

Fotogrammetria 11.

Térfotogrammetriai műszerek

Dr. Engler, Péter

Fotogrammetria 11.: Térfotogrammetriai műszerek

Dr. Engler, Péter

Lektor: Dr. Barsi, Árpád

Ez a modul a TÁMOP - 4.1.2-08/1/A-2009-0027 „Tananyagfejlesztéssel a GEO-ért” projekt keretében készült. A projektet az Európai Unió és a Magyar Állam 44 706 488 Ft összegben támogatta.

v 1.0

Publication date 2010

Szerzői jog © 2010 Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar

Kivonat

A térfotogrammetriai kiértékelő műszerek feladata, hogy a terep (vagy tetszés szerinti térbeli objektum) azonos részleteket tartalmazó két fényképéből (képpárból) metrikus rajzi, vagy számszerű, térbeli adatokat szolgáltatson a lefényképezett terepről, vagy objektumról. A műszerekkel nyerhető adatok fajtái szerint megkülönböztetünk analóg térkiértékelő műszereket, analitikus műszereket (analitikus mérőműszerek, analitikus térkiértékelő műszerek) és digitális műszereket (digitális fotogrammetriai munkaállomások). Az analóg műszereket a mai gyakorlatban már nem használjuk. Az analitikus és digitális műszerekkel a képről mért képkoordináták, vagy a digitális képről mért pixelkoordináták alapján, számítógépes feldolgozással nyerjük a szükséges térbeli adatokat.

Jelen szellemi terméket a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény védi. Egészének vagy részeinek másolása, felhasználás kizárólag a szerző írásos engedélyével lehetséges.

Tartalom

11. Tértogrammetriai műszerek	1
1. 11.1 Bevezetés	1
2. 11.2 Sztereoszkópok	1
3. 11.3 Analóg térkiértékelő műszerek	2
3.1. 11.3.1 A főbb szerkezeti elemek jellemzői, feladatai	3
3.2. 11.3.2 Számítógéppel támogatott sztereofotogrammetriai kiértékelő rendszer	5
4. 11.4 Analitikus mérőműszerek	6
4.1. 11.4.1 Monokomparátorok	7
4.2. 11.4.2 Sztereokomparátorok, sztereo képkiértékelők	8
4.3. 11.4.3 Analitikus plotterek	10
5. 11.5 Digitális fotogrammetria műszerek	16
6. 11.6 Műszervizsgálat	17
7. 11.7 Összegzés	18

11. fejezet - Térfotogrammetriai műszerek

1. 11.1 Bevezetés

A térfotogrammetriai kiértékelő műszerek feladata, hogy a terep (vagy tetszés szerinti térbeli objektum) azonos részleteket tartalmazó két fényképéből (képpárból) metrikus rajzi, vagy számszerű, térbeli adatokat szolgáltatasson a lefényképezett terepről, vagy objektumról.

A műszerrel nyerhető adatok fajtái szerint megkülönböztetünk:

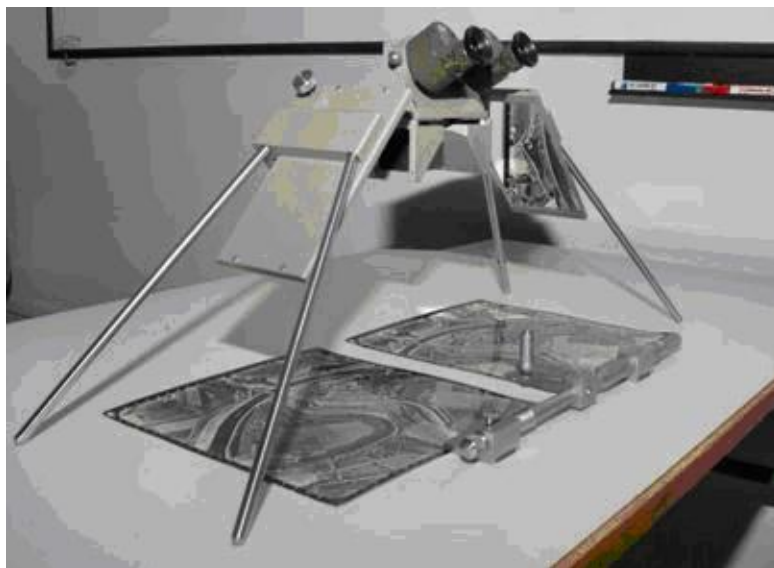
- analóg térkiértékelő műszereket, amelyekkel a képpárból előállítjuk a terep valódi, virtuális optikai modelljét és a terepre vonatkozó adatokat e modellen végzett mérésekből nyerjük (a mai gyakorlatban ezeket a műszereket már nem használjuk).
- analitikus műszereket (analitikus mérőműszerek, analitikus térkiértékelő műszerek), amelyekkel a képpár egy-egy képéről nyert fényképi adatait (képpárkoordináták és parallaxisok), egy számítógép segítségével a terep matematikai modelljére vonatkozó térbeli adatokká dolgozzuk fel, és ez alapján nyerünk térképi vagy számszerű adatokat.
- digitális műszereket (digitális fotogrammetriai munkaállomások), amelyekkel a digitális képről mért pixelkoordináták alapján, számítógépes feldolgozással nyerjük a szükséges térbeli adatokat.

A térfotogrammetriai feladatok nem mindig igénylik a bonyolultnak tűnő kiértékelő műszereket. Bizonyos feladatoknál elegendő lehet a térlátáson alapuló egyszerűbb eszközök, az ún. sztereoszkópok használata, ezért először ezeket ismertetjük.

2. 11.2 Sztereoszkópok

A két, különböző álláspontonról készült képek alapján előállítható modell létrehozásához, szemléléséhez és egyszerűbb mérések elvégzéséhez tükrös sztereoszkópokat használhatunk. A tükrös sztereoszkópok a mesterséges térlátás feltételeinek kielégítésével lehetővé teszik a térmodell létrehozását. Az ún. lencsés sztereoszkópokkal kisméretű képekből térmodellt tudunk létrehozni, de azon mérni nem tudunk, ezért jelen fejezetben ezzel nem foglalkozunk.

Gyakori feladat a kiértékelések előtt a filmeknek (átvilágító asztalon) vagy kontakt másolatoknak a szemlélése. A képpár két képe a nagy mérete miatt (légifelvételknél általában 23 cm x 23 cm) csak úgy helyezhető el egymás mellett, hogy az egymásnak megfelelő képpontok a szemtávolságnál sokkal messzebb kerülnek egymástól. Ehhez olyan eszközt kell használnunk, amelynek segítségével a képekről visszaverődő fénysugarak kettős tükrözés után, önmagukkal párhuzamosan eltolódva jutnak a szemünkbe. Ilyen eszköz tehát a tükrös sztereoszkóp (11-1. ábra)



11-1. ábra Tükrös sztereoszkóp mikrométer rúddal

A tükrös sztereoszkóp nem csupán a nagy képek szemlélését teszi lehetővé, hanem azzal, hogy megnöveli a szemlélési bázist, növeli a mélységérzetet is.

A térmodell létrehozásához a képeket a sztereoszkóp alatt meghatározott helyzetbe kell állítanunk. A beállításnak két feltételt kell kielégítenie: a távolsági és a párhuzamossági feltételt. A távolsági feltétel akkor teljesül, ha a két kép egymásnak megfelelő középpontjai a sztereoszkóp által megnövelt szembázissal csaknem egyenlő távolságban vannak. A párhuzamossági feltétel azt jelenti, hogy az egymásnak megfelelő képpontokat összekötő egyenesek és a szembázis párhuzamos. A párhuzamossági feltételt a képek elforgatásával (κ szerinti tájékozás) teljesíthetjük.

A tükrös sztereoszkópok kiegészítő eszköze az ún. mikrométer rúd (11-1. ábra). A két eszközt együtt sztereométernek nevezzük.

A mikrométer segítségével a tükrös sztereoszkóp által létrehozott virtuális modellen az egyes pontok magasságkülönbségeit határozhatjuk meg. A mikrométer rúdon két üveglapra vésett mérőjelet helyeznek el. Az egyik mérőjel a másikhoz képest mikrométercsavarral (más néven parallaxiscsavarral) a másikhoz képest elmozdítható. Ezzel az eszközzel két tárgyponthoz vízszintes (x irányú, vagy bázisirányú) parallaxisainak különbsége (Δp_x) megmérhető, amiből viszont a két pont magasságkülönbsége számítható.

A számítást a következő egyszerű képlet segítségével (levezetést mellőzzük) végezzük el:

$$\Delta h = h_0 * \frac{dp_x}{b' + dp_x}$$

ahol: Δh a kiszámított magasságkülönbség egy ismert ponthoz képest,

h_0 az ismert pont feletti repülési magasság,

dp_x az ismert ponthoz képest mért parallaxiskülönbség,

b' képi bázis (a képpár képközéppontjainak távolsága a képen).

