z družíc.