

Dr. Engler Péter

A légi fotogrammetriai technológia

 **NSZFI**
NEMZETI SZAKKÉPZÉSI
ÉS FELNŐTKÉPZÉSI INTÉZET

A követelménymodul megnevezése:
Fotogrammetria feladatai

A követelménymodul száma: 2241-06 A tartalomazonosító száma és célcsoportja: SzT-003-50

A LÉGIFOTOGRAMMETRIAI TECHNOLÓGIA

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

A fotogrammetria feladatát általánosan úgy fogalmazhatjuk meg, mint 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 vonhatunk le megfelelő következtetéseket, határozhatjuk meg helyzetét, méreteit. A fotogrammetria elsősorban a térképészeti (topográfiai) felmérések, a pontsűrítési feladatok megoldását szolgálja. Ezért mondjuk, hogy a fotogrammetria két fő feladata a részletkiértékelés vagy térképezés és a pontsűrítés.

A fotogrammetria természetesen több más szakterület igényeit tudja kielégíteni. 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 fotogrammetriai műszerek és eljárások a legtöbb, nem térképezési feladat megoldására is alkalmasak [1].

A modulon belül a légifotogrammetriai eljárások lépéseit, munkafázisait tárgyaljuk. Amennyiben feladataihoz, munkájához szüksége lenne légifelvételre, akkor ebből a modulból megismerheti, hogyan készülnek a légifelvétel, milyen eljárásokkal lehet méréseket végezni a képek segítségével.

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

ÁLTALÁNOS FOTOGRAMMETRIAI TECHNOLÓGIA

A fotogrammetria eljárások minden esetben a térképkészítés teljes technológiai folyamatának részét képezik. Egy általános fotogrammetriai térképkészítési technológia az alábbi munkafázisokat tartalmazza [2]:

1. Műszaki terv készítése
2. Technológiai utasítás készítése

3. Repülési terv készítése
4. Geodéziai előkészítés
5. Légifényképek elkészítése
6. Laboratóriumi munkák
7. Műszaki előkészítés
8. Illesztőpontmérés
9. Minősítés
10. Légiháromszögelés (fotogrammetriai pontsűrítés)
11. Fotogrammetriai térképkészítés, kiértékelés
12. Másolatok készítése
13. Földi kiegészítő, ellenőrző mérések
14. Térképezés
15. Befejező munkák, tisztázati rajz készítése

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 megítélhető, 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.

A további fejezetekben az egyes munkafázisokat tekintjük át. Ezen áttekintés során bővebben csak a fotogrammetriai feladatok végrehajtását részletezzük.

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, amelynek 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. 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 munkák (pontsűrítési, jelölési, illesztőpontmérési feladatok), légifényképezési feladatok, fotogrammetriai munkák (légiháromszögelés, fotogrammetriai térképkészítés), felmérői, topográfiai feladatok (helyszínelés, kiegészítő és ellenőrző mérések), kartográfiai feladatok.

3. Repülési terv készítése

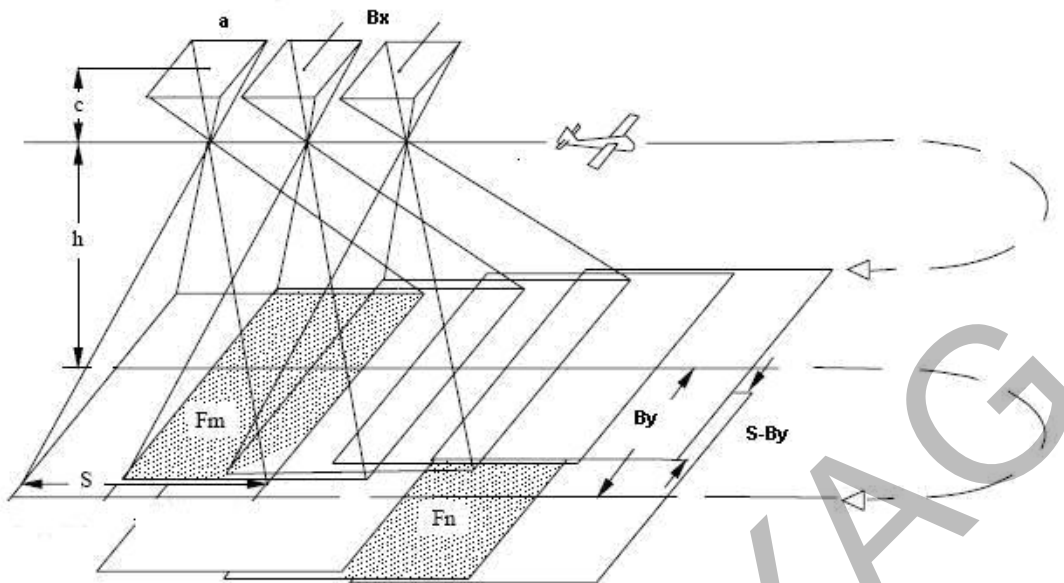
A légifényképező repülés tervét, röviden repülési tervet a megrendelő, vagy a légifényképeket feldolgozó szerv készíti el. Rajtuk kívül a légifényképező repülés kapcsán feladata van még a Földmérési és Távérzékelési Intézetnek (nyilvántartás, tárolás, szolgáltatás) és a Magyar Honvédség Geoinformációs Szolgálatának (engedélyezés, titokvédelem).

A repülési terv elkészítéséhez sokirányú ismeret szükséges. Ismerni kell a térképezési vagy más mérési feladat követelményein kívül a kiértékelő műszerek pontosságát, a kiértékelés módját, valamint ismerni kell a légi fényképezés végrehajtásának körülményeit. A repülési terv adatainak kiszámításában elkövetett hiba megakadályozhatja a fényképezéssel kifogástalan képek kiértékelését és a feladat pontossági előírásainak teljesítését. A tervezésnél tehát figyelemmel kell lenni a következőkre:

- a repülőgép teljesítményének adataira,
- a mérőkamerák paramétereire,
- a kiértékelő műszer beállítási tartományaira,
- az előállítandó termék fajtájára,
- a domborzati viszonyokra,
- az előállítandó térképek szelvénykiosztására,
- a pontossági követelményekre.

A repülési tervek elkészítésekor korábban az L1. szabályzatot alkalmazták, amely „A mérőkamerás légi fényképezések megrendelésére, előkészítésére, vizsgálatára és szolgáltatására” vonatkozó előírásokat tartalmazta. Az L1. szabályzat most is érvényben van (nem vonták vissza), de sok pontjában már elavult. A szabályzat mellékletében lévő táblázatok és grafikonok nagymértékben segítettek, segíthetik a tervezést.

A repülési terv adatainak megértéséhez szükséges néhány alapfogalom tisztázása, melyhez az 1. ábra nyújt segítséget.



1. ábra A légi fényképező repülés sematikus vázlata [4]

Az 1. ábrán használt jelölések magyarázata:

- B_x felvételi bázis (az L1. szabályzat B_x -el jelöli),
- c_k kameraállandó,
- a képméret,
- S sáv szélesség, az egy fényképsor által lefedett terület szélessége,
- B_y repülési tengelyek távolsága,
- h_r relatív repülési magasság,
- $F_m F_n$ modellek hasznos területei az 1 és 2. sorban.

