



Dr. Engler Péter

# A fotogrammetriai információszerzés eszközei, módszerei

 **NSZFI**  
NEMZETI SZAKKÉPZÉSI  
ÉS FELNŐTKÉPZÉSI INTÉZET

A követelménymodul megnevezése:  
**Fotogrammetria feladatai**

A követelménymodul száma: 2241-06 A tartalomlelem azonosító száma és célcsoportja: SzT-011-50

## A FOTOGRAMMETRIAI INFORMÁCIÓSZERZÉS ESZKÖZEI, MÓDSZEREI

### ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

A fotogrammetria olyan tudományterület, amelyik az információit nem közvetlen a terepről, tárgyról, hanem az azokról készített képekről nyeri. A kép lehet analóg fénykép vagy digitális kép. Egy fotogrammetriai feladat tehát az információszerzéssel kezdődik, ezt követi a feldolgozás, kiértékelés. Azokat az eszközöket, amelyekkel a képeket előállítjuk, az információszerzés eszközeinek, vagy kameráknak nevezzük. Fotogrammetriai kiértékelésekhez elsősorban mérőfényképeket készítünk. Azokat a kamerákat pedig, amelyekkel mérőfényképet készíthetünk, mérőkameráknak nevezzük. A mérőkamera egyik legfontosabb jellemzője, hogy a belső adatai (009 modul) ismertek és azok állandóságát biztosítják.

Ahhoz, hogy megfelelő tartalmú és pontosságú kiértékelést tudjunk csinálni, szükség van olyan alapismeretekre, amelyekből a felhasználó megismeri a fényképező kamerák legfontosabb fajtáit, jellemzőit, ami alapján pedig el tudja dönteni, hogy az egyes feladatokhoz milyen típusú felvételre van szüksége és azt milyen kamerával lehet elkészíteni.

### SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

#### BEVEZETÉS

Módszertanilag a kamerákat a következő csoportokba soroljuk [3]:

1. **mérőkamerák** (metric cameras), melyeket speciálisan fotogrammetriai célokra fejlesztették ki;
2. **részben mérőkamerák** (partial-metric cameras), amelyek eredetileg nem fotogrammetriai célokra készültek, de mérési feladatok ellátására tovább fejlesztették őket, azonban a belső adatok nem mindegyikét biztosítják stabilan, vagy pontosan;
3. **nem mérőkamerák**, másképpen amatőr kamerák (non metric cameras), amelyek fotogrammetriai célokra csak kis pontossági követelmények mellett és nagyobb kiértékelési munkával használhatók.

A mérőkamerákat – a gyakorlati szempontoknak leginkább megfelelően – további két nagy csoportba soroljuk:

1. **földi** mérőkamerák,
2. **légi** kamerák.

### FÖLDI MÉRŐKAMERÁK

A földi mérőkamerák az expozíció pillanatában a föld felületén mozdulatlanul állnak. Amennyiben a felvétel földi objektumról készül, akkor földi fotogrammetriai mérőkameráról beszélünk. Más esetben a fényképezés célja lehet pl. a föld körül keringő mesterséges égitest. Az erre a célra készített kamerákat ballisztikus mérőkameráknak nevezzük [1].

A földi fotogrammetria mérőkameráit több szempont szerint csoportosíthatjuk, melyek közül csak kettőt emelünk ki:

Az egy állásponton elhelyezett **kamerák száma szerint**

- az egyes **kamera** olyan felvevő kamera, amelyet a geodéziai műszerekhez hasonlóan háromlábú műszerállványra helyezünk fel és az expozícióval egy kép készül,
- **ikerkamera**, vagy sztereokamera, amelyet ugyancsak műszerállványra tesszük fel, de a fényképezéskor egy időpillanatban térfotogrammetriai kiértékelésre alkalmas képpárat készítünk.

A kamera **szerkezeti felépítése szerint**

- **merevtengelyű kamerák**, amelyekkel csak olyan felvételek készíthetők, ahol a kameratengely vízszintes, ebből adódóan a képsík függőleges helyzetű;
- **dönthető tengelyű kamerák**, amelyeknél a kameratengelyt egy vízszintes tengely körül többnyire megadott szögértékekkel megdönthetjük. A képsík az ilyen kamerával történő fényképezés esetén akár vízszintes is lehet.

A hagyományos földi mérőkameráknak több olyan jellemző tulajdonsága van, ami miatt addig, amíg a megfelelő fotográfiai háttér (film, vegyszer, labor) rendelkezésre áll jól használhatók [4]:

- jó minőségű optikával rendelkeznek,
- nagyméretű képeket lehet velük készíteni (13x18, 10x12 cm),
- ismertek a belső tájékozási elemek,
- a képek felbontása, rajzolata nagyon jó, tónus gazdag,
- szükség esetén jól rögzíthetők és beállíthatók a műszerállványon,
- a felvételekre azonosító adatokat, információkat lehet ráfényképezni.

A kamerákkal szemben két alapvető, fontos követelményt támasztunk [2]:

1. a belső adatokat tartósan őrizze meg,
2. a külső adatokat könnyen, gyorsan és kellő pontossággal határozhatjuk meg.

A felvétel külső adatait a felvételkészítés előtt vagy után valóban egyszerűen megadhatjuk. A vetítési középpont koordinátáit geodéziai méréssel meghatározhatjuk, a szögelemeket a kamerák beállítása után a műszerről leolvashatjuk. A külső tájékozási elemek meghatározása érdekében a kameráknak általában rendelkezniük kell

- olyan eszközökkel, melyek segítségével geodéziai mérőműszerek csatlakoztathatók hozzá. Azokat a kamerákat, amelyek rendelkeznek közvetlen szögmérésre alkalmas műszerelemmel is, fototeodolitoknak nevezzük. A korszerű kamerák (pl. WILD P31) nem fototeodolitok, mert estükben a kényszerközpontosító segítségével a kamera helyére tesszük a geodéziai műszert és nincs azzal egybeépítve.
- libellákkal beállítható műszerállvánnyal, amelyek lehetnek egyszerű geodéziai műszerállványok, vagy főként az ikerkamerákhoz készített speciális állványok;
- vízszintes értelmű forgatási lehetőséggel, amikor az elfordulási szög egy vízszintes körosztáson leolvasható, vagy állandó szögértékek beállíthatók;
- a vízszintes síkon kívül eső pontok megírányzásához egy magassági értelemben is állítható távcsővel;
- vízszintes tengely körüli döntési lehetőséggel (csak dönthető tengelyű kamerák esetében) folyamatosan magassági körleolvasással, vagy rögzített értékekkel;
- elforgatási lehetőséggel, azaz álló vagy fekvő képformátumot használhassunk;
- keresővel, matt üveglemezzel, vagy a kamera külső részén elhelyezett a szélső sugarak kijelölésére szolgáló jelekkel, hogy a képterületet ellenőrizhessük a fényképezés előtt.

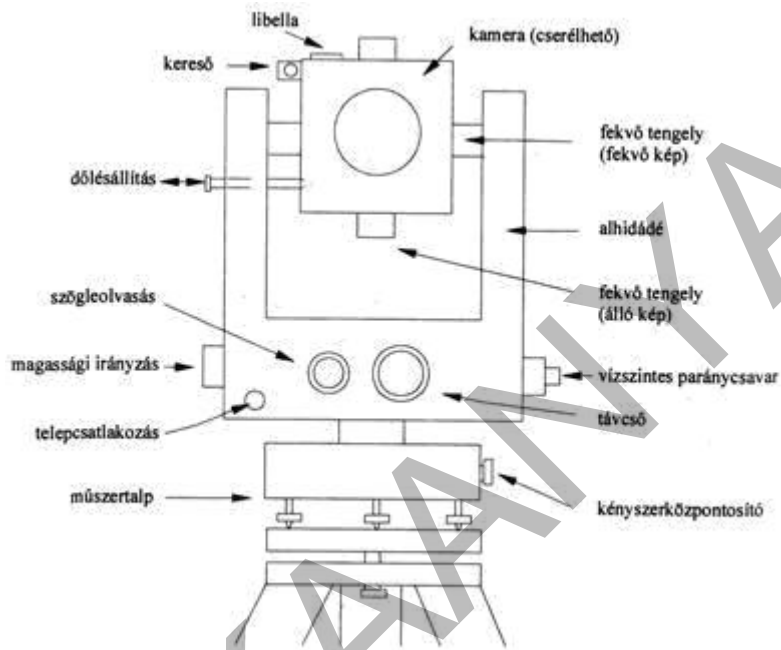
Az analitikus fotogrammetriai kiértékelésekhez nincs szükség a külső adatok pontos megadására, illetve beállítására, mert azok illesztőpontok alapján számítással közvetett módon meghatározhatók. A külső adatok ismerete azonban továbbra is fontos lehet, mert a számításokhoz a felvételezéskor mért és beállított adatokat a számításoknál jó kezdőértékként fel tudjuk használni.

## EGYES KAMERÁK

Egy kép készítésére alkalmas földi mérőkamerát alkalmazunk olyan esetekben, amikor a kívánt pontosság elérése érdekében a felvételi távolságot és a bázisviszonyt a vizsgált tárgy helyzetét és méretét figyelembe véve határozzuk meg. A szakzsargonban földi mérőkamera alatt mindig az egy kép készítésére alkalmas mérőkamerát értjük. A földi mérőkamerákkal készíthető képek téglalap alakúak. Képméretük változó: 18x24, 13x18, 10x15, 9x12, 6,5x9 cm. A képek alakhelyzetben fekvő formátumúak. Ha a kamera rendelkezik elforgatási lehetőséggel, a képterület jobb kihasználása érdekében álló formátumú képet is készíthetünk [1].

A kamerák döntő többsége dönthető tengelyű kamera, ami szintén a képterület jobb kihasználását teszi lehetővé. A kamerák nyílásszöge lehet normál, nagy és igen nagy nyílásszög. A kamerák többsége rendelkezik zárszerkezettel, ahol az expozíciós idő általában B-től (végtelen) 1/60, 1/300, 1/400 vagy 1/500 másodperc között állítható.

