

3.7. Vyhodnocovací přístroje a systémy pro pozemní fotogrammetrii¹

Fotogrammetrické vyhodnocovací přístroje umožňují měřit nebo z měřených hodnot získávat polohu bodů v prostoru. Před vyhodnocením je třeba obnovit pomocí známých prvků vnitřní a vnější orientace tvar, polohu a směr paprskových svazků snímkové dvojice (tj. středové promítání, kterým snímky vznikly). Poloha určovaného bodu je potom dána jako průsečík promítacích paprsků z levého a pravého snímku.

➤ analogové stroje

byly vyráběny od počátku do osmdesátých let dvacátého století,² kdy byly nahrazeny analogovými stroji a později digitálními metodami vyhodnocení; prakticky po dobu 80ti let byly analogové stroje nejpoužívanější vyhodnocovací technikou a na našem území pomocí nich vznikla většina map středního měřítká; při jejich konstrukci se používala velmi přesná mechanika a kvalitní optika; využívají optickou, mechanickou nebo opticko-mechanickou projekci pro obnovení středového promítání a řešení rovnic základních stereodvojic, pomocí kovových prostorových řídicích tyčí v kardanových závěsech nebo kovových pravítek ve dvou oddělených rovinách (např. podle principu Zeissova paralelogramu); pro pohyb v prostorovém modelu jsou vybaveny dvěma ručními koly (souřadnice x , y) a jedním nožním kotoučem (souřadnice z); záznam vyhodnocení byl převážně grafický; na připojeném kreslicím stole se vykresluje originál polohopisu a výškopis v podobě vrstevnic nebo se mohou modelové souřadnice zobrazované na mechanických počítadlech registrovat (např. do počítače);

- **Stereoautograf 1318 (Zeiss, od r. 1954)³**
určen pro zpracování snímků z komory *PhoTheo 19/1318*;
maximální rozměr snímků 13×18 cm (pouze na skle), $f = 157 - 198$ mm;
výsledkem vyhodnocení je originál mapy vznikající na mechanicky připojeném kreslicím stole (grafický záznam vyhodnocení)
- **Technokart (Zeiss, od r. 1969)**
navazuje na výrobní řadu měřických komor *UMK* a *SMK*;
maximální rozměr snímku 23×23 cm, $f = 50 - 310$ mm;
pro grafický záznam vyhodnocení je připojen kreslicí stůl,
pro číselný záznam vyhodnocení lze připojit registrační zařízení nebo počítač

Další výrobci: *Opton* – **Teragraf**, *Wild* – **Autograf**

Modernizace těchto přístrojů byla provedena nahrazením mechanických převodů (uvnitř stroje a ze stroje na kreslicí stůl) **selsyny** (elektromotory) – pootočení selsynu vysílacího se přenáší na selsyn přijímací indukovaným elektrickým proudem; je tak dosaženo odstranění mrtvých chodů mechanických převodů: kardanů a ozubených kol.

¹ Většina uvedené přístrojové techniky je určena pro metody dvousnímkové fotogrammetrie.

² Roku 1908 podle návrhu rakouského důstojníka, *npor. Eduarde von Orel* (1877-1941, z matčiny strany původem z Moravy) zkonstruoval *Dr. C. Pulfrich* (na základě stereokomparátoru) ve firmě *Rudolf und August Rost* prototyp prvního analogového stroje **Autostereograf**.

³ Prakticky byl analogový stroj dořešen v letech 1909-1911 a následně vyráběn pod názvem **Stereoautograf** v závodech *Carl Zeiss Jena*.

➤ monokomparátory

měří snímkové souřadnice na jednom snímku;
nelze využít stereoskopický vjem, proto je při měření zhoršená identifikace bodů;
přístroje jsou konstrukčně jednoduché, a tím je zajištěna vysoká vnitřní přesnost měření $1 \mu\text{m}$;
měřené souřadnice mohou být registrovány

