

Dr. Engler Péter

A térlátás és a térfotogrammetria alapjai

 **NSZFI**
NEMZETI SZAKKÉPZÉSI
ÉS FELNŐTTKÉPZÉSI INTÉZET

A követelménymodul megnevezése:
Fotogrammetria feladatai

A követelménymodul száma: 2241-06 A tartalomazonosító száma és célcsoportja: SzT-010-50

A TÉRLÁTÁS ÉS A TÉRFOTORGAMMETRIA ALAPJAI

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

A fotogrammetriai kiértékeléseket két nagy csoportba soroljuk. Az első csoportba tartoznak az ortofotó eljárások, amelyek egy kép kiértékelésén alapulnak. Előnyük, hogy tónusos végterméket adnak, hátrányuk, hogy a kiértékelés csak két dimenzióban (síkban) lehetséges. A fotogrammetria másik csoportjába térfotogrammetria kiértékelések tartoznak. Nagy előnyük, hogy 3 dimenziós, térbeli kiértékeléseket tesz lehetővé, a kiértékelés végterméke vagy a mért pontok térbeli koordinátái vagy valamilyen vonalas, vektoros rajz. Hátránya csupán az, hogy a képi információk elvesznek a végtermékből. Ahhoz, hogy megértsük a térfotogrammetriai kiértékeléseket, szükség van arra, hogy tisztában legyünk a térlátás folyamatával, alapjaival, illetve azok felhasználásával fotogrammetriaiban. Mint látni fogja, egyszerű eszközökkel is létre tud hozni a leképezett tárgyról, terepről egy térmodellt, ami a térbeli kiértékelés feltétele.

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

A TERMÉSZETES ÉS A MESTERSÉGES TÉRLÁTÁS ALAPJAI

A mindennapi életünkben a körülöttünk lévő tárgyról egyszerűen meg tudjuk állapítani, hogy melyik van közelebb, vagy távolabb. A mélység megítélése történhet egy szemmel, de pontosabb, megbízhatóbb a mélység meghatározása két szemmel.

Az egy szemmel történő mélységérzékelést monoszkopikus látásnak, míg azokat a tényezőket, amelyeket felhasználunk a mélység megítéléséhez monokuláris faktoroknak nevezzük.

A monokuláris faktorok a következők:

- a tárgyak viszonylagos méretei (a közelebb lévő ugyanazon tárgy nagyobbaknak, míg a messzebb lévő tárgy kisebbnek látszik),
- takarás (a közelebb lévő tárgyak takarják a messzebb lévő tárgyakat),
- fény- és árnyékviszonyok, vizuális kontraszt (a nagyobb távolságban lévő tárgyak kékes árnyalatban jelennek meg a levegő páratartalma miatt),

A TÉRLÁTÁS ÉS A TÉRFOTOGRAMMETRIA ALAPJAI

- mozgási paraméter (a közelebb lévő ugyanolyan sebességgel haladó járművek gyorsabbnak tűnnek, mint a távolabb lévőek),
- a tárgyak részletessége (a közelebb lévő tárgyakon sokkal több részletet ismerünk fel),
- akkomodáció (a szemünk a különböző távolsági tárgyakra fókuszál, alkalmazkodik).

A monoszkópikus mélységbecslés meglehetősen bizonytalan, mivel járulékos adatokat (távlat, takarás) használunk. Következik ez abból, hogy egy szemmel, egyetlen sugárnyalábbal szemlélünk, melyről tudjuk, hogy csupán irányokat ad.

A két szemmel történő mélységérzékelést sztereoszkópikus (térbeli) látásnak, szemlélésnek nevezzük, amellyel a mélységkülönbségeket nagyobb biztonsággal tudjuk megbecsülni. A sztereoszkópikus látásnak a fotogrammetriai kiértékelésnél kiemelt jelentősége van.

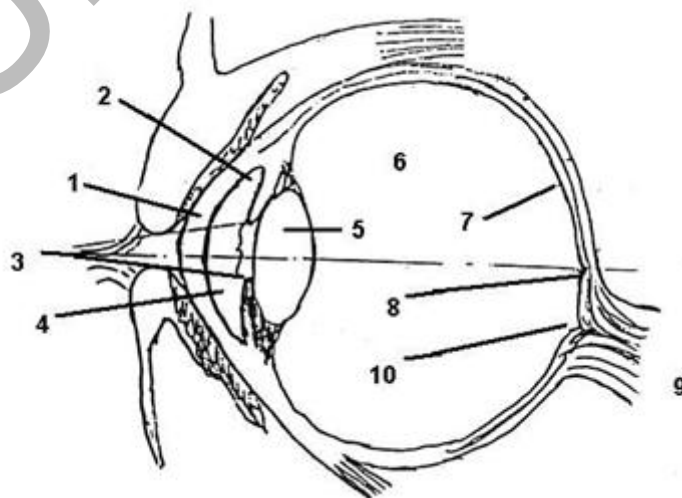
A SZEM ÉS A TÉRBELI LÁTÁS

Az emberi szem és az agy látási központjának azt a képességét, amellyel a szemlélt tárgyak térbeli alakját és egymáshoz viszonyított térbeli helyzetét két képből meg tudja állapítani, természetes térhatású látásnak, röviden természetes térlátásnak nevezzük. Gyakran idegen szóval sztereoszkópikus látásnak is nevezzük. A két képet a bal és a jobb szemünk állítja elő. Ezekből adódik, hogy a térlátásnak két alapvető feltétele van:

- a két szemmel látás,
- a két szem által alkotott két különböző képet az idegrendszer képes legyen egyetlen térhatású képpé egyesíteni.

A természetes térlátás megértéséhez szükséges az emberi szem felépítését, tulajdonságait megismerni [1].

A szem a látás szerve (1. ábra), a koponya szemüregében helyezkedik el.



1. ábra A szem felépítése

A szem felépítése:

1. szaruhártya
2. szivárványhártya (irisz)
3. pupilla, szembogár
4. szemcsarnok
5. szemlencse
6. üvegtest
7. ideghártya, retina
8. központi gödör (sárgafolt)
9. látóideg, erek
10. vakfolt

A fény több törőfelületen (a szaruhártyán, csarnokvízen, szemlencsén, üvegtesten) áthaladva éri el a fényérzékeny ideghártyát. A retina központi része a sárgafolt és ezen is a központi gödör. A szem egy összetett optikai rendszerhez hasonlít. A szemlencse fókusztávolsága a tárgytávolság szerint változik (akkomodáció). A szemlencsét körülvevő izmok a kettősen domború lencse görbületét úgy változtatják, hogy a képtávolság a különböző tárgytávolságok esetén közel ugyanaz maradjon. A legtávolabbi pont (távolpont), amire a szem akkomodálni képes a végtelenben van, míg a legközelebbi pont (közelpont) távolsága általában 14 cm. Azt a legkisebb távolságot, amelyre az elhelyezett tárgyat hosszabb időn át fáradtság nélkül tudjuk szemlélni, a tisztánlátás távolságának nevezzük. A normális szem tisztánlátás távolsága 25 cm. Az átlagos emberi szem képtávolsága 15,5 mm. Mivel a központi gödör átmérője, melyen belül a szem éles képet lát 0,4 mm, ehhez az átmérőhöz mintegy $1^{\circ}30'$ fénykúp tartozik.

A retinán finom idegvégződéseket, csapokat és pálcákat találunk, melyek szín- és fényérzékenyek. A csapok átmérője határozza meg az emberi szem feloldóképességét. A szem akkor tud két szomszédos, pontszerű tárgyat különállóan érzékelni, ha a pontokról kiinduló fényinger nem két szomszédos csapra esik, hanem van köztük egy ingermentes csap is. Mivel a csapok átmérője 3–5 μm , a szem fiziológiai felbontóképességére jellemző határszög mintegy $1'$ ($0,004/15,5 \cdot \rho'$). Gyakorlatilag ez az a legkisebb látószög, melynél a szem két igen közel fekvő pontot még különállóan lát. Ebből levezethető a szem lineáris feloldóképessége, ami 5–7 vonalpár/mm. A 25 cm-es tisztánlátás távolságában az értéke 0,073 mm ($250 \cdot 1'/\rho'$).

A szem által alkotott és a sárga folton keletkezett kép, és a tudatunkban keletkezett kép geometriai jellemző eltérések:

A sárga folton keletkezett kép:

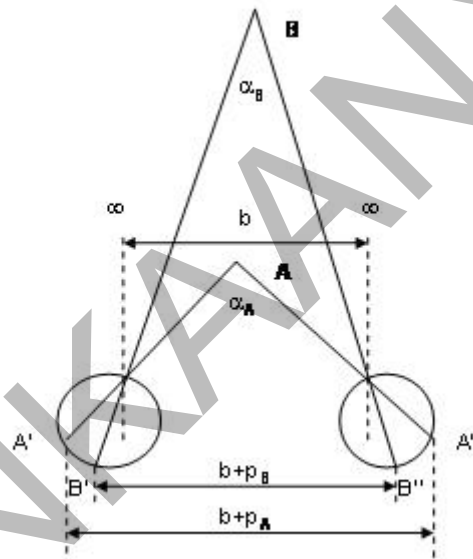
- fordított állású
- valós
- görbült felületű
- egyenetlen
- kicsinyített

A tudatban keletkezett kép:

- egyenes állású
- valós
- sík
- perspektív

Szemünknek a fotogrammetria szempontjából lényeges tulajdonsága, hogy két szemmel történő szemlélés esetén képes a tárgyak mélységkülönbségeinek pontos megítélésére. Ha két szemmel nézünk egy tárgyat, mindkét szemünkben más-más kép keletkezik. A két kép eltérő, mert a változatlan helyzetű tárgyat a bal illetve a jobb szemünkkel más-más „álláspontból” látjuk. Erről könnyen meggyőződhetünk, ha egy tárgy figyelésekor először a bal, majd a jobb szemünket letakarjuk. Ha mindkét szemünkkel egyszerre nézzük a tárgyat, akkor nem két különböző képet látunk, mivel azokat agyunk egyetlen térhatású képpé egyesíti. Ilyenkor mindkét szemünk a tárgyra akkomodál és a szemtengelyek a tárgyra irányulnak, a tárgy képe mindkét szemünkben a központi gödörben élesen képződik le, az ingerületeket pedig az idegpályák közvetítik az agyba. A tárgyak távolságának, méreteinek érzékelése binokuláris szemlélés esetén azon alapszik, hogy agyunk mintegy érzékeli azt a szöveget, amit a két szemtengelyünk egymással bezár, s amit parallaxikus szögnek nevezünk.

A 2. ábrán megfigyelhetjük a természetes térlátás geometriai feltételeit:



2. ábra A természetes térlátás [1]

A két szem távolsága, pontosabban a szemlencsék optikai középpontjainak egymástól való távolsága 55–75 mm között lehet, átlagosan 65 mm. A szemtengelyek távolsága állandó érték és egy alapvonalnak felel meg, emiatt bázisnak, vagy szembázisnak nevezzük, és b -vel jelöljük. Ez a viszonylag kis távolság elegendő ahhoz, hogy a bal, illetve a jobb szem által látott központos vetítésű képek eltérése érzékelhető legyen. A szemünk előtt lévő két pontnál (A és B) keletkező α_A és α_B parallaxikus szögek értékei a távolság függvényében változnak. A közelebb lévő tárgyaknál nagyobb, a messzebb lévő tárgyaknál kisebb. A jelenség úgy is felfogható, hogy agyunk érzékeli a szembázis és az adott mélységben lévő pont két képének ($A'A''$, $B'B''$) távolságkülönbségét, azaz a p_A és p_B értékeket. Az az érték, amellyel a két pont távolsága nagyobb a szembázisnál az ún. parallaxis (összrendező különbsége).

