

# **Fotogrammetria 14.**

**Általános fotogrammetriai technológia**

**Dr. Engler, Péter**

---

# Fotogrammetria 14.: Általános fotogrammetriai technológia

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

Az eddigi tanulmányok alapján a fotogrammetria feladatát általánosan úgy fogalmazhatjuk meg, hogy ez az adatnyerés (információgyűjtés), feldolgozás, tárolás és adatszolgáltatás egyik speciális változata. Jellemző rá, hogy a tárgyak vagy jelenségek vizsgálatához szükséges információkat analóg (fénykép) vagy digitális képen rögzíti, majd az információk átalakításával, kiemelésével (kiértékelésével) a fotogrammetria olyan analóg, analitikus, vagy digitális termékeket szolgáltat, amelyek segítségével az eredeti objektumra vonatunk le megfelelő következtetéseket. A fotogrammetria elsősorban a térképészeti (topográfiai) felmérések, a pontsűrítési feladatok megoldását szolgálja. Ezért mondjuk, hogy a fotogrammetria fő feladatai a részletkiértékelés, térképezés és a pontsűrítés. Ezek mellett természetesen további, speciális alkalmazások is vannak.

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

---

# Tartalom

14. Általános fotogrammetriai technológia .....	1
1. 14.1 Bevezetés .....	1
2. 14.2 Az általános fotogrammetriai technológia lépései .....	1
2.1. 14.2.1 Műszaki terv készítése .....	2
2.2. 14.2.2 Technológiai utasítás készítése .....	3
2.3. 14.2.3 Repülési terv készítése .....	3
2.4. 14.2.4 Geodéziai előkészítés .....	3
2.5. 14.2.5 Légifényképek elkészítése .....	4
2.6. 14.2.6 Laboratóriumi munkák .....	5
2.7. 14.2.7 Műszaki előkészítés .....	6
2.8. 14.2.8 Illesztőpontmérés .....	6
2.8.1. 14.2.8.1 A légháromszögelés illesztőpont igénye .....	7
2.8.2. 14.2.8.2 A kiértékelések illesztőpont igénye .....	8
2.9. 14.2.9 Légifényképminősítés .....	9
2.10. 14.2.10 Légháromszögelés (fotogrammetriai pontsűrítés) .....	9
2.11. 14.2.11 Fotogrammetriai térképkészítés .....	10
2.12. 14.2.12 Másolatok készítése .....	12
2.13. 14.2.13 Kiegészítő, ellenőrző mérések .....	12
2.14. 14.2.14 Térképezés .....	13
2.15. 14.2.15 Befejező munkák, tisztázati rajz készítése .....	13
3. 14.3 Összegzés .....	13

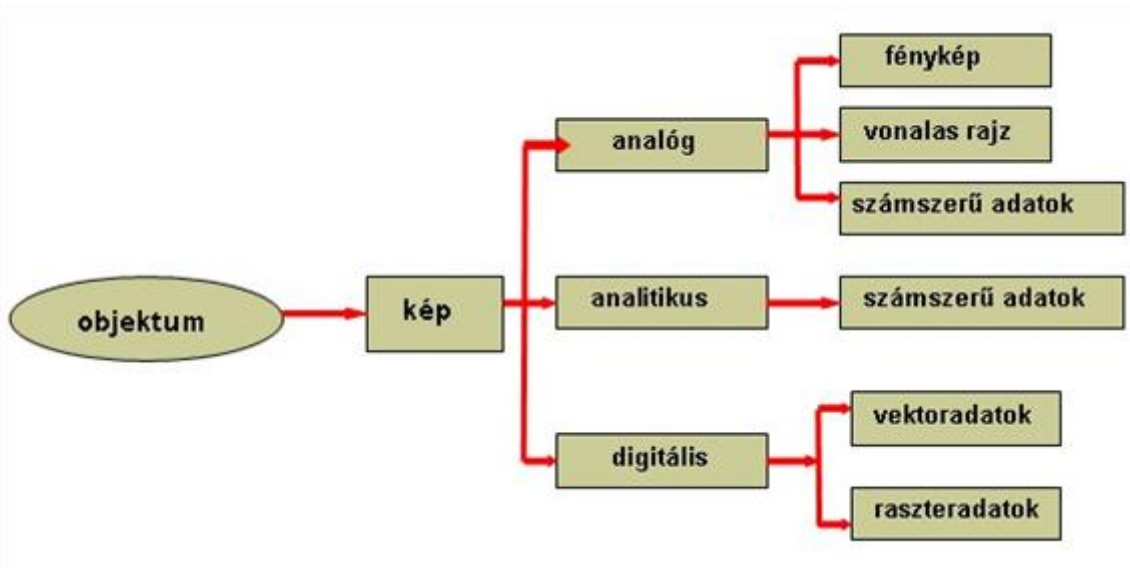


---

# 14. fejezet - Általános fotogrammetriai technológia

## 1. 14.1 Bevezetés

Az eddigi tanulmányok alapján a fotogrammetria feladatát általánosan úgy fogalmazhatjuk meg, hogy ez az adatnyerés (információgyűjtés), feldolgozás, tárolás és adatszolgáltatás egyik speciális változata. Jellemző rá, hogy a tárgyak vagy jelenségek vizsgálatához szükséges információkat analóg (fénykép) vagy digitális képen rögzíti, majd az információk átalakításával, kiemelésével (kiértékelésével) a fotogrammetria olyan analóg, analitikus, vagy digitális termékeket szolgáltat, amelyek segítségével az eredeti objektumról kaphatunk metrikus információkat, vonhatunk le további minőségi információkat, következtetéseket. Ezt az egyszerűnek tűnő folyamatot mutatja be a 14-1. ábra.