A számításokban használjuk még $p\%$ és $q\%$ jelöléseket, amelyek a soron belüli átfedés (egymást követő képek közös képterülete %-ban) és a sorok közötti átfedés (két fényképsor közös területe %-ban) értékei. A repülési terv elkészítéséhez szükséges számításokat egyszerű összefüggések alapján elvégezhetjük:

képméretarány
$$m = \frac{h_r}{c_k}$$

relatív repülési magasság
$$h_r = m * c_k$$

abszolút repülési magasság
$$h_a = h_r + h_{\text{átl}} \text{ (} h_{\text{átl}} = \text{átlagos terepmagasság)}$$

sávszélesség $S = m * a$

felvételi bázis $B = S * \frac{1 - p_{\%}}{100}$

a repülési tengelyek távolsága $B_y = S * \frac{1 - q_{\%}}{100}$

sorok közötti átfedés $q_{\%} = \frac{S - B_y}{S} * 100$

képek száma soronként $B_n - 1$, ahol B_n a felvételi bázis száma a soron belül

felvételi időköz $\Delta t = \frac{B}{v}$, ahol v a repülőgép sebessége

A repülési terv munkarészei [3]:

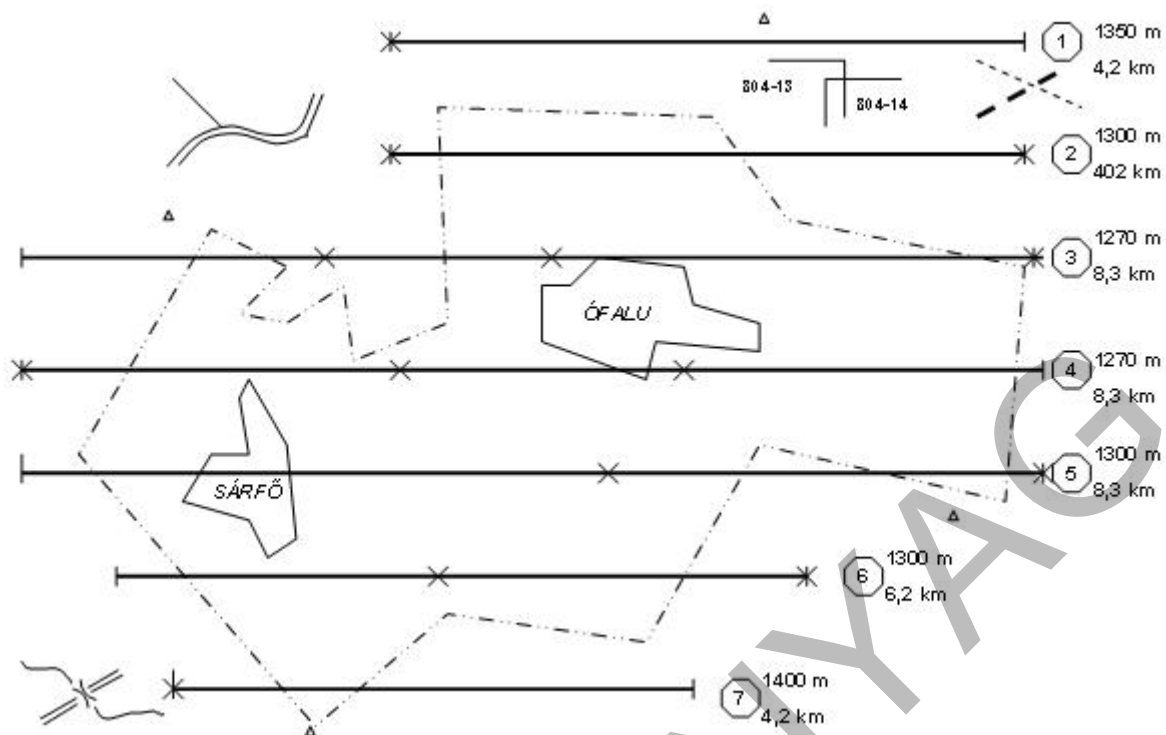
- a légi fényképező repülés technikai terve, röviden technikai terv,
- repülési vázlat,
- területjegyzék,
- áttekintő vázlat.

A légifényképező repüléshez kiszámított adatokat, a kamera adatait és egyéb előírásokat, információkat a technikai tervben összesítjük. Ezeket az adatokat a végrehajtott légifényképező repülés ellenőrzésére, vizsgálatára is felhasználhatjuk.

A technikai terv tartalmazza a munkaterület megnevezését, a légifényképanyag rendeltetését, a filmtípust (digitális fényképezés esetén nincs), a kameraállandót és képméretet, az átlagos képméretarányt, a B_x -t és B_y -t, a sávszélességet, a sorok közötti és soron belüli átfedést, az átlagos relatív repülési magasságot, az abszolút repülési magasságokat soronként.

Megadjuk a felvételi időközt, a megengedhető leghosszabb expozíciós időt, a repülési tengelyek számát, az összes fényképező repülési hosszt, az átlagos sorhosszúságot, a repülendő sorok irányát, a szükséges képek számát, a felhasználandó film hosszát, a repülés kért időpontját, a repülés vázlat elkészítéséhez felhasznált térképszelvénye számait.

A repülési vázlat rajzi (ma már digitális) munkarész, ami a készítendő térkép méretarányától függően 1 : 10 000, 1 : 25 000 vagy 1:100 000 méretarányú topográfiai térkép felhasználásával készül (2. ábra).



2. ábra Repülési vázlat [3]

A repülési vázlat tartalma a következő:

- a munkaterület (fényképezendő terület) határvonala,
- a térképszelvény sarokpontjai,
- jól azonosítható síkrajzi vonalak,
- háromszögelési pontok,
- a repülési sorok tengelyvonalai a kezdő- és végponttal (piros színnel),
- a tengelyek sorszáma, abszolút repülési magassága és hossza (piros színnel),
- megírások (megrendelő, méretarány, fényképezendő település neve, sorok száma, hossza, abszolút repülési magassága).

A területjegyzéket, amely a terület fekvését, területi adatait tartalmazza, továbbá az áttekinthető vázlatot, ami több repülési vázlat esetén egy kisebb méretarányú egyesített rajz, nem kell minden esetben elkészíteni.

A repülési tervet a mai gyakorlatban erre a célra készült szoftverek segítségével készíthetjük el. A számítógépes tervezés feltétele a tervezés alapjául szolgáló térkép digitális változatának megléte. Ez a tervezés lehetővé teszi, hogy a GPS-el vezérelt fényképezések számára a felvételi helyek koordinátáit is meghatározzuk.

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!

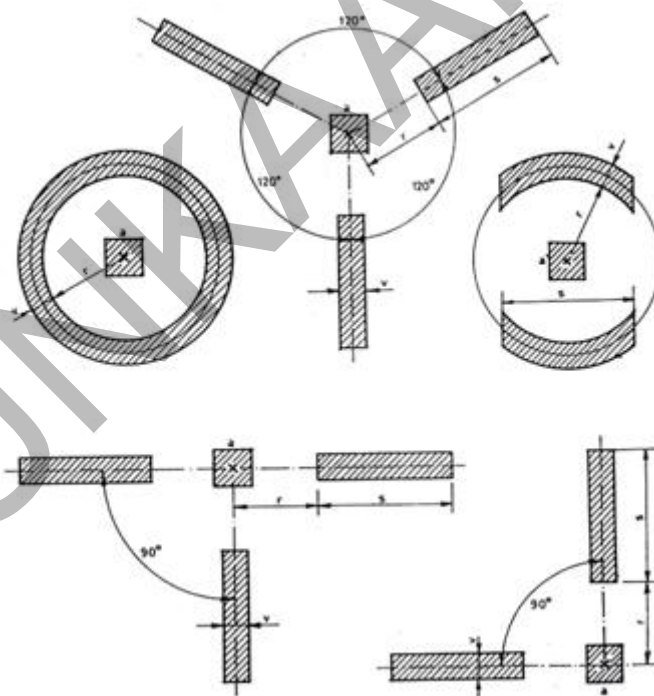
4. Geodéziai előkészítés

A geodéziai előkészítés az adatgyűjtés, a technológiai utasítás és a repülési terv alapján, a munkaterületen végzet helyszíni geodéziai, jelölési munkákból áll.

A geodéziai előkészítés során elvégezzük

- A meglévő alappontok felkeresését,
- a helyszínrajzi változások átvezetését,
- új tónusos helyszínrajtok elkészítését,
- az új pontok (alap-, illesztő- és F-pontok) kitűzését és állandósítását,
- a régi és az új pontok jelölését.

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 3. ábra tartalmazza.