3. 11.3 Analóg térkiértékelő műszerek

Az analóg térfotogrammetriai műszereket – mint a bevezetőben már említettük – a mai gyakorlatban már nem használjuk, nagyon röviden mégis bemutatjuk.

Hangsúlyozni szeretnénk, hogy a ma már nem gyártott analóg műszerekkel nem a hagyomány okán foglalkozunk, hanem azért, mert a számítógéppel támogatott analóg rendszerek ma is igen széles körben

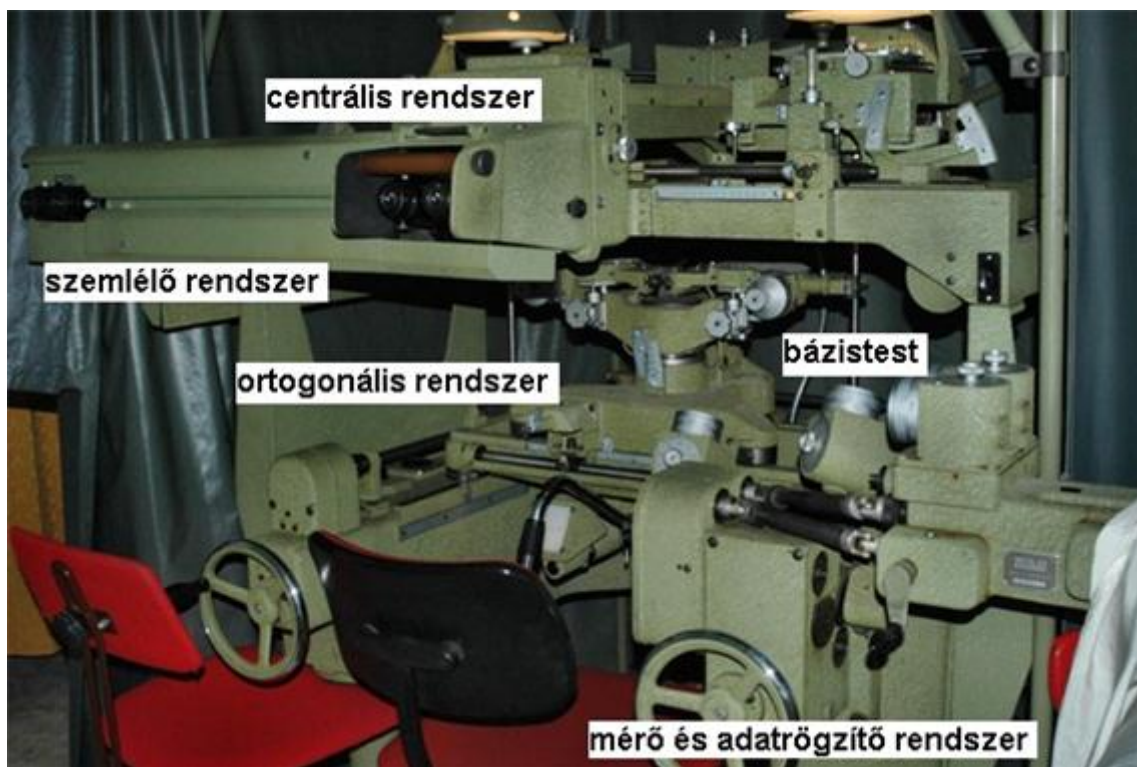
(jelenleg a világ térképeinek közel 40 %-a ilyen műszerekkel készül) használatosak sok más országban a fotogrammetriai kiértékelések végzésénél.

Az analóg műszerek feladata a terep vagy objektum homológ térmodelljének előállítás, majd e térmodellen végzett mérések rajzi vagy számszerű rögzítése. Ezt a feladatot a műszerek a vetítési folyamat megfordításával oldják meg, azaz a képpontok és a felvétel belső adatai alapján előállítják a felvételi sugárnyaláb tárgyfelőli részét, s a két sugárnyaláb homológ sugarainak metszésbe hozásával állítják elő a térmodellt, a terep kicsinyített mását.

A folyamatnak megfelelően a képpár két képét megfelelő képtartókba kell helyezni, és biztosítani kell, hogy a képek egymáshoz viszonyítva olyan helyzetbe kerüljenek, mint a felvétel pillanatában voltak. Ennek érdekében a vetítőkameráknak két egymásra merőleges irányban dönthetőnek és a képsíkra merőleges irányban forgathatóknak kell lenniük. Az előállított térmodell méretarányát a két vetítési középpont távolsága határozza meg, következésképpen biztosítani kell a bázis hosszának változtathatóságát.

Azért, hogy a modellen méréseket tudjunk végezni szükséges egy térben mozgó mérőjel, amelyet a modell meghatározni kívánt pontjára rá lehet állítani. E célból a mérőjelet és a modellt egy szemlélőrendszeren keresztül láthatóvá kell tenni, továbbá a mérőjel és a modell egymáshoz viszonyított helyzetét változtatni kell tudni. Ez három egymásra merőleges irányban történik. Végezetül a mérőjel térbeli mozgását, helyzetét grafikus, vagy számszerű formában rögzíteni, regisztrálni kell. A felsorolt igényeket kielégítő analóg műszer főbb szerkezeti elemei (11-2. ábra):

1. Centrális rendszer (vetítő rendszer, bázis és tájékozási rendszer)
2. Ortogonális rendszer (koordináta-rendszer)
3. Szemlélőrendszer
4. Mérő- és adatrögzítő rendszer
5. Bázistest (csak univerzális műszereknél)



11-2. ábra A WILD A9 sztereofotogrammetriai műszer

3.1. 11.3.1 A főbb szerkezeti elemek jellemzői, feladatai

A következőkben összefoglaljuk a műszerek szerkezeti elemeinek feladatait, legfontosabb megoldási módjait. Mint látni fogjuk, az analitikus műszereknél az első négy fő szerkezeti elemmel találkozunk, de természetesen más technikai megoldással.

1. Centrális rendszer

a, A vetítő rendszer feladata a homológ sugarak előállítása, amihez a műszernek rendelkeznie kell két képtartóval. A képtartó mérete a műszer egyik jellemzője. A képtartóban központosan kell behelyezni a képeket, és be kell tudnunk állítani a redukált kameraállandót. Gyakorlatilag tehát itt végezzük el a belső tájékozást. Leginkább a mechanikai vetítőrendszerek terjedtek el, ahol a vetítősugarakat egy, a térben megfelelően (kardáncsuklókkal és gömbcsuklókkal) beállítható irányrudak állítják elő.

b, A bázis- és tájékozási rendszer feladata a térbeli báziskomponensek, a relatív és abszolút tájékozási elemek beállításának biztosítása.

A kiértékeléshez a modell méretarányát úgy kell megválasztani, hogy az ehhez szükséges b_x modellbázis beállítását a műszer beállítási, illetve mérési tartományán belül elvégezhessük. A **bázisrendszer** lehet közvetlen (direkt) bázisállítású, vagy közvetett (indirekt) bázisállítású. A bázisrendszerben lehet beállítani továbbá a hozzátájékozáshoz szükséges b_y és b_z báziskomponenseket.

A **tájékozási rendszer** lehetővé teszi a modell előállításához szükséges tájékozási elemek (κ' , ϕ' , ω' , κ'' , ϕ'' , ω'') beállítását, meghatározását.

2. Ortogonális rendszer

Az ortogonális rendszer a műszer térbeli koordináta-rendszerét jelöli ki, a mérőjel (valós, vagy virtuális mérőjel) térbeli vezérlésére (vezetésére) mérésére szolgál. A mérőjel vezetése történhet kézi vezetéssel (csak direkt bázisállítású, "asztali" műszereknél), vagy sínvezetéssel. Vízszintes értelemben (x és y) kézi kerekekkel, magassági értelemben (z) lábtárcsával. Sínvezetésnél a mérőjel térbeli helyzetét mérőorsók segítségével mérhetjük, vagy analóg/digitális átalakítók segítségével számítógépes adathordozón rögzíthetjük.

3. Szemlélőrendszer

A térmodell szemlélését (a modellen a mérőjellel térbeli pontra állást, térbeli vonalak letapogatását), az egyéni szem- és látáshibák kiküszöbölését teszi lehetővé. A szemlélőrendszer lehet előzetes képérvényesítésű, vagy utólagos képérvényesítésű. A kiértékelő műszerekben leggyakoribb az előzetes képérvényesítésű, optikai binokuláris szemlélőrendszer. A szemlélőrendszer tulajdonképpen egy lencséből, prizmákból és tükrökből álló optikai rendszer.