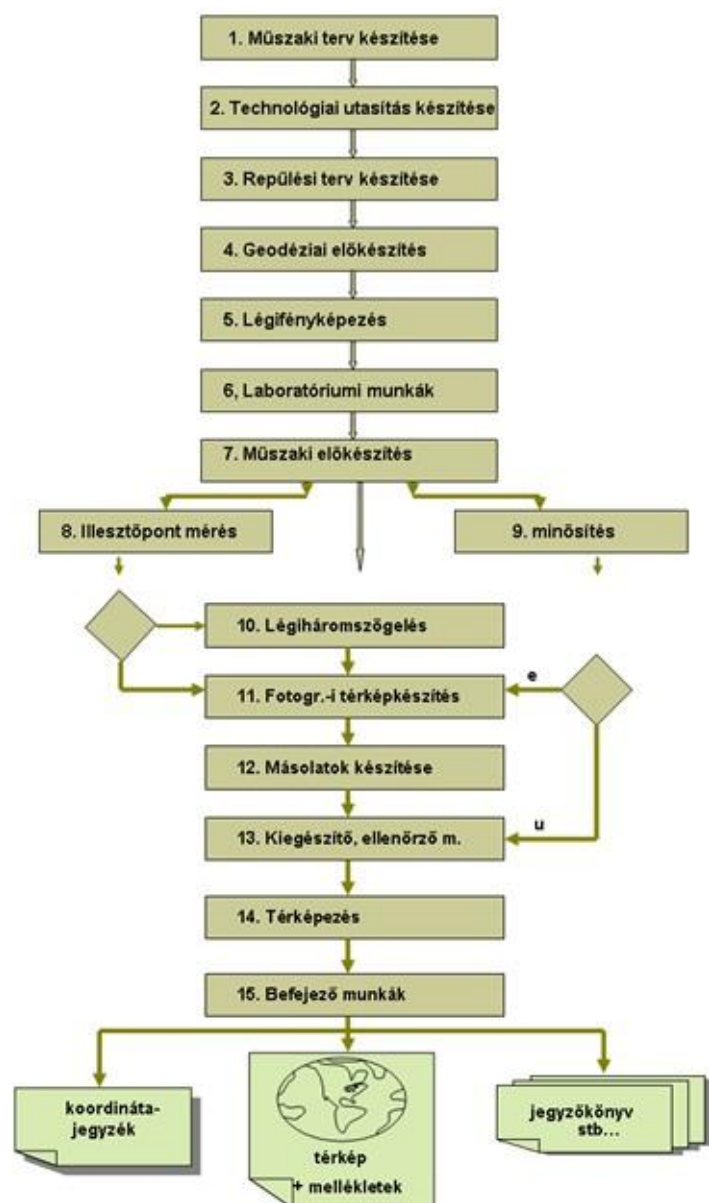
14-1. ábra Az objektumtól az adatokig

A fotogrammetria elsősorban a térképészeti (topográfiai) felmérések, a pontsűrítési feladatok megoldását szolgálja. Ezért mondjuk, hogy **a fotogrammetria fő feladata a részletkiértékelés, térképezés és a pontsűrítés**. Emellett természetesen további, speciális alkalmazási területei is vannak.

A fotogrammetria természetesen több más szakterület igényeit ki tudja elégíteni. A vizsgált tárgyak, a fotogrammetriai termékeket hasznosító tudomány illetve szakterület alapján megkülönböztethetünk mérnöki, építészeti, ipari, erdészeti, régészeti, stb. fotogrammetriát. A fotogrammetria nem térképészeti célú felhasználása szűkebb, speciális ismeretek meglétét is igényli. Ugyanakkor hangsúlyozni kell, hogy a tantárgy keretein belül megismert műszerek és eljárások a legtöbb, nem térképezési feladat megoldására is alkalmasak. A fotogrammetria nem térképezési célú felhasználását, speciális alkalmazási területeit a 15. modul foglalja össze.

## 2. 14.2 Az általános fotogrammetriai technológia lépései

A fotogrammetria eljárások minden esetben a térképkészítés teljes technológiai folyamatának részét képezik. Az általános fotogrammetriai térképkészítési technológia az alábbi munkafázisokat tartalmazza:



14-2. ábra Általános fotogrammetriai technológia lépései

A munkafázisokban az egyes szaktárgyak szerepét és helyét is megítélhetjük. Valamennyi szervesen illeszkedik, kapcsolódik egymáshoz, a legkedvezőbb technológiai eljárás kialakítása érdekében. Ilyen értelemben mindig gondosan mérlegelni kell, hogy egy adott feladatnál mely műveletek, mérési eljárások milyen súllyal szerepeljenek. Az egyes fotogrammetriai feladatoknál az általános technológia több lépése is kimaradhat, de lehet olyan speciális lépés is, amelyet felsorolásunk nem tartalmaz.

A munkafázisokból az is látható, hogy a fotogrammetriai munkák több-kevesebb terepi előkészítő és befejező munkát igényelnek. Ezt figyelembe véve, tiszta fotogrammetriai eljárásról nem beszélhetünk, csak a fotogrammetriai munkafázisok számarányáról a teljes térképezési munkában.

## 2.1. 14.2.1 Műszaki terv készítése

Egy adott térképezési feladat megoldása a munka műszaki tervének elkészítésével kezdődik. A műszaki terv elkészítésekor figyelembe kell venni a **megrendelésben**, vagy pályázati kiírásban rögzített igényeket: pl. a térképezendő terület nagyságát, a készítendő térkép méretarányát, vetületi rendszerét, síkrajzi és domborzati tartalmát (pl. alapszint, alapszintköz), a felhasználandó jelkulcsot, pontossági előírásokat, a térkép kivitelezésének módját. Fontos szempont még a meghatározandó, új pontok mennyisége, a munka elkészítésének határideje, stb.

A műszaki terv elkészítése előtt **adatgyűjtést** kell végezni, amelynél be kell szerezni a munkaterületen rendelkezésre álló geodéziai (vízszintes és magassági) alappontokat, meglévő térképeket, légifényképeket, a térkép tartalmától függő egyéb adatokat (pl. út- és vízügyi adatok).

A műszaki terv a megrendelésből és az adatgyűjtésből kiindulva rögzíti:

- a feladatot (a megrendelés rövid összefoglalásával),
- a kiinduló helyzetet (az adatgyűjtés eredménye),
- a megoldás módját (technológiai rész),
- a kalkulált árakat,
- a leszállítandó munkarészeket,
- a határidőt.

## 2.2. 14.2.2 Technológiai utasítás készítése

A technológiai utasítás a műszaki terv jóváhagyása után készül. A műszaki tervből kiindulva részletesen tartalmazza a részfeladatokat, azok végrehajtásáért felelősöket (vagy felelős részleget), az alkalmazandó technológiát, részhatáridőket. Ilyen részfeladatok lehetnek a **geodéziai** előkészítési munkák (pontosítási, jelölési, illesztőpont mérési feladatok), légifényképezési feladatok, **fotogrammetriai** munkák (légiháromszögelés, fotogrammetriai térképkészítés), **terepi felmérési** munkák (helyszínelés, kiegészítő és ellenőrző mérések), **kartográfiai** feladatok.

## 2.3. 14.2.3 Repülési terv készítése

A repülési tervet a 7. modulban leírtak szerint kell elkészíteni, figyelembe véve a műszaki tervben és a technológiai utasításban leírtakat. El kell készíteni az előírt formai és tartalmi követelményeknek megfelelően a repülési terv munkarészeit. A légifényképezés műszaki paramétereit (képméretarány, képméret és kameraállandó, relatív és abszolút repülési magasság, soron belüli és sorok közötti átfedés, filmanyag, kamerahordozó, stb.) úgy kell megválasztani, hogy az előírt pontossági követelményeket lehetőség szerint optimális gazdaságossági jellemzők mellett lehessen elérni. A mai gyakorlatban, a GPS-sel navigált, vezérelt légifényképezésnél a repülési tervben koordinátával megadjuk a felvételi helyeket. A légifényképezési feladatok végrehajtását az évszakokhoz (lombtalan és lombos repülések), illetve a feladat jellegéhez igazodóan kell megtervezni. Térképezési célú feladatoknál célszerű a lombtalan időszak, mert kisebb a takarás, ebből adódóan kevesebb lesz a kiegészítő mérés.

