

**MÉM Országos Földügyi és Térképészeti Hivatal
FÖLDMÉRÉSI INTÉZET**

TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

III. ÉVF. 1. SZÁM

BUDAPEST

1974. JÚNIUS

MESTERSÉGES HOLDAK FOTOGRAFIKUS MEGFIGYELÉSÉNEK
FELDOLGOZÁSA ÉS A FELDOLGOZÁS HAZAI TECHNOLÓGIÁJA

Mihály Szabolcs
tudományos munkatárs

Földmérési Intézet, 1974.

PHOTOGRAPHICAL SATELLITE OBSERVATION PROCESSING

S u m m a r y

The goal of this paper is to give information on the photographic satellite observation processing used generally and on that applied in Hungary as well as on the results of the Hungarian investigations and experiences in this field.

Thus, the paper has four parts. The first one contains the coordinate- and time-systems used in observation, processing and geodetic application. The second one describes the processing of the satellite observation, generally. The third part deals with the present state of the processing system developed in Hungary. The results of the processing works obtained up to now in Hungary and the tasks for the further activities are discussed in the fourth part.

DIE AUSWERTUNG DER PHOTOGRAPHISCHEN BEOBACHTUNG
DES KÜNSTLICHEN ERDSATELLITEN

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Abhandlung berichtet über die Auswertungsmethoden der photographischen Satellitenaufnahmen im allgemeinen, und über die Versuchsergebnisse, die Erfahrungen in diesem Gebiet in Ungarn, sowie die in Ungarn ausgearbeitete Auswertungstechnologie.

Die Abhandlung unterteilt sich in vier Abschnitte. Der erste Abschnitt enthält die zur Beobachtung und geodätischen Verwendung nötigen Koordinaten- und Zeitsysteme. In dem zweiten Teil wird das Verfahren zur Auswertung der Beobachtungsergebnisse beschrieben. Der dritte und vierte Abschnitt beschäftigt sich mit der jetzigen Lage und der Technologie der Auswertung in Ungarn, sowie mit den Ergebnissen der bis jetzt vollendeten Auswertungen und den Zukunftsaufgaben.

ОБРАБОТКА ФОТОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ИСЗ

Р е з ю м е

Статья acquaintает читателя с методом обработки фотографических наблюдений ИСЗ вообще, результатами, проведенных в Венгрии в этой области исследований и полученными до настоящего времени опытами, а также разработанной нами технологией обработки.

Статья разделяется на четыре части. В первой части дается описание систем координат и времени, используемых в наблюдениях, обработке и при геодезическом применении. Во второй части изложен метод обработки результатов наблюдений. Третья часть занимается вопросами использованного в Венгрии метода обработки. В четвертой части приводятся результаты обработок и намечаются дальнейшие задачи усовершенствования обработки.

Ö s s z e f o g l a l á s

A közlemény célja az, hogy tájékoztatást adjon a fotografikus szputnyikfelvételek feldolgozási módszeréről általában, a hazánkban e területen végzett eddigi vizsgálatok eredményeiről, a szerzett tapasztalatainkról, az általunk kialakított feldolgozási technológiáról.

A közlemény négy fejezetre tagolódik. Az első fejezet tartalmazza az észlelés végrehajtásától kezdve a geodéziai alkalmazásig használatos koordináta- és időrendszereket. A második fejezet tartalmazza az észlelési eredmények feldolgozási módszerét. A harmadik fejezet a feldolgozás hazai helyzetével és technológiájával, a negyedik fejezet pedig az eddig végzett feldolgozások eredményeivel és a további feladatok kijelölésével foglalkozik.

Bevezetés

A kozmikus geodézia módszerei az utóbbi évtizedben nagy teret hódítottak és hatalmas eredmények elérését tették lehetővé a felső geodézia területén. A mesterséges holdak geodéziai célú megfigyelésébe több évvel ezelőtt hazánk is bekapcsolódott. Jelentős elméleti és gyakorlati tevékenységet folytatunk a fotografikus megfigyelések végrehajtása és a megfigyelések eredményeinek feldolgozása területén, valamint több elméleti munka született a különböző típusú kozmikus geodéziai mérési eredmények konkrét geodéziai felhasználását illetően.

Jelen közlemény célja az, hogy a lehetőségek adta részletességgel tájékoztassa az olvasót a fotografikus észlelések feldolgozási módszeréről általában, a hazánkban e területen végzett eddigi vizsgálatok eredményeiről, a szerzett tapasztalatainkról, az általunk kialakított feldolgozási technológiáról és a kapott eredményekről. Vizsgálataink eredménye és tapasztalataink nem kerülnek részletes tárgyalásra, azokat inkább összegezve a feldolgozási technológia tartalmaza és megtalálhatók az irodalomjegyzékben felsorolt hazai kutatási jelentésekben.

Abból a célból, hogy a fotografikus észlelések helye a kozmikus geodéziában megítélhető legyen, az előző bekezdésben említetteken kívül ésszerűnek tartottuk még egyrészt az észlelés és a kamera rövid leírását, másrészt pedig azoknak a koordinátarendszereknek az ismertetését is, amelyek a geodéziai felhasználáshoz közelebb vannak, mint a fotografikus észlelések feldolgozási technológiájához.

A célnak megfelelően, a közlemény négy fejezetre tagolódik. Az első fejezet tartalmazza az észlelés végrehajtásától kezdve a geodéziai alkalmazásig használatos koordináta-rendszereket és időrendszereket, illetve azok egymás közötti kapcsolatát. A második fejezetben részletesen ismertetjük az észlelési eredmények feldolgozási módszerét. A harmadik fejezet a feldolgozás hazai helyzetével és technológiájával foglalkozik. Itt tárgyaljuk részletesen a feldolgozás számítógépi programját is. Röviden ismertetésre kerül néhány külföldön alkalmazott feldolgozási módszer is. A negyedik fejezet az eddig végzett feldolgozások eredményeivel /a kiszámított topocentrikus koordináták elemzésével/ és a további feladatok kijelölésével foglalkozik.

1. Koordinátarendszerek és időrendszerek

A kozmikus geodézia geometriai és dinamikai feladatainak jelentős részét geocentrikus koordinátarendszerekben oldjuk meg. Alapvető követelmény, hogy ezek a rendszerek gyakorlatilag mozdulatlanok legyenek. Ha valamely geocentrikus koordinátarendszer tengelyeit távoli csillagokhoz kötjük, akkor ezek a tengelyek gyakorlatilag mozdulatlan koordinátarendszert határoznak meg. Ennek megfelelően ismertetésre kerül az égi koordinátarendszer és a csillagászati alaprendszer.