A rekesznyílás értékét is kameratípusonként változó értékekkel állíthatjuk be, jellemzően az 5.6, 8, 11, 16, 22 értékek között. A földi mérőkamerák többségénél a képtávolság állandó, ezekkel csak a rekesznyílás által meghatározott mélységélességi tartományban fényképezhetünk. Előnye viszont, hogy a  $c_k$  kameraállandó értéke valóban állandó. Néhány gyártó készített olyan kamerákat, amelyeknél a képtávolság változtatható, azaz állítható a tárgytávolság. Az ilyen kamerával készített felvételek esetében a kameraállandót korrigálni kell a változó tárgytávolság függvényében. Az 1. ábra egy földi mérőkamera vázlatos rajzát mutatja.



1. ábra Földi felvevő kamera [3]

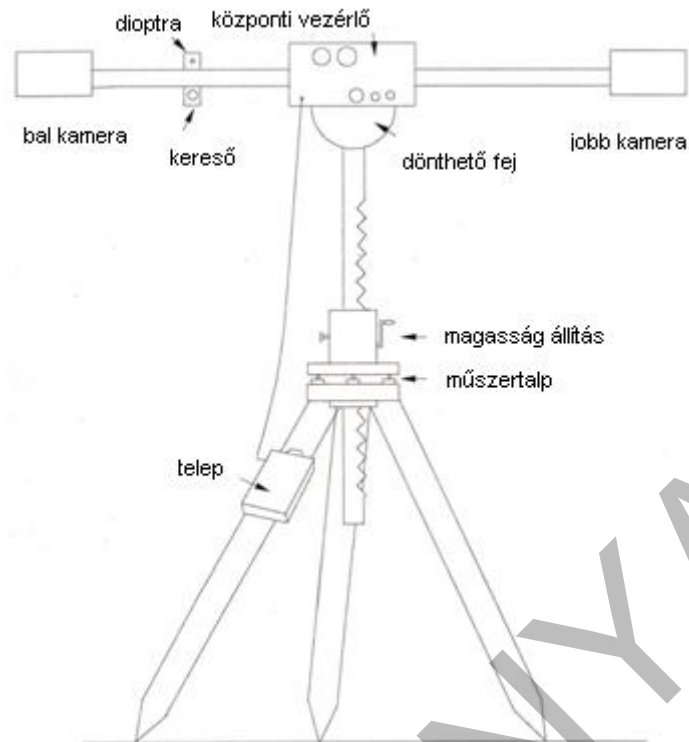
A magyarországi gyakorlatban a Zeiss Photeo 19/1318 fototeodolitot, a Zeiss UMK 10/1318 és a Wild P31 (2. ábra) univerzális mérőkamerákat alkalmazták földi fotogrammetriai feladatok megoldására.



2. ábra WILD P31 kamera

## IKERKAMERÁK

Az ikerkamera, vagy sztereo-mérőkamera egy általában konstans bázis két végpontján, a bázisra merőleges tengellyel rögzített két kamerából áll. A leggyakrabban alkalmazott bázishossz a 40 és a 120 cm. Például a 120 cm bázisú ikerkamera 5–25 m-es tárgytávolságnál használható. Az állandó bázisú ikerkamerák képmérete jellemzően 9x12, 6.5x9 cm, a kameraállandó értéke 56, 60, vagy 64 mm. A rekesznyílás 8 és 32 között, az expozíciós idő B-től 1/400, vagy 1/500 másodpercig állítható. A változtatható bázisú ikerkamerák egy bázissínre erősíthetők fel, amelyen a kamerák távolsága, bázisa tetszőlegesen állítható. A változtatható bázisú kamerák nagyobb képmérettel (13x18 cm) rendelkeznek és a kameraállandó is nagyobb (99, 100, 150 mm). Az ikerkameránál az exponálás egy olyan speciális távkioldó zsinórral történik, amelyik mindkét kamerában ugyanazon pillanatban nyitja a zárszerkezetet. A 3. ábra egy ikerkamera vázlatos rajzát mutatja.



3. ábra Ikerkamera [3]

Magyarországon az SMK 40-es és 120-as fix bázisú ikerkamerákat használták.

Az ikerkamerák legnagyobb előnye az, hogy változó jelenség vizsgálatára is alkalmas képpárokat készíthetünk, mert mind a két kép egy időpillanatban készül, tehát ugyanazt az állapotot rögzíti két különböző álláspontról.

## LÉGI MÉRŐKAMERÁK

A légifényképezésben az elsődleges cél, hogy olyan felvételeket készítsünk, amelyek a vizsgált területet teljes egészében lefedik, a képek előírt mértékben átfedik egymást. Ilyen feladat végrehajtása mozgó repülőről történő fényképezéskor csak magas szintű automatizálással lehetséges. A légifényképező mérőkamerák sorozatfelvételek készítésére alkalmas eszközök. A légifényképező kamerák a repülőgép törzsében, közelítőleg a súlypontjában, a padlóban vágott nyílás felett vannak beépítve.

### A légifényképező kamerákkal szemben támasztott követelmények

A légikamerákkal szemben nagyon sok követelményt támasztunk. Először a külső tájékozás követelményeit foglaljuk össze:

- A lefelé néző kameratengely iránya talpcsavarok segítségével állítható legyen. Ekkor az  $\omega$  és  $\varphi$  értéke  $5^\circ$  alatt tartható. A korszerű kamerák beállítása két nagy pontosságú giroszkóppal automatikusan történik.

- Egy olyan eszközzel kell rendelkeznie, amellyel az oldalgást észlelni tudjuk, és a kamerát a tényleges repülési irányba állíthatjuk ( $\chi \leq 30$ ). Ehhez a kamerát a függőleges tengely körül egy gyűrű alakú felfüggesztésben el kell tudnunk forgatni.
- A repülés tengelyvonalára rá kell repülni és azt tartani mind vízszintes, mind magassági értelemben. A fényképező repüléshez tehát jó navigációs eszközök is szükségesek.
- A tervezett soron belüli átfedést az egymást követő képek között tartani kell. Ehhez egy átfedésszabályozó szükséges.
- A repülő személyzetnek (pilóta, navigátor, fényképész) együtt kell dolgoznia, hogy a felvételek a repülési tervnek megfelelően készüljenek el. Fontos, hogy közöttük rádió összeköttetés legyen.
- A repülőgép haladása a megvilágítási idő alatt képvándorlást okoz, amelyet a képnek a megvilágítási idő alatti elmozdításával kompenzálhatunk. A keretjелеk leképződése ennek ellenére kielégítően élesnek kell lennie.
- A rövid megvilágítási idők (1/150 - 1/1000 s) miatt feltétlenül szükséges nagy fényhatásfokkal rendelkező zár alkalmazása.

Amíg a földi kamerák esetében a külső tájékozási elemek könnyen meghatározhatók, ez a légikameráknál természetesen – mint az előzőekből is látható – olyan egyszerűen nem lehetséges.

A belső tájékozás vonatkozásában a légi mérőkamerák a földi mérőkameráktól az alábbiak miatt különböznek:

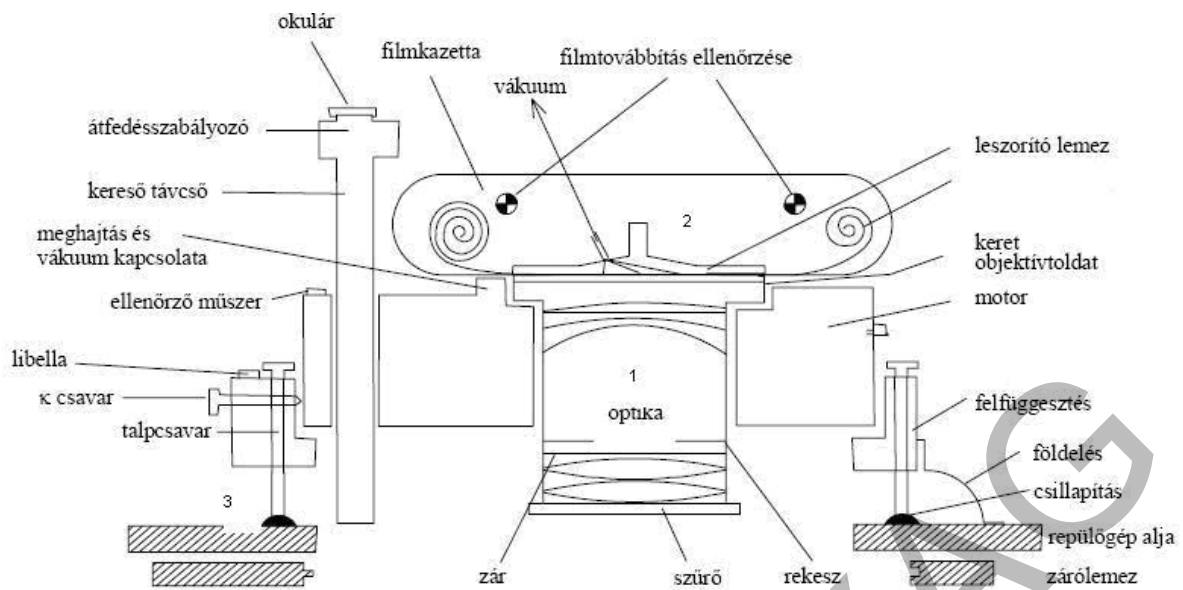
- Mindig egy rögzített kameraállandóval dolgozunk, amely még nagy nyílásszögű kamera esetén sem a végtelenre, hanem egy kb. 500 m-es tárgytávolságnak megfelelő értékre van beállítva.
- A képek formátuma ma már szinte teljesen egységesen 23x23 cm. A nagy formátum igen jó területfedést biztosít.
- A filmet nagy méretei miatt pneumatikusan síkba kell fektetni.
- A keretjeleket meg kell világítani.
- A belső adatok állandósága érdekében biztosítani kell, hogy a nagy hőmérsékletingadozástól védve legyenek (pl. a hideg levegő elterelése, esetleg egy padlónyílást záró üveglemez).