A mechanikai felépítésű műszereknél a szemlélés iránya a képsíkra merőleges, ezért ezeket a műszereket frontális szemlélésű műszereknek nevezzük.

4. Mérő és adatrögzítő rendszer (kiegészítő műszerelemek)

A többféle műszerelemből álló rendszer lehetővé teszi a mérési eredmények grafikus vagy numerikus formában történő regisztrálását, valamint a kiegészítő, külső műszerelemekkel való kapcsolatot.

a, A mérőrendszer a mérőjel térbeli helyzetének mérésére szolgál. A mérőrendszer állhat mérőorsókból és magassági léptékből, vagy A/D (analóg-digitális) jelátalakítókból. Az A/D átalakítók a mérőjel megtett útját elektromos impulzusokká alakítják át, így lehetővé válik azok digitális rögzítése, vagy továbbítása.

b, Az adatátvivő berendezések a műszer kezelőszervei és mérőorsói, valamint a műszer és az adatrögzítő (térképező) berendezések kapcsolatát biztosító szerkezeti elemek. Ide soroljuk a műszer és a rajzasztal (vagy koordinatográf-asztal) szinkron kapcsolatát biztosító mérőorsós - közlőtengelyes adatátvivő berendezést, a pantográfokat (rudas- vagy szalag pantográf), az elektromos tengelyeket (szervomotoros, szinkron kapcsolat).

c, A grafikus adatrögzítő berendezés leggyakrabban a kiértékelő műszerhez fogaskerék-áttétellel csatlakoztatható külső rajzasztalok vagy koordinatográfok, illetve néhány műszernél a belső rajzoló berendezések jelentik. Segítségükkel a mérőjel térbeli mozgását pontonkénti vagy vonalas kiértékeléssel jeleníthetjük meg a térképen. Vonalas kiértékelésnél egy rajzoló csúcs folyamatosan rajzolja a mérőjel térbeli vonalvezetésének vízszintes vetületét.

d, Számszerű vagy digitális adatrögzítésre szolgálnak a **regisztráló berendezések**. A számítógépes adatfeldolgozáshoz használhatók az elektronikus regisztráló berendezések. Két fajtája ismeretes, a szöghelyzet kódoló és a lineáris A/D átalakító. Az első esetben a mérőorsók elfordulásait, a második esetben a mérőjel hosszirányú elmozdulását alakítja át rögzíthető elektromos impulzusokká. A regisztráló berendezések működési módjai:

- passzív üzemmód (pontonkénti mérés és regisztrálás),
- aktív üzemmód (út- illetve időintervallumok szerinti automatikus digitalizálás és pontszámozás).

A regisztráló berendezések lehetővé tették a pontonkénti síkrajzi kiértékelés digitalizálását, a síkrajz vonalas kiértékelésének digitalizálását, a domborzat pontonkénti digitalizálását, a szintvonalak kiértékelésének digitalizálását, a terepfelület szabályos vagy szabálytalan hálózat szerint történő digitalizálását, az egyenes- vagy görbe vonalú profilok digitalizálását.

e, A műszerfejlesztések révén az analóg térfotogrammetria műszerekhez **számítógépet** kapcsoltak, így lehetővé tették a digitális térképek előállítását. A műszer és a számítógép összekapcsolásának feltétele az A/D átalakító megléte, és/vagy egy interface is.

5. Bázistest

Az univerzális térfotogrammetriai műszereken a bázistest lehetővé teszi az összefüggő modellsor létrehozását azzal, hogy a hozzátájékozást mindkét képnél elvégezhetjük. Ezek a műszerek rendelkeznek b_{y1} , b_{y2} , b_{z1} és b_{z2} állítási lehetőséggel.

3.2. 11.3.2 Számítógéppel támogatott sztereofotogrammetriai kiértékelő rendszer

Az analóg térfotogrammetriai műszereket a gyártással egy időben, vagy átépítés, továbbfejlesztés révén számítógéppel kapcsolták össze. Ezeket számítógéppel támogatott sztereofotogrammetriai kiértékelő rendszernek nevezzük.

Felépítése (hardver elemek):

- analóg térfotogrammetriai műszer,
- számítógép (+hardver elemek, + grafikus monitor),
- digitális plotter.

A működéséhez szükséges programokat két csoportba soroljuk:

a, Rendszerprogramok:

- adatbevitel,
- inicializálás (eszközkonfiguráció definiálása),
- tájékozások, alaplap előkészítése.

b, Felhasználói (v. kiegészítő, v. opcionális) programok:

- légiháromszögelés kiegyenlítéssel,
- szintvonalszerkesztés,
- speciális alkalmazási területek,
- földi fotogrammetria, dokumentáció készítése,
- térképező szoftverek.

Végrehajtható fotogrammetriai feladatok:

- numerikus és/vagy grafikus kiértékelés,
- DTM előállítás,
- adatnyerés és térképezés nem földmérési, topográfiai feladatok esetén,
- térképek, helyszínrajzok helyesbítése, korszerűsítése, stb.

Magyarországon számítógéppel támogatott sztereofotogrammetriai kiértékelő rendszerekké pl. a Sztereometrográf, a Wild A7, Wild A8 és a Topocart (11-3. ábra) analóg térfotogrammetriai műszereket alakították át. Térképezésre főként a MicroStation és az ITR programokat használták.



11-3. ábra Számítógéppel támogatott térfotogrammetriai műszer (Topocart)

4. 11.4 Analitikus mérőműszerek

Az analitikus fotogrammetria képkoordináták ismeretére épül, így minden olyan műszer, amely alkalmas a képkoordináták, vagy képkoordináták és koordináta-különbségek (parallaxisok) mérésére, analitikus mérőműszernek tekinthető.

Az analitikus műszereket a következő csoportokba soroljuk:

1. Tájékozott modellel nem rendelkező műszerek

1.1 Monoszkópikus műszerek (monokomparátorok)

1.2 Sztereoszkópikus műszerek

a, sztereokomparátorok

b, sztereo kéпкиértékelők

2. Tájékozott modellel rendelkező műszerek (analitikus plotterek)

2.1 Univerzális analitikus térkiértékelő műszerek

2.2 Egyszerűsített analitikus kiértékelő műszerek

a, tárgykoordinátával vezérelt műszerek

b, képkkoordinátával vezérelt műszerek

A nagy pontosságú, speciálisan a képkkoordináták mérésére szerkesztett műszereket **komparátoroknak** nevezzük.

Képkkoordináta mérhető egyetlen képről is, a mérőfényképre ráfényképezett koordináta-tengelyek alapján. Azok a speciális műszerek, amelyekkel csupán egyetlen kép részletpontjainak képkkoordinátáit tudjuk mérni, a **monokomparátorok**.

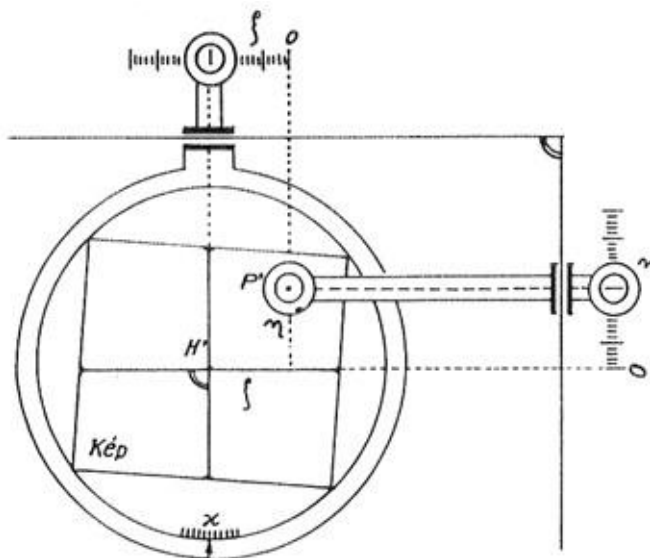
A képpárok homológ pontjainak képkkoordinátáit, vagy képkkoordinátáit és képkkoordináta-különbségeit (pontként 4 adat) **sztereokomparátorokkal** határozhatjuk meg. A sztereo-képkkiértékelők mérési pontossága kisebb, felépítésük egyszerűbb, mint a komparátoroké.

Az analitikus fotogrammetria legfejlettebb műszerei az **analitikus térkiértékelő műszerek**, ismertebb néven az **analitikus plotterek**. E műszerek legnagyobb előnye, hogy tetszőleges külső tájékozási elemekkel és felvevő kamerákkal készült felvételek kiértékelésére is alkalmasak. A műszer a tájékozást, majd a kiértékelést jórészt automatikusan végzi a mérési eredmények és a számítási utasítások hatására. Az analitikus plottereknél a teljes tájékozás után a modell szemlélését számítógép biztosítja a képtartók folyamatos eltolásával. Az univerzális analitikus plotterek nagy pontosságú, gyakorlatilag minden térfotogrammetriai feladat megoldására alkalmasak.