Az ilyen rendszerekben azonban a Föld forog, tehát a földi pontok és a fizikai felszín leírása céljára ezek kényelmetlenek. Sokkal alkalmasabbak a Földhöz mereven kötött koordinátarendszerek, amelyek közül a legalapvetőbb szerepet az 1900-1905 évi nemzetközi földi koordinátarendszer játssza.

Ide kívánkozik az a megjegyzés, hogy, bár ezek a rendszerek és kapcsolataik a mesterséges holdak koordinátáinak meghatározása szempontjából a periférián vannak, mégis ismertetésük célszerű, hogy a szputnyik-koordináták meghatározásának végtermékét bárki könnyen kapcsolatba tudja hozni a matematikai és fizikai geodézia feladataival.

Ezenkívül ismertetjük még a mesterséges holdak koordinátáinak meghatározásánál szükséges koordinátarendszereket, valamint a különböző koordinátarendszerek közötti összefüggéseket.

A kozmikus geodézia tárgyköréhez közvetlenül kapcsolódik az idő fogalma, a "negyedik koordináta", mivel a jelenségek időben zajlanak le, a pozíciók az idő függvényei. Az időnek, mint független változónak az egységét az egyenletesen folyó atomi idő képezi, amelyet órákban, percekben és másodpercekben vagy gyakran napokban és a napok tört részében fejezünk ki.

Az észlelések konkrét időponthoz, epochához kapcsolódnak. Mielőtt az időrendszereket és kapcsolataikat tárgyalnánk, célszerű megemlíteni, hogy az epochát Julián dátummal /JD/ szokás megadni. Ritkábban használatos a mindennapi életből ismert dátum. Leggyakoribb az u.n. módosított Julián dátum /MJD/, amelyet a 2400000.5-ik Julián naptól számítunk:

$$\text{MJD} = \text{JD} - 2400000.5$$

Az MJD egysége megegyezik a szoláris idő rendszerével.

1.1. Az 1900-1905 évi nemzetközi földi koordinátarendszer

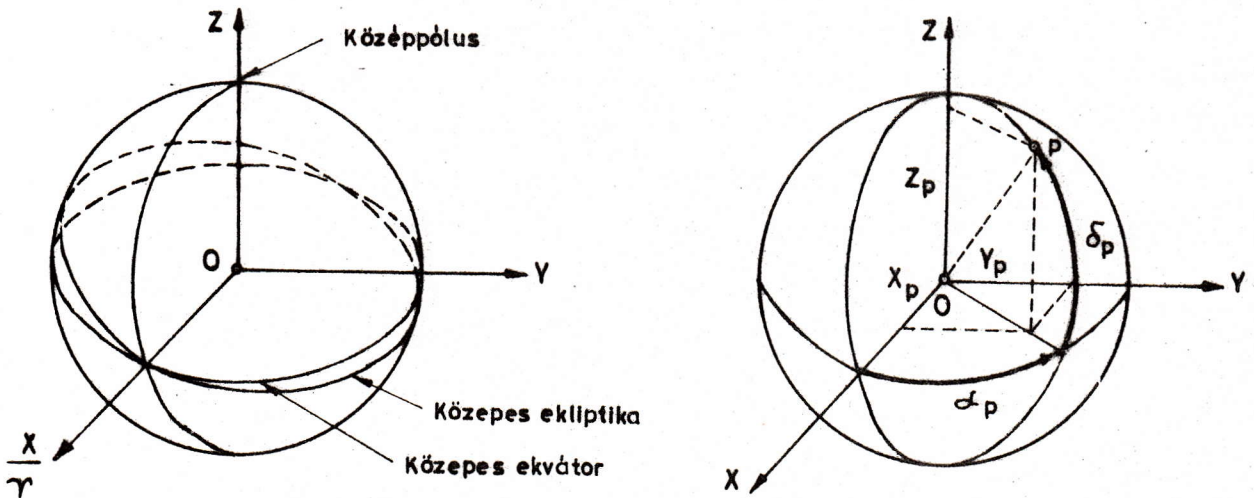
Az 1900-1905 évi nemzetközi földi koordinátarendszer /a nemzetközi szakirodalomban Conventional International Origin, rövidítve CIO/, amelyben a pontok helyzete megadható az X_1 , Y_1 és Z_1 derékszögű, vagy a φ és λ /szélesség és hosszúság/ szférikus koordinátákkal. A koordinátarendszer kezdőpontja a Föld tömegközéppontjában van. A Z_1 tengely a Nemzetközi Pólusmozgás Szolgálat /IPMS/ által meghatározott 1900-1905 évi közepes északi pólusra mutat. Az X_1 tengely az 1900-1905 évi közepes földi ekvátor síkjában helyezkedik el és a greenwichi középmeridiánon halad át.

1.2. Csillagászati alaprendszer

A csillagászati alaprendszer egy geocentrikus koordinátarendszer, amelyben a pontok helyzete az X , Y és Z derékszögű vagy az α és δ /rektaszcenzió és deklináció/ szférikus koordinátákkal adható meg. A koordinátarendszer kezdőpontja a Föld tömegközéppontjában van. Az X tengely a közepes ekvátor és a közepes ekliptika metszéspontjában van és a közepes

tavaszpontba $|\bar{\gamma}|$ mutat valamely T_0 egyezményes epochában. A Z tengely a T_0 epochához tartozó közepes ekvátor síkjára merőleges, a középpólusba mutat. Az 1. ábra a csillagászati alaprendszer tájolását, valamint a derékszögű és a szférikus koordináták közötti kapcsolatot mutatja. A derékszögű és a szférikus koordináták között a következő összefüggések vannak:

$$\begin{aligned} X &= \cos \alpha \cos \delta \\ Y &= \sin \alpha \cos \delta \\ Z &= \sin \delta, \end{aligned} \quad /1/$$



1. ábra.

illetve

$$\begin{aligned} \alpha &= \arctan \frac{Y}{X} \\ \delta &= \arcsin Z \end{aligned} \quad /2/$$

Egységsugaru gömb esetén az /1/ és a /2/ összefüggés valamennyi koordinátarendszerre érvényes, csupán az X, Y és Z illetve az α és δ helyébe kell a megfelelő értékeket behelyettesíteni.

A csillagászati alaprendszernek abban van a jelentősége, hogy például a szputnyikra mutató irány meghatározásához használandó csillagok α és δ koordinátái valamely egységes és kerek T_0 epochára összeállított csillagkatalógusban találhatóak. Jelenleg általában a $T_0 = 1950.0$ epochára rendezett SAO-csillagkatalógust használjuk.