Miután a két szem mindig úgy mozog, hogy a szemtengelyek a bázissal egy közös síkban vannak, ezért ezt a parallaxist bázisirányú parallaxisnak nevezzük. A valódi térhatású látás feltétele a bázisirányú parallaxis érzékelése.

Egészséges szemet feltételezve a bal és a jobb szem között haránt irányú, a bázisra merőleges eltérés nincs, vagyis a bal és jobb szemmel látott képek tökéletesen összeolvadnak egyetlen képpé. Mesterségesen előállíthatunk a két szem által alkotott képek között haránt irányú eltérést, ha az egyik szemgolyót enyhén megnyomjuk. Ekkor a két kép a szembázisra merőleges irányban szétválik, a térbeliség érzete megszűnik, mivel két különböző képet látunk. A jelenség neve haránt irányú parallaxis. A harántparallaxisnak a fotogrammetriai kiértékelések során nagy jelentősége van, mivel a harántparallaxis jelzi számunkra, hogy az összetartozó sugárpárok nem metszik egymást, azaz kitérő egyenesek. A zavartalan sztereoszkópikus látás előfeltétele, hogy harántparallaxis ne lépjen fel.

A 2. ábra alapján látható, hogy a parallaxis, a parallaktikus szöghöz hasonlóan annál nagyobb, minél közelebb van a szemlélt tárgy a bázishoz. A túl közeli tárgyak képei között olyan nagy parallaxis különbség jöhet létre, hogy az agy látási központja nem tudja a két kép egyesítését megoldani. Amikor a parallaktikus szögek különbségei ($\Delta\rho$) kisebbek, mint a szemünk által érzékelhető legkisebb szögváltozás, azaz $30''$, a mélységi érzékelés megszűnik. A $30''$ -et a sztereoszkópikus látás fiziológiai határszögének nevezzük, ami az egy szemmel nézés határszögének mintegy fele. Két tárgyat akkor látunk tehát különböző távolságban, ha a parallaktikus szögek különbsége nagyobb, mint $30''$. A mélységkülönbségek érzékelése azonban függ a tárgyak távolságától is. A mélységérzet a távolság négyzetével fordított arányban romlik. Levezetés nélkül a $dY = (Y^2/b) \cdot \Delta\rho$ képletet felhasználva a különböző távolságokra a következő értékeket kapjuk:

távolság	mélységkülönbség
Y	dY
0,25 m	0,14 mm
1 m	2,23 mm
10 m	22,3 cm
100 m	22,4 m

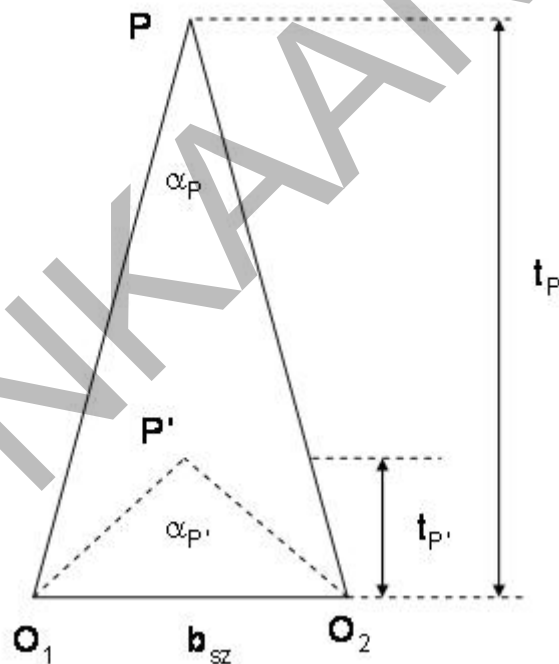
A sztereoszkópikus mélységérzet 450 m-nél nagyobb távolságoknál már gyakorlatilag megszűnik, ilyenkor a két szemtengely párhuzamosnak tekinthető. Az ennél távolabbi tárgyak mélysége és távolsága a monokuláris jellemzők (távlat, takarás, stb.) alapján becsülhető meg.

A sztereoszkópikus érzékelés megbízhatósága a szemlélesi bázis hosszától (b) és a vizsgált pont bázistól mért távolságától (Y) függ, így ez kifejezhető a két számérték hányadosával is, melyet bázisviszonynak nevezünk: b/Y . Szabad szemmel történő szemlélésnél a legkedvezőbb bázisviszonyt az éleslátás távolságában (25 cm) kapunk, melynek átlagos értéke 6,5 cm szembázist feltételezve $1/4$.

A SZTEREOSZKÓPIKUS LÁTÁS FOKOZÁSÁNAK MÓDJAI

Megfelelő eszközökkel és módszerekkel a tárthatású látás nagyobb távolságra lévő tárgyakra is kiterjeszhető, illetve a mélységérzet növelhető. A $dY = \frac{Y^2}{b} \Delta p$ képletből látható, hogy a dY értéke úgy növelhető, ha az Y értékét mesterségesen csökkentjük, vagy a szemlélés bázisát növeljük. Mindkét módszernek az a célja, hogy a parallaktikus szögek értéke növekedjen.

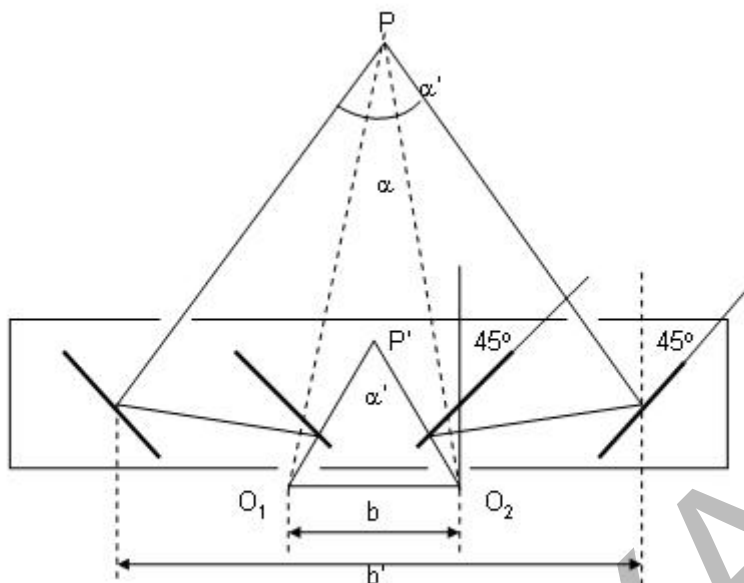
Nagyító vagy távcső használatakor az Y értéke csökken, mert nagyítással látszólag közelebb kerülnek hozzánk a tárgyak. A parallaktikus szög a nagyítás mértékével megnő ($\alpha'P > \alpha P$).



3. ábra Tér látás fokozása nagyítással

Mivel a tárgyak bázisirányú méretei változatlanok maradnak, a dY irányú méretei viszont csökkennek, ekkor az ún. kulisszahatással találkozunk, a tárgyak látszólag ellaposodnak. Ezt az elvet használjuk a később tárgyalandó lencsés sztereoszkópoknál.

A tér látás fokozásának másik lehetősége a bázis növelése, elvi megoldását a 4. ábra mutatja.



4. ábra A szembázis megnövelése tükrös berendezéssel

Ha a P pontot segédeszköz nélkül szemléljük, a szempár által bezárt szög α . A bázis irányára közel 45° -ban elhelyezett tükrökkel megnövelhetjük a szemlélesi bázist. A tükrökön keresztül nézve a tárgyat úgy látjuk, mintha a két szemünk a két külső tükrő helyén lenne. Következésképpen a P pontnál jelentkező parallaktikus szög a bázis növekedésével arányosan megnő, α' -re. Több pont szemlélésekor ugyanilyen mértékben növekszik a parallaktikus szögekülönbség is. Mivel a térbeliség érzete a távolság négyzetével arányosan nő, a pontok távolságkülönbsége a távolsággal lineárisan csökken, a tárgyak mélységkülönbségeit erősen kiemelten, mintegy túlplasztikával látjuk. Ezt az elvet alkalmazzuk az ugyancsak később tárgyalandó tükrös sztereoszkópoknál.

A nagyítás és a bázis együttes növelésével érhető el a legnagyobb térhatás. Ha a nagyítással egy v -szeres, a bázis növelésével egy m -szeres javítás érhető el, akkor a mélységkülönbségek megítélésében elért együttes javítás értéke $v \cdot m$. Ezt a szorzatot totális plasztikának nevezzük.

A MESTERSÉGES TÉRLÁTÁS

A mesterséges térbeli látásnál a természetes térlátásból levonható következtetéseket használjuk fel. Térbeli szemlélést tudunk elérni akkor is, ha a tárgyról egy bázis két végpontjáról fényképfelvételt készítünk és egy alkalmas készülékkel, sztereoszkóppal a bal szemünkkel a bal, jobb szemünkkel a jobb fényképet szemléljük. Mivel a felvételi álláspontok különbözőek, a felvételeken a szembázissal párhuzamos irányú parallaxisok vannak, melyek a szemünkben és agyunkban mélységérzetet keltenek.

Az agyunkban keletkező, ernyőn fel nem fogható térbeli képet virtuális térmodellnek, a jelenséget magát, pedig mesterséges térbeli (sztereoszkópikus) látásnak nevezzük.

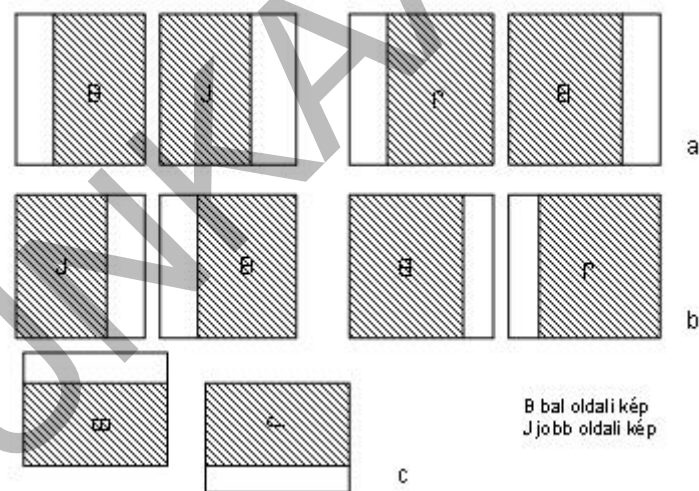
A mesterséges térbeli látás tehát abban különbözik a természetestől, hogy a két szem nem ugyanazt a tárgyat látja, hanem a róla készült két különböző képet.