### A légikamerák felépítése

A sorozatfelvevő légi mérőkamerák felépítése hármastagozódású (4. ábra):

1. Kameratörzs (objektív toldat),
2. Negatív tároló (filmkazetta),
3. Kameratest





4. ábra Légifényképező kamera [3]

### 1. A kameratörzs (objektívtoldal)

A kameratoldal magában foglalja a több lencsetagból álló objektívet, az objektív fényerejének szabályozására szolgáló rekeszt és a lencsetagok között elhelyezkedő központi zárat. Ugyancsak a kameratoldal része a felfekvő keret (a jelkeret síkja), amely lehetővé teszi, hogy megfelelő leszorítás esetén a negatív a képsíkba feküdjön. A felfekvő kereten található a keretjelek. Az objektív cseréje esetén a kameratoldatot cseréljük, tehát a lencsék és a jelkeret viszonya gyakorlatilag nem változik. Ezzel biztosítani tudjuk a belső adatok állandóságát. Az objektív toldatok cserélhetők. A kameratoldal cseréjével különböző nyílásszögű felvételeket készíthetünk.

A kameratoldal anyaga tömör öntvény, az objektív felől hengeres kiképzésű és az objektív ebbe a hengeres részbe van beépítve. A többnyire szimmetrikus lencsetagok között található központi zár a rekeszsel együtt szabályozzák a lencsén áthaladó fény mennyiségét. A zársebesség beállításával szabályozzuk az expozíciós időt, míg a lemezekből álló rekesz a sugárnyaláb átmérőjét határozza meg.

A mérethelyesség megköveteli a felvételek megvilágításakor a központi zár alkalmazását, melynek eredményeképpen mind a belső adatok, mind a külső tájékozási elemek a kép egészére érvényesek. A központi zár tulajdonsága, hogy a teljes képmezőt gyakorlatilag azonos időben világítja meg. A földi kamerákban az egyszerű lemezes zárat, a légi kamerákban a forgólemezes zárat alkalmazzák. A forgólemezes zár lényege, hogy az egyes lemezek állandó, de különböző sebességgel forognak. A lemezeken lévő bemetszések csak az expozíció pillanatában és idejéig kerülnek az objektív elé. A lemezek fordulatszáma határozza meg az expozíciós időt.

Az objektív fókusz síkjában van a felfekvő keret. A légifényképezésben egy képtávolságot használunk, amely a kameraállandóval azonos. A kameraállandó az objektív kép felőli fókuszpontjának és a felfekvő keret felső síkjának távolságával azonos. A szabatos sík kereten, az oldalak középpontjában képezik ki a mechanikai keretjeleket, míg az optikai keretjeleket a képsarkokba mikroszkóp segítségével vetítik be. Az újabb kameráknál az oldalak középpontjába is optikai keretjelet vetítenek be. Ezzel 8 keretjelre végezhető el a képkoordináta transzformáció, mely a filmtorzulások jobb hatásfokú kiegyenlítését segíti elő.

## **2. A negatív tároló (filmkazetta)**

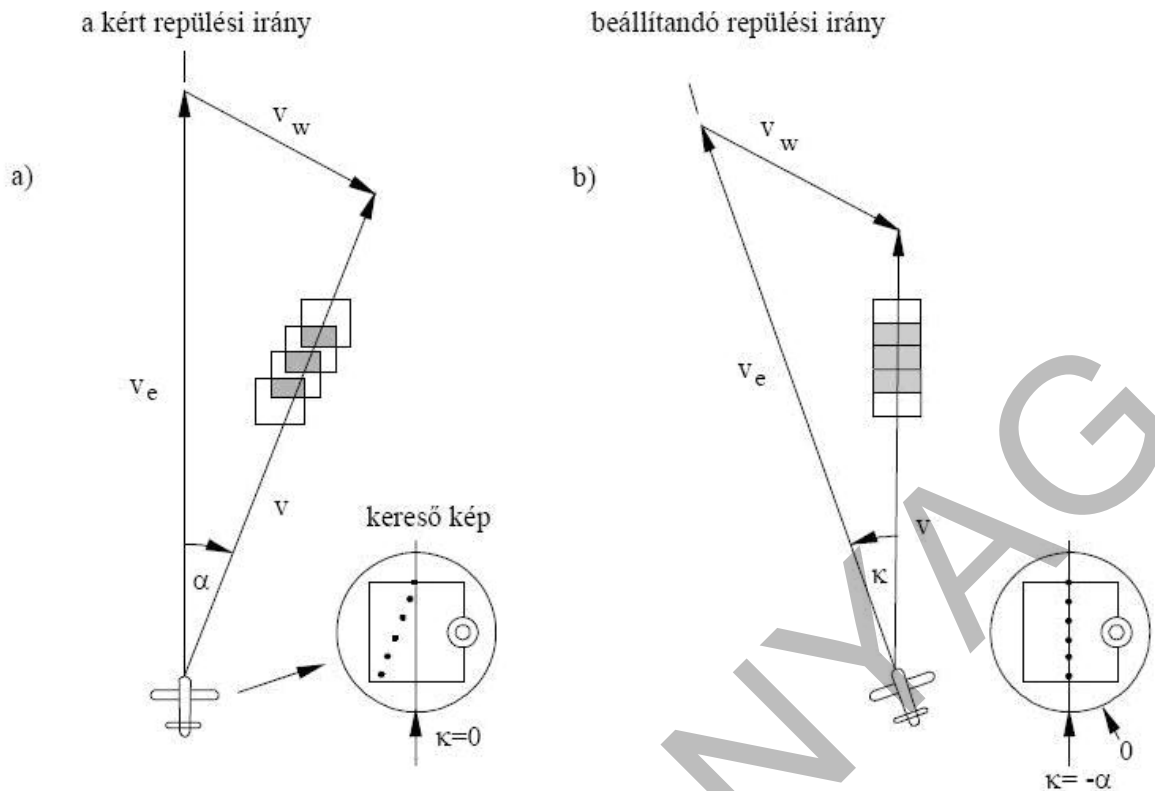
A filmkazetta tartalmazza az orsókat, a megvilágított és a megvilágítatlan filmmel, tovább a filmtovábbító és síkba fektető mechanizmust. Az újabb típusú kameráknál a síkba fektető lemez a kameratest tartozéka, s része a képvándorlás kompenzáló mechanizmusnak. A film síkba fektetése a mai kamerákban vákuummal történik. Egy szívóberendezés a film mögötti szabatos síkot képező szívólemezzel és a film között vákuumot hoz létre. Ez a megoldás biztosítja, hogy a felvétel közben a film tökéletesen síkban legyen, azaz film hullámosságából adódó filmbelógást kiküszöböli.

A filmet tartalmazó kazetta leemelése előtt a film egy fényzáró redőnnyel fedhető le. Egy kazetta általában 60 m, vagy 120 m film befogadására alkalmas.

## **3. A kameratest**

A kameratest kívülről mechanikusan csatlakozik a felfüggesztő berendezéshez, belülről pedig magában foglalja a meghajtó művet, valamint a különböző vezérlő és mérő egységeket, kapcsolókat.

A felfüggesztő berendezés rögzíti a kamerát a gép törzséhez. A korszerű kamerák beállítása giroszkóp segítségével történik. A felfüggesztő berendezés révén a kamera elforgatható, így a kép oldalát a repülési tengellyel párhuzamosan lehet tartani. Oldalszél hatására ugyanis a repülőgép hossz tengelyének iránya és a repülési iránya eltér, melynek eredményeként a képek sarkosan fednék át egymást (5. ábra)



5. ábra Oldalgás ellenőrzése és beállítása [3]

A kamera elfogatásával az oldalgás ellenére a képek újra megfelelően fedik át egymást.

A kameratest a kameratoldathoz hasonlóan egy öntvényből készül. A benne lévő meghajtó mechanizmus biztosítja a soron következő felvétel elkészítéséhez szükséges műveletek végrehajtását.

### A LÉGIKAMERÁK KIEGÉSZÍTŐ BERENDEZÉSEI

A légikamerák kiegészítő, vagy segédberendezései a navigációt és a fényképezés vezérlését hivatottak biztosítani.

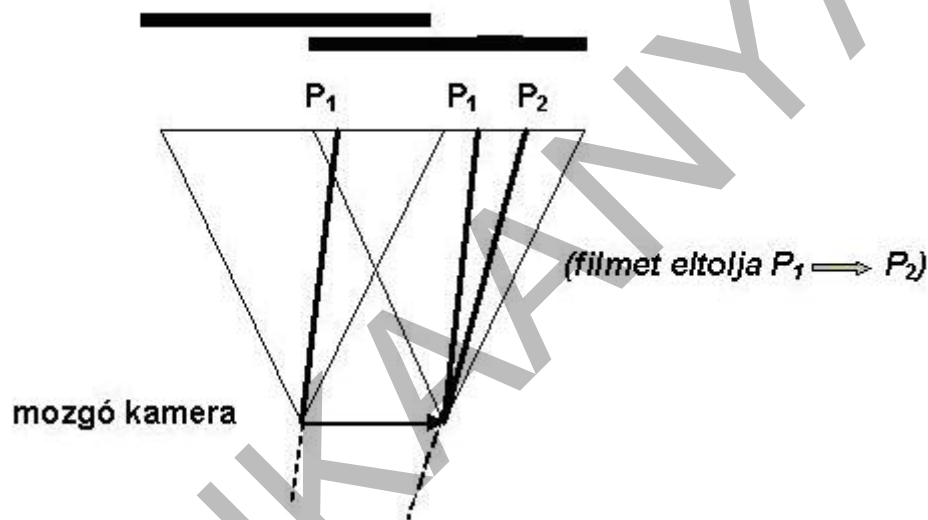
A WILD kamerákhoz csatlakoztatható kereső távcsőben (6. ábra) a kamera kezelője a terepet látszólag haladni látja.



A kereső távcsövek, illetve vezérlő berendezések mellett még speciális navigációs távcsövek is vannak (pl. Leica NF2A), amelyeket a kamerától távol, a navigátor ülésénél helyeznek el. A kamerát onnan, távvezérléssel irányítják. A navigációs távcsövek általában 40–50°-os hajlással előre néznek.