4.1. 11.4.1 Monokomparátorok

A monokomparátorok egy kép mérésére, a képen képkkoordináták (ξ , η) meghatározására alkalmas műszerek. A közvetlen mérési eredmények síkbeli műszerkoordináták, amelyekből egy transzformáció révén kapjuk a képkkoordinátákat.

A monokomparátorok sokféle típusa közül a magyarországi termelő és kutató munkáknál, csillagászati felvételek kiértékelésénél korábban alkalmazott, a Carl Zeiss Jéna által gyártott ASCORECORD nevű műszert emeljük ki (11-4. ábra). A műszer számítógéphez és regisztráló berendezéshez kapcsolható. A maximális képméret 30x30 cm, a leolvasás élessége 0,1 μm . A műszeren a koordináta mérés négyzetes középphibája $\pm 0,7 \mu\text{m}$. A mérőjel mozgatása, a pontok irányzása egy üvegrúd segítségével történik. A pontos irányzás érdekében a binokuláris mikroszkóp nagyítása változtatható: 18, 29, 36 x.



11-4. ábra ASCORECORD mérési elve

A monokomparátorok ugyan nagy pontosságú műszerek, de nagy hátrányuk, hogy a mérés egyszerre csak egy képen történhet. Ez komoly hibaforrás, hiszen a pontpárok mérésénél elveszik a sztereoszkópikus irányzás előnye, könnyen elazonosíthatjuk azokat. Ugyanakkor a munka lassú és nehézkes. Előnyük a nagy pontosság. E

miatt elsősorban csillagászati felvételek kiértékeléséhez alkalmazták, ahol a csillagok, illetve az átvonuló mesterséges holdak pontszerű leképezéseinek mérése a feladat.

A pontok elazonosításának elkerülése érdekében a monokomparátorok fontos kiegészítő berendezései a **pontátvivő készülékek**. Ezek feladata a sztereoszkópiusan megírányzott pontok megjelölése az emulzióba fűrt lyukkal (mechanikai eszköz, vagy lézer). Az így megjelölt pontokat már könnyebb azonosítani, irányozni, a kiértékelés megbízhatósága nő. Pontátvivő készülékeket gyártott többek között a Zeiss Jena (Transmark), a Wild Heerbrugg (PUG4, PUG5) és a Zeiss Oberkochen (PM1).

Sajátos műszerkombináció a Kern cég által gyártott CPM1 (Comparator und Punkt-Markierer) műszere, amely egy monokomparátor és egy pontátvivő készülék együttese. A műszer lehetővé teszi a pontok sztereoszkópius szemlélését, de csak a bal képtartóban lévő kép képkkoordinátáit rögzíti.

4.2. 11.4.2 Sztereokomparátorok, sztereo képkiértékelők

A sztereo-komparátorok képkkoordináták és/vagy parallaxisok mérésére alkalmas műszerek. Vagy mérjük a bal és jobb képen a pontok képkkoordinátáit (ξ_1, η_1 és ξ_2, η_2), vagy mérjük a pontok képkkoordinátáit a bal képen (ξ_1, η_1) és a pontok koordináta-különbségeit (p_x, p_y), a bázis- és haránt irányú parallaxisokat. A mérés eredménye tehát pontonként 4 adat. A közvetlen mérési adatok itt is műszerkoordináták, illetve műszerkoordináta különbségek, amelyekből egy sík-transzformációval kapunk képkkoordinátákat és képkkoordináta-különbségeket a filmekken leképződött keretjelek műszer- és kalibrálási koordinátáinak felhasználásával.

A sztereo-komparátoroknál a képkkoordináták és parallaxisok mérése leegyszerűsített feladat, egyben a műszerszerkezési elvek egyszerűsítését is jelentette. Az analóg műszerekkel szemben, itt jóval rövidebb (csak képméretnyi) távolságok, állandó nagyítású képek, egyszerű beállítási és tájékozási műveletek szerepelnek. Ennek megfelelően rövidebb vezetősínek, mérőorsók, léptékek kialakítására, elkészítésére volt szükség, amelynél az egyszerűbb optikai szemlélőrendszer is további előnyöket jelent. Egyszerűsödött a műszer tájékozási rendszere is, mert csupán a képek elforgatását kellett lehetővé tenni. A sztereo-komparátoroknál egyetlen mérési tartomány, a képméret jelent csak kötöttséget. Az elmondottaknak megfelelően a műszer felépítése a következő:

1. A **centrális rendszerben** a vetítőrendszer matematikai vetítőrendszer, és a tájékozási rendszer pedig egy egyszerűsített tájékozási rendszer (csak κ szerinti forgatás).
2. Az **ortogonális rendszerben** síkbeli koordináta-rendszer található. A virtuális mérőjel mozgatása kézi kerekkel történik (néhány műsértípusnál található lábtárcsa is).
3. A **szemlélőrendszer** csupán néhány prizmából és lencséből áll, a szemlélés a képsíkra merőleges irányú, vagyis frontális.
4. A **mérő és adatrögzítő rendszer** egy síkkoordináták mérésére alkalmas mérőorsót, vagy A/D átalakítót tartalmaz. A műszerhez elektronikus regisztráló berendezés, illetve számítógép kapcsolható.

Az egyszerű sztereokomparátorok csoportjába tartozik a STECO 1818 sztereo-komparátor (11-5. ábra).

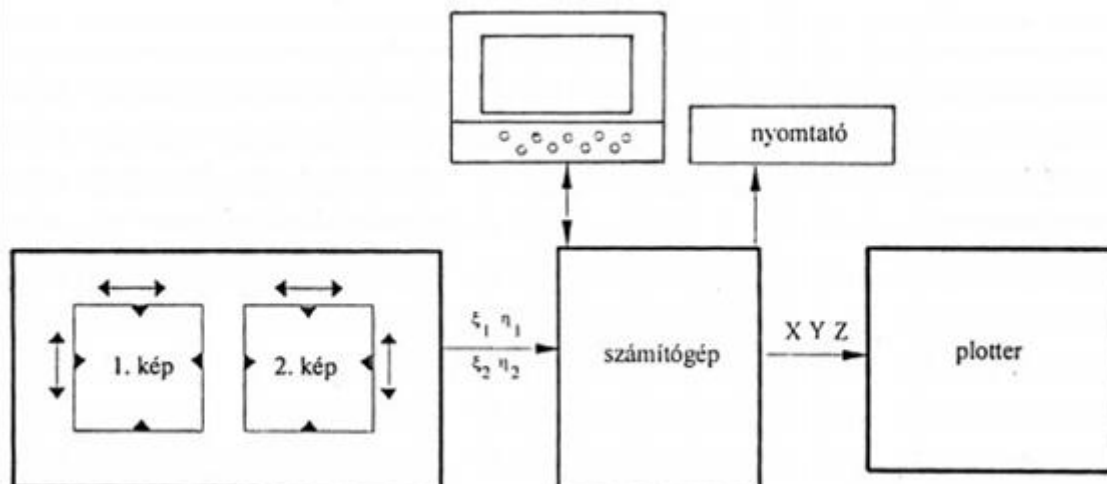


11-5. ábra STECO 1818 sztereo-komparátor

A műszer elsősorban földi képpárok mérésére készült, de légifényképek kiértékelésére is alkalmas, bár ebben korlátot jelent a mérhető maximális képméret. A műszer egyszerű szerkezeti felépítése viszonylag könnyű és kisméretű műszer megépítését tette lehetővé. A 18x18 cm maximális méretű képek, állandó 8-szoros nagyítás mellett, egy 0,05 mm átmérőjű mérőjellel mérhetők. A műszeren ± 400 grad elfordulási szöggel lehet a felvételeket beállítani. A koordinátamérés középhibája $\pm 3,5 \div 5,5 \mu\text{m}$, a parallaxis-mérés középhibája $\pm 3 \div 5 \mu\text{m}$ értékkel adhatók meg.

A műszer- és elektrotechnika fejlődésével nagyobb méretű és nagyobb mérési pontosságot biztosító komparátorok előállítására is lehetővé vált. A precíziós komparátorok csoportjába tartozik többek között a Magyarországon is alkalmazott STECOMETER (Zeiss Jena) elnevezésű műszer. A műszer nagy előnye, hogy 23 cm x 23 cm képtartóval rendelkezik, a koordinátamérés középhibája $\pm 2 \mu\text{m}$. A műszert elsősorban analitikus légiháromszögelésre használták.