A mesterséges sztereoszkópikus látás feltételei:

1. képpárt kell készíteni adott bázissal és adott átfedéssel,
2. szemlélésnél a bal képet bal szemmel, a jobb képet jobb szemmel kell nézni,
3. a képek relatív helyzete egyezzen meg a felvételkorival,
4. a szemlélési bázis párhuzamos legyen a felvételi bázissal,
5. a bázisviszony (b/Y) egyezzen meg a felvételi korival,
6. a szemlélési sugárnyaláb egybevágó legyen a felvételi korival,
7. az egymásnak megfelelő pontok között legyen bázisirányú parallaxis, mert ez a térlátás feltétele,
8. ne legyen haránt irányú parallaxis, mert az zavarja a térlátást.

Ha a két felvételt az előző feltételek szerint két szemmel nézzük, akkor előállíthatjuk a lefényképezett terep térbeli modelljét, azaz a terep kisebbített mását. A térbeli modell csak virtuális, amelyről azonban megfelelő berendezésekkel méreteket vehetünk le. A modell a terepnél annyszor kisebb, ahányszor rövidebb a szemlélési bázis a fényképezési bázisnál.

A térhatás a képek elhelyezésétől függ. Az 5. ábra a létrejöheto alapeseteket mutatja be.



5. ábra A térhatás alapesetei [3]

Ha a képek helyes elrendezésével keletkező térmodell megfelel a valóságos helyzetnek, ortoszkópikus hatásról beszélünk, ahol a magasságok és a mélységek a valóságnak megfelelően jelennek meg (5. a ábra).

Ha a képeket felcseréljük (5. b ábra), ellenkező hatás lép fel, a modellen a valóságban kiemelkedő tereprészek, tárgyak besüllyednek, a bemélyedők viszont kiemelkednek. Ezt a jelenséget pszeudoszkópikus hatásnak nevezzük.

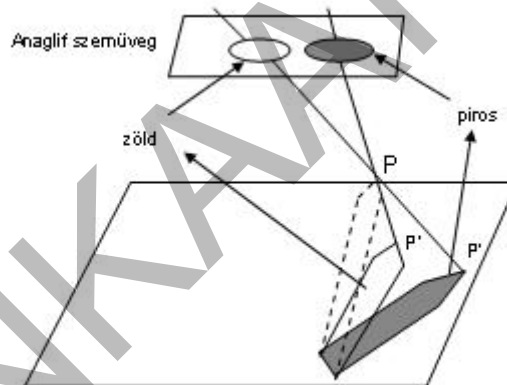
Ha a képeket 90°-kal elforgatjuk (5. c ábra), a térhatás nem jön létre, vagy megszűnik.

A SZTEREOSZKÓPIKUS LÁTÁS MÓDSZEREI, ESZKÖZEI

A két, különböző álláspontból készült képek alapján előállítható modell szemléléséhez viszonylag egyszerű eszközöket (sztereoszkóp) is használhatunk, de a komoly fotogrammetriai kiértékelő műszerekben egy összetett optikai rendszer, a szemlélőrendszer biztosítja a képek illetve a térmodell szemlélését. A digitális fotogrammetriában további lehetőségek vannak, ezeket is tárgyalni fogjuk. Az eszközök, műszerek segítségével a homológ sugarak a kép előtt, vagy a kép mögött metszik egymást, így létrejön a leképezett tárgy virtuális térbeli modellje, képe.

Anaglif eljárás

Legegyszerűbb segédeszköz a fényszűrős szemüveg, amely a színpáros eljárással, az ún. anaglif eljárással készített képpárok térhatású szemlélésére alkalmasak. Az anaglif eljárás azon a fénytani jelenségen alapul, hogy az egyes színeket az ugyanolyan színű fényszűrőn át nem látjuk. Anaglif eljárásnál a piros és zöld, vagy piros és kék színeket használjuk (6. ábra).



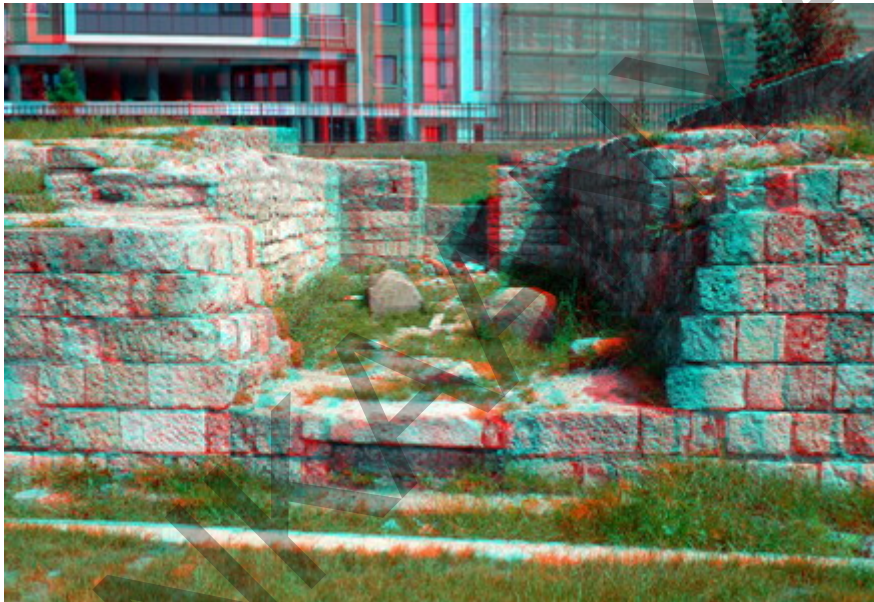
6. ábra Az anaglif eljárás elve

A piros fényszűrőn át nem látjuk a piros színű képet, a zöld szűrőn keresztül pedig a zöld színt nem érzékeljük. Ugyanakkor a piros szűrőn át a zöld, a zöld szűrőn át a piros színű kép szürkésfekete színben látszik. Ezt a jelenséget felhasználva a két különböző álláspontból készített képpár két képét a két különböző színben egymásra nyomtatják. Az ilyen képet a zöld és piros szemüvegen keresztül át szemlélve térhatású képet látunk, mert a piros színű kép csak az egyik, a zöld színű kép csak a másik szemünkkel látható.

Az ábra szerint a térhatás akkor jön létre, ha a zöld szűrőt a bal, a pirosat a jobb szemünk elé tarjuk. A P pont térbeli helyét a nyomtatott kép fölött látjuk, mégpedig a bal, illetve a jobb szemünkbe tartó sugarak metszéspontjában.

Az anaglif eljárás legnagyobb előnye az egyszerűsége. A térhatású szemlézés mindössze a színpáros szemüveget igényli. Tetszőleges méretű, egymásra nyomtatott képek tanulmányozására alkalmas.

Hátránya, hogy a térbeli szemléléshez színes képek nem használhatók, illetve a kép fényszegény, mivel a fényszűrős szemüveg a hasznos fény jelentős részét elnyeli. Nagy hátránya továbbá, hogy a nyomtatott képek alapján előállított térmodellen mérni nem lehet, csupán szemlélésre alkalmas. Ez utóbbin oly módon segítettek, hogy az anaglif eljárás vetítőberendezésekkel is megvalósítható. A két fekete fehér diapozitívet vörös és zöld szűrőn keresztül vetítik ki. A vetítési felületen megfelelő szemüveggel szemlélve sztereoszkópikus hatást érzünk. Ezen a modellen a pontok térbeli helyzet már mérhető ún. valós mérőjel segítségével. A digitális eljárásban is több olyan digitális fotogrammetriai szofver van, ahol a térmodell előállításához az anaglif eljárást alkalmazzák.



7. ábra Anaglif kép [4]

Lencsés sztereoszkóp

A térlátás fokozásának egyik módja, hogy nagyítással látszólag csökkentjük a szemlélt tárgyak távolságát. Ezen elven alapszik az egyik legegyszerűbb eszköz, a lencsés sztereoszkóp, vagy más néven zsebsztereoszkóp. Összecsukható lábakon álló kis keretből és benne a szembázisnak megfelelő távolságra elhelyezett két lencséből áll (8. ábra)

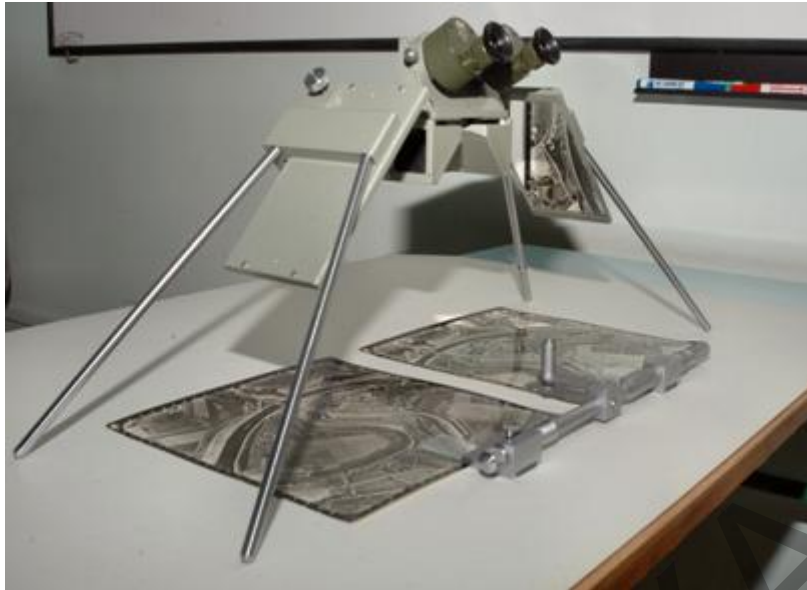


8. ábra Lencsés sztereoszkóp

Használatkor a keret alá helyezzük a képpár képeit, majd a lencséken át szemléljük őket. A képekről érkező és a lencséken áthaladó sugarak közel párhuzamosak, így azokhoz párhuzamosan néző szemekkel alkalmazkodhatunk. A nagyító miatt a néhány cm-re lévő képeket úgy látjuk, mintha azok kényelmes távolságra lennének. A bal oldali lencsén át csak a bal képet, a jobb oldali lencsén csak a jobb oldali képet látjuk. Hátránya, hogy csak kisméretű képek szemlélésére alkalmas. A képek szélessége nem haladhatja meg a szemtávolságot. További hátrány, hogy a modellen mérni nem tudunk, csupán szemlélésre alkalmas.

Tükrös sztereoszkóp

Nagyméretű képek szemlélése tükrös sztereoszkópok alkalmazását igényli. Gyakori feladat a kiértékelések előtt a filmeknek (átvilágító asztalon) vagy kontakt másolatoknak a szemlélése. A képpár két képe a nagy mérete miatt (légifelvételeknél 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 (9. ábra).



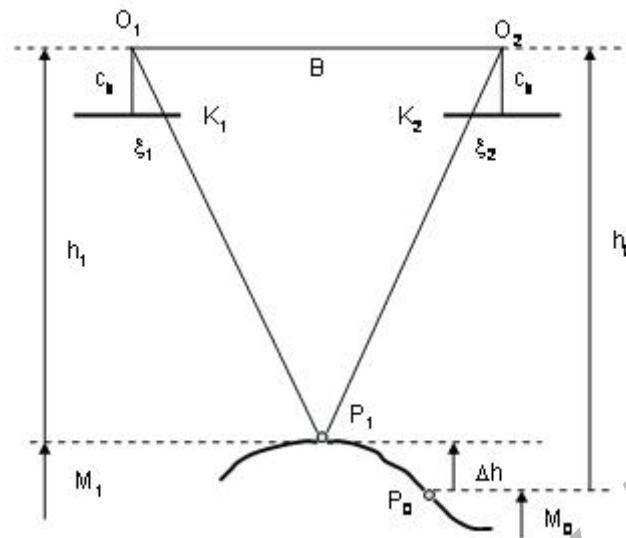
9. ábra Tükrös sztereoszkóp

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 (9. 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 tárgy pont vízszintes (x irányú, vagy bázisirányú) parallaxisainak különbsége (Δp_x) megmérhető, amiből viszont a két pont magasságkülönbsége számítható (10. ábra).