- **Ascorekord (Zeiss)**

➤ stereokomparátory

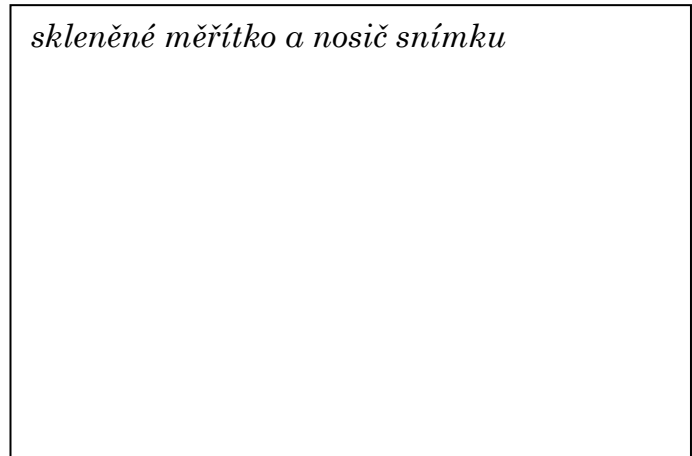
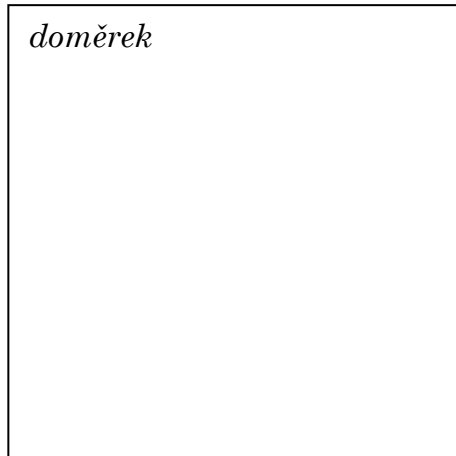
jsou od roku 1901 až posud nejpřesnějšími zařízeními pro měření na analogových snímcích s citlivými vrstvami;⁴
využívají stereoskopický vjem pro dobrou identifikaci bodů;
po nastavení zdánlivé měřické značky na měřený bod odečteme nebo registrujeme snímkové souřadnice levého snímku a pomocí pravého snímku horizontální paralaxu (v případě potřeby je možné měřit i paralaxu vertikální)

- **Steko 1818 (Zeiss, od r. 1953)**
patří do výrobní řady *PhoTheo 19/1318, Stereoautograf 1318*,
maximální rozměr snímku je $18 \times 18 \text{ cm}$;
měří souřadnice s přesností odečtu na $0,01 \text{ mm}$ a paralaxu na $0,005 \text{ mm}$ (odhadem na $0,001 \text{ mm}$);
měření je možné z negativů a pozitivů na skle a na filmu nebo i z pozitivních kopií na papíře (přístroj umožňuje použít horní i spodní osvětlení);
ovládá se pouze ručními koly; souřadnice a paralaxy se odečítají na kovových stupnicích bez možnosti registrace
- **Stekometr (Zeiss, od r. 1964)**,
patří do výrobní řady *UMK, SMK, Technokart*;
maximální rozměr snímku je $23 \times 23 \text{ cm}$ (pouze na průsvitné podložce);
měří souřadnice i paralaxy s přesností na $0,002 \text{ mm}$ ($2 \mu\text{m}$);
ovládá se dvěma páry ručních kol a nožními kotouči;
v konstrukci stroje jsou použity selsyny;
má možnost registrace
- **Dicometer (Zeiss, od r. 1990)**
přesnost měření $0,001 \text{ mm}$ ($1 \mu\text{m}$) je technologickou mezí mechanické konstrukce vyhodnocovacích strojů;
ovládá se ručními koly pro snímkové souřadnice a nožním kotoučem pro paralaxu;
umožňuje přímý výstup měřených hodnot do počítače

⁴ První návrh a konstrukci provedl r. 1901 Dr. Carl Pulfrich (1858-1929) spolupracovník závodů Carl Zeiss Jena.

- **PK-1 (Opton)**

přesnost měření $0,001\text{ mm}$ ($1\ \mu\text{m}$) je dosažena jednoduchostí konstrukce na základě Abbeho principu – počet mechanických součástí je minimální; snímky se pohybují v nosičích nad pevnými skleněnými měřítky a snímkové souřadnice jsou odečítány pomocí **lineárních snímačů impulzů**



Výstupní signál je digitalizován na potřebný počet úrovní. Interpolací lze u moderních přístrojů vyrobených na základě tohoto principu dosáhnout přesnosti odečtu až $0,1\ \mu\text{m}$.

➤ **digitální komparátory**

měření provádíme na digitálních snímcích v počítači;
snímkové souřadnice jsou dané polohou pixelu v digitálním obrazu;
metrický rozměr obrazu je určen afinní transformací na známou polohu rámových značek;
velikost jednoho obrazového bodu – pixelu se pohybuje od 3 do $12\ \mu\text{m}$ (např. podle velikosti jednoho čidla – prvku CCD použitého fotogrammetrického skeneru);
přesnost měření se zvyšuje pomocí **subpixelové transformace** na $0,1$ až $0,001$ pixelu (tj. dělením jednoho pixelu na $1/10$ až $1/1000$) – provádí se interpolace subpixelové polohy z hodnot sousedních pixelů

➤ **analytické stroje (Analytical Plotters)**

patent finského vědce a fotogrammetra *Uuno (Uki) Vilho Helava*⁵ existuje již od roku 1956, první konstrukce s označením AP/C vznikla v 1964; výroba a rozšíření analytických strojů ale byly znemožněny nedostatečnou kapacitou tehdejší výpočetní techniky;
k jejich praktickému uplatnění došlo až v průběhu 70. a v 80. let 20. stol. díky využití osobních počítačů – *Personal Computer (PC)*;
pracují na základě převodu modelových souřadnic na snímkové (lineární perspektiva) a přímého vztahu mezi snímkovými a geodetickými souřadnicemi (prostorová projektivní transformace);
vyhodnotit je možné i snímky s protínajícími se osami záběru, ovšem bez možnosti využít umělý stereoskopický vjem

⁵ Zakladatel firmy *Helava Associates* (dnes BAE Systems), působil také v Kanadě, Itálii a USA.