1.3. Égi koordinátarendszer

Az égi koordinátarendszer egy geocentrikus koordinátarendszer, amelyben a pontok helyzete az X_3, Y_3 és Z_3 derékszögű vagy az α_3 és δ_3 szférikus koordinátákkal adható meg. A koordinátarendszer Z_3 tengelye valamely tetszőleges T epochához tartozó valódi pólusba /vagyis a Föld pillanatnyi pólusába/, X_3 tengelye pedig ugyanehhez a T epochához tartozó valódi tavaszpontba / γ / mutat. Az égi koordinátarendszer a precesszió és a nutáció szögével elforgatott csillagászati alaprendszerrel egyezik meg. Ha csak a precessziót vesszük figyelembe, akkor közepes égi koordinátarendszert / X_2, Y_2, Z_2 / kapunk. Ha figyelembe vesszük a nutációt is, akkor valódi égi koordinátarendszerhez / X_3, Y_3, Z_3 / jutunk.

1.4. A Föld forgása

A Föld és vele együtt a Földhöz mereven kötött valamennyi koordinátarendszer forog a gyakorlatilag mozdulatlanak tekinthető koordinátarendszerekben. A forgásra jellemző mennyiség a greenwichi csillagidő, amely egyenlő a greenwichi meridián és a tavaszpontba mutató irány által bezárt

szöggel /a tavaszpont a mozdulatlan, Greenwich pedig a forgó rendszer kezdőiránya/. Ha a greenwichi csillagidő számításához a közepes tavaszpontot használjuk, akkor a $\bar{\theta}$ közepes greenwichi csillagidőt kapjuk, ha pedig a valódi tavaszpont az alap, akkor a θ valódi greenwichi csillagidőhöz jutunk.

A greenwichi csillagidő számítása a szoláris idő segítségével a következőképpen történik.

A közepes csillagidő/csak a precessziónak a rektaszcenzióban jelentkező hatását tartalmazza/:

$$\bar{\theta} = 100,075542^{\circ} + 360,985647348^{\circ} \cdot t + 0,2900^{\circ} \cdot 10^{-12} \cdot t^2 \quad /1/$$

A valódi csillagidő /a precessziónak és a nutációnak a rektaszcenzióban jelentkező együttes hatását tartalmazza/:

$$\begin{aligned} \theta = & \bar{\theta} - 4,392^{\circ} \cdot 10^{-3} \cdot \sin /12,1128^{\circ} - 0,052954^{\circ} \cdot t/ \quad + \\ & + 0,053^{\circ} \cdot 10^{-3} \cdot \sin 2 /12,1128^{\circ} - 0,052954^{\circ} \cdot t/ \quad - \quad /2/ \\ & - 0,325^{\circ} \cdot 10^{-3} \cdot \sin 2 /280,0812^{\circ} + 0,985647^{\circ} \cdot t/ \quad - \\ & - 0,050^{\circ} \cdot 10^{-3} \cdot \sin 2 /64,3824^{\circ} + 13,176398^{\circ} \cdot t/ \end{aligned}$$

Itt $t = \text{MJD} - 33282,0$ az 1950.0 epochára való redukálást jelenti. Az /1/ és /2/ képletekkel 0,2" pontosságot érhetünk el.

Megjegyzendő, hogy az MJD értékét napokban és a nap tört részében adjuk meg, és hogy a nap tört része tartalmazza az órát, percet és másodpercet /tört részével együtt/. Fontos szerepet játszik tehát az, hogy az MJD megadásakor milyen, egyenletesen folyó időt veszünk alapul, nevezetesen az, hogy valamely atomi időt, vagy valamely más koordinált időt. Ennek megfelelően a MJD értékére más és más összefüggés lehet érvényes.

1.5. Pólusmozgás

A Föld forgástengelye nem kapcsolódik mereven a Föld felszínéhez, hanem periódikusan és szekulárisan vándorol. A Nemzetközi Pólusmozgás Szolgálat a pólus rögzített, kiinduló helyzetéül az 1900-1905 évi közepes pólushelyzetet választotta. A Föld pillanatnyi pólushelyzetét az 1900-1905 évi közepes helyzethez viszonyítva határozzuk meg x és y értékekben, mégpedig a szolgálatban résztvevő obszervatóriumokban rendszeresen végzett csillagászati észlelések segítségével. Az x érték a greenwichi meridián, az y pedig a 270° földrajzi hosszúságu meridián menti összetevő.

1.6. Áttérés a csillagászati alaprendszerből az 1900-1905 évi nemzetközi földi rendszerbe

A földi állomásról a mesterséges holdra mutató irányokat általában a csillagászati alaprendszerben, tehát közepes helyen és 1950.0 epochában kapjuk. Előfordulhatnak azonban pl. olyan esetek is, amikor az irányt az észlelés T epochájában adják meg. Felmerül tehát az az igény, hogy a különböző állomásokon kapott irányokat az együttes geodéziai felhasználás céljából az egyezményesen megválasztott 1900-1905 évi nemzetközi földi koordinátarendszerbe redukáljuk.

A csillagászati alaprendszert a közepes égi koordinátarendszerbe a precesszió-mátrix segítségével transzformáljuk a következőképpen:

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\kappa\sin\omega + \cos\kappa\cos\omega\cos\nu & -\cos\kappa\sin\omega - \sin\kappa\cos\omega\cos\nu & -\cos\omega\sin\nu \\ \sin\kappa\cos\omega + \cos\kappa\sin\omega\cos\nu & \cos\kappa\cos\omega - \sin\kappa\sin\omega\cos\nu & -\sin\omega\sin\nu \\ \cos\kappa\sin\nu & -\sin\kappa\sin\nu & \cos\nu \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad /1/$$

ahol

$$\begin{aligned} \kappa &= 0,063107'' \cdot t \\ \omega &= 0,063107'' \cdot t \\ \nu &= 0,054875'' \cdot t \end{aligned} \quad /2/$$

és $t = T - T_0 = \text{MJD} - 33282,0$ az 1950,0 epochától az észlelésig eltelt napok száma.