10. ábra Magasságkülönbség mérése

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).

Egyéb eszközök, módszerek

A hagyományos analóg és analitikus műszerekben a képek szemlélése egy speciális optikai rendszeren keresztül történik, ami biztosítja a mesterséges térlátás feltételeit.

A digitális fotogrammetriában, ahol a képeket monitoron jelenítjük meg, új módszerekre volt szükség. Ilyen az aktív vagy passzív polár szemlélés, a váltott képes vetítés, az osztott képernyős megjelenítés, a kétmonitoros rendszer. Az anaglif eljárás leírásnál már említettük, hogy ez a módszer a digitális fotogrammetriában is alkalmazást nyert, sőt ez a módszer itt már méréseket is lehetővé tesz.

A passzív **polarizációs eljárás**nál a két képet egymásra merőlegesen polarizált fényvel vetítjük ki a monitoron, s ennek megfelelő módon polarizált szemüveggel szemléljük. Mivel a polarizált fény egymásra merőleges síkokban kölcsönösen kioltja egymást, a bal szemmel csak a bal, jobb szemmel csak a jobb képet látjuk. Ez az eljárás színes képek sztereoszkópikus szemlélésére is alkalmas. A digitális fotogrammetriában gyakran alkalmazott módszer.

Ugyancsak a digitális fotogrammetriában alkalmazott módszer a **váltakozó vetítés** módszere. A két képet váltakozóan jelenítjük meg a képernyőn. A szemlélés egy olyan szemüveggel történik, amelyik folyadékkristály zárral van ellátva. A szinkronizálást a képernyő és a szemüveg között egy infravörös vezérlőegység biztosítja. A képek szétválasztása úgy történik, hogy amikor a képernyőn a bal kép képe van, akkor csak a bal lencsén keresztül látjuk a képet, és fordítva. A nagy képváltási frekvencia miatt a szabad szemmel egy „folyamatos”, az egymásra vetítés miatt életlen képet látunk. Hasonló elven működik az aktív polár szemlélés is, csak ehhez polár szemüvegre van szükség és a képeket polarizáljuk.

Az osztott képes megjelenítésnél a monitorra egymás mellé vetítjük ki a két képet. A modell szemléléséhez egy sztereoszkópot alkalmazunk (11. ábra).



11. ábra DVP munkaállomás, osztott képes vetítés

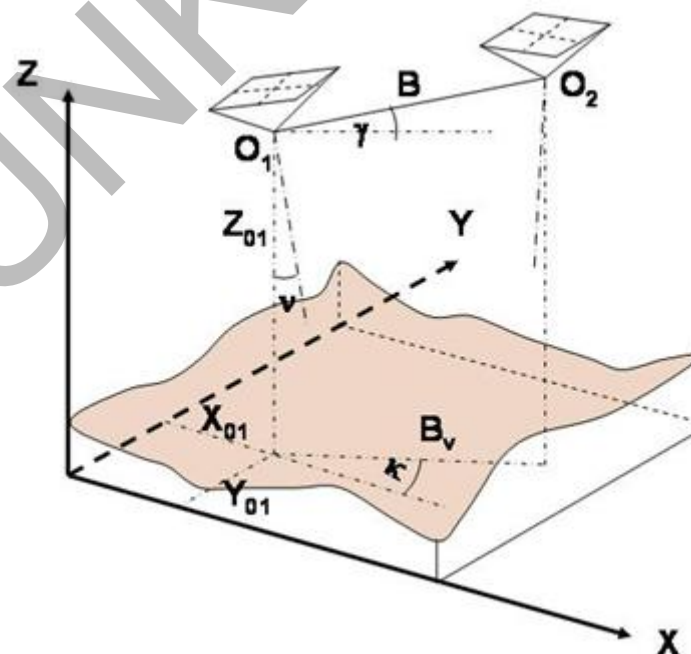
A kétmonitoros rendszerre egy sajátos megoldást mutat a 12. ábra, ahol a felső monitoron a képpár bal, alsó monitoron a képpár jobb képe van, ráadásul polarizálva. A két monitor között lévő speciális lemez (visszaverő és áteresztő) biztosítja, hogy a polarizált képek a kiértékelő szemébe eljussanak. A kiértékelő polár szemüveggel szemléli a képeket.



12. ábra DVP munkaállomás, kétmonitoros rendszer

TÉRFOTOGRAMMETRIA FOGALMA

A fotogrammetriai kiértékelések többsége a természetes igényeknek megfelelően háromdimenziós adatokat szolgáltat. A fotogrammetriának ezt az ágát térfotogrammetriának, vagy sztereofotogrammetriának, vagy modell fotogrammetriának nevezzük. A képpár és a terep kapcsolatát szemlélteti a 13. ábra.



13. ábra A képpár és a terep kapcsolata [5]

A kiértékelés alapját szolgáló térmodellt a két kép, képpár felhasználásával egy tájékozási folyamattal (belső és külső tájékozás) állítjuk elő.

A térfotogrammetriában a kiértékelési eljárásokat három fő csoportba soroljuk: analóg, analitikus és digitális eljárások.

Az analóg fotogrammetria a terepre vonatkozó ismeretekhez (térkép, koordináta) úgy jut el, hogy először előállítja a lefényképezett terep (tárgy) fizikai modelljét és a terepre vonatkozó mennyiségi adatait ezután e modell felhasználásával nyeri. Az így előállított modell a terep kicsinyített mása, hasonlója. Innen kapta az analóg elnevezést. Ha egy megfelelő pont (mérőjel) segítségével a térmodell valamennyi pontját felkeressük, a mérőjel térbeli helyzetét lemérhetjük, az útjának vízszintes vetületét egy alaplapon lerajzolhatjuk, akkor számszerű vagy grafikus adatokat nyerhetünk. Ez az eljárás a mai gyakorlatból már kiszorult.

Az analitikus fotogrammetria a terepet egy térbeli derékszögű koordináta-rendszerben elhelyezkedő pontok halmazának tekinti. A légifényképezéskor e rendszeren belül a légifényképező kamerák ugyancsak egy-egy önálló térbeli derékszögű koordináta-rendszerben a tereppontok képeinek egy-egy síkbeli halmazát állítják elő. A terep – fénykép – terepmodell rendszerben lévő geometriai kapcsolatot koordinátákkal, egyenletekkel írja le, a terepre vonatkozó ismeretekhez különböző matematikai kapcsolatok vizsgálatával jut. A képi és a terepi koordináta-rendszer kapcsolatát, ez alapján a terep térbeli képét az analitikus fotogrammetria matematikai összefüggésekkel, számításokkal fejezi ki. A modell létrehozása itt is egy tájékozási folyamat eredménye, de ez a tájékozás matematikai úton történik.

A digitális fotogrammetria az analitikus fotogrammetriától annyiban tér el, hogy a képek, amelyekről a térmodellt előállítjuk már digitálisak, maga a tájékozás és a mérés itt is matematikai úton történik. A digitális fotogrammetriában alkalmazott számítási módok hasonlóak az analitikus fotogrammetriában alkalmazottakhoz, de természetesen figyelembe veszi a különbözőségeket (pl. pixel koordináták).

A TÉRFOTOGRAMMETRIA ALAPFOGALMAI

A téma részletes tárgyalása előtt célszerű összefoglalni néhány alapfogalmat, ami ismerete nélkül nem lenne érthető az anyag [5].

1. **Alapsík:** egy önkényesen kiválasztott terepponton átmenő vízszintes sík (X, Y sík).
2. **Képsík:** a valódi képsík a mérőfénykép síkja, a geometriai képsík a geometriai összefüggések értelmezéséhez vagy megvalósításához felvett sík. A mérőfénykép kapcsán annak nevezetes pontjai közül ismerni kell az itt nem részletezett képközéppont, a horizontpont, a nadírpont és a szögtartó pont fogalmát. A pontos definíciókat a 009-es modul tartalmazza.
3. **Vetítési középpont:** geometriai fogalom, gyakorlatban a felvételi ponttal azonos.
4. **Képképző sugárnyaláb:** a képet létrehozó, a terep pontjait a képsíkra vetítő fénysugarak összessége.