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, mivel az esetek nagy részében GPS méréssel, utólagosan kiválasztott fénykép-terep azonos pontok meghatározásával, megfelelő pontossággal biztosítható az illesztőpont ellátottság. Ezzel a módszerrel nemcsak a jelölés költségei, hanem a légifényképezés végrehajtásáig végzendő jelkarbantartás költsége is megtakarítható. Az előre jelölés akkor is elhagyható, ha a légifényképezésnél az ún. külső adatokat megfelelő pontossággal meghatározzuk az erre a célra kifejlesztett navigációs rendszerek segítségével.

5. Légifényképek elkészítése

E munkafázis alatt a légifényképező repülés végrehajtását, a légifényképek fotólaboratóriumi kidolgozását, a filmanyag vizsgálatát és nyilvántartásba vételét értjük. Digitális fotogrammetriai kiértékelés esetén ebbe a munkafázisba tartozik a filmek szkennelése, a digitális képek előállítása.

A légifényképező repülés gondos előkészítést kíván. Az előkészítés első lépéseként a repülési vázlatokról átrajzolják a repülési tengelyeket azokra a térképekre, amelyek alapján a feladatot végre fogják hajtani. Számítógépi navigáció végrehajtásánál értelemszerűen az adatokat a navigációs szoftverre viszik át. Ezzel egy időben ellenőrzik a technikai terv adatainak helyességét.

A légifényképezés kívánt időpontja és a feladat végrehajtásának helyszíne szerint csoportosítják a repülési terveket. A végrehajtandó repülésre az MH Geoinformációs Szolgálattól titokvédelmi szempontok betartása miatt engedélyt kell kérni. A légügyi hatóságoktól a végrehajtáshoz szükséges légtér igénybevételére kell előzetesen engedélyt kérni. Az országhatár közelében végrehajtandó feladatoknál, ha át kell repülni a szomszédos ország területére, előzetesen a szomszéd ország légügyi hatóságától is engedélyt kell kérni.

A légifényképező repülés során a repülőgép személyzete általában három fő: pilóta, navigátor, a kamerát kezelő személy. A személyzet száma a felszereltség függvényében változhat.

A fényképezés egyik legfontosabb feladatát a navigátor látja el. A navigátor keresi meg a térképen megjelölt sortengelyek helyét a terepen, és figyeli a gép haladását. A terep és a térkép folyamatos összehasonlításával úgy ad utasítást a pilótának az irányváltoztatásra, hogy a gép minél pontosabban a kijelölt sortengely fölött repüljön. GPS-sel vezérelt fényképezés esetén a mindenkori pozícióhoz képest történik a gép irányítása. Az első fénykép helyét elérve a navigátor ad utasítást a fényképésznek a felvétel megindítására.

A fényképész figyeli a kamera működését, az átfedés szabályzó berendezés állandó vezérlésével biztosítja a kívánt átfedést, figyelembe véve a repülési sebesség ingadozásait és a terepi magasságkülönbségeket.

A légifényképezési célokra valamilyen légi járművet használunk, ami lehet repülőgép, helikopter, hőlégballon, motoros sárkányrepülő, vagy modell repülőgép. A nagy pontosságú, térképezési célú légi fényképezésre elsősorban repülőgépeket használunk. A légifényképező repülőgépekkel szemben különleges követelményeket támasztunk. Ezért számos repülőgépgyár egyes típusait alakítja át, teszi légi fényképezésre alkalmassá. Ilyen követelmények:

- stabil térbeli helyzet a fényképezés pillanatában,
- egyenletes sebesség légi fényképezés közben,
- a munkasebessége a lehető legkisebb, az utazó sebessége a lehető legnagyobb legyen,
- nagy hatótávolság,
- jó emelkedő képesség (rövid idő alatt érje el a repülési magasságot),
- biztos repülési magasságtartás,
- felső szárnyállás a jó látási viszonyok (előre, lefelé és mindkét oldalra) érdekében,
- a kamera a repülőgép súlypontjában helyezkedjen el,
- a padlónyílás le- és felszálláskor zárható legyen a kamera, illetve a záróüveg mechanikus sérüléseinek elkerülése érdekében,
- tágas belső tér a szükséges segédberendezések, felszerelések elhelyezésére, valamint a repülési személyzet kényelmes mozgására,
- a kipufogó gázokat úgy kell elvezetni, hogy ne kerülhessen a kamera objektívje elé,
- a le és felszállás kis területet vegyen igénybe.

Magyarországon légifényképezésre leggyakrabban az AN-2 típusú repülőgépet alkalmazzák. Az AN-2 típus nagy előnye, hogy füves repülőtérrel is üzemeltethető. Ebbe a típusba valamennyi mérőkamera beépíthető.

A Magyar Honvédség a katonai célú, valamint a „Nyitott Égbolt” szerződés alapján végzett légi fényképezési feladatait egy erre a célra átalakított AN-26 típusú repülőgéppel végzi.

Néhány éve a Cessna 402 és a Cessna TU206E típus légifényképezésre alkalmas változatát alkalmazzák hazánkban.

A légifényképezés műszaki feltételein kívül döntő fontosságú az időjárás, ugyanis a munka minőségében a felhőfedettségnek, a páratartalomnak és a szélhatásnak alapvető jelentősége van. A légi fényképezéshez tiszta atmoszférikus viszonyok, magasan álló nap és felhőtlen égbolt szükséges. Térképezési, különösen a domborzati kiértékelésekhez szolgáló légifényképezésre legkedvezőbb a kora tavaszi időszak, amikor a növényzet takarása a legkisebb, a terepe a lombos fák alatt is látható.

A meteorológiai adatok több évtizedes értékelése azonban azt mutatja, hogy éppen a kora tavaszi időszakban a fényképezésre alkalmas napok száma viszonylag kevés, 6–10 nap. A részben alkalmas napok száma ennek többszöröse is lehet. A nyári időszakban, amikor a fák már lombosak, az alkalmas napok száma megduplázódik. A nyári időszak általában csak a kevésbé fás területek síkrajzi kiértékeléséhez, valamint interpretációs feladatok fényképezéséhez alkalmas. Az őszi évszak idején a megvilágítás még elegendő a fényképezéshez, azonban a növényzet takarása és a már viszonylag hosszú vetett árnyékok miatt ez az időszak fotogrammetriai térképezés céljára kevésbé kedvező. Télen az alacsony napmagasság és az esetleges hótakarás miatt nem célszerű a térképezési célú légi fényképezés.

A fényerő szempontjából a déli órák kedvezőek, mert az árnyékok ekkor a legkisebbek. Ennek ellenére a sokéves tapasztalat azt mutatja, hogy a fényképező repülést már korán reggel el kell kezdeni, mivel késő délelőtt gyakran felhősödés indul meg [1].

Jóllehet, a felhőárnyékok a kiértékelést zavarják, az összefüggő zárt felhőzet alatti fényképezés eredményes, mivel nincsenek kontrasztos és részletszegény árnyékok a képeken. A légköri párákat a fényképezéskor a vízszintes látástávolsággal becsülik. A légréteg tisztasága, pára- és füstmentessége meglehetősen ritka, ezért sok munka készül közepes pára mellett, melyre jellemző a 6–8 km-es vízszintes látástávolság. A részletek optimális visszaadásához legalább 20 km vízszintes látástávolság szükséges. A légköri pára különösen veszélyes a színes fényképezésnél, míg az infravörös felvételeket ez kevésbé zavarja. Gyakran a terület felett kell a személyzetnek eldöntenie, hogy a fényképezés végrehajtható-e, vagy sem.

A légifényképezés végrehajtása a hagyományos filmes fényképezés esetében a filmanyag előhívásával és vizsgálatával zárul.

A filmtetekercsek előhívását, mosását, fixálását és szárítását automatikusan működő előhívó berendezésekben végzik. A kép rögzítése, fixálása megadott ideig tart, majd követi egy hosszabb áztatós mosás. Végül az előhívott és fixált filmet elektromos szárítóban szárítjuk.

A filmeket óvni kell a mechanikai sérülésektől, ezért gyakran az eredeti negatívról készített másolatok alapján történik a film előzetes vizsgálata. Ennek során ellenőrzik, hogy sikerült-e a felvétel, nincsenek-e a negatívon kimaradt foltok, részletek, hibátlanul működött-e. A részletes vizsgálat már magán az eredeti negatívon történik, ahol navigációs, fotográfiai és felhasználói szempontból vizsgálják a képanyagot.