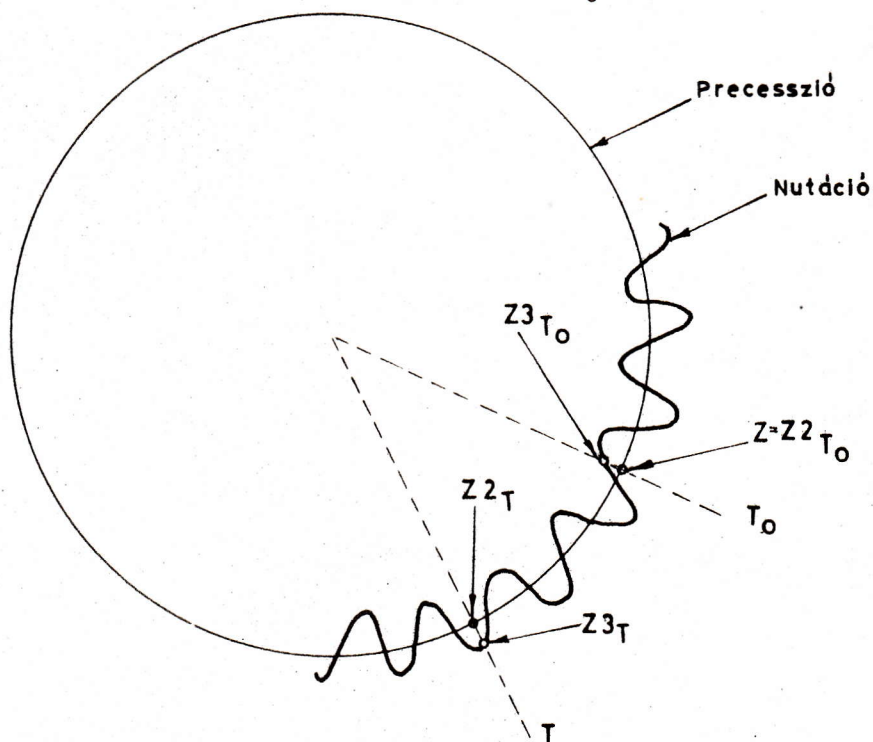
Ha a nutációt is figyelembe vesszük, akkor a valódi égi koordinátarendszerhez jutunk:

$$\begin{bmatrix} X3 \\ Y3 \\ Z3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\Delta\mu & -\Delta\nu \\ \Delta\mu & 1 & -\Delta\varepsilon \\ \Delta\nu & \Delta\varepsilon & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X2 \\ Y2 \\ Z2 \end{bmatrix} \quad /3/$$

ahol a nutáció-mátrix elemei $0,2''$ pontossággal a következő képletekkel számíthatók:

$$\begin{aligned} \Delta\mu &= -76,7 \cdot 10^{-6} \sin/12,1128^\circ - 0,0529539^\circ \cdot t/ + \\ &+ 0,9 \cdot 10^{-6} \sin 2/12,1128^\circ - 0,0529539^\circ \cdot t/ - \\ &- 5,7 \cdot 10^{-6} \sin 2/280,0812^\circ + 0,9856473^\circ \cdot t/ - \\ &- 0,9 \cdot 10^{-6} \sin 2/64,3824^\circ + 13,176396^\circ \cdot t/ \\ \Delta\nu &= -33,3 \cdot 10^{-6} \sin/12,1128^\circ - 0,0529539^\circ \cdot t/ + \\ &+ 0,4 \cdot 10^{-6} \sin 2/12,1128^\circ - 0,0529539^\circ \cdot t/ - \quad /4/ \\ &- 2,5 \cdot 10^{-6} \sin 2/280,0812^\circ + 0,9856473^\circ \cdot t/ - \\ &- 0,4 \cdot 10^{-6} \sin 2/64,3824^\circ + 13,176396^\circ \cdot t/ \\ \Delta\varepsilon &= 44,7 \cdot 10^{-6} \cos/12,1128^\circ - 0,0529539^\circ \cdot t/ - \\ &- 0,4 \cdot 10^{-6} \cos 2/12,1128^\circ - 0,0529539^\circ \cdot t/ + \\ &+ 2,7 \cdot 10^{-6} \cos 2/280,0812^\circ + 0,9856473^\circ \cdot t/ + \\ &+ 0,4 \cdot 10^{-6} \cos 2/64,3824^\circ + 13,176396^\circ \cdot t/ \end{aligned}$$

A koordinátarendszerek definíciójából és az /1/-/4/ képletekből egyformán következik az, hogy a csillagászati alaprendszer azonos az 1950.0 epochához tartozó közepes égi koordinátarendszerrel. Ezt mutatja a 2. ábra, amelyen a Z, Z2 és Z3 tengely helyzete látható T₀ és T epochában.



2. ábra

Az 1900-1905 évi nemzetközi földi koordinátarendszert a valódi égi koordinátarendszerből a valódi csillagidő és az x,y pillanatnyi póluskoordináták segítségével kapjuk:

$$\begin{bmatrix} X1 \\ Y1 \\ Z1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & & & \\ -\sin\theta & & & \\ -x \cdot \cos\theta & -y \cdot \sin\theta & -x \cdot \sin\theta + y \cdot \cos\theta & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ -y \\ 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X3 \\ Y3 \\ Z3 \end{bmatrix} \quad /5/$$

1.7. Topocentrikus ekvatoriális koordinátarendszer

Legyen valamely észlelő állomás - az M topocentrum - egy koordinátarendszer kezdőpontja. Ha e koordinátarendszer tengelyei párhuzamosak valamely T epochában definiált geocentrikus ekvatoriális koordinátarendszer tengelyeivel, akkor topocentrikus ekvatoriális koordinátarendszert kapunk ugyanebben az epochában. A topocentrikus ekvatoriális koordinátarendszer változatai megegyeznek a geocentrikus rendszerek változataival.

Valamely, gyakorlatilag végtelen távolságban lévő objektum geocentrikus koordinátái egyenlők a topocentrikus koordinátáival. Így a mesterséges holdak topocentrikus ekvatoriális koordinátáinak meghatározásában szereplő alapcsillagok geocentrikus ekvatoriális koordinátái felfoghatók topocentrikus koordinátákként is.

1.8. Tangenciális koordinátarendszer

Egy ismeretlen égi objektum ekvatoriális koordinátái meghatározásának klasszikus, vagy más néven asztrometriai módszere azon a feltevésen alapszik, hogy a fotografikus felvétel a tárgytér gnomikus vetülete. A tárgytér valamely egységnyi sugaru gömbön elhelyezkedő /vagy megadott/ égi objektumok összessége, a vetítési középpont a gömb középpontja, az egységnyi sugár az objektív fókusztávolsága, a vetület középpontja a felvétel síkjának és a gömbnek az érintési pontja. Az egyes objektumok vetülete a felvételen nem más, mint a gömbön az érintési pont és az objektum közötti szögtávolság tangense. Innen a tangenciális koordinátarendszer elnevezés. A tangenciális koordinátarendszer η tengelye az optikai középponton átmenő meridián vetülete a felvétel síkjában /pozitív

ága észak felé mutat/, ξ tengelye ugyanabban a síkban merőleges az η tengelyre, és azzal balsodrásu rendszert alkot.

A tangenciális koordinátarendszer csak segéd, vagy közvetítő szerepet játszik a felvétel koordinátarendszere és a topocentrikus ekvatoriális koordinátarendszer között.