Vannak kameratípusok, amelyekhez automatikus megvilágítás szabályozó berendezést is építenek, melyek a film érzékenységének, valamint a választott expozíciós időnek megfelelően a terepről visszavert fény mennyisége szerint szabályozza a rekesznyílást.

A korszerű légi mérőkamerák, a repülőgép egyenletes előrehaladása miatt jelentkező képvándorlást egy képvándorlást kompenzáló berendezés (FMC = forward motion compensation) segítségével megszüntethetjük, vagy csökkenthetjük. A képvándorlást oly módon kompenzálja, hogy a filmleszorító keretet a repülési sebességtől függően, számítógéppel vezérelten eltolja a megvilágítási idő alatt (7. ábra).



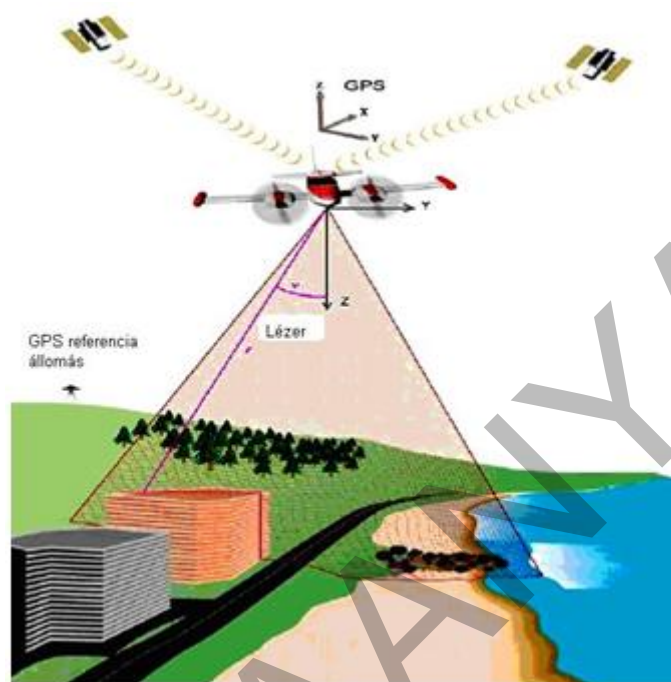
7. ábra Képvándorlás kompenzálás

Mint korábban említettük, a légi fényképezésnél fontos, hogy a kameratengely függőleges, vagy közel függőleges legyen. A korszerű kamerák beállítása két nagy pontosságú gíroszkóppal és horizontális érzékelővel automatikusan történik. A stabilizáló berendezést a kameratestbe építik be.

A mai gyakorlatban a repülőgépeket elláthatják inerciális navigációs rendszerrel. Az inerciális navigációs rendszerrel a külső tájékozási elemeket is regisztrálhatjuk minden egyes felvételhez, mégpedig a felvételi hely  $\phi$ ,  $\lambda$  földrajzi koordinátáit és a magasságát, a kamera  $\varphi$  és  $\omega$  dőlésszögeit, a menetirányt, és az oldalgást, valamint a dátumot és az időpontot. Az oldalgás beállítása és a bázisirányú átfedés szabályozása ebben az esetben automatikusan történik. Az ilyen inerciális navigációs rendszernek a külső adatok meghatározásán túl előnye, hogy a feltáratlan területek felett is pontos repülést hajthatunk végre.

## KÜLSŐ ADATOK MEGHATÁROZÁSA

A külső adatok közül a koordináták meghatározására, valamint navigációra és vezérlésre a mai gyakorlatban a GPS-t használják (8. ábra). A repülőgép törzsén, vagy szárnyán elhelyezett egy, vagy több vevő segítségével a felvételi hely meghatározható kinematikus helymeghatározással.



8. ábra GPS alkalmazása

Ha nem szükséges valamennyi külső adat meghatározása, a repülési magasságot azonban minden esetben mérjük. A repülési magasság lehet relatív ( $h_r$  = terepszint feletti), vagy abszolút ( $h_a$  = tengerszint feletti) magasság.

Az abszolút repülési magasság mérésére leggyakrabban alkalmazott magasságmérő műszer a fémbárométer (aneroid), mely a kameratestbe van kivehető módon elhelyezve. Működése azon elven alapul, hogy a légnyomás a magassággal egyenletesen változik és az egyenlő nyomású (izobár) felületek az alapszint felülettel, azaz a tengerszinttel párhuzamosak. A fémbárométert a légnyomás helyett közvetlenül magasságra hitelesítik. A repülőtéren a repülőtér tengerszint feletti magasságát állítják be, a műszer a változást ehhez képest méri és a felvételi álláspontok tengerszint feletti közelítő magasságát a film szélére leképezi. A mért pontosság:  $\pm 10$  m.

A relatív repülési magasság mérésére elterjedőben van a lézer használata. A repülési tengely alatt mérhetjük a terepszint feletti magasságot. A lézerrel azonban nem csak a repülési magasságot mérjük, hanem a tengelyre merőleges irányban pásztázva a lézer segítségével mérhetjük a domborzatmodellt, vagy az ún. felületmodellt is (8. ábra). A lézeres magasságmérés pontossága:  $\pm 1$  m.

## A LÉGIFÉNYKÉPEZŐ KAMERÁK VIZSGÁLATA

A légifényképező kamerák komoly külső hatásoknak vannak kitéve (pl. hőmérsékletváltozás, stb.). A kamera belső adatai és más jellemzői a használat során változhatnak, emiatt szükség van arra, hogy 2–3 évenként megvizsgálják és hitelesítsék azokat. A kamerák vizsgálatát kamerakalibrációnak nevezzük. A kamerakalibrációt leggyakrabban laboratóriumi módszerekkel végzik el, ahol olyan mintákat, jeleket képeznek le, melyek egymáshoz viszonyított helyzete pontosan ismert. Ezután szabatos méréseket végeznek az optika képen és összehasonlítják a jelek tényleges képi helyzetét az elméleti helyzettel. A kamerakalibráció során a következő adatokat határozzák meg:

- a kameraállandót ( $c_k$ ), vagy kalibrált fókuszot,
- a főtérpont koordinátáinak értékeit ( $\xi_0, \eta_0$ ),
- a keretjelek koordináta értékeit,
- az átlagos radiális elrajzolást, mely leírja az elrajzolás értékeit a legjobb szimmetria ponttól mért radiális távolságok függvényében,
- az egymással szemben lévő keretjelek távolságait, ez összesen 6 adat, a négy oldal és a két átló,
- a képkoordináta-rendszer tengelyeinek merőlegességét, melynek  $90^\circ \pm 1'$ -nek kell lennie,
- a képsík hullámosságát, melynek az eltérése az elméleti síktól maximum 0,01 mm lehet,
- az objektív optikai feloldóképességét.

## A MAGYARORSZÁGON HASZNÁLT KAMERÁK

A Magyarországon használatos mérőkamerák és műszaki paraméterei a következők [6.]:

Kamera típus	Objektív-tulajdonságok								
	min. cikl. idő [s]	p [%]	típus	f [mm]	fényerő	képméret [cm]	exp. idő [s]	max. radiális elrajzolás [ $\mu\text{m}$ ]	infra tart.
RC-10	1,8	20–90	Uaga II	152	4,0	23x23	1/100–1/1000	4,0	igen
RC-10	1,8	20–90	Saga II	88	5,6	23x23	1/100–1/1000	15,0	igen
RC-10	1,8	1–99	Uaga II	153	automatikus	23x23	1/100–1/1000	4,0	igen
RC-30	1,8	0–99	Uaga II	153	Automatikus	23x23	1/100–1/1000	2,5	igen



9. ábra Leica RC kamerák [5]

## DIGITÁLIS KAMERÁK

A digitális kamerák, más szóhasználatban CCD kamerák alapelvét a 70'-es években fejlesztették ki. A CCD érzékelőkben a képérzékelő és tároló egységeket sorban vagy mátrixszerűen rendezik el egymástól elszigetelten. A mozaik egy elemét, ami végül számítógép segítségével megjelenített kép egy pontja lesz, nevezzük pixelnek (az angol picture x element, képelem szavak rövidítése). A töltések, vagyis az egyes képelemeknek megfelelő világosságértékek kiolvasása a töltések egymás utáni kiléptetésével történik [9].

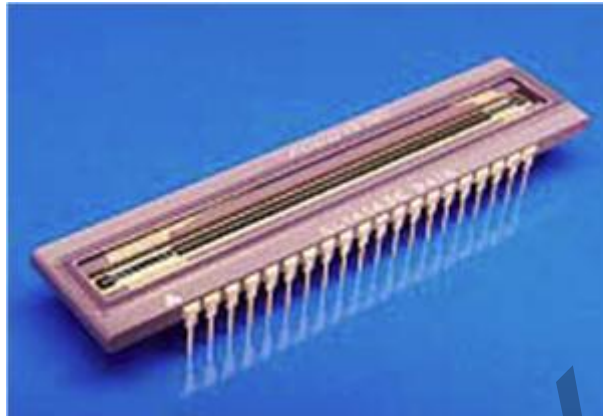
**A digitális érzékelők két fő csoportot különböztetjük meg:**

1. CCD (Charge Coupled Device = töltéscsatolt eszköz), ahol az érzékelők értékeit sorosan kell kiolvasni, így egy pixel megcímzésére nincs lehetőség az érzékelőn belül
2. CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor = kiegészítő fénoxid félvezető), ahol minden képponthoz elhelyezhető az elektron-feszültség átalakító, ennek köszönhetően sor- és oszlopcímzéssel rendelkezik, vagyis az érzékelő minden egyes képpontja külön címezhető.

A pixelek alakja és mérete változó. A négyzetes pixelek előnyösebbek, azonban kicsit nehezebb ezek előállításuk. Általában a pixelméret 9x9 mikrométer és 30x30 mikrométer közötti. Az alsó határt a gyártási technológia szabja meg, illetve az, hogy egy adott méretű elem nem képes végtelen sok elektron tárolására. Ha túl kicsire választjuk a pixeleket, azok rövid megvilágítás után telítődnek, s az elektronok átáramlanak egyikből a másikba. Az értelmes felső határt általában az elérni kívánt felbontás adja.