A filmanyag 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 fotografiai vizsgálatánál ellenőrizni kell a keretjelek és keretadatok leképeződését, a képességet (tereptárgyak leképeződése alapján), a kontrasztosságot, az esetleges vegyszerfoltokat.

Színes filmek esetében a hívás előtt a filmre fényképezett szenzitometriai ékek denzitometriai mérésével a fotografiai 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 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.)

Digitális fényképezésénél is célszerű ellenőrizni a képanyagot navigációs, tartalmi és felhasználó szempontból, természetesen a digitális kamerák paramétereit szem előtt tartva.

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, diapositív másolatok, másodnegatívok, 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 légiháromszögelések 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.

A mérési és számítási munkákhoz közelítő méretarányú fényképnagyítások készülnek. Ezek a földi mérésnél 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 felismerhetőek legyenek.

Digitális fotogrammetriai eljárásnál a fenti munkákat természetesen számítógép segítségével, színes nyomtató vagy plotter felhasználásával történik.

7. Műszaki előkészítés

A műszaki előkészítés a fotogrammetriai munkák hatékony és megfelelő színvonalú végrehajtását szolgálja. Ez az előkészítés a megelőző munkafázisok adatainak és termékeinek birtokában, a soron következő munkák 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 felméréndő 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.

8. Illesztőpontmérés

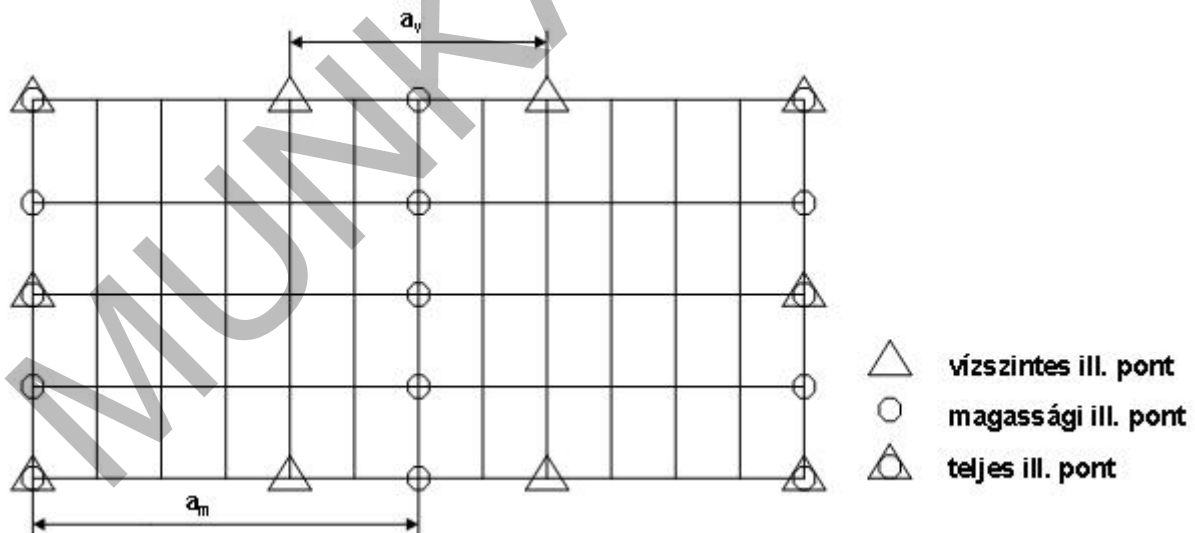
Az illesztőpontmérés a légháromszögelési és a fotogrammetriai kiértékelési, térképkészítési munkákhoz szükséges vízszintes és magassági illesztőpontokat (gyakran használt elnevezés szerint a „fénykép–terep azonos pontok”) szolgáltatja.

Az illesztőpontmérés, ha légháromszögelést nem végzünk, tisztán geodéziai pontmeghatározás. Légháromszögelés esetén geodéziai és fotogrammetriai módszerrel vegyesen történik az illesztőpontok geodéziai koordinátáinak meghatározása. 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 légháromszögelési eljárások és a kiértékelések illesztőpont igényeit.

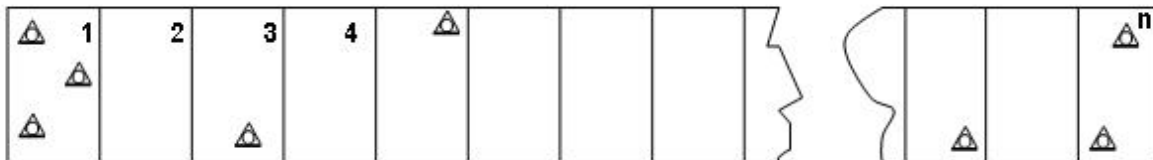
A légháromszögelés illesztőpont igénye

a, **Tömbháromszögelés** elvi illesztőpont igényét a 4. ábrán bemutatott sémával adhatjuk meg, amely egy négysoros (soronként 12 modelles) tömböt ábrázol. Az ábráról leolvasható, hogy a vízszintes illesztőpontokat a tömb kerületén, egymástól $a_v = (3 \div 6) \times b_x$ távolságra célszerű meghatározni, míg a magassági illesztőpontokat a tömb szélein 3÷6 bázisonként, továbbá a sorok közötti átfedési sávokban (a keresztirányú elcsavarodás kiküszöbölése érdekében) egymástól $a_m = (4 \div 8) \times b_x$ távolságra kell felvenni.



4. ábra Légháromszögelési tömb illesztőpont igénye

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



5. ábra Sorháromszögelés illesztőpont igénye

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.

A meghatározási módok:

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

A kiértékelések illesztőpont igénye

a, A **térkiértékeléseknél** az illesztőpontok a képpár abszolút tájékozására szolgálnak. 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 az elvileg szükséges, de az illesztőpont és a fotogrammetriai mérések valószínű hibái miatt nem elegendő pontmennyiség. Ezt figyelembe véve, az esetleges hibás illesztőpont kiszűrésére, a maradék hibák utólagos elosztása érdekében minden modell hasznos területére

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.

b, **Ortofotoszkópia** (egyképes fotogrammetria) kiértékelési eljárásainak illesztőpont igénye annyiban tér el a korábbiaktól, hogy azokat képenként kell biztosítanunk, illetve elegendő, ha a pontok sík-koordinátákkal rendelkeznek.

A perspektív képátalakítás minimális illesztőpont igénye 4 db, a képek sarkaiban lévő vízszintes illesztőpont, azonban ellenőrzési célból szükség van egy ötödik pontra a kép közepén.

Differenciális képátalakításhoz 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, sokszögelés, GPS mérés),
- fotogrammetriai módszerek (a mai gyakorlatban alkalmazott analitikus légiháromszögelési eljárások: független modell eljárás, sorháromszögelés, tömbháromszögelés, sugárnyaláb módszer).

9. Minősítés

Minősítés alatt általában 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 megelőzően, 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, sztereomérési lapok, plotterrajzok) helyszíni ellenőrzése, kiegészítése.

A minősítéseknek tartalmazniuk kell a fentiekben túlmenően a területre eső alappontokat, a minősítések határvonalát, illetve az utólagos minősítéseknél a kiegészítő és ellenőrző méréseket.