1.9. A kamera koordinátarendszere

A kamera koordinátarendszere egy térbeli derékszögű koordinátarendszer, amelynek kezdőpontja az objektív hátsó főtengelyében van, z tengelye párhuzamos az objektív optikai tengelyével és pozitív ága a tárgytér felé mutat, x és y tengelyei pedig a z tengelyre merőleges síkban helyezkednek el, egymásra merőlegesek és balsodrásu rendszert alkotnak.

1.10. A felvétel koordinátarendszere

Ez egy síkbeli derékszögű koordinátarendszer, amelynek kezdőpontja az optikai középpontban /fókuszpontban/ van, x és y tengelyei egymásra merőlegesek és az optikai tengelyre merőleges síkban helyezkednek el balsodrásu rendszert alkotva.

1.11. A kimérőműszer koordinátarendszere

Ez egy síkbeli derékszögű koordinátarendszer, amelynek x_1 és y_1 tengelyeit a kimérőműszer egy-egy méretarányvonalzója, kezdőpontját pedig a két méretarányvonalzó metszéspontja jelöli ki.

1.12. A koordinátarendszerek közötti összefüggés

1.12.1. Áttérés a kimérőműszer koordinátarendszeréből a felvétel koordinátarendszerébe

A fotografikus felvételeken az alapcsillagok és a mesterséges hold helyzetét kimérőműszerben mérjük. Az x_1, y_1 mért koordinátákat első lépésben a felvétel koordinátarendszerébe kell transzformálni. A transzformálás csupán kezdőpont-eltolásból áll, a forgatás felesleges. Ez a következő képlet segítségével történik:

$$x = x_1 - x_{1_0} \quad /1/$$

$$y = y_1 - y_{1_0}$$

ahol x_1, y_1 a pont koordinátái a kimérőműszer rendszerében,

x, y a pont koordinátái a felvétel koordinátarendszerében,

x_{1_0}, y_{1_0} az optikai középpont koordinátái a kimérőműszer rendszerében.

1.12.2. A felvétel koordinátarendszere és a tangenciális koordinátarendszer közötti összefüggés

A két koordinátarendszer megfogalmazásából következik, hogy azok egy síkban vannak. Ha ez tényleg így van, akkor a két rendszer között a

$$\xi = \xi_0 + x \cos\varphi - y \sin\varphi \quad /1/$$

$$\eta = \eta_0 + x \sin\varphi + y \cos\varphi$$

összefüggés érvényesül.

Itt φ a két rendszer egymáshoz viszonyított elfordulásának szöge,

ξ_0, η_0 a felvétel koordinátarendszere kezdőpontjának koordinátái a tangenciális koordinátarendszerben.

A két koordinátarendszer kapcsolatához azonban már eleve nem az /1/ képlet szerint állunk hozzá, hanem - figyelembe véve a gyakorlatot, vagyis az ideális esettől való eltérést - affin vagy parabolikus /esetleg harmadfoku/ transzformációs képletet írunk fel.

Az affin transzformálás képlete:

$$\begin{aligned}\xi &= a_0 + xa_1 + ya_2 \\ \eta &= b_0 + xb_1 + yb_2\end{aligned}\quad /2/$$

A parabolikus transzformálás képlete:

$$\begin{aligned}\xi &= a_0 + xa_1 + ya_2 + x^2 a_3 + xya_4 + y^2 a_5 \\ \eta &= b_0 + xb_1 + yb_2 + x^2 b_3 + xyb_4 + y^2 b_5\end{aligned}\quad /3/$$

Az a és b típusu együtthatók általában ismeretlenek, tartalmukkal és meghatározásukkal a későbbiekben foglalkozunk.

1.12.3. A tangenciális és az ekvatoriális koordináták közötti összefüggés

A két koordinátarendszer közötti összefüggést a vetülettanból ismert és a gnomikus vetületre vonatkozó képletekkel lehet felírni. A tangenciális koordinátákat az ekvatoriális koordináták segítségével a következőképpen kapjuk:

$$\xi = f \frac{\cos \delta \sin / \alpha - A /}{\sin \delta \sin D + \cos \delta \cos D \cos / \alpha - A /}$$

/1/

$$\eta = f \frac{\sin \delta \cos D - \cos \delta \sin D \cos / \alpha - A /}{\sin \delta \sin D + \cos \delta \cos D \cos / \alpha - A /}$$

És viszont

$$\alpha = \text{arc tg} \left(\frac{\xi}{f \cos D - \eta \sin D} \right) + A$$

/2/

$$\delta = \text{arc tg} \left(\frac{\eta \cos D + f \sin D}{f \cos D - \eta \sin D} \cos / \alpha - A / \right)$$

ahol A és D az optikai középpont ekvatoriális koordinátái /rektaszcenzió és deklináció/,
f az objektív fókusz távolsága.

1.12.4. A kamera koordinátarendszere és az ekvatoriális koordinátarendszer közötti összefüggés

Gyakran előfordul, hogy a mesterséges holdak topocentrikus ekvatoriális koordinátáit nem az asztrometriai módszerrel /tehát nem a tangenciális koordináták közvetítésével/ számítják ki, hanem a térgeometria összefüggéseivel közvetlen kapcsolatot teremtenek a kamera koordinátarendszere és az ekvatoriális koordinátarendszer között. Ez a fotogrammetriai módszer elnevezést kapta. Alkalmazása nem mindig célszerű, amit egy későbbi fejezetben röviden indokolni fogunk. A mi esetünkben sem kerül alkalmazásra, ezért csak röviden kerül ismertetésre.