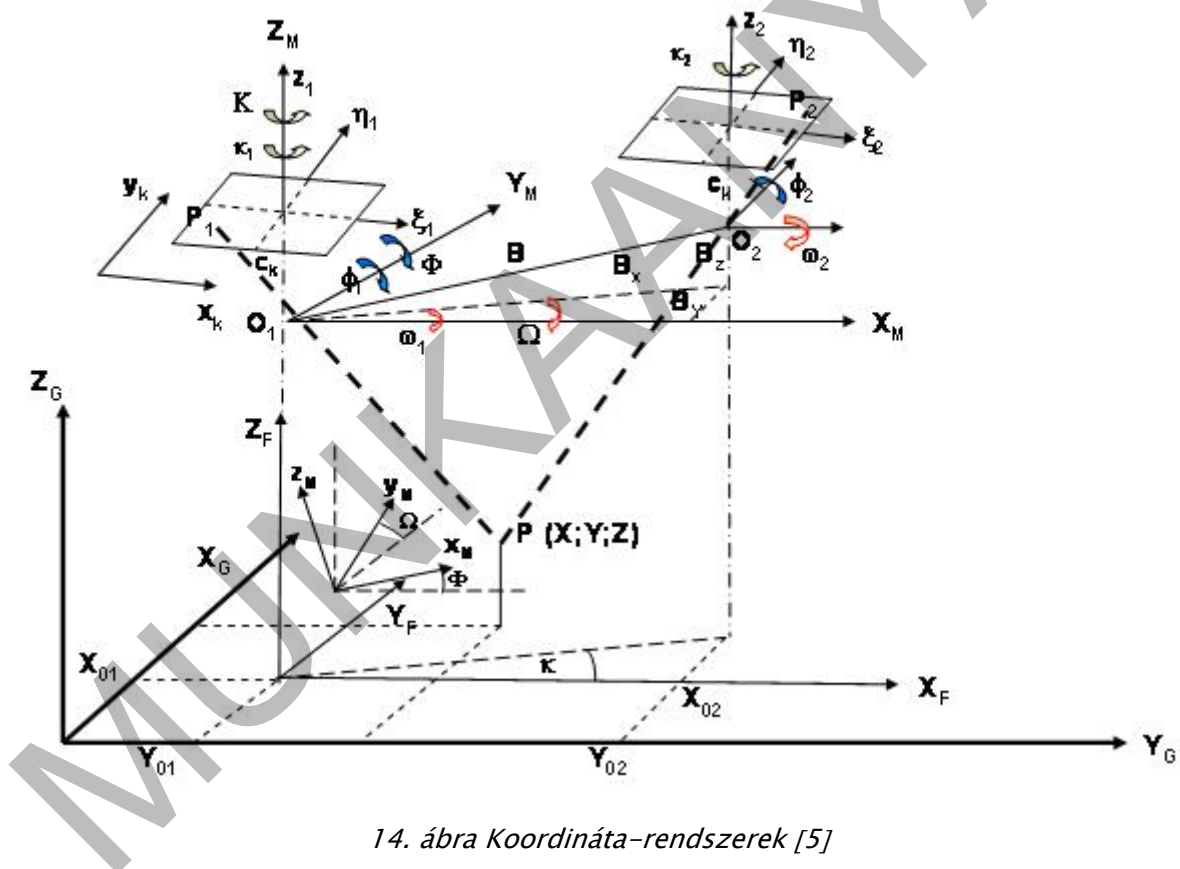
5. **Kameratengely (főszugár):** a képsíkra merőleges, a vetítési középponton átmenő egyenes. A kameratengely dőléspontja a képsíkon a főpont. A légifelvételek esetében a kameratengely függőlegessel bezárt szögét nadírszögnek (ν) nevezzük. A nadírszög alapján a felvételeket függőleges tengelyű, vagy nadírfelvételeknek ($\nu=0^\circ$), vagy közel függőleges tengelyű felvételeknek ($\nu \leq 4^\circ$) nevezzük. Az ennél nagyobb dőlésszögű (ferdetengelyű, perspektív) felvételek kiértékelése nehézkes.
6. **Repülési magasság:** megkülönböztetünk terepszint feletti repülési magasságot (h_r relatív repülési magasság) és tengerszint feletti repülési magasságot (h_a abszolút repülési magasság).
7. **Belső tájékozási adatok:** a vetítési középpont relatív helyzetét határozzák meg a képsíkhöz képest. A három koordinátát a képkoordináta-rendszerben adjuk meg. A c_k a kameraállandó, az ξ_0 és η_0 a főpont képsíkbeli koordinátája. Igazított, kalibrált kamera esetén a ξ_0 és η_0 értéke néhány mikrométer (μm).
8. **Külső tájékozási adatok:** 6 független adat segítségével a képalkotó sugárnyaláb, illetve a képkoordináta-rendszer relatív helyzetét határozzák meg a térben, a tárgy koordináta-rendszerhez viszonyítva. A X_0 , Y_0 és Z_0 koordináták a vetítési középpont koordinátái, a κ a képsík elfordulási szöge, a φ és ω szögek a képsíknak a vízszintes síkkal bezárt szögei x és y irányban. A φ és ω szögek a kameratengely dőlésszögének, a nadírszögnek (ν) a kétirányú komponense.
9. **Képpár:** az a két kép, amely közös területet, közös részletpontokat tartalmaz.
10. **Fényképezési bázis (B):** a két felvételi álláspont (vetítési középpontok) távolsága, ami tulajdonképpen egy térbeli egyenes. A B térbeli bázist három, a koordináta tengelyekkel párhuzamos komponensre bontjuk: B_x , B_y és B_z . A ideális felvételpárnál a B_y és B_z komponensek értékei a lehető legkisebbek. Ekkor $B \approx B_x$.
11. **Képi bázis:** a bal és a jobboldali képen leképződött nadírpontok közötti távolság a fénykép síkjában. Nadírfelvételek esetén megegyezik a képközéppontok, vagy főpontok távolságaival.
12. **Homológ sugárpár, homológ pontpár:** A képpár közös területén lévő valamennyi ponthoz két homológ vetítősugár (homológ sugárpár) és az ezeknek megfelelő P' és P'' egymásnak megfelelő, homológ pontpár tartozik a bal és a jobboldali képen. A hármas átfedési sávban lévő pontokhoz három homológ vetítősugár és három homológ pont tartozik.
13. **Soron belüli átfedések:** a képpár repülési tengellyel megegyező irányú közös képterülete.
14. **Hármas átfedési sáv:** a szomszédos modellek soron belüli közös fedőterülete. Az elnevezés abból adódik, hogy ez a közös terület három egymást követő képen is rajta van.
15. **Sorok közötti átfedés:** a képek repülési tengelyre merőleges irányú közös képterülete.

KOORDINÁTA RENDSZEREK ÉS TÁJÉKOZÁSI SZÖGEK

A képpárok tájékozásánál, mérésénél és a számításoknál a 14. ábra szerinti koordináta-rendszerekkel találkozunk.

A TÉRLÁTÁS ÉS A TÉRFOTOGRAMMETRIA ALAPJAI

$\xi', \eta', \xi'', \eta''$	a bal és jobb kép síkbeli képkoordináta-rendszere,
$x', y', z', x'', y'', z''$	a bal és jobb kép térbeli képkoordináta-rendszere,
x_k, y_k	komparátor (analitikus kiértékelő műszer) síkkoordináta-rendszere (műszer koordináta-rendszer),
x_M, y_M, z_M	modell koordináta-rendszer analitikus tájékozásnál,
X_M, Y_M, Z_M	műszer vagy modell koordináta-rendszer (relatív tájékozás után),
X_F, Y_F, Z_F	fotogrammetriai vagy tárgykoordináta-rendszer,
Y_G, X_G, Z_G	geodéziai (tárgy) koordináta-rendszer.



A 14. ábrán található további jelölések, melyekkel a tájékozások során találkozunk:

$\kappa', \varphi', \omega', \kappa'', \varphi'', \omega''$ a bal és jobb kép relatív tájékozási elemei. A κ a képek elfordulási szöge, a φ a kép y tengely körüli (x irányú) dőlésszöge, az ω a kép x tengely körüli (y irányú) dőlésszöge,

K, Φ, Ω	az abszolút tájékozás szögelemei. A K a modell elfordulási szöge, a Φ a modell y tengely körüli, az Ω az x tengely körüli döntési szöge,
$B (B_x, B_y, B_z)$	a felvételi bázis, illetve a bázis báziskomponensei,
O_1, O_2	vetítési középpontok,
P, P', P''	tereppont és annak képi megfelelői, a képpontok.

TÉRFOTOGRAMMETRIAI ALAPEGYENLETEK

A légifényképezés normál esetére felírható egyszerű összefüggéseket a térfotogrammetria alapegyenleteinek nevezzük. Ezek levezetés nélkül a következők:

$$B_x = \frac{h_r * p_x}{c_k} \text{ és } B_y = \frac{h_r * p_y}{c_k}$$

A képletekben szereplő B_x és B_y a felvételi bázis báziskomponensei, a c_k a kameraállandó, a h_r a relatív repülési magasság. A p_x bázisirányú parallaxis a P' és P'' pontok x tengellyel párhuzamos, ξ képkoordinátáinak különbsége: $p_x = \xi' - \xi''$. A p_y harántirányú parallaxis a P' és P'' pontok y tengellyel párhuzamos, η képkoordinátáinak különbsége: $p_y = \eta' - \eta''$.

Az alapképletekből levonható legfontosabb következtetések segíthetnek a tananyag további részeinek megértésében:

Egy képpár esetén a megfelelő irányú báziskomponens (B_x vagy B_y) és a kameraállandó szorzata konstans, ezért a különböző magasságú tereppontokhoz tartozó fényképezési magasság és a megfelelő irányú parallaxis (p_x vagy p_y) szorzata is állandó ($h_r * p_x = B_x * c_k = \text{állandó}$). Ebből adódik, hogy egy képpárnál az 1, 2, ..., n pontokban a $h_{r1} * p_{x1} = h_{r2} * p_{x2} = \dots = h_{rn} * p_{xn}$ szorzatok is állandók. Ugyanez felírható $B_y * c_k$ értékre is.

Az előzőből az is következik, hogy azonos magasságú pontokhoz azonos parallaxis értékek tartoznak: $\frac{B_x * c_k}{h_r} = p_{x1} = p_{x2} = \dots p_{xn}$

Miután a h_r/c_k a mérőfénykép méretarányyszáma, ezért a B_x és p_x alapján számítható a kép méretarányyszáma a P pontban:

$$m = \frac{B_x}{p_x} = \frac{B_y}{p_y}$$

A parallaxis értékek és a fényképezési magasságok fordítva arányosak egymáshoz:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{p_{x2}}{p_{x1}}$$

Nagyobb fényképezés magassághoz kisebb, kisebb fényképezési magassághoz nagyobb parallaxis tartozik. Geodéziai szempontból általánosan megfogalmazva mondhatjuk, hogy nagyobb terepi magassághoz nagyobb parallaxis és nagyobb képméretarány, kisebb magassághoz pedig kisebb parallaxis és kisebb képméretarány tartozik.

A TÉRMODELL ELŐÁLLÍTÁSA (TÁJÉKOZÁSOK)

A képpár közös területéről állítható elő a térmodell, vagy "sztereomodell".

A térmodell előállításának folyamatát tájékozásnak nevezzük.

A teljes tájékozás két fő lépésben történik:

1. Belső tájékozás: képenként a 3–3 belső tájékozási adat (c_k, ξ_0, η_0), összesen 6 adat meghatározása, egyben itt vehetjük figyelembe a filmtorzulást és az elrajzolást is,
2. Külső tájékozás: képenként 6–6 külső tájékozási adat ($X_0, Y_0, Z_0, \chi, \varphi, \omega$), összesen 12 adat meghatározása).

A külső tájékozás további két független művelettel végezhető el:

a, relatív tájékozás (5 tájékozási adat meghatározása),

b, abszolút tájékozás (7 tájékozási elem meghatározása).

A tulajdonképpen három lépésben történő teljes tájékozás egyes műveleteinek célja, feladata a következő:

1. A **belső tájékozás feladata** a képalkotó sugárnyalábok visszaállítása. A belső tájékozáshoz a mérőfényképek 3–3 belső tájékozási adatait használjuk fel. Feltételezve, hogy a képpár mindkét képe ugyanazzal a kamerával készült, így a belső adatai azonosak, tehát elegendő csak 3 belső adatot ismernünk. Ezt a három adatot a kamerák kalibrálási jegyzőkönyvei tartalmazzák.
2. A **relatív tájékozás feladata** a térmodell előállítása, a relatív tájékozási elemek meghatározásával. A relatív tájékozási elemek a két kép perspektív kapcsolatát teremtik meg, amelyhez 5 független állítási lehetőség szükséges.
3. Az **abszolút tájékozás feladata** a térmodell beillesztése a geodéziai rendszerbe. Ennél a műveletnél, a relatív tájékozással előállított térmodellt a térben elforgatjuk, eltoljuk, a térbeli bázis hosszát változtatjuk mindaddig, amíg az illesztőpontok modellről lemerő koordinátái az ismert terepi koordinátákkal meg nem egyeznek. Az abszolút tájékozás végrehajtása így közvetett módon, ismert koordináták alapján hajtható végre. Ha a külső tájékozás 12 adatából a relatív tájékozáskor 5 adat már ismertté vált, akkor az abszolút tájékozás elvégzéséhez további 7 független tájékozási elem ismeretére van szükség.