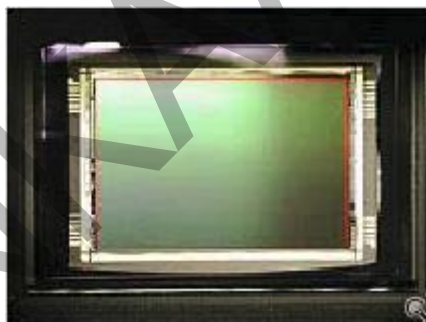


A mozaik mérete, alakja a pixelek számától (és azok nagyságától) függ. Alkalmaznak olyan chipet, melyek csak egy sorból, és több száz – néhány ezer elemből állnak. Ezeket lineáris érzékelőknek nevezzük (10. ábra) és jellemzően szkennerekben, fénymásolóknak és elmozdulás érzékelőkben alkalmazzák.



10. ábra Lineáris érzékelő

Az érzékelők egy másik megoldása a kétdimenziós vagy mátrix rendszerű érzékelők csoportja, amelyek képérzékelés, kétdimenziós helyzetérzékelésre használhatók (11. ábra). Az ilyen érzékelők több száz vagy ezer sorból és oszlopból állnak.

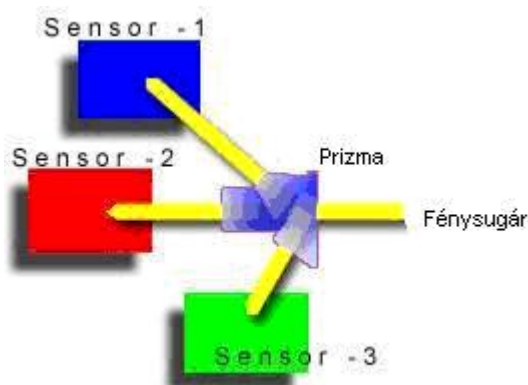


11. ábra Mátrix rendszerű érzékelő

## SZÍNES FÉNYKÉPEZÉS

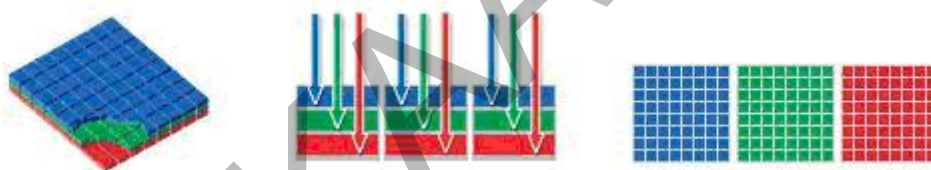
Mint a hagyományos fotográfiában, itt sincs különleges, színes érzékelő. A színes film elvéhez hasonlóan, színszűrőkkel állíthatjuk elő a színes képeket. (A színes filmek három emulziórétegből állnak, köztük megfelelő színszűrők. Így az egyes rétegekben csak a "vörös", "kék", illetve "zöld" képek keletkeznek, természetesen szürkeárnyalatokban rögzítve, mindhárom esetben ezüstbromid kristályok által.) A CCD érzékelő „színvak”, ezért a három alapszínnek megfelelő színcsatornákat külön kell rögzíteni. A színes felvételek készítésére többféle megoldást dolgoztak ki:

1. Prizmarendszerrel a fénysugarakat prizmákkal felbontják a három alapszínre bontva külön-külön CCD érzékelőre osztják fel (12. ábra)



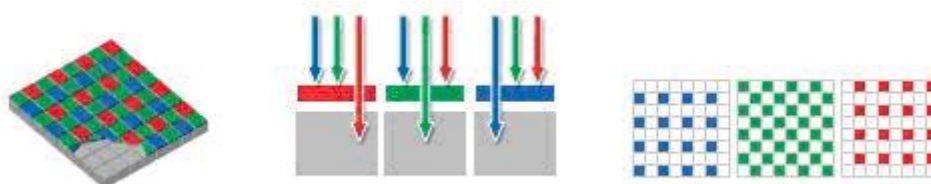
12. ábra Prizmarendszer [11]

2. Foveon X3 szűrésnél (13. ábra) a képérzékelő lapkán a szilíciumban három külön rétegben helyezkednek el az érzékelők. Mivel a különböző hullámhosszú fény különböző mélységig hatol be a szilíciumba, minden réteg külön színt rögzít. Így egyedül a Foveon 3X érzékelő lapka rögzíti külön a piros, a zöld és a kék színeket minden pixelhelyen.



13. ábra Foveon 3X szűrés [11]

3. Mozaik elrendezésnél (14. ábra) a hagyományos rendszerekben a színszűrőt egy rétegben, mozaikszerűen teszik az érzékelőre. A szűrők csak egy-egy színű fényt engednek át, így minden pixelben csak egy színadat rögzíthető. A színek aránya: R/G/B=1/2/1 arány. Így általában az ilyen érzékelő lapkák felületének 50%-a csak zöld, 25-25%-a pedig csak piros, vagy csak kék szín rögzíthető. Ezt Bayer-féle elrendezésnek is nevezzük.



14. ábra Mozaik elrendezés [11]

## A CCD KÉPÉRZÉKELŐK JELLEMZŐI

A CCD képérzékelőket jellemezhetjük:

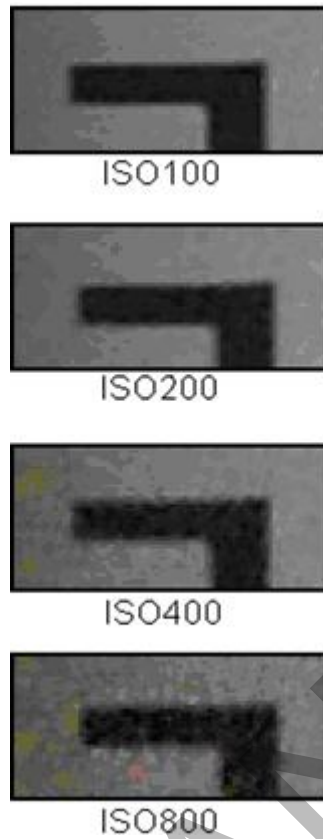
1. felbontás,
2. érzékenység,
3. képzaj és
4. hibás pixelek szerint.

1, A pixelek méretétől függő felbontás sok esetben elmarad a fotoemulziók felbontásától. Ráadásul a valódi felbontás ennél rosszabb, mert a kép legkisebb rögzíteni kívánt részleteinek legalább két-két pixelre kell esni, különben ezek egybemosódhatnak.

Az érzékelő felületének nagyságát a pixelméret és a pixelszám határozza meg. A Mp-ben megadott felbontás érték a sorok és a oszlopok számának szorzata. Megkülönböztetünk teljes vagy effektív pixelszámot. Ez általában néhány tized és pár cm<sup>2</sup> között mozog, a legnagyobbaké is csak 36 cm<sup>2</sup>, ami szintén elmarad az óriási, több száz cm<sup>2</sup>-es fotólemezekétől. Szinte csak ezen a két területen van hátránya a CCD-knek a hagyományos technikával szemben.

2, A digitális gépek érzékenységét a nemzetközi szabványoknak megfelelő ISO értéket adják meg (értéke megegyezik az amerikai ASA értékeivel). Általában ISO 50 és ISO 200 közötti, de van ISO 400, ISO 800, ISO 1600. Az érzékenység analóg erősítéssel (vagyis még az A/D átalakítás előtt) megnövelhető.

3, Az elektronok nem csak fotonok hatására, hanem a hőmozgás során is elszabadulhatnak, s ez a filmeknél ismert "alapfátyol"-hoz hasonlóan jelenik meg a képen. Ennek értéke, eloszlása azonban teljesen véletlenszerű, erősen függ a hőmérséklettől, s az integrációs idő alatt folyamatosan gyűlnek ezek a "zavaró" elektronok is. Az egyes pixelek érzékenysége is különböző, így a rögzített kép egyes pontjainak relatív fényessége is megváltozik. Gyakran találkozunk a gyártás során keletkezett pixelhibákkal. Ezek együttes hatása a képzaj (15. ábra). Minél nagyobb az érzékenység, annál nagyobb a „képzaj” (ami egyébként nő az expozíciós idő növelésével is).



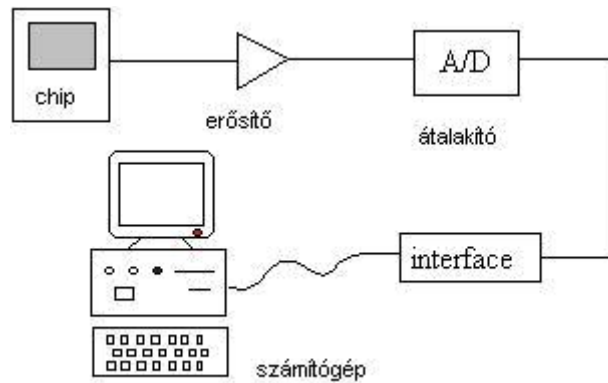
15. ábra Képzaj

4, Gyakran előfordulnak hibás vagy érzéketlen pixelek. Ezek lehetnek halott képelemek (fekete), beégett pixelek (fehér) és forró pixelek (kék, zöld, vagy piros). Ezek legrosszabb esetben az egész chipet használhatatlanná tehetik.

#### A CCD KAMERA FELÉPÍTÉSE

A képalkotáshoz a CCD chipen kívül még sok más kiegészítő egység is szükséges. Ezek együttesét nevezzük CCD kamerának (16. ábra), mely a következő főbb elemekből áll [10]:

- objektív,
- CCD chip,
- erősítő,
- A/D átalakító,
- interface,
- kiegészítő egységek.