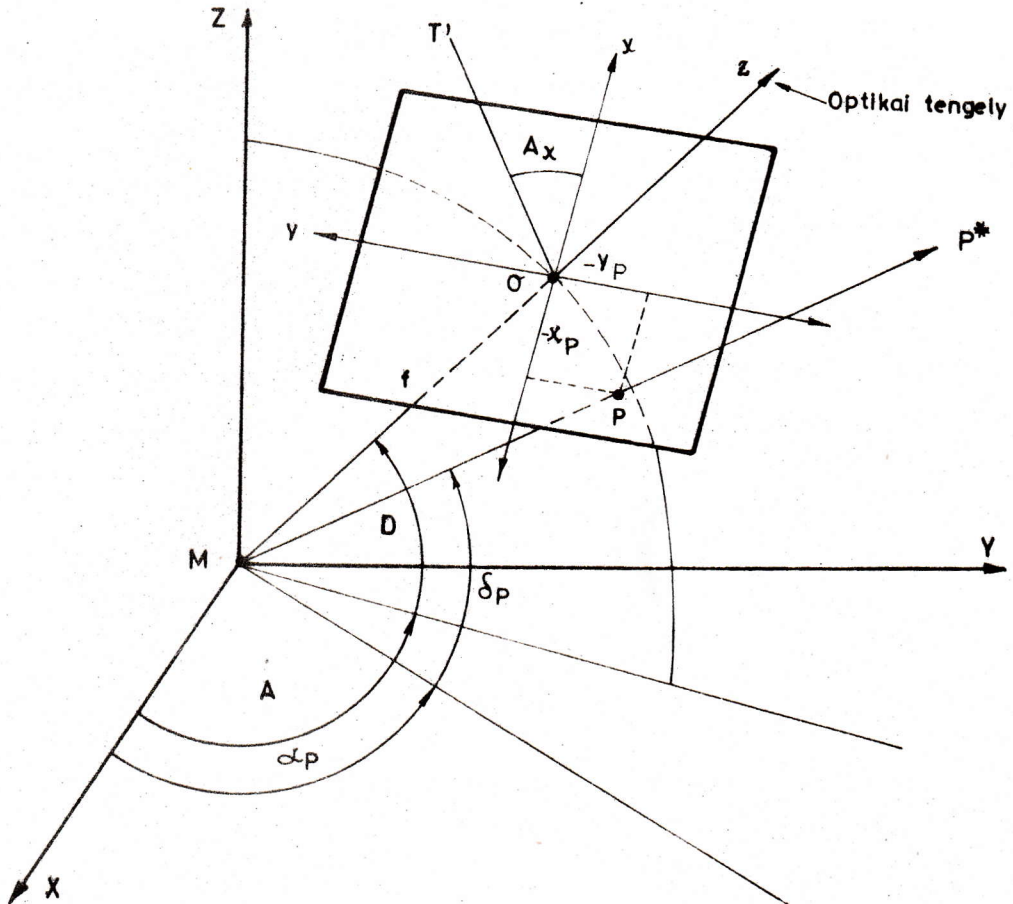
Legyen MXYZ egy topocentrikus ekvatoriális koordináta-rendszer, amelyben az égi objektumok X, Y és Z derékszögű koordinátáit /vagy másképpen iránykoszinuszait, mivel egységsugaru gömbről van szó/ az α és δ szférikus koordináták segítségével számítjuk:

$$\begin{aligned} X &= \cos\alpha \cos\delta \\ Y &= \sin\alpha \cos\delta \\ Z &= \sin\delta \end{aligned} \quad /1/$$

Legyen oxyz a kamera koordinátarendszere, amelyben a leképződött égi objektumok koordinátái x, y és f, illetve iránykoszinuszai:

$$\begin{aligned} l &= \frac{x}{r} \\ m &= \frac{y}{r} \\ n &= -\frac{z}{r} = \frac{f}{r} \end{aligned} \quad /2/$$

Ahol $r^2 = x^2 + y^2 + f^2$



3. ábra

A két koordinátarendszer közötti kapcsolatot a következő kifejezés adja:

$$\begin{bmatrix} l \\ m \\ n \end{bmatrix} = \bar{A} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}, \quad /3/$$

ahol a forgatómátrix

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

A mátrix elemei a kamera három külső tájékozási elemének /A, D, A_x/ függvényeként számíthatók. Az A és D az optikai tengely rektaszcenziója és deklinációja, az A_x pedig az x tengely és a T' egyenes által bezárt szög /T' - az optikai középponthez tartozó égi meridiánsík és az oxy sík által kimetszett egyenes/.

1.13. Időrendszerek

A kozmikus geodéziában az idő és a pozíció egymástól elválaszthatatlan mennyiségek. Elegendő, ha arra gondolunk, hogy pl. a geometriai módszernél igen nagy szerepet játszik a több állomásról ugyanarra a mesterséges holdra történő észlelések szinkronitásának biztosítása, vagy hogy a geodéziái célú szputnyikmegfigyelések eredményeit az egységesség és a szabatoság érdekében az 1900-1905 évi nemzetközi földi koordinátarendszerbe redukálva használjuk fel és a redukálás-

hoz szabatos pontossággal kell ismernünk az észlelés epocháját /erre utaltunk is már az 1.4. részben/. Az időpont meghatározási pontosságára vonatkozó követelmények sok tényezőtől függenek. A részleteket mellőzve általános követelmény az, hogy az észlelés időpontját valamely egyezményes időrendszerben legalább 0,001 sec pontossággal határozzuk meg. Ez a pontosság nagy időintervallum mellett értendő.

1.13.1. Alapvető időrendszerek

Hosszu időn keresztül az időpont meghatározásának az alapját a Föld tengely körüli forgása képezte. Az időszolgálatot végző obszervatóriumok csillagászati észlelésekből meghatározták a greenwichi csillagidőt, a kapott értékből levonták a precesszió és nutáció hatását. Ezt az értéket UTO észlelt világidőnek nevezték. Ebből levonva a pólusmozgás hatását, számítható az UT1 világidő. Ha az utóbbiból levonjuk a Föld egyenetlen forgásából származó javítást, akkor az UT2 kvázিয়েgyenletes világidőhöz jutunk. Az UTO, UT1 és UT2 világidőket napjainkban is meghatározzák, azonban elsősorban a rotáció vizsgálatára használják fel.

Jelenleg az egyenletesen folyó idő alapját az atomi idő képezi. A nemzetközi időszolgálatban mintegy 11-12 laboratórium vesz részt saját atomi időetalonjával és szolgáltatják az AT/i/ atomi időt. A résztvevő laboratóriumok AT/i/ értékeiből képezik az ATI közepes atomi időt.

Az ATI egy független és egyenletesen folyó atomi idő, azonban skálaegysége valamivel kisebb, mint a kvázিয়েgyenletes időé. Egy év alatt valamivel több, mint 1 sec értéket siet az utóbbihoz képest. Ezért bevezetésre került egy szintén egyenletesen folyó idő, amely 1 sec-on belül megközelíti a kvázi-

egyenletes időt. Ez az idő a koordinált világidő elnevezést kapta. Jelölése: UTC. A nemzetközi időszolgálatban résztvevő minden laboratóriumban az atomi idő segítségével egy UTC/i/ időt származtatnak és ebből képezik az UTC koordinált világidőt. Az UTC/i/ és az AT/i/ között tapasztalati összefüggés van, amelyet az alábbi egyenlet ír le:

$$\text{UTC}/i/ = \left[1 + \frac{\Delta AT}{f, \Delta f} \right] \text{AT}/i/ + \Delta AT_{\text{const}} \quad /1/$$

Ahol $\frac{\Delta AT}{f, \Delta f}$ a frekvenciától és a frekvenciahibától függő időjavítás,

ΔAT_{const} egy időjavítási állandó.