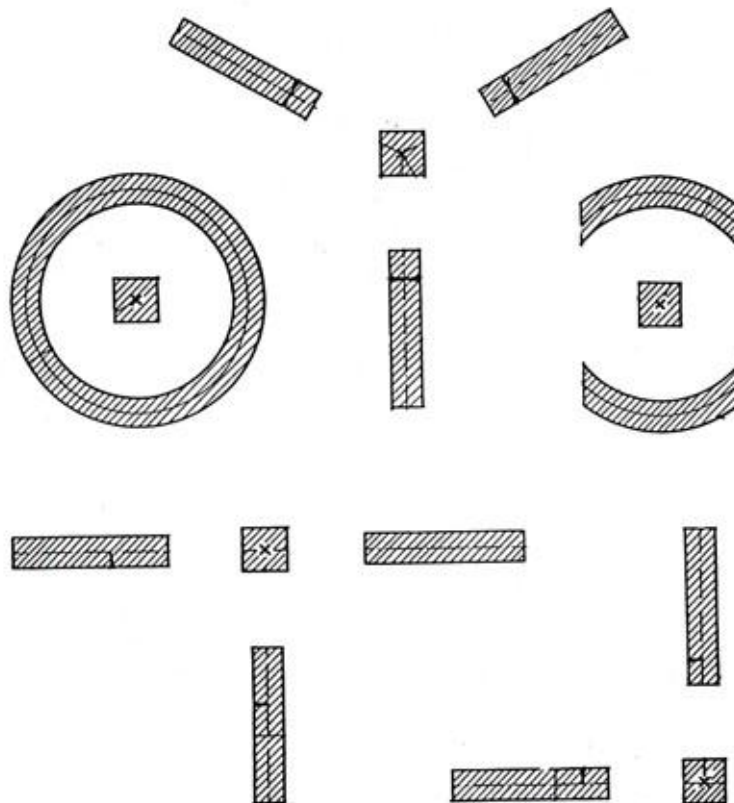
Ha ugyanarra a területre két vagy több, különböző méretarányú légifényképezést tervezünk, akkor méretarányonként külön repülési tervet kell készíteni. A repülési terv készítését - a szükséges paraméterek megadásával - ma már inkább a légifényképező repülést végző intézményekre, cégekre célszerű bízni azzal, hogy végrehajtás előtt jóváhagyásra és egyeztetésre a megrendelőnek be kell mutatniuk!

## 2.4. 14.2.4 Geodéziai előkészítés

A geodéziai előkészítés az adatgyűjtés, a technológiai utasítás és a repülési terv alapján, a munkaterületen végzett helyszíni geodéziai, jelölési munkákból áll, amelynek során

- meglévő alappontok felkeresését,
- a helyszínrajzi változások átvezetését,
- új tónusos helyszínrajtok elkészítését (ha szükséges),
- az új pontok (alap-, illesztő- és F-pontok) kitzését és állandósítását,
- a régi és az új pontok jelölését végzik el.

A geodéziai munkáknál a fotogrammetriai igényekből kell kiindulni. A területre vonatkozó pontigényt egy jelölési vázlat tartalmazza. Ilyen fotogrammetriai igények pl. a vízszintes és magassági illesztőpontok (jelölt pontok) helye, megbízhatósága, a jelölésnél alkalmazandó jelformák és jelméretük. Az új pontok állandósítását a geodéziai szabályzatok szerint kell elvégezni. Az előzetesen kiválasztott illesztőpontok, az ún. vakjelek állandósításához fakarót használnak. Az alappontok és vakjelek jelöléséhez használatos jeleket a 14-3. ábra mutatja.



14-3. ábra Pontjelölések [3]

A jelek méretei a képméretarány függvényében változnak, azok pontos értékeit a ma még érvényben lévő L. 1 szabályzat tartalmazza. Ma már egyre ritkább az előrejelölés alkalmazása, sok esetben utólagosan kiválasztott fénykép-terep azonos pontok meghatározásával biztosítják a szükséges illesztőpontokat. Ezzel a módszerrel nemcsak a jelölés költségei, hanem a légifényképezés végrehajtásáig végzendő jelkarbantartás költsége is megtakarítható. Az illesztőpontok előrejelölését ugyancsak el lehet hagyni abban az esetben, ha a légifényképezéssel egyidőben GPS-szel vagy inerciális navigációs rendszerrel meghatározzák a mérőfénykép külső adatait.

## 2.5. 14.2.5 Légifényképek elkészítése

E munkafázis alatt a légifényképező repülés végrehajtását, a filmre történő fényképezés esetén a légifényképek fotólaboratóriumi kidolgozását, a filanyag vizsgálatát és nyilvántartásba vételét értjük. Digitális fotogrammetriai kiértékelésnél ebbe a munkafázisba tartozik a filmek szkennelése, a digitális képek előállítás. Digitális kamera alkalmazásakor az előbbi feladatokat természetesen nem kell elvégezni, ugyanakkor szükség lehet a digitális képek előfeldolgozására (pl. kontrasztjavítás, mozaikolás).

Légifényképező repülést ma már Magyarországon több szervezet végez, így a honvédség, az Eurosense Kft. és a Telecopter Kft.. EU csatlakozásunkkal külföldi légifényképező cégek is végezhetnek légifényképezést a magyarországi előírások betartása mellett. A felvételek elkészítése és titokvédelmi szempontból történő átvizsgálása után célszerű a képanyagokat vizsgálni navigációs szempontból, fotográfiai szempontból (analóg képeknél) és felhasználói szempontból.

A filanyag navigációs vizsgálata kiterjed az oldaleltérésekre (a repülési tengelyre merőleges irányú eltérés), a soron belüli és a sorok közötti átfedésekre, a magassági eltérésekre, a képek elfordulására és a kameratengely



dőlésére. A mai korszerű légifényképezési technikák mellett (stabilizáló berendezés, GPS vezérlés, stb.) ezek a hibák minimálisak, jóval kisebbek, mint korábban, így könnyen tarthatók a navigációs normák, előírások. E mellett a navigációs ellenőrzés is jóval egyszerűbb - számítógéppel gyorsan és pontosan végrehajtható.

A filmek fotográfiai vizsgálatánál ellenőrizni kell a keretjelek és keretadatok leképeződését, a képességet (tereptárgyak leképeződése alapján), a kontrasztosságot, az esetleges vegyszerfoltokat. A fekete-fehér filmeknél a vizsgálat során ellenőrizni kell az ún. alapfátyolt, a maximális és a minimális feketedési értékeket, az árnyalati terjedelmet, majd ez alapján minősíthető a film az L. 1 szabályzatban megadottak szerint.

Színes filmek esetében a hívás előtt a filmre fényképezett szenzitometriai ékek mérésével a fotográfiai feldolgozás minősége, míg az egyes képek tartalmi minősége etalonként előre kiválasztott képek vizuális összehasonlításával ellenőrizendő.

A filmanyag vizsgálatához tartozik a megrendelő által elvégzett, felhasználói szempontból történő vizsgálat. Ennél a vizsgálatnál az anyag teljességét ellenőrzik, majd egyszerű eszközökkel (pl. tükrös sztereoszkóp) részletes vizsgálatot végeznek. Ezen vizsgálatok során ellenőrzik:

- a kamerakalibrálási bizonylat (mely két évnél nem lehet régebbi) meglétét;
- légifilmek minőségét tanúsító törzslapokat;
- légifényképezés előírt időpontjának betartását;
- képvándorlás megengedett értékének betartását;
- a képanyag pontos fedőterületét, hiányait,
- a pontjelek leképeződését,
- a fedett, takart területeket (lomb, felhő, árnyék szmog, köd, füst, árvíz stb.),
- az esetleges mechanikai sérüléseket,
- a képanyag metrikus tulajdonságát (a képméretek lemérésével).

A vizsgálatok eredményét jegyzőkönyvben kell rögzíteni.

A filmvizsgálatok elvégzése után a digitális fotogrammetriai kiértékeléshez a képeket digitális formában kell átadni a megrendelőnek. A képek szkennelését a megrendelő által előírt geometriai (adott pixelmérettel) és radiometriai felbontással, fotogrammetriai szkennerekkel kell elvégezni. A fotogrammetriai szkennerek a pixelek geometriai helyzetét is nagy pontossággal rögzítik.