A precíziós sztereo-komparátorokhoz kezdetben koordináta-regisztráló berendezéseket (pl. Zeiss Coordimeter), majd a későbbiekben on-line feldolgozást lehetővé tevő számítógépeket csatlakoztattak. Első esetben utólagos számítással (off-line) külön álló számítógépen történt a mért koordináták feldolgozása, a légiháromszögelési adatok számítása. A számítástechnika fejlődésével on-line feldolgozást végző, modellenkénti koordináta meghatározást biztosító számítógépek illesztése is lehetővé vált. Az ilyen számítógéppel támogatott analitikus műszereknél (11-6. ábra) a számítógéptől a műszer felé semmilyen visszacsatolás nincs.



11-6. ábra Számítógéppel támogatott sztereokomparátor [1]

A képeket és a mérőjelet a kiértékelő közvetlenül mozgatja. A számítógép feladata a kapott műszerkoordináták, vagy parallaxisok alapján a képkoordináták és képkoordináta-különbségek, a relatív és abszolút tájékozási elemek, az új pontok geodéziai vagy tárgykoordinátáinak számítása, tárolása. Ha a rendszerhez kapcsolódik egy rajzgép is, akkor a feladat kibővül a vonalas térkép szerkesztésével, kirajzoltatásával. A légiháromszögelési számítások ebben az esetben is off-line üzemmódban történnek.

A **sztereo képkéértékelők** olyan átmenetet képviselnek a számítógéppel támogatott sztereo-komparátorok és az analitikus plotterek között, melyeknél a bal kép vezérlése nem számítógéppel történik, de a jobb képet legalább y irányban a számítógép mozgatja. A számítógép a belső tájékozási adatok és az illesztőpontok koordinátái alapján kiszámítja a relatív és abszolút tájékozást. A tájékozási paraméterek ismeretében ezután az új pontok megirányozása már csak három műveletből áll. A bal képen a kiértékelő megirányozza a mérendő pontot, a jobb képen megszünteti az x irányú parallaxist. Az aktuális képkoordináták alapján a számítógép a jobboldali képtartót eltolja úgy, hogy a mérőjel a mért pontra mutat.

A sztereo képkéértékelők pontossága elmarad a sztereokomparátorokétól, így azokat a kisebb pontossági igényű fotointerpretációs kiértékeléseknél alkalmazzák.

4.3. 11.4.3 Analitikus plotterek

Az analitikus plotterek olyan analitikus térfotogrammetriai kiértékelő műszerek, amelyekben a tárgybeli koordináták és a képkoordináták közötti összefüggést a kiértékelő műszerbe épített digitális folyamatvezérlő számítógép állítja elő.

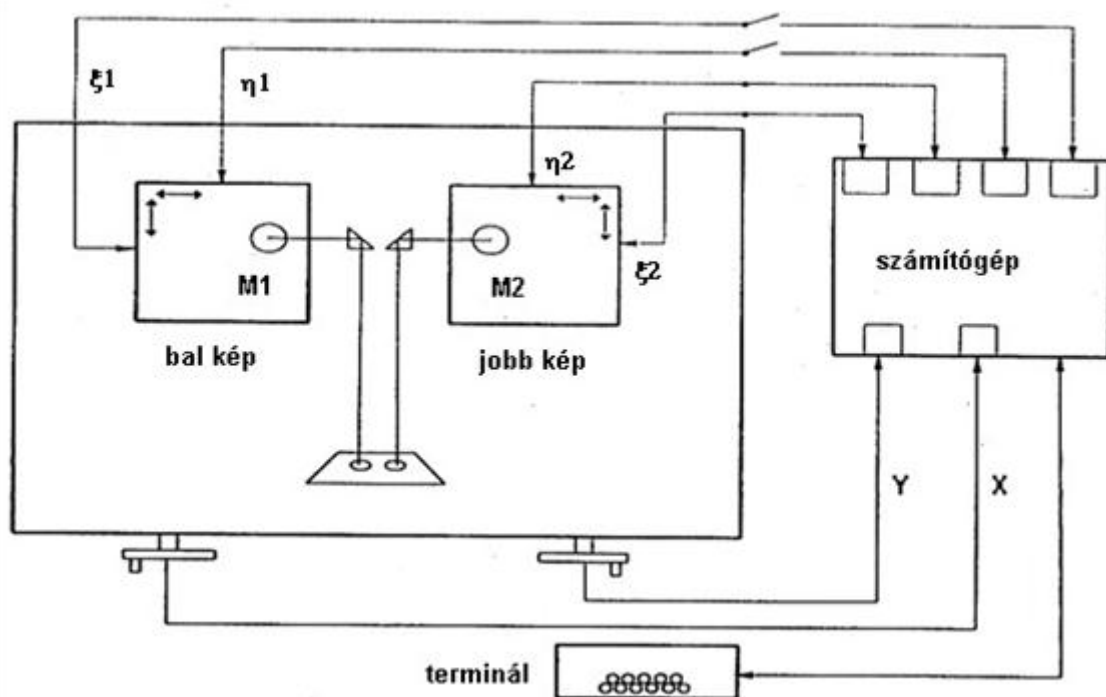
Az analitikus plotterek két nagy csoportját különböztetjük meg:

1. univerzális analitikus kiértékelő műszerek,
2. egyszerűsített analitikus kiértékelő műszerek.

Az analitikus plotterek működési elvét az **univerzális analitikus plottereken** keresztül mutatjuk be [1].

Minden analitikus plotter egy olyan fotogrammetriai mérőrendszernek tekinthető, mely egy sztereo-komparátorból, folyamatvezérlő számítógépből és rajzgépből (plotterből) áll. A számítógéppel támogatott sztereo-komparátorokhoz képest a lényeges különbség az, hogy minden koordinátamérő csatornát motorok működtetnek, ezáltal vezérelhető mind a négy képkoordináta mozgatás a kölcsönös tájékozás után.

A legegyszerűbb esetben az analitikus kiértékelő műszer úgy működik, mint egy komparátor. Ebben az úgynevezett **komparátor üzemmódban** (11-7. ábra) határozzuk meg az ezt következő munkafázis, a térmodell-kiértékelés tájékozási elemeit. Ekkor az adatáramlás egyirányú (műszer → számítógép) mindig csak az egyik képről (az 11-7. ábrán a jobb képről), mert ebben az üzemmódban a mérés során a kiértékelő külön-külön irányozza meg a mérendő pontokat a bal és a jobb képen.



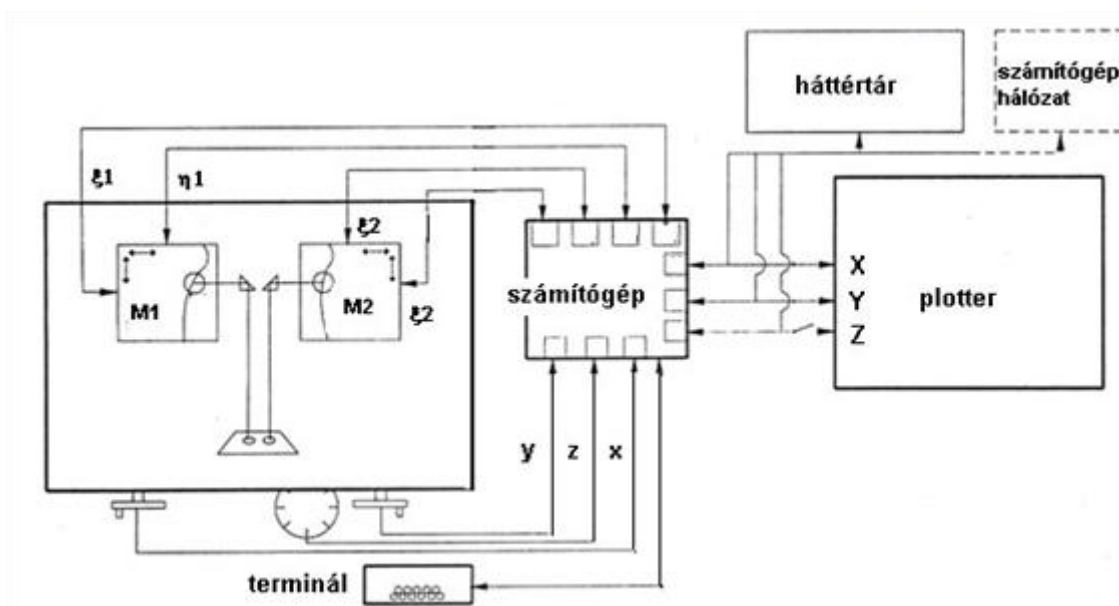
11-7. ábra Analitikus kiértékelő műszer komparátor üzemmódban [1]

A kiértékelő tehát a két képet és a két álló mérőjelet (M1, M2) úgy szemléli, mint a sztereokomparátorban. A képek a képtartókban helyezkednek el, melyek egymástól függetlenül két kereszt-szánrendszer segítségével, két egymásra merőleges irányban eltolhatók. A képek mozgása nem közvetlenül a kézi kerekek segítségével, mérőorsókon keresztül történik, hanem indirekt módon, a folyamatvezérlő számítógépen keresztül.