16. ábra CCD kamera felépítése

Az **erősítő** feladata a chipből érkező igen gyenge jelek fölerősítése, ami feltétlen szükséges azok továbbításához, hisz a legkisebb zavaró tényezők, zajok hatására elveszhet az információ. Ennek elkerülésére a speciálisan kialakított, ún. "alacsony zajú" erősítőt közvetlen a chip közelébe kell helyezni. Így a későbbiekben keletkező zavarok nagysága jelentősen csökkenthető a hasznos jelhez képest. Nem javíthatók viszont az integrálás és a kiolvasás során keletkezett hibák, melynek okai a következők: a sötétáram pixelenkénti eloszlásának véletlenszerűsége, ennek időbeli változása; a léptetések során elmaradó töltések; a kiolvasó kondenzátor referencia-feszültségének apró változásai.

A számítógéppel való kapcsolat miatt szükség van az **A/D átalakítóra**, az analóg jel digitalizálására. Az egyes pixelek fényességértékével arányos feszültségjelek bináris számokká történő átalakítását végzi az Analóg/Digitál konverter. Jellemzője a kamerának, hogy ez az egység hány szintet képes megkülönböztetni a chipből érkező jelben. Pl. egy 12 bites A/D átalakító esetén 4096, 16 bit esetén 65536 különböző fényességérték, illetve szürkeárnyalat lehet a képen.

Nem megfelelő felbontású A/D átalakító esetén a rögzíteni kívánt kép finom részletei eltűnnek amiatt, hogy a kis fényességkülönbségű képpontokhoz ugyanazt a digitális egységet (ADU, Analog Digital Unit) rendeli az átalakító. A szükséges felbontást a chip, az elektronika tulajdonságai, a megfigyelés körülményei és az objektum együttesen határozzák meg.

Itt kell még említeni az átviteli sebesség kérdését is. Egy kb. 100 kép/sec. átviteli sebességű rendszernél egy viszonylag nagy felbontású CCD esetén igen nagy átviteli sebességigény merül fel az A/D átalakítóval szemben ( pl. 1024\*1024 pixeles színes CCD 50 kép/másodperc esetén már  $1024 \cdot 1024 \cdot 3 \cdot 50 = 157\,286\,400$  byte/s adódik, ami nagyon komoly igényeket támaszt a további feldolgozó eszközökkel szemben).

Az **interface** feladata csupán az illesztés, azaz a kamera elektronikájának és a számítógép jeleinek megfelelő összekapcsolása. Egyes kameráknál az A/D átalakító és az interface külön dobozban, vagy egy, a számítógépbe szerelhető kártyán kap helyet. Utóbbi megoldás jelentősen gyorsítja az adatátvitelt a gép és kamera között.

Tulajdonképpen az eddig felsorolt egységek jelentik a kamera elektronikáját. Ezek apró hibái együttesen eredményezik a jelben megjelenő zajt, aminek nagysága szintén egy fontos jellemzője a kamerának.

Fontos **kiegészítő egysége** a kamerának a tápegység és a hűtőrendszer is. A számítógép is elengedhetetlen kellék, mégsem tekinthető teljesen a kamera részének.

A tápegység a kamera elektronikájának, és termoelektromos hűtés esetén annak az áramellátását végzi.

A sötétáram szobahőmérsékleten akár néhány másodperc alatt telítésbe viheti a pixeleket. A jelenség csökkenthető, szinte teljesen meg is szüntethető a chip hűtésével. A chip, a hűtőrendszer és az erősítő kap helyet (egyes esetekben az A/D konverter és az interface is) a kamerafejen. Ennek feladata a chip hermetikus elzárása a környezettől, a megfelelő mechanikai csatlakozás biztosítása a távcsőhöz. A kamerafej – amatőrök által is használt kameráknál – általában a "kézbe fogható" kategóriába tartozik, s ehhez járul a tápegység és elektronika doboza.

A **számítógép** is elengedhetetlen kellék. Feladata a kamera vezérlése (ill. a megfelelő jelek továbbítása a vezérlést ténylegesen elvégző kamera-elektronikához), a kép megjelenítése, annak tárolása, ill. rögzítése. Ezek elvégzésére egy egyszerűbb PC is megfelel, azonban a chip és az elektronika megszabnak bizonyos követelményeket.

A hatalmas iramú fejlődés miatt a hagyományos CCD is lassan elavultnak tekinthető, hiszen megjelent a CCD-k egy újabb generációja, mely CMOS technikával készül, s így elérhető az, hogy egyetlen chip tartalmazza az érzékelőt, az analóg-digitális konvertert, a jelerősítőt, a kamera vezérlő funkcióit ellátó elektronikai egységeket. S nem csak a kis méret jelent előnyt, hisz több más kedvező tulajdonsággal is rendelkeznek ezek az eszközök. Például a dinamikai tartományuk 200-szor akkora, mint egy átlagos CCD-nek. Ezekkel a kamerákkal igen nagy fényességkülönbségek jeleníthetők meg intenzitáshelyesen, s pl. egy hegesztési eljárás, vagy egy lézeres interferenciakép esetében a fényes részek "beégés" nélkül tanulmányozhatók a halványabb struktúrákkal együtt.

## DIGITÁLIS FÖLDI KAMERÁK

A digitális földi kamerákon belül alapvetően két csoportot különböztetünk:

- ◆ amatőr kamerák,
- ◆ mérőkamerák.

### Amatőr digitális földi kamerák

A digitális fényképezés már több évtizedre nyúlik vissza, de széleskörű elterjedésre az elmúlt évtizedben történt meg. A digitális fényképezőgépek gyakorlatilag felváltják a hagyományos filmes fényképezőgépeket. Sok olyan fotogrammetriai feladat van, amiben jól fel lehet használni a nem mérőkamerás, azaz amatőr kamerás gépekkel készített felvételeket. Emiatt röviden foglalkozunk ezekkel a fényképezőgépekkel.

Az amatőr kamerák felbontásának minimum 3 MP-esnek kell lennie. A kamera tartozéka az objektív, ami a tárgyról ad valódi képet. Működése az emberi szemhez hasonlítható. A látószögbe összegyűjti a fényt, majd az optikai tengelyére merőleges anyagra rögzíti. Az objektívet fényereje, és gyújtótávolsága alapján jellemezhetjük. A fókusztávolság lehet változtatható, vagy állandó. Ha a tárgytávolságot szeretnénk módosítani, akkor a fókusztávolságon változtatni kell. Ez a változás a kép méretarányát is változtatja. Fotogrammetriai célra a rögzített fókuszu gépek az optimálisak. Rövidebb fókuszhoz nagyobb nyílásszög tartozik. Nagyobb nyílásszög esetén torzulás lép fel. Kisebb nyílásszög esetén pedig több képet kell elkészítenünk a lefényképezendő objektumról. Az objektívben a belső fény mennyiségét a blende határozza meg. Minél kisebb a blende, annál nagyobb az áteresztett fény mennyisége, a mélységélesség. Nagyobb blendénél nagyobb a torzulás a kép szélein. Az éles látás tartományát a mélységélesség határozza meg. A kezdő távolság a blende értékétől is függ, és azzal együtt változik. A RolleiMetric 6008-as fényképezőgép 2.8-as blende értéknél 17 métertől, 22-es blende értéknél 2 métertől a végtelenig képezi le a kép élességének a tartományát.

Egyre nagyobb a szakirodalma a digitális fényképezésnek. Ezek többféle módon csoportosítják a fényképező gépeket. Egy, a legáltalánosabban elfogadott csoportosítás a következő [10]:

- **Ultrakompakt:** A legkisebb, zsebben könnyen hordható gépek kategóriája. Előnyük a kis méret és súly adta kényelem. Hátrányuk, hogy sok esetben képességeik terén is elmaradnak az átlagtól, és a kis méretből adódóan használatuk néha kényelmetlen. Egyszerű hobbi- és amatőr használatra többnyire megfelelőek.
- **Kompakt:** A digitális fényképezőgépek legszélesebb kategóriája, minden olyan, viszonylag kisméretű gép ide sorolható, amely egymagában sokféle fotós feladatra alkalmas. Előnyük a relatíve kis méret és súly, valamint a széleskörű használhatóság. Hátrányuk a későbbi korlátozott bővíthetőség. Egyszerűbb modelljeik hobbi- és élményfotózásra, komolyabb modelljeik igényesebb amatőr fotózásra kiválóak lehetnek.
- **SLR-like:** Tükörreflexes kinézetű. Meglehetősen erőltetett kategória. Az olyan, kompakt csoportba tartozó, formára komolyabb gépeket sorolják ide, amik a tükörreflexes gépek kialakítására, külsejére emlékeztetnek. Nem jelent feltétlenül komoly tudású gépet is, de a legtöbbet tudó kompakt gépek ide sorolhatók. Jelesebb modelljeik az igényes amatőrök kedvelt eszközei, de ha valakit behatóbban érdekel a fotózás, akár kezdőgépként is megfelelő lehet.
- **Bridge:** Egyfajta átmenet a komolyabb kompakt és a tükörreflexes (SLR) gépek között. Ezek a "tükörreflexes" keresővel ellátott, azonban nem cserélhető objektívű gépek.
- **Tükörreflexes (D-SLR, vagy DSLR):** A tükörreflexes keresővel ellátott, cserélhető objektívű digitális gépek csoportja. (DSLR = Digital Single Lens Reflex). Általában profi fotósok, vagy a fotózás iránt érdeklődő komoly amatőrök használják. Előnye az igény szerinti szabad bővíthetőség, megannyi kiegészítővel és objektívvel. Hátránya a mérete és a súlya, valamint az ára.

A fényképezőgépeket több paraméterrel is jellemezhetjük, mint például felbontás, ISO érzékenység, képstabilizátor. Egy fénykép annál pontosabb adatokat tud szolgáltatni, minél jobb a geometriai, a radiometriai, illetve a spektrális felbontása. A maximális felbontás (pixel\*pixel) értéke adja az összes pixelszámot, ami meghatározza egy kép digitális méretét. Többek között ezeket is figyelembe véve elsősorban az utolsó csoportba tartozó tükörreflexes gépek használhatók fotogrammetriai célokra.

A fotogrammetriai célokra jól használható egyik ilyen fényképezőgép a Sony DSC R1 típusú amatőr digitális kamera (17. ábra).