## **2.6. 14.2.6 Laboratóriumi munkák**

A laboratóriumi munkák során, a filmvizsgálat eredménye alapján a további térképezési és nyilvántartási feladatokhoz szükséges fotótermékeket készítik el. Ilyen fotótermékek a kontakt-másolatok, diapozitív másolatok, másodnegatívak, fényképnagyítások. Ezek a fotótermékek a következő célokat szolgálják: illesztőpontmérés, légiháromszögelés, helyszíni minősítés, fotogrammetriai térképkészítés, kiegészítő és ellenőrző mérések, térképezés, befejező munkák, nyilvántartás.

A kontakt-másolatokat használhatjuk

- a jelölt pontok felkeresésére és feltüntetésére,
- az illesztőpontok helyének kiválasztására és ezek feltüntetésére,
- a légiháromszögelés megtervezésére, a pontok kiválasztására,
- a kiértékeléseknél a hasznos modellterületek kijelölésére, a tájékozás végrehajtására.

A kontakt másolatok elkészítéséhez ún. kontaktoló berendezéseket használnak.

A diapozitív másolatok, illetve másodnegatívok az eredeti negatív anyagról mérettartó filmre készített kontakt-másolatok, amelyek elkészítésére akkor van szükség, ha

- ki kell fedni a képekről bizonyos területeket,
- a kiértékelő műszer képmérete kisebb, mint az eredeti negatív,
- különleges pontossági igényeket támasztunk,
- a kiértékelési technológia megkívánja.

Elkészítésükhöz kontaktmásoló berendezéseket, átfényképező berendezéseket használhatunk.

A mérési és számítási munkákhoz közelítő méretarányú fényképnagyítások készülnek. Ezek a földi méréseknél mérési vázlatként, pontszámvázlatként, légiháromszögelésnél pontvázlatként, fotogrammetriai kiértékeléseknél, pedig mint előzetes minősítések kerülnek alkalmazásra. A fényképnagyításokat olyan tónus- és színárnyalatban készítik el, hogy azon egyezményes jelekkel, vékony vonalakkal kirajzolt részletek jól felismerhetők legyenek.

A nagyításokat nagyító berendezésekkel, vagy akár képátalakító műszerekkel készítik el.

Digitális fotogrammetriai eljárásnál a fenti munkálatok jelentős része ma már számítógép segítségével, színes nyomtatással történik.

## **2.7. 14.2.7 Műszaki előkészítés**

A műszaki előkészítés a fotogrammetriai munkák hatékony és megfelelő színvonalú végrehajtását szolgálják. Ez az előkészítés a megelőző munkafázisok adatainak és termékeinek birtokában, a soron következőmunkák konkrét feladatainak, eljárásainak végrehajtását segíti elő.

Ennél általában az alábbi feladatok elvégzésére kerül sor:

- az elkészült kontakt-másolatok alapján a fényképsorok összeállítása, a fedőterületek teljességének vizsgálata, az esetleg helyszíni méréssel felmérendő területek meghatározása,
- a légiháromszögelési sorok kijelölése, a mérendő modellek számának megállapítása,
- valamennyi jelölt pont felkeresése a negatív anyagon, a pontok bejelölése a kontakt-másolatokon,
- a mérendő vízszintes és magassági illesztőpontok helyének bejelölése a kontakt-másolatokra,
- a fotogrammetriai technológiai eljárás rögzítése (a munkaterületen belüli, eltérő technológiai megoldások érintett területeinek kijelölése, a kiegészítő és ellenőrző mérések célszerű helyének meghatározása, a fotogrammetriai kiértékeléshez szükséges alapanyagok, műszerek, eszközök és egyéb adatok meghatározása, stb.).

Digitális fotogrammetriai eljárások alkalmazása esetén ezen feladatok jelentős része könnyen, gyorsan és jól dokumentálhatóan elvégezhető számítógépek, fotogrammetriai munkaállomások segítségével.

## **2.8. 14.2.8 Illesztőpontmérés**

Az illesztőpontmérés a légiháromszögelési és a fotogrammetriai kiértékelési, térképkészítési munkákhoz szükséges vízszintes és magassági illesztőpontokat szolgáltatja.

Az illesztőpontmérés, ha légiháromszögelést nem végzünk, tisztán geodéziai pontmeghatározás. Légiháromszögelés esetén geodéziai és fotogrammetriai módszerrel vegyesen történik az illesztőpontok geodéziai koordinátáinak meghatározása. Ekkor a geodéziai pontmeghatározás csak a légiháromszögelési eljárások illesztőpont igényeit elégíti ki, ami jóval kevesebb terepi mérést jelent.

A meghatározandó illesztőpontokat a fényképsorok, illetve a modellek kiválasztása után jelölik ki, főként a geodéziai előkészítés során már jelölt pontok (állandósított pontok, vakpontok) közül.

Az illesztőpontméréshez ismerni kell a különböző légháromszögelési eljárások és a fotogrammetriai kiértékelések illesztőpont igényeit.

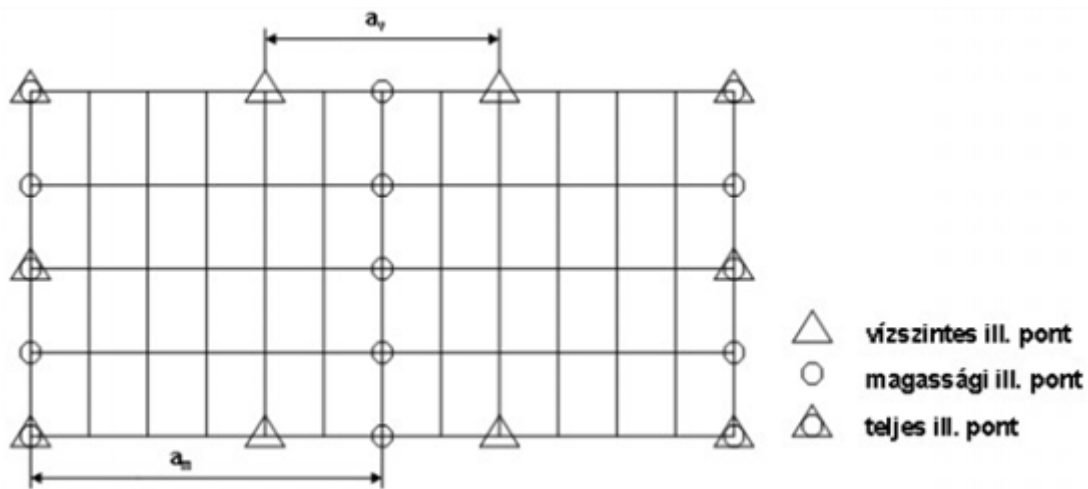
A fotogrammetria pontsűrítő eljárásaival ebben a modulban nem foglalkozunk részletesen, csupán kiemeljük azokat a részeket, amelyek a megértéshez szükségesek.

### 2.8.1. 14.2.8.1 A légháromszögelés illesztőpont igénye

A légháromszögelési eljárások illesztőpontjainak meghatározása jellemzően geodéziai feladat, speciális esetben lehet fotogrammetriai módszer is:

- geodéziai módszerek (pontkapcsolások, GPS, stb.) a tömb- és sorháromszögelésnél,
- fotogrammetriai módszerek (sor- vagy tömbháromszögelés) modellen belüli pontsűrítéshez.

a, A **légháromszögelési tömbök** elvi illesztőpont igényét a 14-4. ábrán bemutatott sémával adhatjuk meg, amely egy négyesoros (soronként 12 modelles) tömböt ábrázol.