10. Légiháromszögelés (fotogrammetriai pontsűrítés)

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. Ez a definíció a mai gyakorlatban a következő:

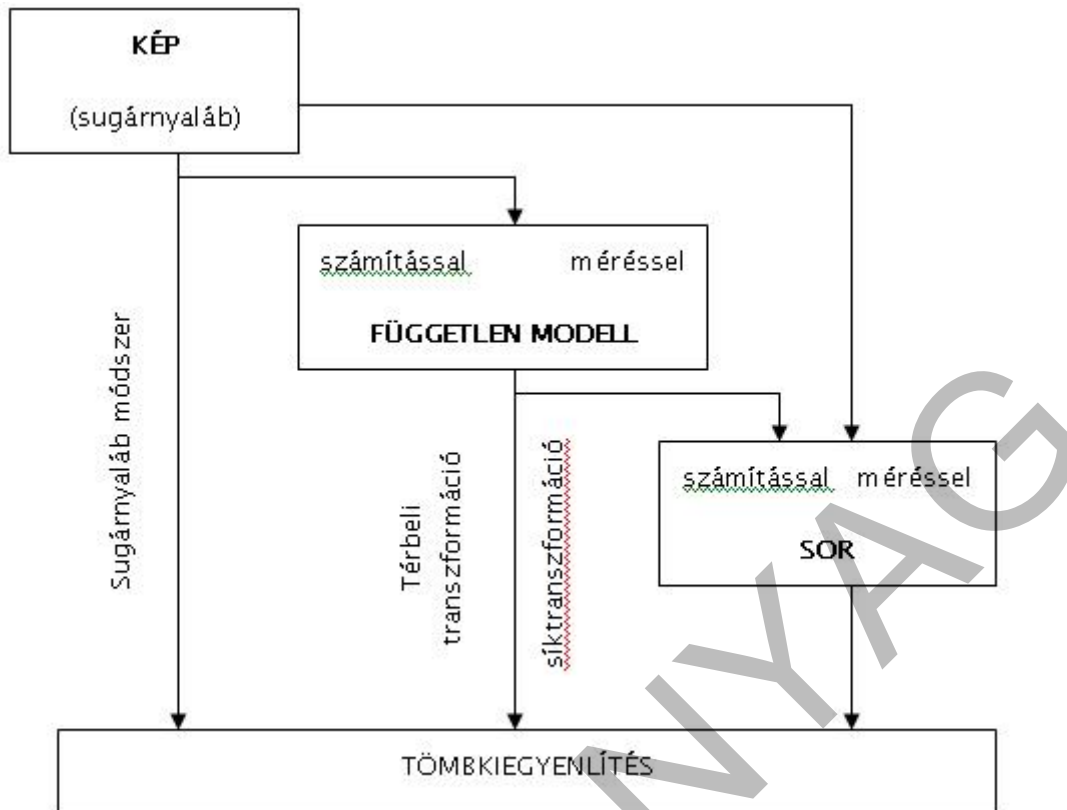
Valamennyi kép, illetve térmodell tájékozási elemeinek és diszkrét pontok X, Y, Z koordinátáinak meghatározása a geodéziai koordináta rendszerben [4].

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 sugárnyaláb módszert, a független modell eljárást, a sorháromszögelést és a tömbháromszögelést és azok kapcsolatát a 6. ábrán láthatjuk.



6. ábra Légiháromszögelési eljárások

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 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 jól tervezhetők és mérhetők a pontsűrítési feladatok, a hibaszűrés módszerek korszerűek, a nagy modellszámú tömbök megbízhatóan feldolgozhatók. A digitális fotogrammetriai programcsomagok természetesen tartalmaznak légiháromszögelési modult, modulokat.

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

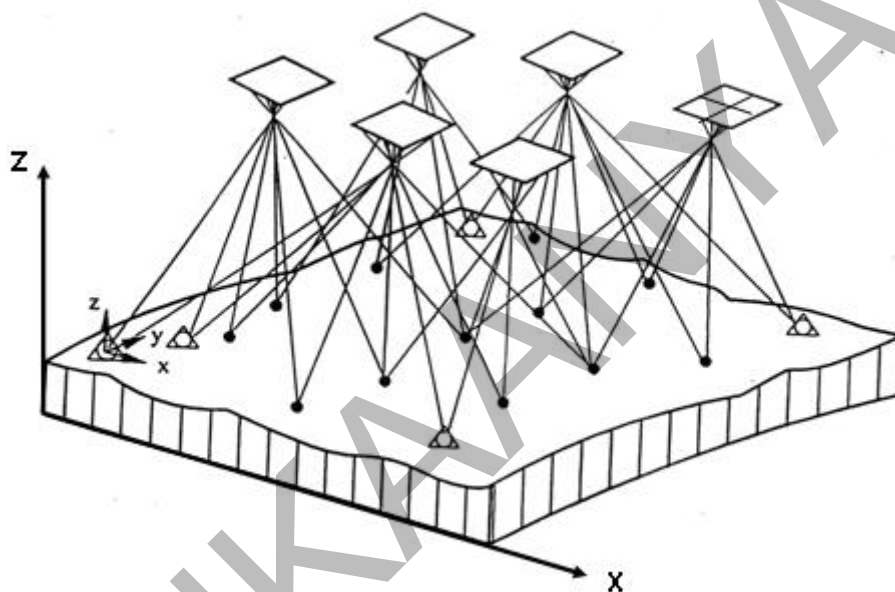
Ha méréshez és a számításhoz csak a képeket (képkoordinátákat) használjuk fel, az eljárást sugárnyaláb-kiegyenlítésnek nevezzük. Ha a képekből először ún. független modelleket hozunk létre, majd ezeket a modelleket, a kapcsolópontok segítségével először tömbbé egyesítjük, majd azt az illesztőpontok segítségével 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 tömbkiegyenlítéssel nagy pontosság érhető el, emiatt alappontsűrítésre, részletmérésre (térképezési feladatoknál) és mérnökgeodéziai feladatokra is alkalmazzuk.

Sugárnyaláb–kiegyenlítés

A sugárnyaláb–kiegyenlítéskor a képkoordináták és a tárgykoordináták kapcsolatát közvetlenül használjuk fel a számításokhoz. Alapegysége a kép. A sugárnyaláb–kiegyenlítés elvét a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra A sugárnyaláb–kiegyenlítés alapelve [4]

A képkoordináták és a hozzájuk tartozó vetítési középpont együttesen képenként egy térbeli sugárnyalábot (a képalkotó sugárnyalábbal egybevágó sugárnyaláb) határoznak meg. A tömböt alkotó sugárnyalábok külső tájékozási elemeit egyidejűleg határozzák meg. A sugárnyaláb–kiegyenlítés az összes sugárnyaláb egyidejű tájékozásából és a megfelelő sugarak metszésének előállításából áll, figyelembe véve a képek közötti mindenirányú átfedést és az illesztőpontok adatait. Célja tehát a képek külső tájékozási adatainak meghatározása, azaz a képek és a geodéziai rendszer közötti illesztés biztosítása, ezzel egyidejűleg az új pontok Y , X , Z koordinátáinak meghatározása a geodéziai koordináta-rendszerben, továbbá a képek külső tájékozási adatainak meghatározása úgy, hogy a megfelelő (homológ) sugarak a kapcsolópontokban minél jobban metsződjenek, és az illesztőpontokra minél jobban illeszkedjenek.

A számításhoz adottak a belső tájékozási adatok, az illesztőpontok, a kapcsolópontok és a meghatározandó (új) pontok ξ_i és η_i képkoordinátái. A kiegyenlítés során az egyes sugárnyalábokat toljuk el (X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i}) és forgatjuk el a három forgatási szöggel $(\kappa_i, \varphi_i, \omega_i)$.

A számítás matematikai alapja a centrális vetítés alapegyenlete:

$$\xi = \xi_0 - c_k * \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$\eta = \eta_0 - c_k * \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

A számítás pontossága növelhető, ha a különböző hibákat (filmtorzulás, refrakció, stb.) javítási értékeit bevonjuk a kiegyenlítésbe. Ezt az eljárást járulékos paraméterekkel történő kiegyenlítésnek nevezzük.