17. ábra Sony DSC R1 digitális fényképezőgép

A kamera fontosabb jellemzői:

- Felbontás: 10,3 Mpixel, maximum: 3888\*2592 pixel (38.88 mm\* 25.92 mm), minimum: 1296\*864 pixel
- Érzékelő típusa: CMOS technológia 3:2 oldalarányú 21,5\*14.4 mm (Szenzor méret: 10  $\mu$ )
- Záridő: (akár 3 min), maximum: 30/2000 s, minimum: 1/2000 s
- Fényérzékenység: ISO 100–3200, automata: ISO 160–400
- Fókusz távolság: 24–120 mm (25,2487 mm)
- Fényerő: f/2,8–4,8 Carl Zeiss zoom objektív

### Digitális földi mérőkamerák

A digitális mérőkamerák nagyobb felbontással bírnak a hagyományos kamerákkal szemben, és pontosabb kiértékelést is tesznek lehetővé. A mérőkamera belső adatai pontosan ismertek.



A kamerakalibrációs jegyzőkönyvben megadják a képfőpont koordinátáit és a kameraállandót. Megadják a CCD vagy CMOS szenzorok lapkaméretét, és a pixelek számát. Ha ezeket mind ismerjük, akkor kiszámolhatjuk, hogy 1 pixel mekkora méretű.

Felépítését és jellemezőit a Rollei Metric 6008-as digitális mérőkamerán mutatjuk be (18. ábra). A kamera 3 fő részre tagolódik:

- Objektív
- Kamera test
- Digitális hátfal, ami tartalmazza a CCD szenzort és az LCD kijelzőt



18. ábra Rolleimetric 6008 tükörreflexes mérőkamera

A képek rögzítése tükörreflexes zárszerkezet segítségével történik. A képi adatokat közvetlenül RAW formátumban lehet tárolni CF (Compact Flash) memóriakártyán a digitális rátétben. A képek utófeldolgozással jönnek létre. A tömörített képek a kamerához tartozó programmal - Capture one pro 3.7.6 - kicsomagolhatók. Kicsomagolás után a képek élességét, és fényét változtathatjuk, hogy a kiértékeléshez jobb minőségűek legyenek.

Felvételkor a mérőkamera szimulálja a hagyományos filmek fényérzékenységét, amely digitális rátétől függően lehet ISO 50, 100, 200, 400, 800. Közvetlen meghajtású, elektronikusan vezérelt központi zárszerkezettel rendelkezik. Minden objektív metrikusan kalibrált.

A gép alapfelszereltsége: kamera test rögzített digitális rátéttel, kameravédő sapka, kézi fogantyú, kamera elem készlet gyorsöltővel, kereső ernyő nagyítóval, CaptureOne DB szoftver, újratölthető elem és töltő a digitális rátéthez, védő doboz.

Javasolt kiegészítők: kioldó kábel, sztereo-kioldó, 45°-os vagy 90°-os prizmás kereső. A kamera méretei kb. 143x139x177mm (szélesség x magasság x mélység), súlya kb. 2000g objektív nélkül.

A fényképezésnél négy lehetőség közül választhatunk:

- egyszerre egy képet rögzít
- egyszerre hármat azonos beállítások mellett
- három képet, de azokat egy kicsit különböző beállításokkal
- folyamatos felvételezés

Fontosabb adatok:

- kameraállandó:  $ck = 51.99\text{mm}$
- CCD szenzor mérete: 36.684mm x 36.720mm
- pixelek száma: 4076 x 4080
- pixel méret: 9 x 9 mikron
- LCD kijelző mérete: 2.2"
- 16 Mpixel-es felbontás
- színmélység: 16 bit színenként
- színérzékenység: ISO 50, 100, 200, 400 a digitális rátétől függően.

A kamerával készült felvételek feldolgozása többek között a Rolleimetric cég MSR – Metric Single image Rectification (egyképes képátalakítás) feldolgozó programjával, valamint a képek tájékozásához és vonalas kiértékeléséhez a CDW szoftverrel történhet.

### DIGITÁLIS LÉGIKAMERÁK

A digitális kamerák területén két fejlesztési irány van a felhasznált érzékelőktől függően:

1. mátrixos érzékelők,
2. lineáris érzékelők.

#### Mátrix rendszerű érzékelővel ellátott kamerák

A mátrix rendszerű érzékelőknél a CCD elemek egy sorokból és oszlopokból álló felületet képeznek. Erre a megoldásra mutat példát a Z/I Imaging DMC 2001 digitális kamerája (19. ábra). A DMC (Digital Modular Camera rendszer = moduláris digitális kamera) többféle üzemmódban, többféle felvételt készíthet egyszerre.

A kamera hármas felépítése alapvetően hasonló a hagyományos kamerákéhoz, megoldásában természetesen azonban lényegesen eltér attól. Az optikai kerete 8 kamerát tartalmazhat, 4 nagyfelbontású pánkromatikus és 4 multispektrális kamerát. Az optika fölött van az összes kiszolgáló elektronika. Ez az elektronika kapcsolódik a vezérlőhöz, ami végzi az irányítást és a képtárolást. A kameratest megegyezik a hagyományos RMK-TOP Zeiss kamera girostabilizált kameratestével.



19. ábra DMC 2001 [8]

A DMC 2001 kamerával a következő paraméterű és típusú felvételek készíthetők:

Pánkromatikus (f = 120 mm, f:40/ 2 sec/kép)

	képelemek száma	látószög
P1 (1 lencsével)	7.000x4.000 pixel	39ox22o
P2 (2 lencsével)	7.000x7.500 pixel	39ox42o
P4 (4 lencsével)	13.500x8.000 pixel	74ox44o

színes/multispektrális (f = 25 mm, f:40/ 2 sec/kép, 12 bit-es radiometriai felbontás)

RGB (3 lencse)	3.000x2.000 pixel	72ox50o
RGB + IR	3.000x2.000 pixel	72ox50o

A repülés során legalább két szoftver működik: a repülést felügyelő rendszer és a kamerát vezérlő rendszer. Ezen kívül van még egy „rögtön betekintő” szoftver is, amellyel azonnal megtekinthető és ellenőrizhető a képminőség, valamint a helyes pozíció, vagy navigáció. A felvételek elkészítése után az adatokat rögzítő merevlemezeket kiveszik földi feldolgozásra.

A feldolgozás elsődleges célja, hogy a képeket előkészítsék a fotogrammetriai kiértékelésre. Ebben a folyamatban elvégzik a képnormalizálást, a képtranszformálást, a színekódolást. A repülés egyéb adatait külön adják meg.

A Magyarországon eddig elkészített digitális lég felvételek a VEXCEL UltraCamx kamerával (20. ábra) készültek.



20. ábra WEXCEL UltraCamx [7]

Néhány jellemzője: pankromatikus „képméret” 17310x11310 pixel (9 CCD), színes és NIR 5770x3770 pixel (4 CCD), pixel méret 6  $\mu\text{m}$ . A teljes pankromatikus képet 9 képmozzaikokból „rakják” össze szoftver segítségével.

A Leica kifejlesztette az RCD100 digitális kamerát, ami pankromatikus, színes és színes infra képeket készít. A felbontása 7216 x 5412 pixel.

#### Lineáris érzékelők, szenzorok

Lineáris érzékelőt alkalmaznak az LH Systems ADS40 típusú légi digitális szenzorban (21. ábra). Valójában itt nem kameráról beszélünk, hanem légi digitális érzékelőről (Airborne Digital Sensor). A műszer felépítése hasonló itt is a hagyományos kamera felépítéséhez. A leképezés az RC 30-hoz hasonló, jó minőségű optikai rendszeren keresztül történik (DO64 digitális optika), amely f:4.0 nyílászólynál is biztosítja a 150 vonalpár/mm felbontást. A bejövő fényt egy osztó alapszínekre bontja, így nem veszik el spektrális információ. A kamerát az RC 30-as kamerához használt keretbe helyezik el (PAV 30).



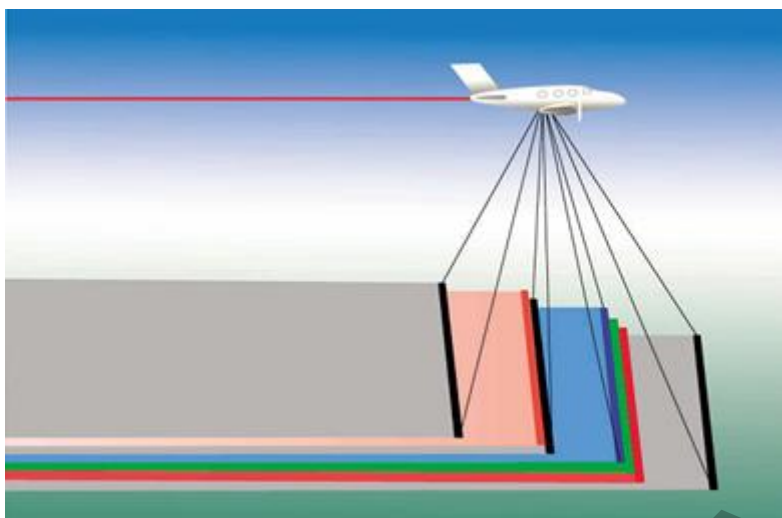
21. ábra Leica ADS40 [5]

A képsíkban 3 lineáris CCD érzékelő a pánkromatikus és 4 lineáris CCD érzékelő a színes és színes infra felvételeket készíti.

Az érzékelők spektrális tartományai:

pánkromatikus	465 – 680 nm
R (red = vörös)	610 – 660 nm
G (green = zöld)	535 – 585 nm
B (blue = kék)	430 – 490 nm
IR (közel infra)	835 – 885 nm

A három pánkromatikus érzékelő közül egy előre tekintve, egy függőlegesen, egy hátra tekintve érzékel (22. ábra). Mindegyik CCD sor 12.000 3,5 µm-es elemből áll.



22. ábra Az érzékelés irányai [5]

A képeket nagyméretű merevlemezen tárolják. Az FCMS (repülés- és kameravezérlő, valamint felügyelő rendszer) szoftvert speciálisan az ADS 40-re írták.