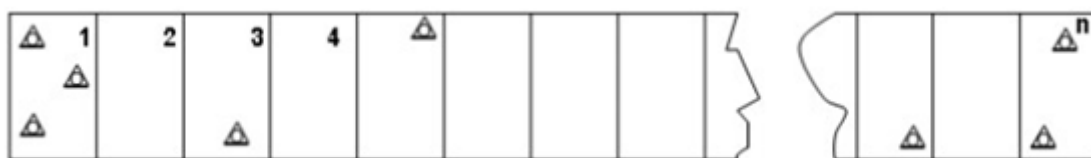


14-4. ábra Tömháromszögelés illesztőpont igénye [2]

Az ábra alapján látható, hogy

- a vízszintes illesztőpontokat a tömb kerületén, egymástól  $a_v = (3 \div 6)b_x$  távolságra célszerű meghatározni,
- a magassági illesztőpontokat a tömb szélein 3÷6 bázisonként, továbbá a sorok közötti átfedési sávokban (a keresztirányú elcsavarodás kiküszöbölése érdekében) egymástól  $a_m = (4 \div 8)b_x$  távolságra kell felvenni.

b, **Sorháromszögelés** esetén az illesztőpontok elhelyezkedését a 14-5. ábra szemlélteti.



14-5. ábra Sorháromszögelés illesztőpont igénye [2]

A sorok alsó és felső szélén kijelölt pontokat a sorok átfedési sávjában kell meghatározni. Hosszabb sorokra az illesztőpontok mennyiségét az alábbi gyakorlati viszony alapján lehet meghatározni:

modellek száma (n)  $n \leq 4$   $4 < n < 10$   $n > 10$

illesztőpontok száma (db)  $4$   $n \div 0,7n$   $0,7n \div 0,5n$

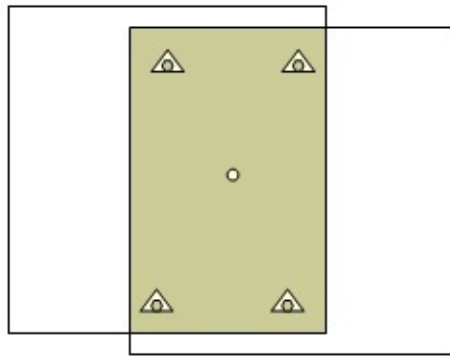
c, A **modellen belüli pontsűrítés** számára szükséges minimális illesztőpont igény modellenként ugyanaz, mint a térfotogrammetriában egy modell abszolút tájékozásához szükséges illesztőpont, vagyis minimum 2 db vízszintes és 3 db magassági illesztőpont.

### 2.8.2. 14.2.8.2 A kiértékelések illesztőpont igénye

a, A **térkiértékeléseknél** az illesztőpontok a képpár abszolút tájékozásához szükségesek. A képpár abszolút tájékozásával foglalkozó anyagrészből ismeretes, hogy a művelet közvetve, 7 koordináta adat (**két vízszintes** illesztőpont 4 adata és **három magassági** illesztőpont 3 adata) ismeretében hajthatjuk végre. Képpáronként ez elvileg elégséges, de az ellenőrzés és a lehetséges hibák kiküszöbölése miatt nem elegendő pontmennyiség. Figyelembe véve tehát az esetleges hibás illesztőpontok, fotogrammetriai kiértékelések hibaforrásainak kiszűrését, minden modell hasznos területére (14-6. ábra)

**4 db vízszintes** illesztőpontot igényelnek, a modellsarkok közelében elhelyezve, és

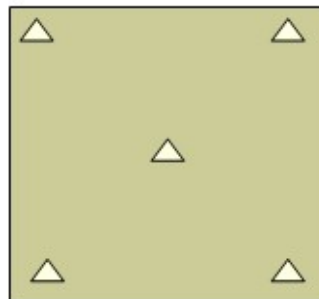
**5 db magassági** illesztőpontot, amelyek lehetőség szerint a fenti vízszintes illesztőpontokkal azonos pontok legyenek (vízszintes és magassági pontok) a modell négy sarkában, illetve az 5. pont a modell közepére essen.



14-6. ábra Az illesztőpontok egy térmodellen

b, **Ortofotoszkópia** (egyképes fotogrammetria) kiértékelési eljárásokhoz az illesztőpontokat képenként kell biztosítanunk. Képpátalakításhoz elegendő, ha a pontok síkbeli koordinátákkal rendelkeznek.

A perspektív és analitikus képpátalakítás minimális illesztőpont igénye 4 db, a képek sarkaiban lévő vízszintes illesztőpont, azonban ellenőrzési célból szükség van egy ötödik pontra a kép közepén (14-7. ábra).



14-7. ábra Az illesztőpontok száma és helye képpátalakításnál

Differenciális képpátalakításhoz ugyancsak elegendő 4 illesztőpont, de általában ezek a pontok térbeli pontok. Ezt az eljárást dombvidéki területeken használjuk, aminek egyik feltétele a terep magassági adatainak (pl. domborzat modell) ismerete. Az illesztőpontok koordinátái ebből adódóan térbeli koordináták.

Meghatározási módszerek:

- geodéziai mérések (pontkapcsolások, GPS mérés),

- fotogrammetriai módszerek (a mai gyakorlatban alkalmazott analitikus légiháromszögelési eljárások: független modell eljárás, sorháromszögelés, tömbháromszögelés, sugárnyaláb módszer)

## 2.9. 14.2.9 Légifényképminősítés

Minősítés alatt a légifényképeken a térképezendő, ábrázolandó részletek fényképi felismerését, azonosítását (fényképolvasását), valamint ezek egyezményes jellel történő rögzítését értjük.

A minősítés fajtái szerint megkülönböztethető:

- **irodai** minősítés, amelyet végrehajthatunk **előzetesen**, a meglévő ismeretek, térképek, koordinációs anyagok alapján, de közvetlenül is, a műszeres **kiértékeléssel egyidőben**, folyamatosan;
- **terepi** (vagy helyszíni) minősítés, amely történhet a kiértékelést megelőzve, az ún. **előzetes** helyszíni minősítések alkalmával, de végezhető **utólagosan**, a kiértékelés után.

Az **előzetes minősítések** célja minden esetben a térképi tartalom kiemelése a teljes fényképi tartalomból, vagyis felmérői, térképezői kívánalmak érvényre juttatása a fotogrammetriai feldolgozásnál. A fotogrammetriai gyakorlatban ezért a minősítések alatt

- a térképszerűen, egyezményes jelekkel kirajzolt,
- a kiegészítő mérések adataival ellátott,
- névrajzi és egyéb tartalmi információkkal ellátott

fényképnagyításokat értik, amelyet kötelező érvénnyel a kiértékelés tartalmi előírásának tekintik.

Az **utólagos minősítés** célja minden esetben a fotogrammetriai térképkészítési módszerekkel előállított végtermékek (transzformátumok, ortofotók, plotterrajzok) helyszíni ellenőrzése, kiegészítése.

A minősítésekkel készített munkarészeknek tartalmazniuk kell a fentiekben túl a területre eső alappontokat, a minősítések határvonalát.

## 2.10. 14.2.10 Légiháromszögelés (fotogrammetriai pontsűrítés)

A légiháromszögeléssel, fotogrammetriai pontsűrítési eljárásokkal részletesen a 13. modul foglalkozik. A teljes technológia bemutatása miatt itt csak röviden, a legfontosabb ismereteket mutatjuk be.

Légiháromszögelés alatt a fotogrammetriai pontmeghatározást értjük abban az esetben, ha a képek száma  $n > 2$ . Korábban úgy definiálták, hogy az a pontszegény területek térképezésénél a képpárok abszolút tájékozásához szükséges illesztőpontok meghatározására szolgáló fotogrammetriai eljárás.