A sugárnyaláb–kiegyenlítés speciális esetei:

1. **Térbeli hátrametszés**, ahol a képek száma 1, az ismeretlenek száma 6 (külső tájékozási adatok). Ekkor tehát csak a képek külső tájékozási adatait határozzuk meg minimum 3 illesztőpont segítségével.
2. **Térbeli előmetszés**, ahol a képek száma 2, az ismeretlenek száma pontonként 3 koordináta (X, Y, Z). Ekkor pl. a nyalábkiegyenlítésből már adottak képek külső tájékozási adatai, így a feladat tehát az új pontok meghatározása.
3. **Kettős képkapcsolás**, ahol a képek száma 2, ismeretlenek a képek külső tájékozási adatai (2x6=12 adat), valamint pontonként 3-3 koordináta (X, Y, Z). Maga a mérés egy munkafolyamat, tehát egymás után mérjük az illesztőpontokat, majd az új pontokat, de a számításánál először a minimum 4 teljes illesztőpont alapján történik a képek külső tájékozási adatainak meghatározása, majd ezt követi az új pontok meghatározása.

A sugárnyaláb–kiegyenlítés előnyei:

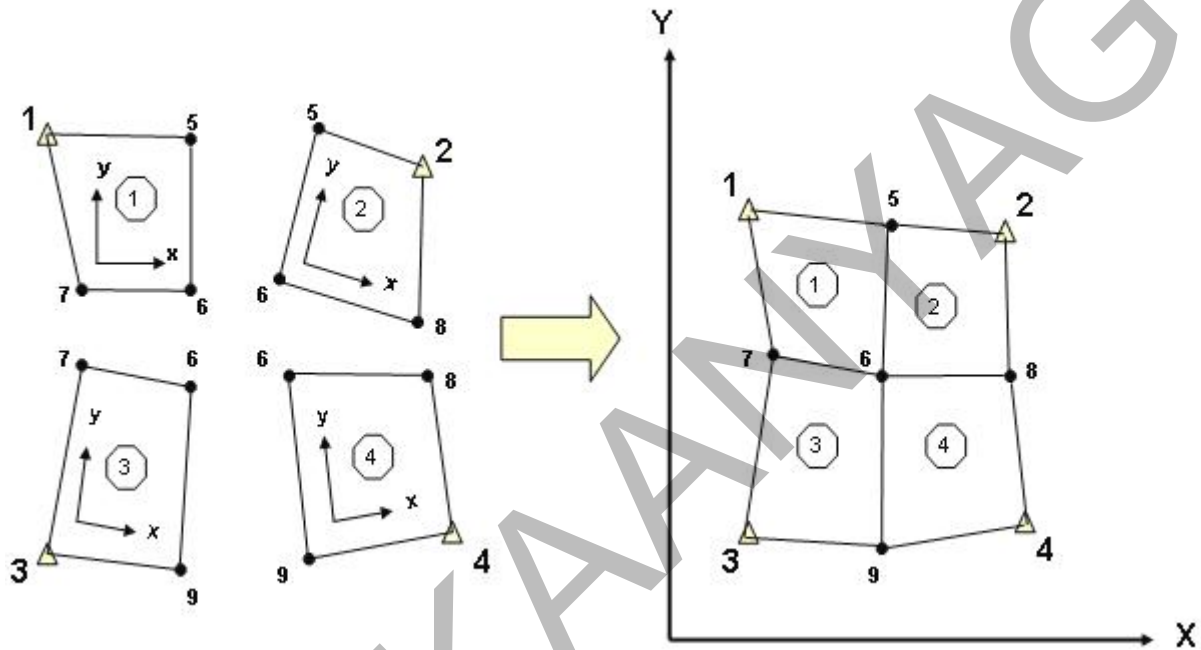
- a légháromszögelés legpontosabb eljárása,
- az eljárás kibővíthető a szabályos hibák kiküszöbölésére,
- a számításba bevonhatók külső információk,
- alkalmas földi fotogrammetriai felvételek kiértékelésére is,
- lehetőséget biztosít az analitikus plottereken, fotogrammetriai munkaállomásokon a nyalábkiegyenlítéssel meghatározott külső tájékozási elemeinek átvételére, beállítására (a modellek tájékozásához nincs szükség ezután az illesztőpontok geodéziai koordinátáinak ismeretére),
- együttesen végrehajtható földi- és légifelvételek kiegyenlítése is.

Tömbkiegyenlítés független modellekkel

A tömbkiegyenlítés során az egyes modelleket tömbbé egyesítik, és azután a magasabb rendű, országos koordináta-rendszerbe transzformálják. A független modellekkel történő tömbkiegyenlítés alapegysége tehát a térmodell. Két fő módszere ismeretes, a vízszintes és az általánosabban használt térbeli tömbkiegyenlítés.

A vízszintes tömbkiegyenlítés célja az új pontok Y és X koordinátáinak meghatározása úgy, hogy a különböző modellekhez tartozó kapcsolópontok minél jobban illeszkedjenek, és az illesztőpontokon minél kisebb ellentmondások keletkezzenek.

Ehhez adottak a relatív (kölsönös tájékozás, esetenként hozzátájékozás) tájékozott és döntött modellen mért x és y modellkoordinátái az illesztőpontoknak, a kapcsolópontoknak és az új pontoknak, egy egymástól független lokális rendszerben (8. ábra). Természetesen adottak továbbá az illesztőpontok geodéziai koordinátái.



8. ábra Vízszintes tömbkiegyenlítés független modellekkel [4]

A modellek döntése közelítően történik olyan pontossággal, hogy a megmaradó döntési (magassági) hiba hatása ne rontsa az X és Y koordináta meghatározás pontosságát. A közelítő modell méretarány meghatározásához és modell döntéshez pl. 1:10 000 térképről vehetők le távolságok és magassági adatok.

A modellkoordináták és az országos koordináták matematikai kapcsolatát a síkbeli hasonlósági transzformáció egyenletei adják:

$$X = X_u + a * x - b * y$$

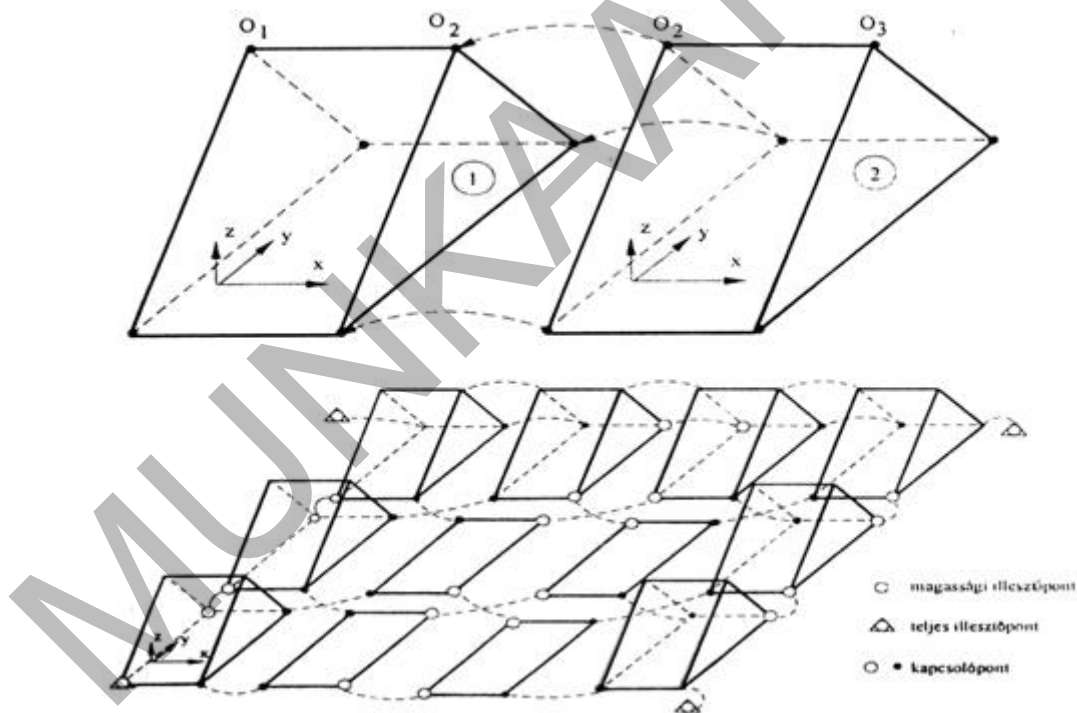
$$Y = Y_u + a * y + b * x$$

ahol $a = m * \cos K$ és $b = m * \sin K$. Az X_u és Y_u eltolási értékek, m méretarány tényező, K a modell z tengelye körüli elfordulási szöge a geodéziai koordinátarendszerhez képest.