A kézi kerekek forgatásával a folyamatvezérlő számítógépben az ún. **x és y műszerkoordináták** értékei változnak. Komparátor üzemmódban ezek a műszerkoordináták 1:1 arányban megfelelnek a ξ_1 , η_1 és/vagy ξ_2 , η_2 képkoordinátáknak. Ez azt jelenti, hogy mindkét képtartó a ξ_1 , η_1 , ξ_2 , η_2 képkoordinátáknak megfelelően mozdul el. Komparátor üzemmódban történik a képkoordináták korrigálása, azaz a belső tájékozás a kameraállandó, a keretjelek kalibrált koordinátái, az elrajzolási értékek ismeretében. Ehhez először a keretjeleket kell megírányozni és mérni.

A külső tájékozási elemek számítása egy lépésben kettős térbeli pontkapcsolással, vagy két lépésben a relatív és abszolút tájékozással történik, az ehhez szükséges illesztőpontok tárgyterbeli koordinátái ismeretében. A tájékozás módszereivel, lépéseivel, megoldásával a 10-es modul foglalkozik.

A térkiértékelés elvégzéséhez **modell üzemmódb**a kapcsolunk át (11-8. ábra).



11-8. ábra Analitikus kiértékelő műszer modell üzemmódban [1]

A két kézi kerék mellett most a lábtárcsa is működik. A hozzájuk tartozó három szögadó a folyamatvezérlő számítógépnek az x , y és z műszerkoordinátákat szolgáltatja, amelyeket össze lehet kapcsolni a számítógépben már ismert X , Y és Z tárgytérbeli koordinátákkal. Ehhez csupán egy X_u eltolásra és egy méretarány-változtatásra van szükségünk, amely meghatározható, ha például két illesztőpontot felkeresünk:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_u \\ Y_u \\ Z_u \end{bmatrix} + m_M * \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

Az m_M méretarányszám a modell méretarányát határozza meg. Ezt tulajdonképpen, mint egy áttételi viszonyt is értelmezhetjük.

A kézi kerekeknek és a lábtárcsának egy helyzete megfelel egy X , Y és Z koordinátahármasnak a tárgytérbeli koordináta-rendszerben, amit a számítógép a belső és külső tájékozási elemeknek megfelelően a centrális vetítés egyenletének segítségével átszámít a képkordináta-rendszerbe:

$$x, y, z \rightarrow X, Y, Z \rightarrow \xi_1, \eta_1, \xi_2, \eta_2$$

Erre a képtartók vezérléséhez, mozgatásához van szükség. A modell üzemmódban történő munkavégzésnél a kiértékelő a kézi kerekek, és a lábtárcsa forgatásával, azaz az xyz műszerkoordináták változtatásával elindítja a folyamatvezérlést, amely a két képet az M_1 és M_2 mérőjelek alatt elmozdítja. Ha közben az X , Y és Z tárgytérbeli koordináták egy meghatározott pontsornak felelnek meg a tárgy felületén (pl. egy vonal), akkor a kiértékelő a térbeli mérőjelet az optikai térmodellen erre a pontsorozatra illeszkedve látja haladni. **A kiértékelő feladata** az, hogy a kézi kerekek és a lábtárcsa forgatásával **a térbeli mérőjelet a sztereoszkópiusan érzékelhető térmodellre illeszkedve vezesse**. Az adatáramlás tehát a műszer és a számítógép között kétirányú (műszer \rightarrow számítógép \rightarrow műszer).

A térmodell kiértékelése modell üzemmódban történik. A kívánt eredményektől függően az analitikus plottereken a kiértékeléseknek több módja van [1]:

Pontenkénti mérés

Egy kiválasztott (meghatározandó, mérendő) tárgy pont tárgytérbeli X , Y , Z koordinátáinak meghatározását pontenkénti mérésnek nevezzük.

Térbeli vonalmérés

Ha egy háromdimenziós vonal mentén haladunk (síkrajzi elemek pl. út, épület, stb.), akkor a folyamatvezérlő számítógépben erre a vonalra illeszkedő pontok X, Y, Z koordinátahármasból álló sűrű sorozata áll elő.

Szintvonalmérés

Ha egy megadott z értéknél rögzítjük a lábtárcsát, akkor a Z szint egy szintvonal értéknek felel meg, és ha ekkor a két kézi kereket az optikai modell sztereoszkópikus letapogatásával forgatjuk, akkor a számítógépben a megfelelő szintvonal sűrű pontsorozatának X, Y koordináta páirjai állnak elő.

Dinamikus profilmérés

Profilmérések számára megvan az a lehetőség, hogy az X vagy Y irányú mozgást a folyamatvezérlő számítógép automatikusan hajtsa végre. Profilmérés közben a kiértékelőnek a mérőjel z irányú állításával a mérőjelet a térmodellen kell tartania. A folyamatvezérlő számítógép ily módon rögzíti az Y,Z (Y profilmérés), vagy az X,Z (X profilmérés) koordináta párokat.

Statikus rácsmérés

A folyamatvezérlő számítógép automatikusan megoldja azt a feladatot, hogy a térmodell területén y irányban oda-vissza, meanderszerűen végighaladjon, mialatt a kiértékelőnek csak a z mozgásra kell ügyelnie.

Elsősorban a dinamikus vagy statikus rácsmérés eredményeit lehet felhasználni arra, hogy a kapott adatok alapján *digitális terepmodellt* állítsunk elő, ugyanis a digitális terepmodell lényege, hogy a közel egyenletesen meghatározott pontokból a területet egyenletesen borító rácshálót fejleszt ki, melyben a rácpontok magasságát vagy a mért pontokból, vagy interpolálási eljárással határozza meg.

Görbe alaprajzú profilok mérése

A folyamatvezérlő számítógép a kiértékelés során több érdekes lehetőséget biztosít a kiértékelő számára. Lehetőség van pl. X és Y irányban különböző sebességű mérőjel vezetésére, vagy görbe alaprajzú profilok mérésére. Térbeli vonalak, szintvonalak, vagy különböző profilok kiértékelésekor nem tároljuk az összes értéket, hanem gyakran egy állandó út- vagy időintervallum szerint rögzítjük a térbeli koordinátákat.

A koordináták tárolásával párhuzamosan vagy egy kis időeltolással az XYZ koordinátákat egy elektronikus vezérlésű rajzoló berendezésen grafikus formában is megjeleníthetjük. A plotteren grafikus formában megjeleníthetjük a mérési eredményt alaprajzként, szintvonalrajzként, vagy metszetekként.

Az analitikus plotterekhez kapcsolható kiegészítő berendezések, eszközök a kiértékelés pontosabbá, könnyebbé, kényelmesebbé, gyorsabbá tételét szolgálják.

Ilyen **kiegészítő berendezés** lehet:

- zoom optika (különböző nagyítás alatt szemlélhetjük a képeket),
- kézi és szabadkézi mérőjel vezetés,
- a folyamatvezérlő számítógép mellé egy másik számítógépes rendszert építenek ki (osztott erőforrású analitikus plotterek),
- grafikus képernyő (kétmonitoros rendszerek) a kiértékeléssel egyidejű megjelenítésre,
- képkorrelátor (a kép és a kiértékelés egymásra vetítése).

Foglaljuk össze az **analitikus plotterek jellemzőit**:

- nagy mérési pontosság ($1 \div 3 \mu\text{m}$),
- a kiértékelés pontossága nő a szabályos hibák figyelembe vételével (film méretváltozása, elrajzolás, refrakció, földgörbület), valamint a tájékozások matematikai eljárásokkal, kiegyenlítéssel történő meghatározásával,
- univerzális felhasználhatóság (földi-, légi- és űrfelvételek, mérőkamerával és egyéb szenzorokkal készült felvételek kiértékelése), tetszőleges helyzetű képpárok kiértékelése,

- magas termelékenység (részben automatizálhatók a kiértékelések),
- széleskörű felhasználhatóság (részletmérés, pontsűrítés, speciális feladatok, stb.).

Manapság az analitikus kiértékelő műszereket nagy programcsomagokkal látják el, hogy segítségükkel, úgynevezett digitális objektummodelleket lehessen kialakítani. A programokat két csoportba soroljuk:

A **rendszerprogramok**, amelyek a műszer működtetéséhez szükségesek. Ilyenek, pl. a tájékozásokra (belső-relatív és abszolút tájékozás), a projekt adatok, a kameraadatok, az illesztőpontok és a tervezett pontok kezelésére szolgáló programok.