Az időszolgálat céljából a rádióállomások időjeleket bocsátanak ki. A rádióállomások az időjeleket saját atomi időalapjuk segítségével az UTC koordinált világidő-rendszerben adják. Időalapjukat a nemzetközi időszolgálatban résztvevő 11-12 laboratórium időalapjával hitelesítik.

A Nemzetközi Időszolgálat /Bureau International de l'Heure, továbbiakban: BIH/ külön körlevélben ötnapos időintervallumra közli a pólusmozgás x és y értékét, a $\Delta UT_2 = UT_2 - UTC$ és $\Delta UT_1 = UT_1 - UTC$ javításokat, az időjeladó állomások $\Delta UT/n/ = UTC - UT/n/$ korrekcióját, az $UT_1 - AT_1$ különbséget, valamint az atomi időalapokra vonatkozó korrekciós adatokat.

A Szovjetunió a BIH-től függetlenül saját atomi időalapot használ. Rádióállomásai a Szovjetunióban definiált $UT_1_{\text{ЭБ}}$ világidőben bocsátják ki időjeleiket. Ezek a rádióállomások is rendelkeznek saját atomórával, amelyet azonban a saját fő időalapjukkal hitelesítenek. A Szovjetunió időszolgálatata havonként publikálja az "Эталонное Время"-t, amely tartalmazza a szovjet rádióállomások által kibocsátott időjelek $\Delta UT_{\text{ЭБ}}$ korrekcióját az $UT_1_{\text{ЭБ}}$ -re, a Föld forgásának időszakos egyenetlenségéből származó ΔT_s javítást /ez a BIH-ből nyert érték/, a

Szovjetunió időalapja és a kvázিয়েgyenletes idő közötti $TAI_C - UT_2$ különbséget, a szovjet észlelésekből meghatározott x és y pólusmozgás értékeket és a $\Delta UT_1_{\ominus B} = UT_1_{\ominus B} - UT_1_{BIH}$ különbséget, valamint az időmeghatározás céljából végzett mérések fontosabb részleteit.

A fent említett időrendszerek között a következő összefüggések vannak.

Áttérés a rádióállomás időrendszeréből a koordinált világidőre /ez az UTC-ben adó rádióállomásokra vonatkozik/.

$$UTC = UT/n/+ \Delta UT/n/ \quad /2/$$

Szovjet adók esetében az UT_1 értéket számítják:

$$UT_1_{\ominus B} = UT/n/+ \Delta UT_{\ominus B} \quad /3/$$

$$UT_1 = UT_1_{\ominus B} - \Delta UT_1_{\ominus B} \quad /4/$$

Az UT_1 világidő az UTC-ből és a BIH-ben adott korrekcióval:

$$UT_1 = UTC + \Delta UT_1 \quad /5/$$

Az UT_2 kvázিয়েgyenletes idő:

az UTC-ből és a BIH-ben adott korrekcióval

$$UT_2 = UTC + \Delta UT_2 \quad /6/$$

az UT_1 -ből és a ΔT_s javítással

$$UT_2 = UT_1 + \Delta T_s \quad /7/$$

A Föld forgásának időszakos egyenetlenségéből származó javítás:

$$\Delta T_s = UT_2 - UT_1 \quad /8/$$

1.13.2. Időszolgálat az észlelő állomásokon

A pontos idő regisztrálása és a kamera vezérlése az észlelő állomásokon rendelkezésre álló órák segítségével történik. Az órákkal szemben támasztott pontossági követelmény az, hogy biztosítsák az észlelés időpontjának 0,001 sec pontosságú kapcsolását a világidőhöz. Erre a célra általában 10^{-8} körüli stabilitású kvarcórákat használnak. A kvarcórák másodperc-impulzusú és magasabb frekvenciájú kimenetekkel vannak ellátva. A kvarcórák csatlakozása a világidőhöz a következőképpen történik. Az észlelő állomáson rádióval veszik az időjeladó rádióállomások időjeleit. A vett időjeleket és a kvarcórák másodperc impulzusait oszcilloszkópon összehasonlítják. Az összehasonlítás folyamán megállapítják a kvarcóra τ_a állását, amelyet az észlelési eredményeknél figyelembe vesznek. Gyakrabban azonban fázistoló segítségével a kvarcórákat a rádió időjelekhez igazítják. Ezt az összehasonlítást az észlelés előtt és észlelés után elvégzik. Ezekből megállapítják a kvarcóra járását és ebből az észlelés időpontjára számítják a τ_a értéket.

A rádióállomások időjeleinek vételekor figyelembe kell venni a rádióhullámok terjedési sebessége miatti késést, amely a következő képlettel számítható:

$$\tau_d = \frac{d}{c} \quad /1/$$

ahol d a rádióállomás és a vevőállomás közötti távolság,
 c a rádióhullámok terjedési sebessége.

Ha $d < 100$ km és az adás hosszú hullámon történik, akkor $c = 252000$ km/sec. Rövidhullámú vétel esetén $c = 274000$ km/sec.

Ha $d > 1000$ km-nél, akkor:

$$c = \left(290 - \frac{139,41}{d+2,9} \right) \cdot 10^3 \quad /2/$$

Ezek az értékek tapasztalati adatok [3] .

A rádióállomások által kibocsátott időjelek ezenkívül a rádióban is késést szenvednek, amelyet τ_R -rel jelölünk. A vett időjelek időpontját ezzel is meg kell javítani.

A kvarcóra időjele elektromos rendszeren jut a kamerához. Az elektromos rendszer késlelteti a jeleket, ezért egy τ_k késleltetési időt kell figyelembe venni a mesterséges hold pozíciójához tartozó időpontnál.

A mesterséges hold valamely pozíciójához tartozó t időpont a fotokamera időrendszerében vagy közvetlenül nyert érték, vagy pedig - és ez a gyakoribb - a kamera típusától függően, külön számított érték.

Hazai viszonylatban mi a BIH rendszeréhez tartozó DIZ vagy OLB5 rádióállomás időjeleit vesszük. Ezt figyelembe véve a mesterséges hold valamely pozíciójához tartozó időpont a koordinált világidő rendszerében a következő lesz:

$$UTC = t + \tau_k + \tau_R + \tau_a + \tau_d + \Delta UT / DIZ \text{ vagy OLB5} / \quad /3/$$

2. A mesterséges holdak topocentrikus ekvatoriális koordinátái meghatározásának matematikai modellje

2.1. Alapfeladat

A fotografikus észlelések folyamán fotokamerával felvett készitünk a Nap által megvilágított vagy a saját villanófénnyel rendelkező mesterséges holdról és a körülötte lévő csillagos égboltról. A csillagok az ismert pont szerepét játsszák, meghatározandó a mesterséges holdra mutató irány, vagy másképpen a mesterséges hold topocentrikus ekvatoriális koordinátái. A csillagok topocentrikus ekvatoriális koordinátái /a csillagok esetében a gyakorlatilag végtelen távolságok miatt a geocentrikus adatok azonosak a topocentrikus adatokkal/ csillagkatalógusból ismertek. Komparátoron mérhetők a csillagok és a mesterséges hold képi koordinátái. A csillagok katalógusi és képi koordinátái segítségével meghatározható a topocentrikus ekvatoriális koordinátarendszer és a kamera koordinátarendszere közötti összefüggés. Ha ismerjük az összefüggést és a mesterséges hold képi koordinátáit, akkor meghatározhatók az utóbbi topocentrikus ekvatoriális koordinátái.