Az alapelv egyszerű, de a több modellből álló tömbök számítása, együttes kiegyenlítése komoly, sok ismeretlen megoldását igénylő feladat. Az előbbi egyenletek több modellre történő kiterjesztése az ún. kapcsolt síkbeli hasonlósági transzformáció tárgyalása meghaladja a tantárgy kereteit. Azt azonban megjegyezzük, hogy amint az egyenletből is látható, a modellenkénti ismeretlenek száma 4 (a, b, X_u, Y_u) a kapcsolópontok X_{ki}, Y_{ki} ismeretlen koordinátái mellett. Az egyenletek lineárisak, tehát megoldásuk is egyszerű – köszönhetően az előzetes modell döntéseknek.

A **térbeli tömbkiegyenlítés** célja az új pontok Y, X, Z koordinátáinak meghatározása a geodéziai koordináta-rendszerben úgy, hogy a kapcsolópontok és vetítési középpontok minél jobban illeszkedjenek, az illesztőpontokon minél kisebb ellentmondások keletkezzenek. Mint a meghatározásból is kitűnik, itt valóban térbeli pontmeghatározásról van szó, mégpedig úgy, hogy a modellek összekapcsolásához a vetítési középpontokat is bevonjuk a számításba.

Adottak a térmodellekben a relatív tájékozás után az illesztőpontok, a kapcsolópontok és az új pontok $x, y,$ és z modellkoordinátái egy egymástól független térbeli koordináta-rendszerben (9. ábra). A vetítési középpontok modellkoordinátái az analitikus (számítással történő) relatív tájékozás és a modellképzés eredményei (számított adatok).



9. ábra Térbeli tömbkiegyenlítés [4]

A relatív tájékozott modellek és az országos koordináta-rendszer matematikai kapcsolatát a már korábban megismert térbeli hasonlósági transzformáció biztosítja:

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

A független modellek alapján történő térbeli tömbkiegyenlítés során a modelleket el kell tolni (X_u, Y_u, Z_u), döntení és forgatni kell (Φ, Ω, κ), valamint a méretarányát kell változtatni, úgy hogy a korábban megfogalmazott célt elérjük.

A tömbön belüli modellek abszolút tájékozási elemeinek egyidejű meghatározását kapcsolt térbeli hasonlósági transzformációnak tekintjük, aminek tárgyalása ugyancsak meghaladja a tantárgy kereteit. Az könnyen belátható, hogy a térbeli megoldás matematikailag sokkal bonyolultabb a síkbeli megoldásnál, mivel itt az egyenletben szereplő térbeli forgatási mátrixok megoldása már nem lineáris összefüggésen alapul, s az ismeretlenek száma is jelentősen megnő: modellenként hét (m, X_u, Y_u, Z_u , valamint ϕ, ω, χ), kapcsolópontonként pedig 3 – X,Y,Z. Ugyanakkor a mérés egyszerűbb (nem kell a modelleket előzetesen döntení), a végeredmény pontosabb és meghatározásra kerülnek a Z koordináták is.

A sugárnyaláb–kiegyenlítés pontossága nagyobb, mint a független modellekkel történő tömbkiegyenlítésé. Járulékos paraméterek felhasználásával a pontossági értékek 50%-kal jobbakk. A pontosság részletes tárgyalásától terjedelmi okokból eltekintünk.

11. Fotogrammetriai térképkészítés

A fotogrammetria sokféle méretarányú, tartalmú, pontosságú és kivitelezésű térkép elkészítésére alkalmas. A készítendő 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 összefoglaljuk a lehetséges fotogrammetriai térképkészítési technológiákat.

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 **térfotogrammetria** 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 létrehozunk, a méréseinket ezen a modellen végezzük. Analóg eljárásnál a kiértékelés lehet grafikus vagy numerikus kiértékelés. Az első esetben a kiértékelés végterméke egy grafikus rajz, az ún. sztereomérési lap, a kiértékeléshez analóg térfotogrammetriai műszert használunk. 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 használhatunk. 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 azokat.

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 egyes pontot megirányzunk a mérőjellel, majd a pont térbeli (Y, X, Z) koordinátáját megmérjük, regisztráljuk. Vonalas kiértékelésnél a mérőjelet X, Y és Z irányú mozgatással a térbeli vonalakon végigvezetjük, közben út- vagy időintervallum szerint rögzítjük a koordinátákat. A síkrajz 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, rajzgépi rajz.

A **digitális térkiértékeléssel** 3D-s vektoradatokat, digitális térképeket állíthatunk elő, a kiértékelés célja, menete megegyezik az előbb leírtakéval. Domborzati kiértékeléseknél a digitális fotogrammetria lehetőséget biztosít félautomatikus vagy teljesen automatizált domborzatmodell mérésre.

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

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 egzaktul, 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 megírányzása, azonosítása bizonytalanabb, ami függ attól is, hogy a részletpont azonosíthatósága milyen a felvételen.

12. Másolatok készítése

A fotogrammetriai eljárással készített térképtermékek, közvetlen "végtermékek" helyszíni 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, ereszméreték, frontméreték, bemérési, ellenőrzési méreték, stb.) feltüntetéséhez, mérési vonalak megtervezéséhez, továbbá minden olyan adat feljegyzéséhez, amelyet a technológia megkíván.

13. Kiegészítő, ellenőrző mérések

A fotogrammetriai eljárások alkalmazásakor minden esetben szükséges az elkészített fotogrammetriai térképek tartalmának utólagos ellenőrzése terepbejárással, az eljárás sajátosságaiból adódó hiányosságokat 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 ereszméreték (szélesség, magasság,), az épületek méretei (körbemérések), a frontméretek, 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.

14. Térképezés

Fotogrammetriai technológiák alkalmazása esetén az eredeti felmérési térképet a sztereomérési lapon, ortofotó térképen szerkesztik 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. A mai gyakorlatban az elkészült vektoros, raszteres állományt térinformatikai rendszerben, számítógépen tároljuk, s a szükséges mérést is azon végezzük. Ezzel a mérettartó fóliák elvesztik jelentőségüket – a rajzgépi rajzok tájékoztatásra, vizuális áttekintésre, archiválásra szolgálnak.

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.

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

A tananyag elsajátításánál fontos, hogy az egyes lépések ismeretanyagának megtanulása előtt értse meg azok sorrendjét, egymásra épülését. Induljon el a feladat megfogalmazásától (pl. egy térképet szeretne készíteni arról a területről, ahol lakik), majd építse fel logikusan, hogy mit kell tennie. Ebben segíti az általános fotogrammetriai technológia főbb lépéseinek felsorolása. A megértés érdekében hajtsa végre a következő feladatokat:

1. Gondolja át és értelmezze, hogy az egyes feladatok hogyan épülnek egymásra. Szükség esetén kérjen segítséget társaitól, tanárától. Csak akkor lépjen tovább, ha megértette a részfeladatok céljait. Ennek megértése után kezdje meg az egyes lépések megismerését.

2. Az ábrákat könnyebb megérteni, ha először megpróbálja értelmezni, elemezni. Azokat saját maga is rajzolja le, építse fel újra.
3. A modul teljes megértéséhez szüksége lehet más fotogrammetriai modulokban leírt ismeretekre, ezért az interneten keressen rá ezekre a tananyagokra.
4. Végezzen kutatómunkát az Interneten, vagy a könyvtárban. Keressen olyan magyarországi cégeket, amelyek légifotogrammetriával. Tanulmányozza át műszerezettségüket és főbb referenciamunkáikat.
5. Látogasson el diáktársaival tanára szervezésében és irányítása mellett egy olyan céghez, ahol foglalkoznak légifotogrammetriai feladatok végrehajtásával. Figyelje meg az ott folyó munkát, készítsen jegyzeteket a látottakról, beszélgessen az alkalmazottakkal, majd válaszoljon a következő kérdésekre:
 - Milyen feladatokat hajtanak végre a cégnél, illetve melyek azok a feladatok, amelyekkel más cégeket bíznak meg (pl. geodéziai mérések).
 - Kik készítik a repülési terveket, vagy kivel készíttetik el?
 - Milyen képzettségű szakemberek végzik a tervezést és a feldolgozást? Milyen gyakorlattal rendelkeznek?
 - Milyen a felszereltséggel, milyen erőforrásokkal rendelkezik a cég?