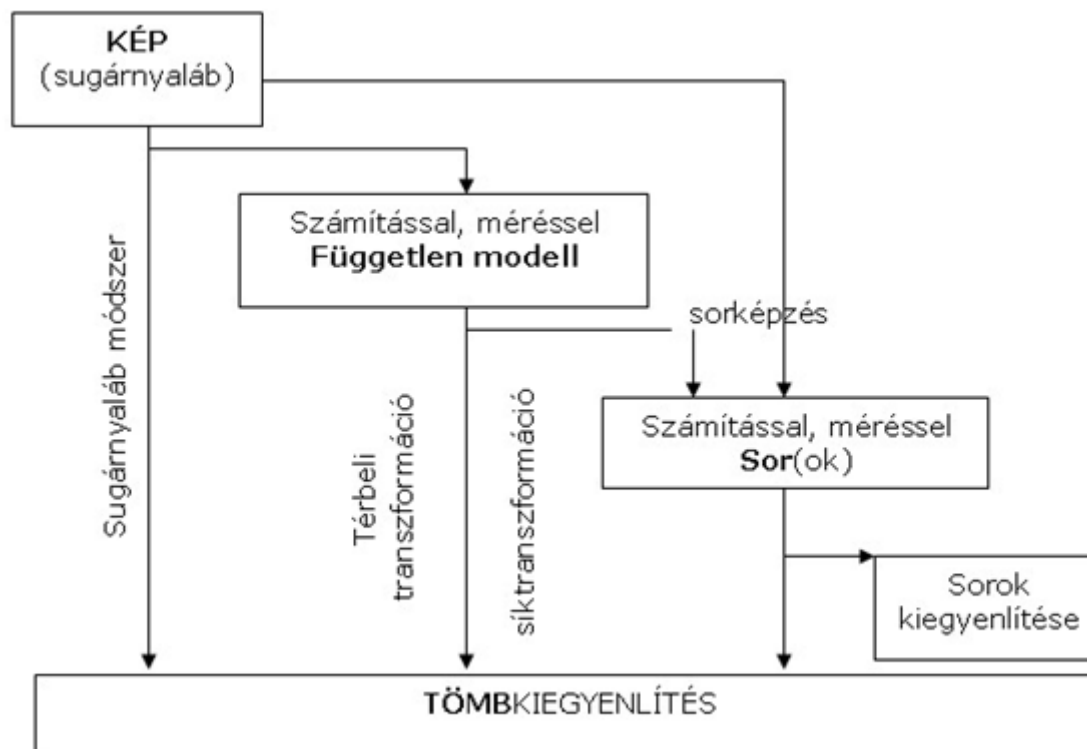
A légiháromszögelés definíciója a mai gyakorlatban a következő: **valamennyi kép, illetve térmodell tájékozási elemeinek és diszkrét pontok X, Y, Z koordinátáinak meghatározása a geodéziai koordináta rendszerben.**

Ez azt jelenti, hogy a ma használatos légiháromszögelési eljárásokkal meghatározhatjuk a képek külső tájékozási elemeit (6 adat), az egyes modellek abszolút tájékozásához szükséges illesztőpontokat, vagy a geodéziai felmérések számára szükséges pontok ("F" pontok) koordinátáit, valamint nagyszámú részletpontot térképezési feladatokhoz. Ebből az is következik, hogy a légiháromszögelési célokra kidolgozott programok felhasználhatók részletpontok mérésére is.

A felhasznált (mért) pontok típusai:

- repülés (fényképezés) előtt megjelölt pontok,
- "természetes" pontok (fénykép-térkép-terep azonos pontok),
- "mesterséges" pontok (pontátvivő készülékkel megjelölt pontok).

Főbb módszereit a 14-8. ábrán láthatjuk.



14-8. ábra Légiháromszögelési eljárások

A mai gyakorlatban az analitikus (tehát számítással történő) független modell eljárást és a sugárnyaláb módszert alkalmazzák.

Ha méréshez és a számításához csak a képeket (képpkoordinátákat) használjuk fel, az eljárást **sugárnyaláb-kiegyenlítésnek** nevezzük. Ha a képekből először ún. független modelleket hozunk létre, majd ezeket a modelleket, a kapcsolópontok segítségével először tömbbé egyesítjük, majd azt az illesztőpontok segítségével beillesztjük a geodéziai rendszerbe, akkor az eljárást **független modelleken alapuló tömbkiegyenlítésnek** nevezzük.

Közös mindkét megoldásnál, hogy az egyes egységeket a terepi illesztőpontokra és a szomszédos pontokhoz a legkisebb négyzetek elvén történő kiegyenlítéssel illesztik.

A számítás alapegységeiből, a képekből, a modellekből és a sorokból mindig tömböt építünk fel, valamint a számítás minden esetben a kiegyenlítéssel történik, emiatt összefoglalóan tömbkiegyenlítésről beszélünk. Az egy sor, vagy egy modell, vagy egy kép speciális, egy elemből álló tömbnek tekinthető.

Az analóg műszerekkel végrehajtott légiháromszögelés számítási-, kiegyenlítési munkáihoz a síkbeli Anblock-F, vagy a térbeli Anblock-FT programrendszert használták. Az analitikus műszerek által előállított mérési adatokat több eljárással tudjuk kiegyenlíteni, ilyen pl. a sugárnyaláb kiegyenlítés programja a stuttgarti egyetemen kifejlesztett, és világszerte elterjedt **PAT-B eljárás**. A mérés analitikus plotteren (pl. Leica SD 2000) történik. A programok segítségével kiválóan szervezhetőek a pontsűrítési feladatok, a hibaszűrési módszerek korszerűek, a nagy modellszámú tömbök megbízhatóan feldolgozhatók.

Az egyes módszerek részletes leírása tehát a 13-as modulban olvasható.

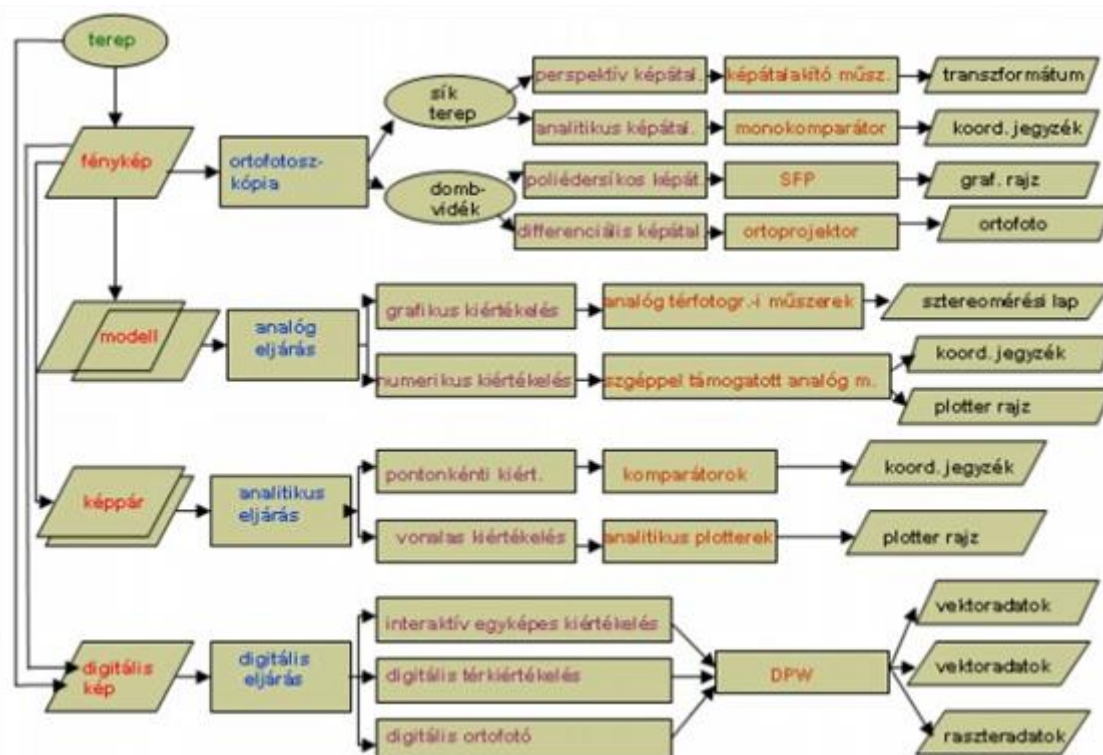
## 2.11. 14.2.11 Fotogrammetriai térképkészítés