A szenzor továbbfejlesztett változata az ADS80, ahol több újdonság mellett lényeges változás, hogy az érzékelés irányában „hátra” irányban is lehet színes és színes infra felvételeket készíteni.

## TANULÁSIRÁNYÍTÓ

A modulban a témakör legalapvetőbb ismereteivel foglalkoztunk. A tananyag fejezetei egymásra épülnek, ezért megértését segíti, ha csak akkor lép tovább, ha az adott fejezetrészt értően elsajátította.

A tanuláshoz segítséget nyújt, ha a következő feladatokat önállóan, vagy társai, vagy tanára segítségével elvégzi:

1. Az ábrákat próbálja önállóan emlékezetből újra és újra lerajzolni.
2. A digitális kamerák megismerése ma könnyebb feladat, hiszen azok a ma már nagyon elterjedtek, használatuk szinte mindennapos. A családjában is bizonyára van digitális fényképezőgép. A fényképezőgép leírásából tanulmányozza annak paramétereit, jellemzőit. Készítsen vele fényképeket különböző beállításokkal, a képeket hasonlítsa össze, elemezze, hogy azokon milyen hibák vannak. A képek megtekintésénél használjon olyan szoftvert, ami lehetőséget biztosít a képek nagyítására.
3. Végezzen kutatómunkát az Interneten, vagy a könyvtárban. Keressen olyan digitális fényképezéssel foglalkozó irodalmakat, amelyekből a tananyagot kiegészítheti.

4. Keressen olyan magyarországi cégeket, amelyek foglalkoznak fotogrammetriai felvételek készítésével, rendelkeznek megfelelő kamerákkal. Tanulmányozza át műszerezettségüket és főbb referenciamunkáikat.
5. Látogasson el diáktársaival tanára szervezésében és irányítása mellett egy olyan céghez, ahol foglalkoznak mérőfényképek készítésével, és rendelkezésre állnak az ehhez szükséges mérőkamarák és egyéb eszközök. Figyelje meg az ott folyó munkát, készítsen jegyzeteket a látottakról, beszélgessen az alkalmazottakkal, majd válaszoljon a következő kérdésekre:

- Milyen profilú fotogrammetriával foglalkoznak a cégnél?
- A készített végtermék hagyományos vagy digitális állomány?
- Milyen képzettségű szakemberek végzik a tervezést és a feldolgozást? Milyen gyakorlattal rendelkeznek?
- Milyen a felszereltség, milyen erőforrásokkal rendelkezik a cég? Régebbi típusú vagy új kamarák vagy műszerek, esetleg számítógépes munkaállomások?
- Kik a főbb megrendelők? Milyen célra hasznosítják az elkészített fotogrammetriai végtermékeket?

## ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

### 1. feladat

Hogyan csoportosítjuk a földi mérőkamerákat?



MUNKANYAG

### 2. feladat

Rajzoljon le vázlatosan egy földi mérőkamerát!



MUNKANYAG



**3. feladat**

Mutassa be (rajzzal együtt), hogy milyen kiegészítő berendezésekkel látják el a légifényképező kamerákat!

**4. feladat**

Sorolja fel, milyen szempontok szerint vizsgálják a légifényképező kamerákat (kamerakalibráció)!

**5. feladat**

Csoportosítsa a digitális fényképezőgépeket és röviden jellemezze!



## MEGOLDÁSOK

### 1. feladat

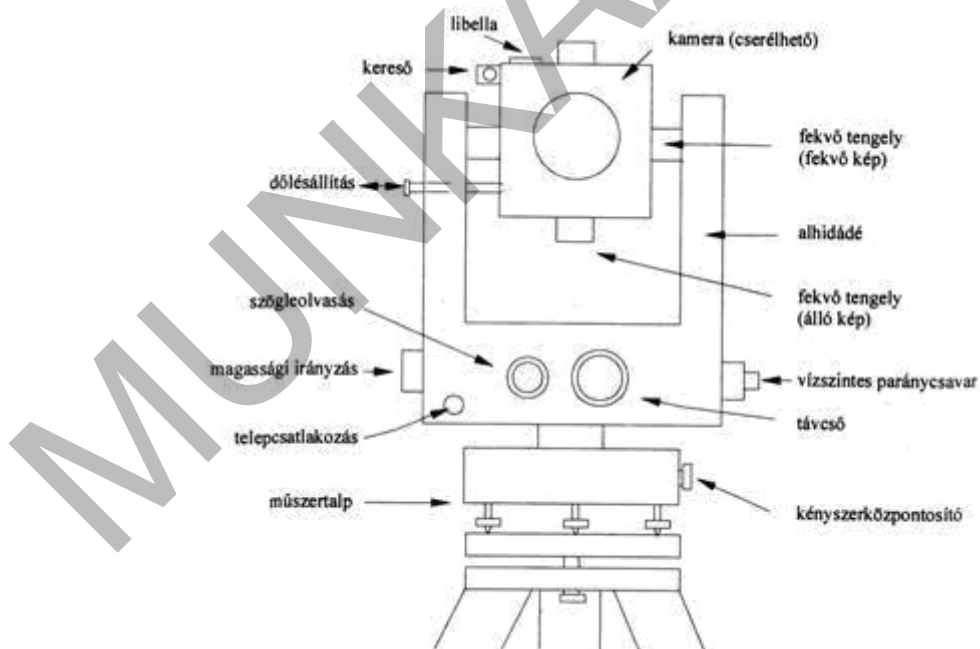
Az egy állásponton elhelyezett **kamerák száma szerint**

- az egyes **kamera** olyan felvevő kamera, amelyet a geodéziai műszerekhez hasonlóan háromlábú műszerállványra helyezünk fel és az expozícióval egy kép készül,
- **ikerkamera**, vagy sztereokamera, amelyet ugyancsak műszerállványra tesszük fel, de a fényképezéskor egy időpillanatban térfotogrammetriai kiértékelésre alkalmas képpárat készítünk.

A kamera **szerkezeti felépítése szerint**

- **merevtengelyű kamerák**, amelyekkel csak olyan felvételek készíthetők, ahol a kameratengely vízszintes, ebből adódóan a képsík függőleges helyzetű;
- **dönthető tengelyű kamerák**, amelyeknél a kameratengelyt egy vízszintes tengely körül többnyire megadott szögértékekkel megdönthetjük. A képsík az ilyen kamerával történő fényképezés esetén akár vízszintes is lehet.

### 2. feladat



23. ábra

### 3. feladat

A légikamerák kiegészítő, vagy segédberendezései a navigációt és a fényképezés vezérlését hivatottak biztosítani.

- kereső távcső (6. ábra), navigációs távcső, inerciális navigációs berendezés,
- automatikus megvilágítás szabályozó,
- képvándorlást kompenzáló berendezés (7. ábra),
- stabilizáló berendezés.

### 4. feladat

- a kameraállandót ( $c_k$ ), vagy kalibrált fókuszt,
- a főpont koordinátáinak értékeit ( $\xi_0, \eta_0$ ),
- a keretjелеk főponthoz viszonyított koordináta értékeit,
- az átlagos radiális elrajzolást, mely leírja az elrajzolás értékeit a legjobb szimmetria ponttól mért radiális távolságok függvényében,
- az egymással szemben lévő keretjелеk távolságait, ez összesen 6 adat, a négy oldal és a két átló,
- a képkoordináta-rendszer tengelyeinek merőlegességét, melynek  $90^\circ \pm 1'$ -nek kell lennie,
- a képsík hullámosságát, melynek az eltérése az elméleti síktól maximum 0,01 mm lehet,
- az objektív optikai feloldóképességét.

### 5. feladat

- **Ultrakompakt:** A legkisebb, zsebben könnyen hordható gépek kategóriája.
- **Kompakt:** A digitális fényképezőgépek legszélesebb kategóriája, minden olyan, viszonylag kisméretű gép ide sorolható, amely egymagában sokféle fotós feladatra alkalmas. Előnyük a relatív kis méret és súly, valamint a széleskörű használhatóság. Hátrányuk a későbbi korlátozott bővíthetőség.
- **SLR-like:** Tükörreflexes kinézetű. Meglehetősen erőltetett kategória. Az olyan, kompakt csoportba tartozó, formára komolyabb gépeket sorolják ide, amik a tükörreflexes gépek kialakítására, külsejére emlékeztetnek. Nem jelent feltétlenül komoly tudású gépet is, de a legtöbbet tudó kompakt gépek ide sorolhatók.
- **Bridge:** Egyfajta átmenet a komolyabb kompakt és a tükörreflexes (SLR) gépek között. Ezek a "tükörreflexes" keresővel ellátott, azonban nem cserélhető objektív gépek.

- **Tükörreflexes (D-SLR, vagy DSLR):** A tükörreflexes keresővel ellátott, cserélhető objektíves digitális gépek csoportja. (DSLR = Digital Single Lens Reflex). Általában profi fotósok, vagy a fotózás iránt érdeklődő komoly amatőrök használják. Előnye az igény szerinti szabad bővíthetőség, megannyi kiegészítővel és objektívvel. Hátránya a mérete és a súlya, valamint az ára.

---

**6. feladat**

1. Prizmarendszer (12. ábra)
2. Foveon X3 szűrés (13. ábra)
3. Mozaik elrendezés (14. ábra)

## IRODALOMJEGYZÉK

### FELHASZNÁLT IRODALOM

Kis Papp L.: Fotogrammetria I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1985.

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

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

Mélykúti G.: Fotogrammetria, BME Építőmérnöki Kar, Budapest, 2004.

[www.leica-geosystems.com/products](http://www.leica-geosystems.com/products) (2010. június 25.)

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

[www.ultracamx.com/products](http://www.ultracamx.com/products) (2010. június 25.)

<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo01/Hinz.pdf> (2010. június 25.)

<http://bertab.fw.hu/> (2010. június 22.)

<http://ccd.mcse.hu/ccd.html> (2010. június 22.)

<http://mydp1.files.wordpress.com> (2010. június 22.)

### AJÁNLOTT IRODALOM

Internetes honlapok

A(z) 2241-06 modul 011-es szakmai tankönyvi tartalomeleme felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

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

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:  
12 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