A modulrendszerű **felhasználói programok** (opcionális programok) közül nem kell mindegyiket megvásárolni, csak azokat, amely feladatokra a műszert használni akarjuk. A nagyon sokféle felhasználói program közül csak kiemelünk néhányat: szekvenciális kiegyenlítés, statisztikai hibaszűrés, szabályos hibák bevonása, on-line minőség ellenőrzés, háromszögelések (sor- és tömbháromszögelés), közvetlen modell-elrendezés háromszögelés után, kompatibilis adatkimenet alkalmazói szoftverekhez, digitális pontátvitel, pontszámozás tervezése, nyalábkiegyenlítés limitált számú képre (max. 100 kép), nyalábkiegyenlítés tetszőleges számú képre, strukturált digitális térképező program-rendszerek, földi-, illetve közel-fotogrammetriai programcsomag, digitális felületmodell mérése, szintvonalszerkesztés.

Magyarországon a Kern DSR1, a Leica SD2000-es (11-9 ábra) és az ALPHA2000-es (International Imaging System, USA) univerzális analitikus plottereket használják, használták a gyakorlatban.

Tanszékünk rendelkezik SD 2000 analitikus plotterrel, ezért néhány fontosabb jellemzőjét megadjuk:

Képtípus: üveg vagy film (üveg esetében 0,8 és 1,6 mm fókuszkorrektció)

Képméret: maximum 23x23 cm

Szemlélőrendszer: 3x – 18x nagyítás, a látómező 60 mm (3x) – 10 mm (18x)

Mérőjel: színes mérőjel folyamatos megvilágítással és méretváltozással (20 – 140 μm)

Feloldás: > 160 vonalpár/mm (18X)

Képforgatás: 360° Dove prizmával

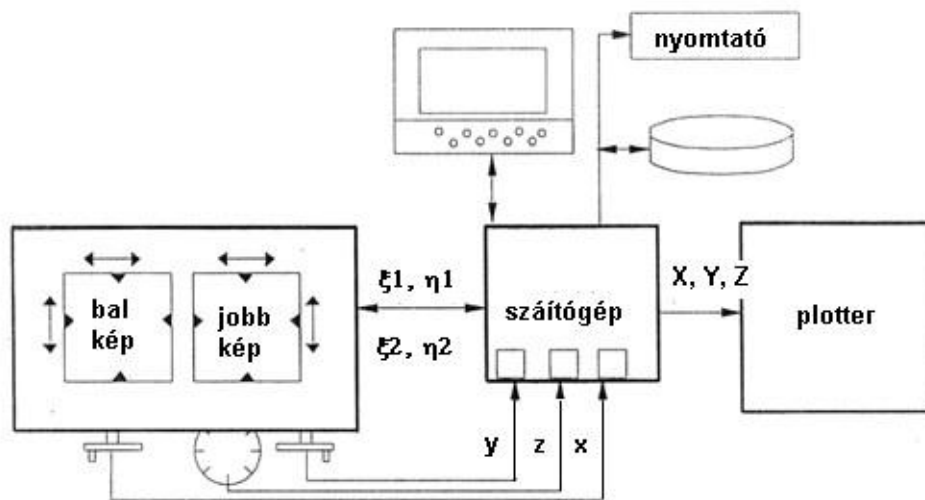
Feloldás: 1 μm

Pontosság: 3 μm



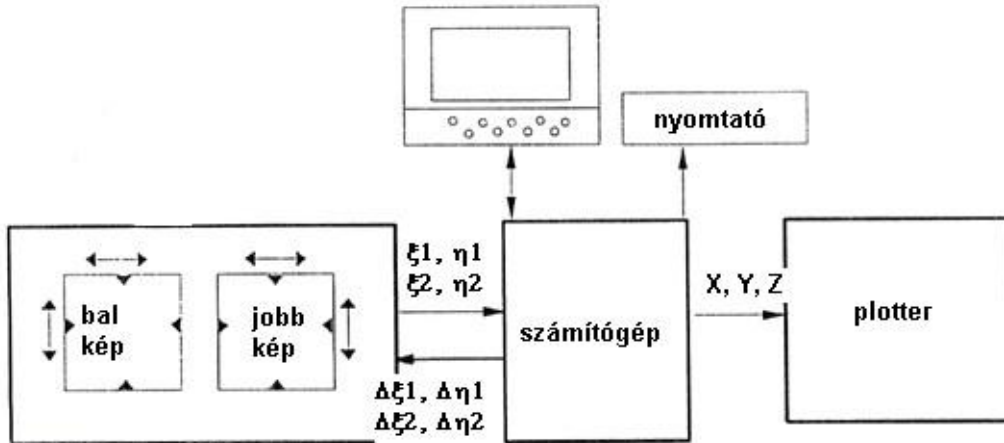
11-9. ábra SD 2000 analitikus plotter

Az **egyszerűsített analitikus plotterek** egy része működési elvét tekintve hasonló az univerzális analitikus plotterekéhez, csupán némi korlátozással (pl. kisebb képméret) működnek. Ezeket nevezzük tárgykoordinátával vezérelt analitikus plottereknek (11-10. ábra)



11-10. ábra Tárgykoordinátával vezérelt egyszerűsített analitikus plotter [1]

Egy másik részük, az ún. képkoordinátával vezérelt analitikus plotterek (11-11. ábra) közvetlenül képkoordinátákat (4 adat) mérnek és regisztrálnak a hagyományos sztereokomparátoroknál megszokottak szerint, és a léptetőmotorok ezek alapján mozgatják a képtartókat.

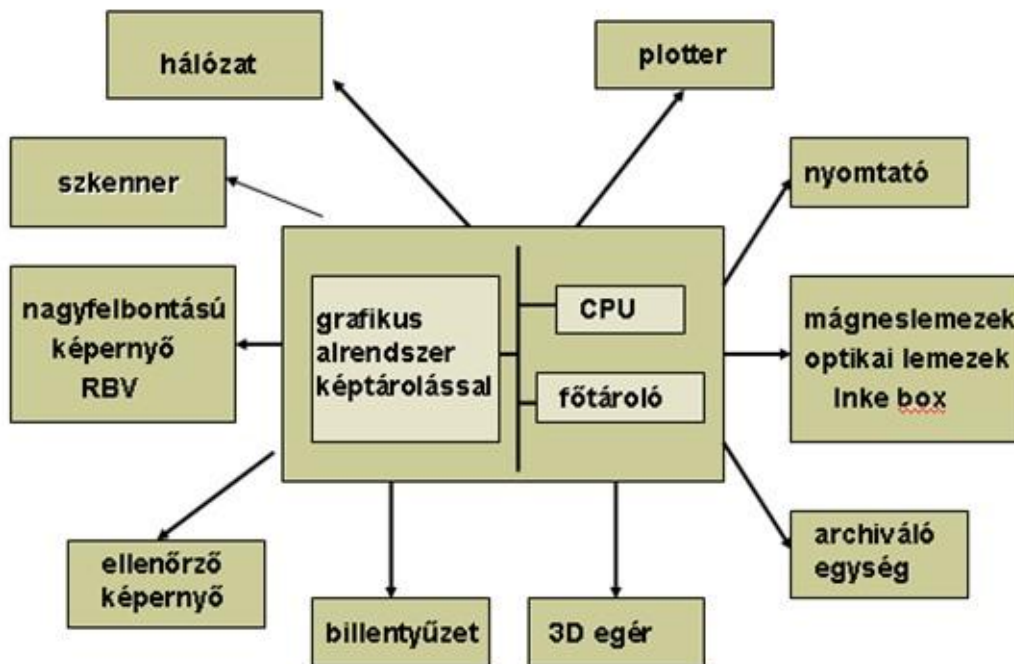


11-11. ábra Képkordinátával vezérelt egyszerűsített analitikus plotter [1]

5. 11.5 Digitális fotogrammetria műszerek

A digitális fotogrammetria témakörét a 12. modul foglalja össze. A teljesség miatt - ugyan vázlatosan - itt is foglalkozunk a digitális fotogrammetriai munkaadásokkal és a térlátás módszereivel.

A digitális térfotogrammetriában a térkiértékelést a modulrendszerűen felépített ún. **fotogrammetriai munkaadások** segítségével hajtjuk végre. Maguk a munkaadások több más feladat elvégzésére alkalmasak (pl. digitális ortofotó készítés), de itt csak a térkiértékelést tárgyaljuk. A digitális kiértékelés egyik előfeltétele, hogy a feldolgozandó felvételek digitális (raszteres) formában álljanak rendelkezésre. A fotogrammetriai munkaadások tulajdonképpen minden digitális számítógépre installálhatók, amelyek azonban meglehetősen sokoldalú perifériákkal kell, hogy rendelkezzenek. Az egyes szoftverek minimális követelményeit azok leírásai tartalmazzák. A követelményeknek a kielégítésére jó teljesítményű PC-k és ún. munkaadások elegendők. A digitális fotogrammetriai munkaadások általános felépítését mutatja a 11-12. ábra.