A fotogrammetriai módszer kialakulásakor teljes mértékben részletmérési eljárás volt, és a hagyományos felmérési, térképezési feladatok, munkák első automatizálását jelentette. Később a fotogrammetriát alappont-sűrítésre is alkalmazták, ma ez a két fő feladata. Az előző fejezetben a pontsűrítési eljárásokkal foglalkoztunk, a jelen fejezetben a térképkészítési eljárásokat ismertetjük.

A fotogrammetria sokféle méretarányú, tartalmú, pontosságú és kivitelezésű térkép elkészítésére alkalmas, ugyanakkor előállít digitális domborzatmodelleket, felületmodelleket. A készítenő térképek lehetnek



alaptérképek, átnézeti térképek vagy tematikus térképek. A korábbi tananyagrészekből már kitűnt, hogy a fotogrammetria a fényképen és/vagy digitális képen tárolja az információkat, majd ezek feldolgozásával szolgáltatja a kívánt adatokat, térképeket. A következőkben egy folyamatábrában (14-9. ábra), majd részletesebb leírás formájában összefoglaljuk a lehetséges fotogrammetriai térképkészítési technológiákat.



14-9. ábra Fotogrammetriai térképkészítési technológiák

Az egy kép kiértékelésén alapuló fotogrammetriai módszerek összefoglaló elnevezése az **ortofotoszkópia**, más néven egyképes vagy **síkfotogrammetria**. Az elnevezés tükrözi azt is, hogy csak síkbeli adatokat szolgáltat. Az eljárás a síknak tekinthető vagy a pontossági előírások szerint elhanyagolhatóan kis magasságkülönbségekkel rendelkező objektumok, terep, stb. transzformált képének (perspektív képátalakítással), vagy a meghatározandó pontok 2D-s koordinátáinak (**analitikus** képátalakítással) meghatározását teszi lehetővé. Az átalakított képekből megfelelő kiegészítésekkel (koordinátaháló, szelvényhatár, megírások, esetleg síkrajzi elemek vektoros rétege stb.) fotótérképet állíthatunk elő. A nem sík terep esetében a differenciális képátalakítással (domborzat modell felhasználásával) kapjuk meg a torzulásmentes, térképhelyes ortofotót, amiből az előzőhöz hasonló kiegészítésekkel ortofotótérképet készíthetünk. A transzformált, átalakított képek előállítására alkalmas módszerek az **analóg** eljárások közé tartoznak. A perspektív képátalakítás műszerei a képátalakítók, a differenciális képátalakítás műszerei az ortoprojektorok. A mai gyakorlatban ezek háttérbe szorultak. Az ortofotoszkópia legkorszerűbb kiértékelési eljárásai a **digitális** interaktív egyképes kiértékelés és a digitális ortoprojekció. Az első digitális vektoradatokat, a második raszteres adatokat szolgáltat.

A **térfotogrammetriai eljárásokat** az előzőekhez hasonlóan analóg, analitikus és digitális eljárásokra oszthatjuk. Közös azonban mindegyiknél, hogy a kiértékelések alapja a képpárok alapján létrehozott térmodell.

A hagyományos **analóg eljárásoknál** a terep modelljét, kicsinyített mását fizikailag is létrehozták, a méréseket ezen a modellen végezték. Analóg eljárásnál a kiértékelés **grafikus vagy numerikus kiértékelés** volt. Az első esetben a kiértékelés végterméke egy grafikus rajz, az ún. sztereomérési lap, a kiértékeléshez analóg térfotogrammetriai műszert használtak. A numerikus kiértékelés végterméke lehet a mért pontok 3 D-s koordinátája, vagy a kiértékeléssel egyidőben, rajzgépen kirajzolt sztereo-kiértékelési lap. Módszerei a vonalas kiértékelés, közben kódszamos regisztrálás, vagy a pontonkénti kiértékelés, közben számítógépes adatfeldolgozás, rajzoltatás. Numerikus kiértékelésnél számítógéppel támogatott térfotogrammetriai műszereket használtak. A kiértékelés során külön kell kiértékelni a síkrajzi elemeket és külön a domborzatot. A mai gyakorlatból ezek a technológiák szintén kiszorultak, emiatt részletesen nem tárgyaljuk.

Az **analitikus eljárások** során a térmodellt csak matematikai úton állítjuk elő analitikus tájékozással. Műszerei a sztereokomparátorok vagy az analitikus plotterek. A kiértékelések két fő módszere a **pontonkénti kiértékelés**

és számítógépes adatfeldolgozás, rajzoltatás (számítógéppel támogatott sztereokomparátorral), és a **vonalas kiértékelés** (analitikus plotterrel).

A kiértékelésekhez szükség van az analitikus úton tájékozott modellre, az illesztőpontokat tartalmazó koordináta jegyzékre, az illesztőpontok pontleírásaira, fényképi anyagokra (pl. kontakt-másolatok, nagyítások), az esetleges előzetes minősítésekre, pontszámvázlatra.

A kiértékelés az analitikus eljárásoknál is két részre bontható. Külön végezzük el a **síkrajzi kiértékelést**. Pontonkénti kiértékelésnél minden pontot megirányzunk a mérőjellel, majd a pont térbeli (Y, X, Z) koordinátáját megmérjük, regisztráljuk. Vonalas kiértékelésnél a mérőjelet X, Y és Z irányú mozgattal a térbeli vonalakon végigvezetjük, közben út- vagy időintervallum szerint rögzítjük a koordinátákat. A **síkrajzi kiértékelése** általában a következő sorrendben történik: tömbhatárok, földrészletek határvonalai, épületek, létesítmények, alrészletek, vonalas létesítmények, vezetékek, oszlopok, töltések, bevágások, egyéb részletek a térképi tartalomtól függően.

A **domborzatkiértékelés** történhet szintvonalak kiértékelésével, pontonként (kótált pontok), vagy valamilyen rács- vagy profil szerinti méréssel. Ez utóbbi kiértékelésből digitális domborzatmodellt, vagy domborzatrajzot (szintvonalrajzot) készíthetünk szintvonalyszerkesztő szoftver segítségével. A szintvonalas kiértékelés lépései: egyezményes jelekkel ábrázolandó részletek kiértékelése, szintvonalak kiértékelése, további jellemző tereppontok (kótált pontok) mérése.

A kiértékelés **végterméke** lehet koordinátajegyzék, digitális térkép, plotterrajz.