A tájékozás végrehajtása történhet analóg, analitikus és digitális eljárással, attól függően, hogy milyen térfotogrammetriai műszerünk van. A különböző megoldásoknál az egyes tájékozások feladatát az előzőeknél pontosabban kell meghatározni, mivel a megoldás módja alapvetően más. Az analóg eljárásnál, optikai eszközökkel fizikailag is létrehozuk a terep modelljét, míg az analitikus és digitális eljárásnál ez a modell egy matematikai számítások útján előállított modell. Ez természetesen nem zárja ki, hogy az így létrehozott modellt megfelelő műszer segítségével lássuk, azon méréseket végezhesünk.

A következőkben az analitikus tájékozásokat tárgyaljuk részletesebben, mert az analóg eljárásokat a mai gyakorlatban nem használjuk már, a digitális eljárások matematikai alapjai néhány minimális különbséggel megegyeznek az analitikus eljárás matematikai alapjaival.

BELSŐ TÁJÉKOZÁS

A belső tájékozás feladata a képalkotó sugárnyalábbal egybevágó sugárnyaláb visszaállítása. Az analitikus belső tájékozásnál ezt meg úgy oldjuk, hogy felírjuk a vetítősugarak matematikai egyenletét (a centrális vetítés alapegyenlete). Ehhez szükség a képi pontok képkoordinátáira. A képkoordinátákat a képen mért un. műszerkoordinátákból síkbeli transzformációval kapjuk, átszámítva a képkoordináta rendszerbe.

Az analitikus belső tájékozás matematikai modellje tehát egy síkbeli koordináta-transzformáció. A képsíkon a képkoordináta-rendszer síkrendszer, valamint az analitikus műszerek koordináta-rendszere is síkbeli koordináta-rendszer. A belső tájékozásnál alkalmazott transzformáció lehet Helmert vagy affin transzformáció:

Helmert transzformáció képletei:

$$\xi = a_0 + a * x - b * y$$

$$\eta = b_0 + b * x + a * y$$

affin transzformáció képletei:

$$\xi = a_0 + a_1 * x + a_2 * y$$

$$\eta = b_0 + b_1 * x + b_2 * y$$

A transzformációs együtthatók meghatározásához a képen mérjük a filmen leképződött optikai keretjelek műszerkoordinátáit. Mivel a kamerakalibrációs jegyzőkönyvből ismerjük az optikai keretjelek képkoordinátáit, azok biztos kapcsolatot jelentenek a két koordináta-rendszer között. Az optikai keretjeleket nagy pontossággal tudjuk irányozni, így a mért műszerkoordináták is – a műszer mérőképességétől függően – megfelelő pontosak.

A Helmert transzformáció 4 paraméterének meghatározásához minimálisan kettő, az affin transzformáció 6 paraméterének meghatározásához, pedig minimálisan három közös pontra van szükség. A 4 optikai keretjel ezeket a feltételeket is kielégíti.

Mint korábbi tanulmányokból ismert, a filmek jellemzően affin módon torzulnak, emiatt az analitikus belső tájékozáshoz az affin transzformációt használjuk.

A digitális fotogrammetriában is a belső tájékozás matematikai alapja az affin transzformáció. A különbség annyi, hogy az ún. pixel koordinátákat számítjuk át a képi koordináta rendszerbe.

KÜLSŐ TÁJÉKOZÁS

Az analitikus külső tájékozásra nagyon sok megoldás született. A megoldásoknak alapvetően két módszere van:

Ismert külső tájékozási elemek esetén mérjük a képpontok ξ' , η' és ξ'' , η'' képkoordinátáit, majd a P tárgypontra koordinátái viszonylag egyszerű képletekkel számíthatjuk.

Ismeretlen külső tájékozási elemek esetén illesztőpontok alapján keressük a külső tájékozási elemeket.

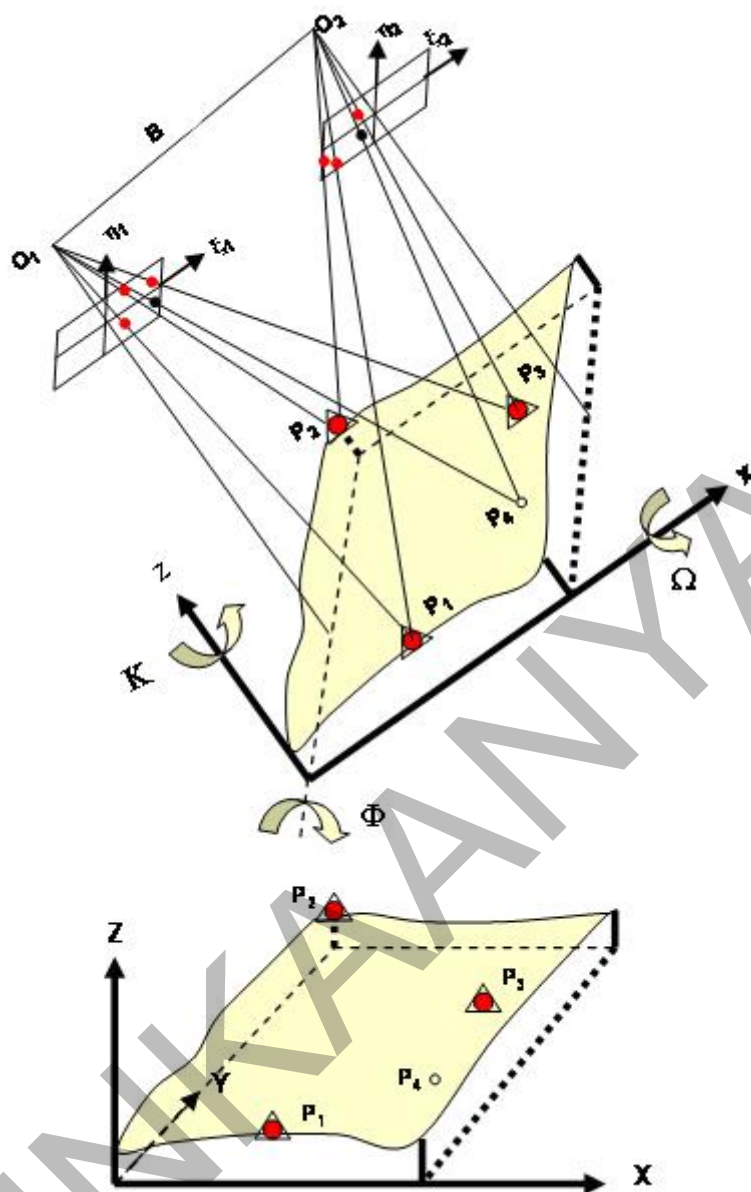
Ismeretlen külső tájékozási elemek esetén ugyancsak többféle megoldást ismerünk, de közös mindegyik megoldásnál, hogy a számítás matematikai alapja a centrális vetítés alapegyenlete. A centrális vetítés alapegyenletének függvényalakja a következő:

$$\xi_i = f(\xi_0, c_k, X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa, X_i, Y_i, Z_i)$$

$$\eta_i = f(\eta_0, c_k, X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa, X_i, Y_i, Z_i)$$

Megoldási módok [2]:

- A két kép tájékozása külön – külön (térbeli hátrametszés), amikor a 12 külső tájékozási elemet képenként, 3 térbeli illesztőpont alapján határozzuk meg. A további új pontok koordinátáinak számítása egy következő lépésben térbeli előmetszéssel történik.
- Két kép együttes tájékozása egy lépésben (kettős képkapcsolás), amikor az illesztőpontokra és az új pontokra egyszerre írjuk fel az alapegyenleteket. Eredményül a 12 külső tájékozási adatot és az új pontok térbeli koordinátáit kapjuk.
- Két kép együttes tájékozása két lépésben (15. ábra), amikor elsőként relatív tájékozással előállítjuk a térmodellt, majd a térmodellt abszolút tájékozással illesztjük be a geodéziai koordináta-rendszerbe.



15. ábra Külső tájékozás két lépésben

A gyakorlatban leginkább a második és a harmadik megoldás terjedt el. Könnyebb érthetősége miatt a két kép együttes tájékozását mutatjuk be két lépésben.

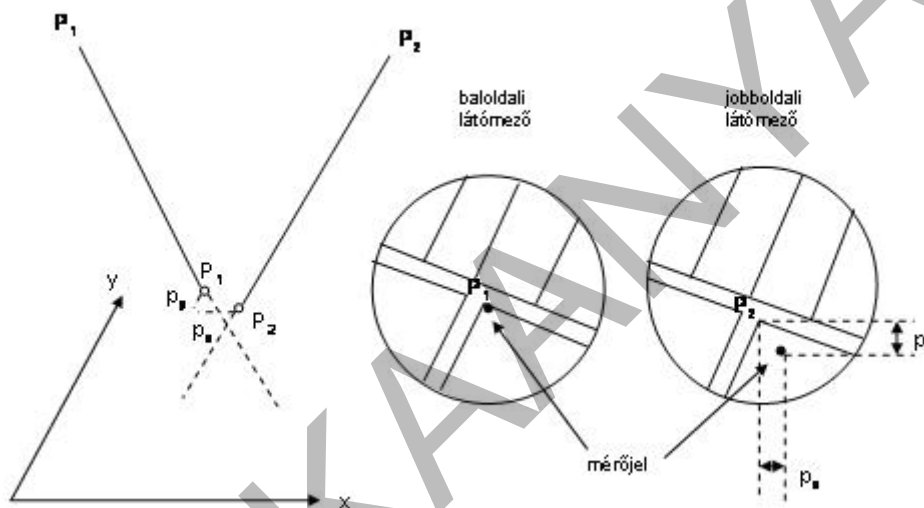
RELATÍV TÁJÉKOZÁS

Mielőtt a teljes tájékozás végrehajtását bemutatnánk, célszerű megvizsgálni, hogy a tájékozás során mit tapasztalunk a modell szemlélésekor, milyen pontokat használunk fel.

A térmodell akkor áll elő, amikor a két kép teljes közös területére teljesül a két sík perspektív helyzetére vonatkozó törvényszerűség, vagyis akkor, amikor valamennyi homológ pontpárból kiinduló vetítésugár egy közös modellpontban metszi egymást. Ennek a metszésnek az előállítása a relatív tájékozás feladata.

A sztereoszkópikus képpár térhatású képpé az emberi agyban egyesül. Az optikai binokuláris szemlélőrendszerrel ellátott műszereknél (analóg, analitikus) a képpár bal- és jobboldali képét a műszer optikája a bal, illetve a jobb szembe vezeti. A térhatású képen a mérés ún. mérőjelekkel (digitális fotogrammetriában kurzorral) történik. E mérőjelek térbeli helyzetét a modellek térbeli pontjaihoz viszonyítva változtatni lehet. Ha ezzel a térben mozgatott mérőjellel egy relatív tájékozott modellen pontraállást végzünk (vízszintes és magassági értelemben megirányozzuk a mérendő pontot), akkor a két mérőjel, a modellpontban egy pontban egyesül.

A még nem tájékozott képpár esetén azonban azt tapasztaljuk, hogy a két mérőjel a modellpontban egyetlen pontként nem állítható elő, mert ezek a vetítősugarak kitérő egyenesek (16. ábra).