11-12. ábra Digitális fotogrammetriai munkaadás

A képe(ke)t nagyfelbontású grafikus képernyőn jelenítjük meg. A képpár, illetve a modell szemlélésére többféle módszert dolgoztak ki:

- kétmonitoros rendszer, ahol a bal és a jobb képet két külön monitoron jelenítik meg és a szemléletet egy tükrös sztereoszkóp biztosítja,
- osztott képernyőjű egymonitoros rendszer, ahol a képernyő bal oldalán a bal, jobb oldalán a jobb képet jelenítik meg és a szemlélet itt is sztereoszkóp segítségével történik,
- anaglif szemlélet, ahol a megfelelő szűrővel (piros-zöld, vagy piros-kék) egymásra vetített képeket anaglif szemüveg segítségével szemléltethetjük,
- passzív polár szemlélet, ahol az osztott képernyőre bal oldalára függőlegesen, jobb oldalára vízszintesen polarizált képet vetítenek ki és térlátást egy polár szemüveg teszi lehetővé,
- váltott képes vetítés, ahol a képeket nagy frekvenciával (25 Hz képváltási frekvencia esetén a szem már egy „folyamatos” képet lát) egymásra vetítik az egész képernyőre, majd a szemlélet olyan szemüveggel történik, amelyik folyadékkristályos zárral van ellátva. Ennek eredményeként a bal szemmel a bal képet, jobb szemmel a jobb képet látjuk. A szinkronizálást a képernyő és a szemüveg között egy infravörös vezérlőegység biztosítja.
- aktív polár szemlélet (váltott képes vetítés elve), ahol a polarizált képeket szinkronizálva egymásra vetítik egy polarizált képernyőre. Egy megfelelően polarizált szemüveg segítségével létrejön a sztereoszkópikus hatás.

A **digitális térkiértékelés** célja a két (vagy több) digitális kép alapján a mérendő pontok **térbeli koordinátáinak** meghatározása és/vagy **vonalas digitális térképek** létrehozása. A kiértékelés végterméke tehát **vektoros adatállomány**.

A feladat a tájékozással, a térmodell előállításával kezdődik. Már a tájékozásnál a digitális technika lehetővé teszi, hogy a keretjeleket, rácpontokat, vagy a homológ pontpárokat automatikusan megkeressük. Az automatikus pontkeresés alapja az intenzitásértékek mérésén alapuló korreláció-számítás. A pontkeresést végezhetjük a képeken felületek alapján, jellemzők alapján vagy kapcsolatok alapján. A tájékozott modellt a megjelenítő képernyőn a kiértékelő (operátor) térben látja. A kiértékelendő vonalon végigvezetve a mérőjelet (kurzort), a számítógép út-, vagy időintervallumonként rögzíti a vonalpontokat. Természetesen lehetőség van arra is, hogy pontonként regisztráljuk a mérőjel helyzetét. A kiértékelő szempontjából az a lényeges különbség az analóg, az analitikus és a digitális kiértékelés között, hogy a kiértékelt szakasz érzékelhető a képernyőn. Mivel a kiértékelés eredménye többnyire térinformatikai hasznosításra kerül, a kiértékelés folyamatában az operátor létrehozhatja a kiértékelt vektorok topológiáját is.

A ma már nagyszámú magyarországi digitális fotogrammetriai munkaállomások többségét digitális ortofotó előállítására használják, de gyakori a digitális térkiértékelés is.

6. 11.6 Műszervizsgálat

A térfotogrammetriai műszerek pontosságukat, mérőképességüket mindaddig megőrzik, amíg betartjuk a kezelési szabályokat, megfelelő körülmények között helyezük el azokat és a műszerek karbantartását időközönként elvégezzük. Ez elsősorban az optika és mechanikai elemekből álló analóg és analitikus műszerekre vonatkozik, de részben igaz a digitális fotogrammetriai munkaállomásokra is.

A műszerek használatából adódó kopásokkal, elhasználódásokkal és esetleges műszerhibákkal az analóg, illetve analitikus műszerekkel kell számolnunk. Ebben a fejezetben ezzel a témakörrel foglalkozunk. A számítástechnikai eszközök teljesen más ismereteket igényelnek.

A műszerekkel kapcsolatos vizsgálatokat két csoportba soroljuk [2]:

1. Alapállás vizsgálat
2. Műszerhibák vizsgálata

1. Az **alapállás vizsgálat** csupán a műszerek szerkezeti elemeinek helyzetére, valamint a beállítási elemekhez tartozó skálák ellenőrzésére terjed ki. Ezek viszonylag egyszerű vizsgálatok, amelyeket a műszerek kezelői is el tudnak végezni meghatározott időközönként. Az alapállás vizsgálatokkal ellenőrizzük a vezetősinék, mérővonalzók vízszinteségét (X és Y), merőlegességét ($X \perp Y$, XY sík $\perp Z$) és párhuzamosságát (pl. $X \parallel p_\xi$, $Y \parallel p_\eta$).

2. A **műszerhibák vizsgálatának** célja a konkrét vagy feltételezett műszerhibák megállapítása és elhárítása. A műszerek szerkezetének megfelelően a hibák lehetnek optikai, mechanikai és geometriai hibák.

Az optikai rendszer hibái részben geometriai jellegű hibákat okozhatnak, amelyek a modellkoordináták vagy képkoordináták torzulásaiban jelentkeznek, részben pedig a képminőséget rontva, a pontraállítás megbízhatóságát csökkentik. Meghatározzuk a vetítésben, a szemlélésben szerepet játszó optikai elemek, lencsék, lencserendszerek feloldóképességét, a kontrasztvesztésüket és az elrajzolást.

A mechanikai jellegű hibák a sínek, mérővonalzók kopásából, elhasználódásából eredhetnek, ezért egy célszerűen megválasztott mérési módszerrel vizsgálják a vezetősínek, vonalzókat, irányrudakat, mérővonalzók hibáit (egyenesség, párhuzamosság, merőlegesség és síkbanfekvés), az orsóhibákat, a mérővonalzók sérüléseit, az irányváltási hibákat, a követési és nyomhibákat.

A geometriai hibák az analóg műszerekre jellemzőek, ezeket nem részletezzük.

A műszerek vizsgálatához, igazításához szabatos rácslemezeket, vizsgáló (vagy előtét) távcsöveket, libellákat (keretes vagy csöves libellák), egyenes és derékszögű fémvonalzókat, műszeripari mikrométereket használnak.

Az ellenőrző rácslemezek a műszer képtartójának maximális méretével megegyező méretű, 3-5 mm vastag, plánpáralel üveglemezek, amelyeknek egyik oldalán szabatos 5 vagy 10 mm osztású négyzethálózat van. A rácslemezeket gyakorlatilag hibátlanoknak tekintjük (pontosságuk $\pm 1 \mu\text{m}$ körüli érték).

A szabályos műszerhibák kiküszöbölhetők a mérési eljárás megfelelő megválasztásával, számítással és igazítással.

Az analitikus műszerek tesztvizsgálatát (mérőképességének, pontosságának vizsgálata) 25 pontos monokuláris rácsméréssel végezhetjük el. Az eredmények kiértékelése alapján a műszer méretarányhibája, az irányváltási és nyomhiba, a rácslemez tájékozási hibája, a vezetősínek merőlegességi hibája és a pontmérés négyzetes középpontja kiegyenlítésével kapható meg.

7. 11.7 Összegzés

A térfotogrammetriai műszerek modulban összefoglaltuk azokat az ismereteket, amelyek a térfotogrammetriai kiértékelésre alkalmas műszerek jellemzéséhez, használatához szükségesek.

A fejezetben leírtakat akkor sikerült jól elsajátítani és megérteni, ha a következő kérdésekre választ tud adni:

Milyen mérésekre alkalmasak a tükrös sztereoszkópok?

Az analóg térfotogrammetriai műszerek felépítése, azok jellemezői?

Hogyan csoportosítjuk az analitikus műszereket?

Milyen komparátorokat ismer, milyen mérésekre alkalmasak?

Az analitikus plotterek felépítése (hardver és szoftver elemek), jellemzői.

Az analitikus plotterek működése.

A digitális fotogrammetriai munkaállomások felépítése.

Milyen műszervizsgálati módszerek vannak?

Irodalomjegyzék

1. K. Kraus: *Fotogrammetria*, Tertia Kiadó, Budapest, 1998.

2. Majoros G.: *Fotogrammetria II.*, EFE FFFK jegyzet, Székesfehérvár, 1988.