A **digitális térkiértékeléssel** 3D-s vektoradatokat, digitális térképeket állíthatunk elő.

A **kiértékelések pontossága** [1] nagyon sok tényezőtől függ, úgymint a mérőfényképek torzulásaitól, a kiértékelő műszerek pontosságától, a méréseknél (tájékozások, kiértékelések) elkövetett hibáktól, a kiértékelés méretarányától, stb.. A pontosság más az ún. jelöltpontok, vagy a természetes pontok mérésénél.

Perspektív képátalakítással készült ortofotók pontossága a  $\Delta r = \Delta Z \cdot r / c_k \cdot m_k$  képlet alapján számolható, ahol  $\Delta Z$  a vonatkozási síktól mért magasságkülönbség,  $r$  a radiális távolság a nadírponttól,  $c_k$  a kameraállandó és  $m_k$  a kép méretarányzáma.

Differenciális képátalakítással készült ortofotók pontossága - megfelelő pontosságú DDM felhasználásával az átalakításhoz alkalmazott képelem (pixel) méretének 0,7 - 1,2-szerese.

Térfotogrammetriai kiértékeléseknél a **helyzeti pontosság** (XY) egyenesen arányos a képméretarányval, a **magassági pontosság** (Z) négyzetesen, vagy lineárisan függ a Z felvételi távolságtól.

Példaként az analitikus eljárás pontossága egzaktnak, jól mérhető pontok esetén, tapasztalati értékek alapján:

- helyzeti hiba  $\sigma_{X,Y} = \pm 6 - 8 \mu\text{m}$  (a képsíkon)

- magassági hiba  $\sigma_Z = \pm \sqrt{2} \sigma_{X,Y}$  (a hazánkban általában alkalmazott nagy látószögű felvételeknél);

Természetes pontok esetén az előző pontosság csökken amiatt, hogy a pontok megirányzása, azonosítása bizonytalanabb, ami függ attól is, hogy a részletpont azonosíthatósága milyen a felvételen.

## 2.12. 14.2.12 Másolatok készítése

A fotogrammetriai eljárással készített térkép- és domborzat-ellenőrzéséhez, kiegészítő méréseinek végrehajtásához, ezekről a termékekről azonos, vagy nagyobb méretarányban másolatokat készítenek. E másolatok elsődleges rendeltetése, hogy mint mérési vázlatok (mérési jegyzetek, minősítési lapok) megbízható alapot szolgáltatassanak a helyszíni mérési adatok (utak, útburkolatok méretei, ereszméretek, frontméretek, bemérési, ellenőrzési méretek, stb.) feltüntetéséhez, mérési vonalak megtervezéséhez, továbbá minden olyan adat feljegyzéséhez, amelyet a technológia megkíván.

## 2.13. 14.2.13 Kiegészítő, ellenőrző mérések

A fotogrammetriai eljárások alkalmazásakor minden esetben szükséges az elkészített fotogrammetriai térképek tartalmának utólagos ellenőrzése terepbejárással, az eljárás sajátosságaiból adódó hiányosságok pótlása egyszerű



mérésekkel, valamint a kiértékelés pontosságának ellenőrzése. Tulajdonképpen a kiegészítő, ellenőrző mérésekkel egy időben történik az utólagos minősítés.

A kiegészítő méréseknél azokat a részletpontokat, amelyek takarás, vagy más egyéb ok miatt nem látszottak a modellen és így nem lehetett kiértékelni, a terepen pl. ortogonális beméréssel, poláris méréssel be kell mérni. Ezekhez a mérésekhez jól használhatók az F-pontok. Ma már a GPS meghatározások is alkalmazhatók. A térképezéshez szükséges további mérendő adatok technológiánként változnak, pl. az ereszmeretek (szélesség, magasság), az épületek méretei (körbemerések), a frontmeretek, a farmezsgye méretei, stb.

A térkép pontosságának ellenőrzését - a szabályzatokban rögzített számban - a térképi pontok távolságainak összemérésével kell elvégezni.

A kiegészítő mérések mennyiségét csökkenteni lehet az előzetes minősítésekkel, mert az előzetes minősítések során, a képeken be lehet jelölni azokat a részeket, részleteket, amelyeket nem szükséges vagy feltétlenül ki kell értékelni. Figyelemmel kell lenni azonban arra, hogy az előzetes minősítésre + a kiegészítő mérésre fordított idő együttesen több mint az utólagos minősítéssel együtt végzett kiegészítő és ellenőrző mérés.

## **2.14. 14.2.14 Térképezés**

Fotogrammetriai technológiák alkalmazása esetén az eredeti felmérési térképet korábban a sztereomérési lapon, ortofotón szerkesztették meg a minősítések, kiegészítő és ellenőrző mérések alapján mérettartó alapanyagokra. Analitikus, vagy digitális kiértékelések (rajzgépi rajzok, vektortérképek) esetében a szerkesztés, kiegészítés rajzprogramok, térképező programok segítségével történhet. Ma már gyakori, hogy az elkészült vektoros, raszteres állományt térinformatikai rendszerben, számítógépen tároljuk, s a szükséges térképezést is azon végezzük. Ezzel a mérettartó fóliák elvesztik jelentőségüket, ugyanakkor a kinyomtatott plotterrajzok tájékoztatásra, vizuális áttekintésre, archiválásra szolgálhatnak.

## **2.15. 14.2.15 Befejező munkák, tisztázati rajz készítése**

A térképezési munkák befejezése után az érvényes előírásoknak megfelelően ki kell rajzolni, rajzoltatni az elkészült terméket. A befejező munkákhoz tartozik a felmérés céljától függően pl. a földrészletek helyrajzi számozása, a területszámítás, a feliratozás, stb.

A 14.2.13, 14.2.14. és 12.2.15. munkafázisokkal, feladatokkal részletesen a felmérési tárgyak foglalkoznak.

## **3. 14.3 Összegzés**

A modulban bemutattuk azokat a munkafázisokat, amelyeket egy fotogrammetriai térképkészítési feladatoknál előfordulnak. Itt is hangsúlyozzuk, hogy az egyes feladatok konkrét végrehajtásánál nem biztos, hogy szükség van valamennyi munkafázisra, ugyanakkor egyes speciális feladatoknál lehetnek olyan lépések, amiket az általános technológia nem tartalmaz.

A tananyag elsajátításakor fontos, hogy lépésről lépésre haladjanak, mert a munkafázisok egymásra épülnek, egy folyamatot mutatnak be.

Ellenőrző kérdések:

Melyek az általános technológia lépései?

Milyen előkészítési feladatokat ismer (pl. tervezés)?

Milyen munkarészei vannak a repülési tervnek?

Milyen szempontok szerint vizsgáljuk a képanyagokat?

Milyen minősítéseket ismer?

Ismertesse a fotogrammetriai feladatok illesztőpont igényeit!

Mi a légiháromszögelés célja, milyen módszereit ismeri?

Ismertesse a fotogrammetriai térképkészítési technológiákat!

Hogyan történik egy modell kiértékelése?

Melyek a befejező fázis munkaszakaszai és azok lényege?

## Irodalomjegyzék

1. K. Kraus: *Fotogrammetria*, Tertia Kiadó, Budapest, 1998.
2. Majoros G.: *Fotogrammetria II.*, EFE FFFK jegyzet, Székesfehérvár, 1988.
3. L.1. *Szabályzat a mérőkamerás légifényképezések megrendelésére, előkészítésére, vizsgálatára és szolgáltatására*, MÉM OFTH FFF, Budapest, 1984.