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

1. feladat

Sorolja fel az általános fotogrammetriai technológia lépéseit!

MUNKANYAG

2. feladat

Mutassa be a repülési terv munkarészeinek tartalmát!

3. feladat

Rajzolja le, milyen pontjeleket használ geodéziai pontok megjelöléséhez!



4. feladat

Egy folyamatábrában foglalja össze a légháromszögelési eljárásokat!



5. feladat

Ismertesse a főbb fotogrammetriai térképkészítési eljárásokat!

A rectangular area with a yellow border containing ten horizontal lines for writing the answer. A large, light gray watermark reading 'MUNKANYAG' is diagonally overlaid across the page.

MEGOLDÁSOK

1. feladat

- Műszaki terv készítése
- Technológiai utasítás készítése
- Repülési terv készítése
- Geodéziai előkészítés
- Légifényképek elkészítése
- Laboratóriumi munkák
- Műszaki előkészítés
- Illesztőpontmérés
- Minősítés
- Légiháromszögelés (fotogrammetriai pontsűrítés)
- Fotogrammetriai térképkészítés, kiértékelés
- Másolatok készítése
- Földi kiegészítő, ellenőrző mérések
- Térképezés
- Befejező munkák, tisztázati rajz készítése

2. feladat

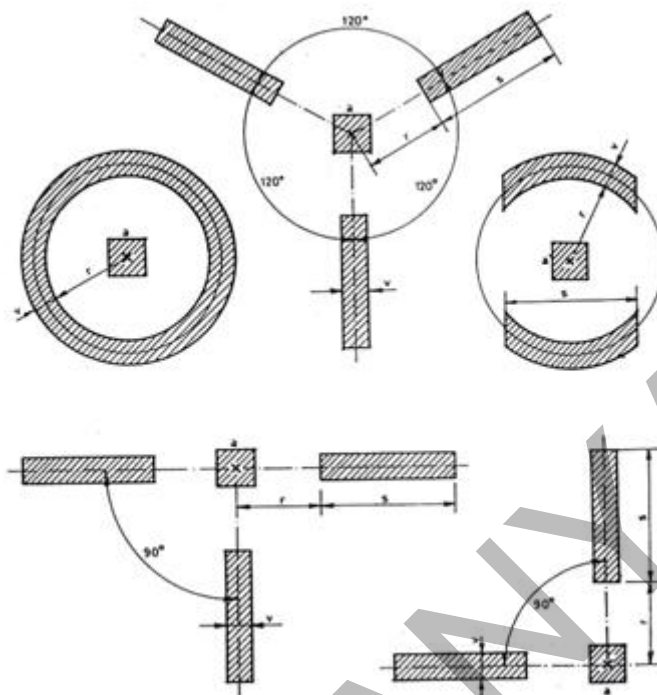
A **technikai terv** tartalmazza a munkaterület megnevezését, a légi fényképanyag rendeltetését, a filmtípust (digitális fényképezés esetén nincs), a kameraállandót és képméretet, az átlagos képméretarányt, a Bx-t és By-t, a sávszélességet, a sorok közötti és soron belüli átfedést, az átlagos relatív repülési magasságot, az abszolút repülési magasságokat soronként.

A **repülési vázlat** tartalmazza a munkaterület (fényképezendő terület) határvonalát, a térképszelvény sarokpontjait, jól azonosítható síkrajzi vonalakat, háromszögelési pontokat, a repülési sorok tengelyvonalait a kezdő- és végponttal (piros színnel), a tengelyek sorszámát, abszolút repülési magasságát és hosszát (piros színnel), megírásokat (megrendelő, méretarány, fényképezendő település neve, sorok száma, hossza, abszolút repülési magassága).

A **területjegyzék** a terület fekvését, területi adatait tartalmazza.

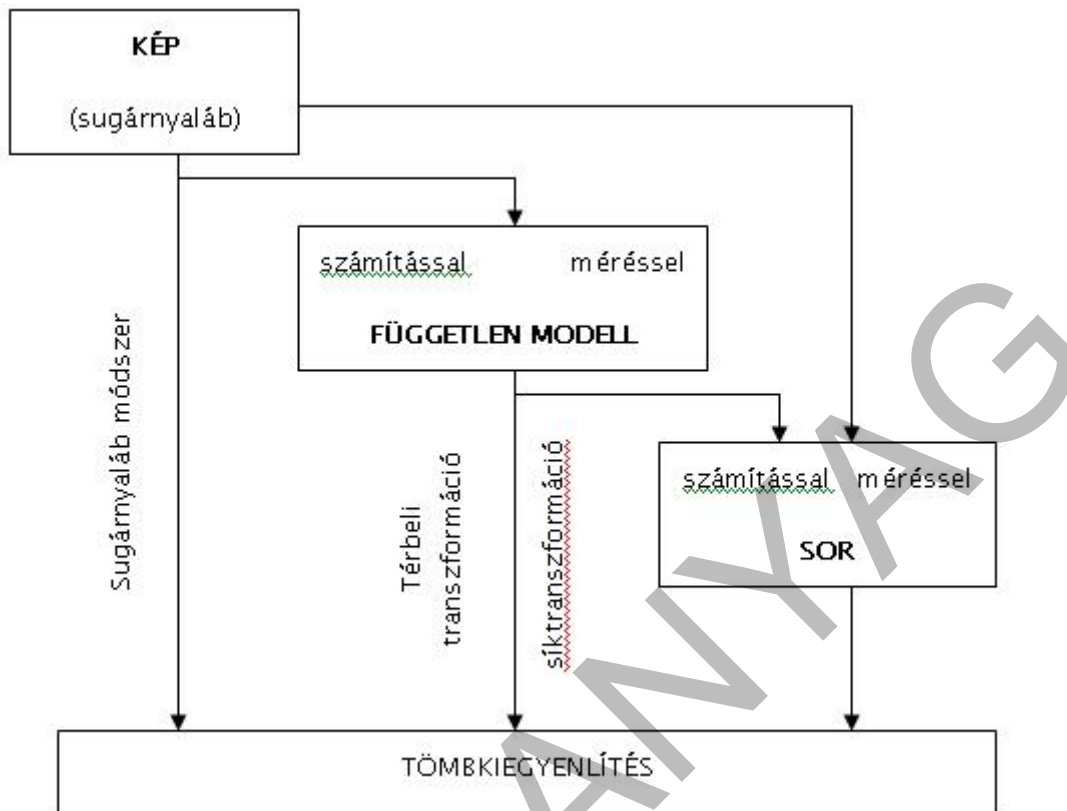
Az **áttekintő vázlat** több repülési vázlat esetén egy kisebb méretarányú egyesített rajz.

3. feladat



10. ábra

4. feladat



11. ábra

5. feladat

Az egy kép kiértékelésén alapuló fotogrammetriai módszerek összefoglaló elnevezése az **ortofotoszkópia**, más néven egyképes vagy síkfotogrammetria. 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. Az ortofotoszkópia legkorszerűbb kiértékelési eljárásai a digitális interaktív egyképes kiértékelés és a digitális ortoprojekció. Az első digitális vektoradatokat, a második raszteres adatokat szolgáltat.

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

IRODALOMJEGYZÉK

FELHASZNÁLT IRODALOM

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

Majoros G.: Fotogrammetria II., EFE FFFK, Székesfehérvár, 1981.

L.1 Szabályzat

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

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

AJÁNLOTT IRODALOM

Internetes honlapok

MUNKANYAG

A(z) 2241-06 modul 003-as 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:
20 óra

MUNKANYAG

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