16. ábra Kitérő vetítősugarak [5]

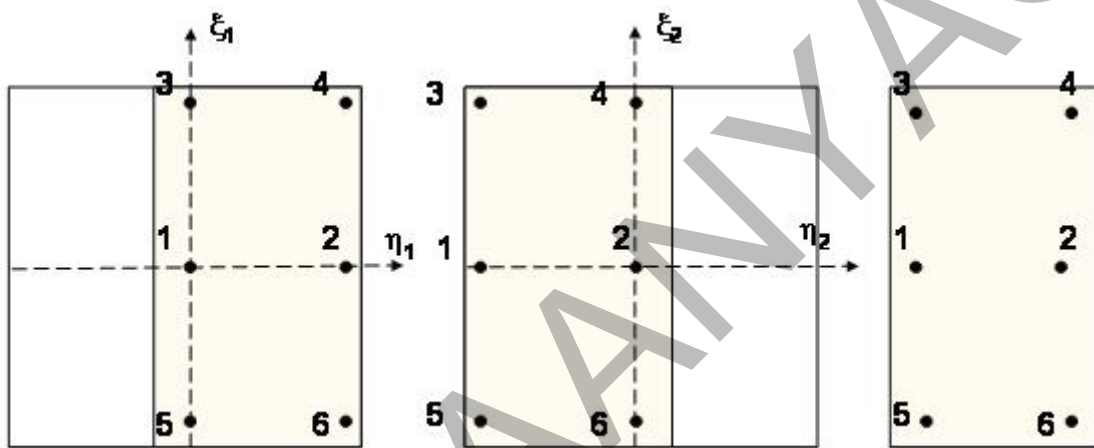
A kitérésnek van egy x és egy y irányú komponense, amit x vagy bázisirányú és y vagy haránt irányú parallaxisnak nevezünk.

A felfogó képernyő (modell sík) magasságának változtatásával azt tapasztaljuk, hogy a p_x bázisirányú parallaxis értéke nullára csökkenthető, azaz megszüntethető. Ez azt mutatja, hogy a bázisirányú parallaxis magasságkülönbségből ered. A modelleken meglévő magasságkülönbségek miatt természetesen az abszolút tájékozott modellen is lesz bázisirányú parallaxis, ami nem hiba, hiszen ez a méréshez használt mérőjel magasságának változtatásával kiküszöbölhető. A p_y harántparallaxis kiküszöbölése a relatív tájékozás feladata.

A képpár területén észlelt harántparallaxisok megszüntetéséhez a relatív tájékozási elemeket kell meghatározni:

- kölcsönös tájékozásnál: $\kappa_1, \kappa_2, \varphi_1, \varphi_2, d\omega$
- hozzátájékozásnál: $\kappa, \varphi, \omega, b_y, b_z$

A tájékozási elemek meghatározásához a modell területén olyan pontokat választunk ki, amelyeknél az egyes szögállítások hatásai kiszámíthatók, jól meghatározhatók. Ezeket a pontokat javítási helyeknek, vagy Gruber pontoknak nevezzük. Mint a 17. ábrán látható, a 6 Gruber pont a képeken a képkoordináta-rendszer tengelyein helyezkedik el. Az 1-es pont a bal kép középpontja, a 2-es pont a jobb kép középpontja. Ezek a pontok a képek ξ koordinátatengelyein vannak. A 3-as és 5-ös pont a bal kép, a 4-es és 6-os pont a jobb kép η koordinátatengelyén van. A képek jellemzően 60%-os átfedése miatt a pontok átazonosíthatók a jobb, illetve a bal képre. A pontok a képeken illetve a modellen tehát szabályosan helyezkednek el. Hangsúlyozni kell, hogy ezek a pontok nem illesztőpontok, hanem „csak” homológ pontpárok. A modellen a tájékozáskor a részletpontok közül választjuk ki az elméleti ponthelyek környezetében.



17. ábra Elméleti javítási helyek (Gruber pontok)

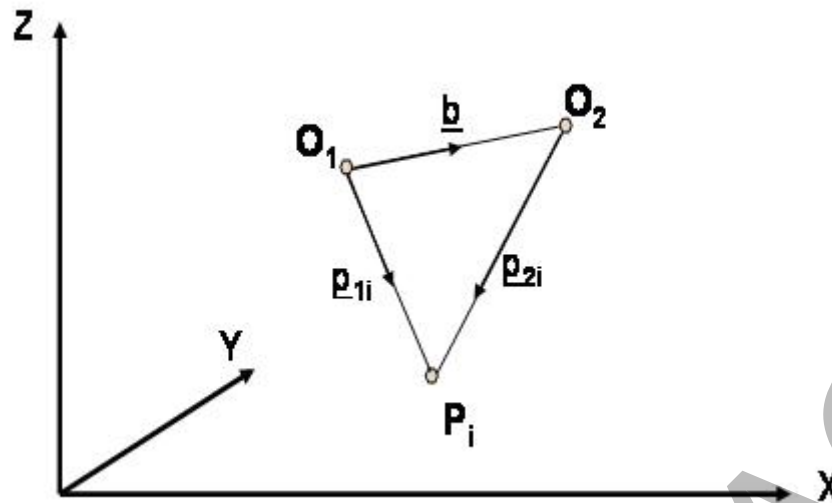
A relatív tájékozási elemek meghatározhatjuk

- a kölcsönös tájékozás feltételi egyenletének felírásával. A feltétel akkor teljesül, ha a képsíkban mért p_y parallaxis és a szögelemekből számított parallaxis-javítások összege nullával egyenlő:

$$p_y + \xi' * d\kappa' - \xi'' * d\kappa'' - (\xi' * \eta' / c\kappa') * d\varphi' + (\xi'' * \eta'') / c\kappa'' * d\varphi'' - c\kappa(1 + \eta''^2 / c\kappa^2) * d\omega = 0$$

Ha 5 pontra felírjuk, az egyenletrendszer megoldható, az öt szögelem kiszámítható. A feltételi egyenleteket hozzátájékozásra is felírhatjuk. Ötnél több pont esetében n a számítás kiegyenlítéssel történik, pontosabb eredményt kapunk, emellett ellenőrzési lehetőségünk is van.

- a komplanaritási feltételi egyenlet felhasználásával. Ennek lényege, hogy a homológ vetítősugarak metszését matematikailag úgy biztosíthatjuk, ha feltételként felírjuk, hogy a homológ sugárpárok (p_{1i} és p_{2i} vektorok) és a vetítési középpontokat összekötő térbeli bázis egy síkban legyenek (18. ábra).



18. ábra Általános metszési feltétel (komplanaritási feltétel)

ABSZOLÚT TÁJÉKOZÁS

Az abszolút tájékozás feladata a modell beillesztése a geodéziai koordináta rendszerbe. Az analitikus abszolút tájékozás ezt úgy oldja meg, hogy a mért pontok modellkoordinátáit áttranszformálja a geodéziai rendszerbe. A számítás matematikai modellje a térbeli hasonlósági transzformáció:

$$\begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_u \\ Y_u \\ Z_u \end{bmatrix} + m * R_{\Phi\Omega K} * \begin{bmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{bmatrix}$$

ahol:

X_G, Y_G, Z_G geodéziai vagy terepi koordináták,

X_u, Y_u, Z_u eltolás értékek, a modellkoordináta-rendszer kezdőpontjának koordinátái a terepi koordináta-rendszerben,

m méretarány-tényező,

$R_{\Phi\Omega K}$ forgatási mátrix,

Φ, Ω, K az abszolút tájékozás forgatási és döntési szögei,

X_M, Y_M, Z_M modellkoordináták.

A minimálisan szükséges illesztőpontok száma – hasonlóan az analóg tájékozáshoz – 2 vízszintes és 3 magassági, vagy 2 vízszintes és magassági, illetve 1 magassági pont.

A TÉRFOTOGRAMMETRIA MŰSZEREI

A térfotogrammetria műszereit a 006 modul tartalmazza részletesen, itt csak a teljesség igényével röviden megemlítjük, hiszen az előbb tárgyalt műveleteket (tájékozások) és a kiértékeléseket ezekkel hajtjuk végre.

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 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 kiértékelés analóg műszerek esetében is már számítógép segítségével történt.
- **analitikus műszereket** (analitikus mérőműszerek, analitikus térkiértékelő műszerek), amelyekkel a képpár egy-egy képéről nyert fényképi adatait (képkoordináták és parallaxisok), egy számítógép segítségével a terep matematikai modelljére vonatkozó térbeli adatokká dolgozzuk fel, és ez alapján nyerünk térképi vagy számszerű adatokat. Ebbe a csoportba tartozó műszer pl. a Leica SD2000 analitikus plotter (19. ábra)



19. ábra SD 2000 analitikus plotter

- **digitális műszereket** (digitális fotogrammetriai munkaállomások), amelyekkel a digitális képről mért pixelkoordináták alapján, számítógépes feldolgozással nyerjük a szükséges térbeli adatokat. Digitális fotogrammetriai munkaállomás látható a 11. és 12. ábrán.

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

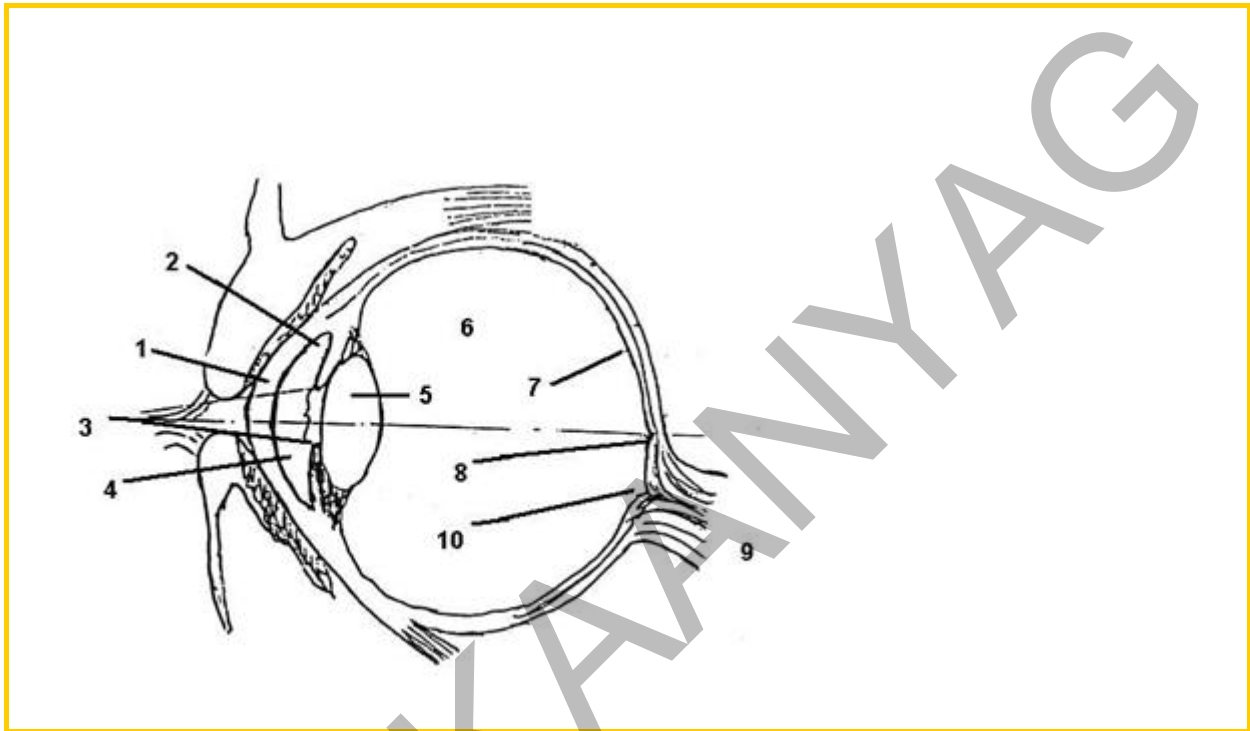
A térlátás és a tér-fotogrammetria alapjai témakör ismeretanyaga jóval meghaladja a modul lehetséges terjedelmét, emiatt mély és részletes kifejtésre nem volt lehetőség. A tanulás és megértés során ennél a modulnál is nagyon fontos, hogy csak akkor lépjen tovább, ha az adott fejezetet már megértette. A tanulását segítheti, ha a következő feladatokat végrehajtja:

1. Valamennyi ábrát önállóan rajzolja le, logikusan építse fel újra és értelmezze. Szükség esetén kérjen segítséget társaitól vagy tanárától.
2. Készítsen önállóan felvételpárt. Válasszon ki egy tárgyat (pl. egy szobrot, vagy épületet) és a saját fényképezőgépével készítsen úgy képeket, hogy azok a mesterséges térlátás feltételeit kielégítsék! Ha van rá lehetősége, a képek alapján sztereoszkóp segítségével próbáljon modellt létrehozni. Ha kell, kérje tanára segítségét.
3. Fontos, hogy a felsorolt szakirodalmakból, illetve internetes honlapokról további információkat gyűjtsön. Ezek lehetnek műszerképek, műszerleírások, de lehetnek az egyes témakörökkel részletesebben foglalkozó elméleti részek, leírások.
4. A teljes megértéshez szükség lenne az alapvető műszerek megismerésére, de ezek száma kevés. Ha van rá lehetősége, keressen fel olyan cégeket, oktatási intézményeket, akik rendelkeznek ilyen műszerekkel. Látogasson el diáktársaival tanára szervezésében és irányítása mellett egy olyan céghez, ahol foglalkoznak fotogrammetriai kiértékelésekkel, és rendelkezésre állnak az ehhez szükséges műszerek, eszközök, számítógépek és szoftverek. Figyelje meg az ott folyó munkát, készítsen jegyzeteket a látottakról, beszélgessen az alkalmazottakkal, majd válaszoljon a következő kérdésekre:
 - Milyen típusú felvételeket készítenek és értékelnek ki a cégnél?
 - Ortofotokópiával, vagy tér-fotogrammetriai kiértékelésekkel foglalkoznak-e a cégnél? Esetleg mindkettővel?
 - Milyen képzettségű szakembereket foglalkoztat a cég? Milyen gyakorlattal rendelkeznek?
 - Milyen a felszereltség, milyen erőforrásokkal rendelkezik a cég?
 - Kik a főbb megrendelők? Milyen célra kívánják hasznosítani az elkészített termékeket?

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

1. feladat

Írja a mellékelt képre a szem felépítését!



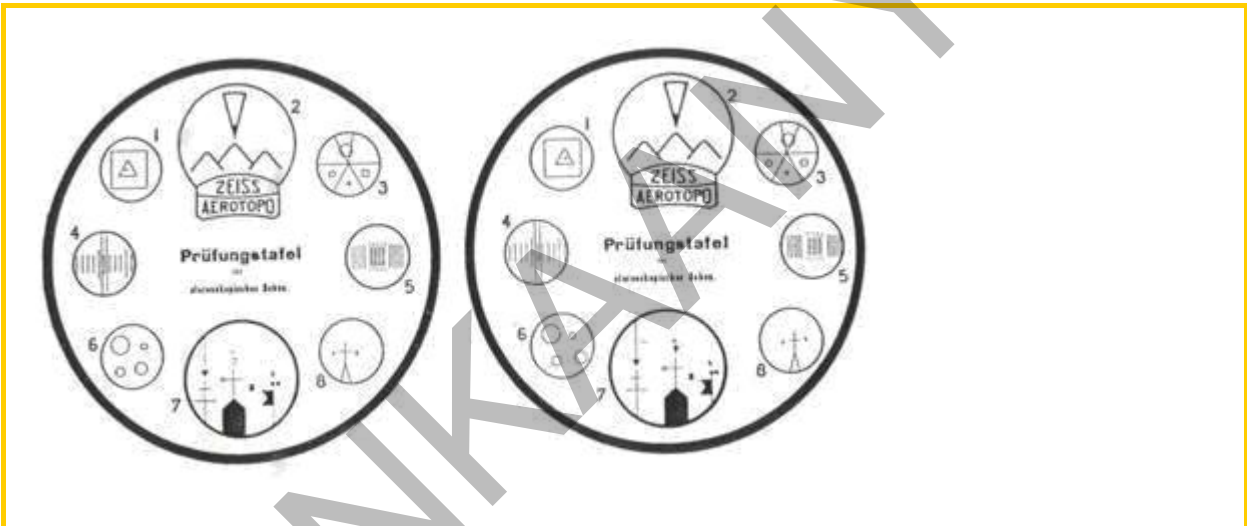
20. ábra

2. feladat

Sorolja fel a mesterséges térlátás feltételeit!

3. feladat

Amennyiben lehetősége van rá, egy lencsés sztereoszkóppal határozza meg a mellékelt képen az ábrák távolságait, kezdje a legközelebbivel! Úgy nyomtassa ki az ábrát, hogy a képen a kör átmérőjének 5,2 cm-nek kell lennie.



21. ábra

4. feladat

Sorolja fel, milyen koordináta rendszerekkel találkozunk térfotogrammetriai kiértékeléseknél, majd rajzolja le azok kapcsolatát!

A large rectangular area with a yellow border, containing ten horizontal lines for writing. The lines are evenly spaced and extend across the width of the rectangle.

MUNKANYAG

MEGOLDÁSOK

1. feladat

1. szaruhártya, 2. szivárványhártya (irisz), 3. pupilla, szembogár, 4. szemcsarnok, 5. szemlencse, 6. üvegtest, 7. ideghártya, retina, 8. központi gödör (sárgafolt), 9. látóideg, erek, 10. vakfolt.

2. feladat

A mesterséges sztereoszkópikus látás feltételei:

- képpárt kell készíteni adott bázissal és adott átfedéssel,
- szemlélnél a bal képet bal szemmel, a jobb képet jobb szemmel kell nézni,
- a képek relatív helyzete egyezzen meg a felvételkorival,
- a szemlélnélési bázis párhuzamos legyen a felvételi bázissal,
- a bázisviszony (b/Y) egyezzen meg a felvételkorival,
- a szemlélnélési sugárnyaláb egybevágó legyen a felvételkorival,
- az egymásnak megfelelő pontok között legyen bázisirányú parallaxis, mert ez a térlátás feltétele,
- ne legyen haránt irányú parallaxis, mert az zavarja a térlátást.

3. feladat

Sorrend: 7, 2, 4, 5, 1, 3, 6, 8

4. feladat

$\xi', \eta', \xi'', \eta''$	a bal és jobb kép síkbeli képkoordináta-rendszere,
$x', y', z', x'', y'', z''$	a bal és jobb kép térbeli képkoordináta-rendszere,
X_k, Y_k	komparátor (analitikus kiértékelő műszer) síkkoordináta-rendszere (műszer koordináta-rendszer),
X_M, Y_M, Z_M	modell koordináta-rendszer analitikus tájékozásnál,
X_M, Y_M, Z_M	műszer vagy modell koordináta-rendszer (relatív tájékozás után),
X_F, Y_F, Z_F	fotogrammetriai vagy tárgykoordináta-rendszer,
Y_G, X_G, Z_G	geodéziai (tárgy) koordináta-rendszer.

5. feladat

A teljes tájékozás két fő lépésben történik:

1. Belső tájékozás: képenként a 3–3 belső tájékozási adat (c_k, ξ_0, η_0), összesen 6 adat meghatározása, egyben itt vehetjük figyelembe a filmtorzulást és az elrajzolást is,
2. Külső tájékozás: képenként 6–6 külső tájékozási adat ($X_0, Y_0, Z_0, \chi, \varphi, \omega$), összesen 12 adat meghatározása).

A külső tájékozás további két független művelettel végezhető el:

a, relatív tájékozás (5 tájékozási adat meghatározása),

b, abszolút tájékozás (7 tájékozási elem meghatározása).

A tulajdonképpen három lépésben történő teljes tájékozás egyes műveleteinek célja, feladata a következő:

A **belső tájékozás feladata** a képalkotó sugárnyalábok visszaállítása. A belső tájékozáshoz a mérőfényképek 3–3 belső tájékozási adatait használjuk fel. Feltételezve, hogy a képpár mindkét képe ugyanazzal a kamerával készült, így a belső adatai azonosak, tehát elegendő csak 3 belső adatot ismernünk. Ezt a három adatot a kamerák kalibrálási jegyzőkönyvei tartalmazzák.

A **relatív tájékozás feladata** a térmodell előállítása, a relatív tájékozási elemek meghatározásával. A relatív tájékozási elemek a két kép perspektív kapcsolatát teremtik meg, amelyhez 5 független állítási lehetőség szükséges.

Az **abszolút tájékozás feladata** a térmodell beillesztése a geodéziai rendszerbe. Ennél a műveletnél, a relatív tájékozással előállított térmodellt a térben elforgatjuk, eltoljuk, a térbeli bázis hosszát változtatjuk mindaddig, amíg az illesztőpontok modellről lemerített koordinátái az ismert terepi koordinátákkal meg nem egyeznek. Az abszolút tájékozás végrehajtása így közvetett módon, ismert koordináták alapján hajtható végre. Ha a külső tájékozás 12 adatából a relatív tájékozáskor 5 adat már ismertté vált, akkor az abszolút tájékozás elvégzéséhez további 7 független tájékozási elem ismeretére van szükség.

IRODALOMJEGYZÉK

FELHASZNÁLT IRODALOM

Fister F. – Gerencsér M. – Végső F.: Fotogrammetria I., EFE FFK, Székesfehérvár, 1984.

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

Engler P.: Fotogrammetria I., FVM VKSZI, Budapest, 2007.

[jwww.varak3D.hu/amfiteatrum](http://www.varak3D.hu/amfiteatrum) (2010. június 28.)

Majoros G.: Fotogrammetria II., EFE FFK, Székesfehérvár, 1991.

AJÁNLOTT IRODALOM

Internetes honlapok

MUNKANYAG

A(z) 2241-06 modul 010-es szakmai tankönyvi tartalomeleme felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

A szakképesítés OKJ azonosító száma:	A szakképesítés megnevezése
54 581 01 0100 51 02	Fotogrammetriai kiértékelő
54 581 01 0010 54 01	Földmérő és térinformatikai technikus
54 581 01 0010 54 02	Térképésztechnikus

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:
16 óra

MUNKANYELV

MUNKANYAG

A kiadvány az Új Magyarország Fejlesztési Terv
TÁMOP 2.2.1 08/1-2008-0002 „A képzés minőségének és tartalmának
fejlesztése” keretében készült.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap
társfinanszírozásával valósul meg.

Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet

1085 Budapest, Baross u. 52.

Telefon: (1) 210-1065, Fax: (1) 210-1063

Felelős kiadó:

Nagy László főigazgató