Skládá se ze dvou základních částí: přesného stereokomparátoru a počítače.



Pohyb snímků je ovládán nepřímě – zprostředkovaně přes počítač: pomocí stereoskopu pozorujeme oba snímky a v prostorovém modelu se pohybujeme pomocí dvou ručních kol a nožního kotouče (nebo pohybem fotogrammetrické myši s točítkem pro třetí souřadnici). Otáčení ovládacích prvků je zachyceno pomocí **rotačních snímačů impulzů** a přenášeno elektrickým signálem do počítače, kde se modelové souřadnice přepočtou na snímkové a jsou vydávány pokyny pro pohyb nosičů se snímky pomocí krokových elektromotorů. Současně počítač sleduje polohu snímků **pomocí lineárních snímačů impulzů** a zjištěné snímkové souřadnice jsou porovnávány s požadovanými hodnotami. Tento cyklus se opakuje alespoň 50x za vteřinu, takže vyhodnocovatel má dojem přímého ovládní měřické značky – výpočty (řešení soustavy čtyř rovnic) musí probíhat v reálním čase. Naměřené snímkové souřadnice jsou okamžitě převáděny do geodetického systému, takže výstupem je skutečný tvar, velikost a poloha vyhodnocovaných objektů (geodetické souřadnice).

Rotační snímač impulzů se skládá ze skleněného kotoučku s neprůsvitnými značkami na obvodu umístěného na ose ovládacího prvku, zdroje světla (laserová dioda) a čidla (fotodiody), které převádí dopadající světlo na elektrické impulzy zaznamenávané a digitalizované na požadovaný počet úrovní.



- **Dicomat (Zeiss)**
konstruován na základě přesného stereokomparátoru *Dicometer*;
maximální formát snímků 24x24 cm;
přesnost ve snímkových souřadnicích 2 μ m
- **Planicom P3 (Opton – Zeiss)**
konstruován na základě přesného stereokomparátoru *PK-1* s lineárními snímači impulzů; přesnost ve snímkových souřadnicích 1 μ m

- **SD2000, SD3000 (Leica)**
maximální formát snímků až 25×25 cm;
snímky jsou založeny ve dvou rovinách nad sebou;
přesnost ve snímkových souřadnicích $1 \mu\text{m}^6$

➤ **digitální fotogrammetrická pracoviště**

DPW – Digital Photogrammetric Workstation

Digitální nebo skenováním digitalizované stereoskopické snímky i snímky průsekové (silně konvergentní) lze vyhodnotit na **digitálních stereoskopických pracovištích** (stanicích). Základní součástí je výkonný počítač s **hardwarovými doplňky pro stereoidění** (krystalové nebo polarizační brýle) většinou vybavený dvěma monitory (jeden pro uživatelské rozhraní ovládacího software a druhý pro stereoskopický vjem). Ovládacími prvky jsou buď dvě ruční kola a nožní kotouč s rotačními snímači impulzů nebo dvouruční vícetlačítková 3D fotogrammetrická myš s točítkem pro ovládání modelové souřadnice z . Vždy je třeba počítat s velkými objemy zpracovávaných dat (řádově MB až GB na jeden snímek), proto jsou nutná datová úložiště s dostatečnou kapacitou a zajištění vhodného přenosu dat.

Ovládací software bývá modulární a podle pořizovaných modulů lze zpracovávat prakticky libovolnou úlohu jednosnímkové, průsekové nebo dvousnímkové fotogrammetrie (pozemní i letecké). Možná je aerotriangulace (tj. orientace snímků na základě známých souřadnic vlíčovacích bodů) automatická tvorba DMT – digitálního modelu terénu pomocí obrazové korelace (po které je ale vždy nutná následná editace vyhodnocovatelem) nebo tvorba digitálního ortofota. Samozřejmostí je práce s vektorovými daty, včetně **superimpozice vektorové kresby** do snímků ve stereoskopickém módu (tzn. možnost kresby a editace kresby přímo na prostorovém modelu).

- **ImageStation (Z/I Imaging – Intergraph)**
- **Helava – Socet Set (LH Systems – Leica)⁷**

➤ **malá digitální fotogrammetrická pracoviště**

Pro vyhodnocení stereoskopické dvojice digitálních snímků lze snadno uzpůsobit i běžný počítač pomocí tzv. sklopného stereoskopu (čočko-zrcadlový stereoskop umístěný před monitorem počítače) a vhodného software.

- **VSD – Video Stereo Digitiser (AGH Krakow, Polsko)**
- **DVP – Digital Video Plotter (Leica Geosystems)**

Snímky průsekové fotogrammetrie (např. ze semiměřických réseau a digitálních i neměřických komor) lze vyhodnotit na běžném PC s vhodným software, ovšem opět bez možnosti využít umělý stereoskopický vjem.

⁶ V ČR byly tyto stroje používány od 90. letech 20. století díky programu FARE.

⁷ Další výrobci se soustředují především na vývoj software pro DPW (viz. kapitola 3.6).