A fotografikus iránymeghatározásnak és az így kapott irányok geodéziai felhasználásának többek között az az előnye van a klasszikus iránymeghatározással szemben, hogy a távoli célpontra mutató irányt az egységes rendszerben adott csillagok révén ugyanabban a rendszerben határozzuk meg minden állásponton, szemben a klasszikus földi módszerekkel, ahol az irányt az egyes álláspontoknak a helyi függőleges által kitűzött és ezért minden állásponton csak kisebb pontossággal ismert rendszerében kapjuk. Ez lehetővé teszi például a globális geodézia hálózatok kialakítását, különböző helyi geodéziai rendszerek összekapcsolását, stb.

2.2. A csillagok ekvatoriális koordinátái

A csillagok ekvatoriális koordinátái csillagkatalógusokban találhatóak. A különböző csillagkatalógusok tartalma, pontossága és koordinátarendszere, amelyre a csillagok ekvatoriális koordinátái adottak, más és más. A mesterséges holdak fotografikus észlelésének gyakorlatában az észlelő állomások általában a SAO csillagkatalógust /Smithsonian Astrophysical Observatory, Star Catalog/ használják.

A SAO csillagkatalógusban megtalálható a csillagok fényessége, rektaszcenziója $/\alpha/$, deklinációja $/\delta/$, sajátmozgásának két összetevője $/\mu_{\alpha}$ és $\mu_{\delta}/$, valamint egyéb, számunkra jelenleg szükségtelen adatok. Az ekvatoriális szférikus koordináták az 1950.0 epochájú csillagászati alaprendszerbe redukált értékek, közepes helyen. A katalógus az éggömb 260 000 csillagainak adatait tartalmazza, ami foknégyzetenként kb. 4 csillagot jelent. Összeállításakor az FK4, FK3, GC, Cape, Yale, AGK2, Cape Zone, Me4 és Me3 katalógus adatait vették figyelembe. A SAO katalógusban az ekvatoriális koordináták véletlen és szabályos hibákkal terheltek. Ezek nagyságáról és megoszlásáról a vélemények általában különböznek, annyiban viszont azonosak, hogy a csillagpozíciók hibája $0,2''-1,5''$ között van, és hogy általában a déli pólus környékén a legnagyobb.

A fotografikus felvételek készítésekor a csillagokat az észlelés epochájához tartozó koordinátarendszerben és látszó helyen észleljük, ezért katalógusi ekvatoriális koordinátákat a további felhasználás céljaira redukálni kell az észlelés epochájára és a látszó helyre.

Az észlelés epochájához tartozó koordinátarendszerbe való áttérés a precesszió és a nutáció figyelembevételével történik. Célszerű megemlíteni, hogy ez két uton lehetséges, amelyek azonban egymástól csak formailag különböznek. Az egyik ut szerint először áttérünk a szférikus koordinátákról a derékszögű koordinátákra:

$$X = \cos \alpha \cos \delta$$

$$Y = \sin \alpha \cos \delta$$

/1/

$$Z = \sin \delta$$

Utána az 1.6./1/ és 1.6./3/ szerint figyelembe vesszük a precessziót és a nutációt, majd újra visszatérünk a szférikus koordinátákra:

$$\delta = \arcsin Z$$

$$\alpha = \arcsin \frac{Y}{X}$$

/2/

A másik út szerint közvetlenül a rektaszcenziót és a deklinációt javítjuk a precesszió és a nutáció miatti javításokkal, amelyeket csillagászati évkönyvekből vett együtthatók segítségével számítottunk ki.

A látszó helyre való redukálásnál a rektaszcenziót és a deklinációt elvileg a következő javításokkal kell ellátni: a csillag sajátmozgásából eredő javítás, a csillag évi parallaxisa, évi aberráció, napi aberráció és csillagászati refrakció.

A fentebb elmondottakhoz képest azonban a gyakorlatban több egyszerűítési lehetőség adódik. Az egyik lehetőség a következő. Egyrészt a mesterséges hold topocentrikus ekvatoriális koordinátáit egységesen az 1950.0 epochára szokták megadni. Másrészt az ekvatoriális koordinátarendszer és a kamera koordinátarendszere közötti összefüggés megállapításakor csak arra kell ügyelni, hogy a csillagok egymáshoz viszonyított helyzete tükrözze a valóságot, márpedig a precesszió és a nutáció figyelembevételénél csak forgatás történik, a csillagok egymáshoz viszonyított helyzete nem változik meg. Ezért a precessziót és a nutációt általában nem veszik figyelembe. Egyszerűítési lehetőség még az, hogy a számításba csak olyan csillagokat vesznek be, amelyeknél a Földtől való igen nagy távolságuk miatt az évi parallaxis nullával egyenlő, tehát az évi parallaxist nem kell kiszámítani.

A mesterséges holdra mutató irány számításánál a jelenleg létező módszerek többsége a következő javításokat veszi figyelembe.

a/ A csillagok sajátmozgásából eredő javítás

$$\Delta\alpha_1 = \mu_\alpha / T - 1950.0 /$$

/3/

$$\Delta\delta_1 = \mu_\delta / T - 1950.0 /$$

ahol T az észlelés epochája.

b/ Évi aberráció

$$\Delta\alpha_2 = -20.47'' \sin\alpha \sin L_\odot - 18.87'' \cos\alpha \cos L_\odot / \sec\delta$$

/4/

$$\Delta\delta_2 = -20.47'' \sin\delta \cos\alpha \sin L_\odot - 18.87'' \cos L_\odot / 0.43367 \cos\delta - \sin\delta \sin\alpha /$$

ahol L_\odot a Nap geocentrikus hosszúsága.

c/ Napi aberráció

$$\Delta\alpha_3 = 0.320'' \cos\varphi \cos\theta_\lambda - \alpha / \sec\delta$$

/5/

$$\Delta\delta_3 = 0.320'' \cos\varphi \sin\theta_\lambda - \alpha / \sin\delta$$

ahol θ_λ a helyi csillagidő észlelésekor,
 φ az állomás földrajzi szélessége.

d/ Csillagászati refrakció

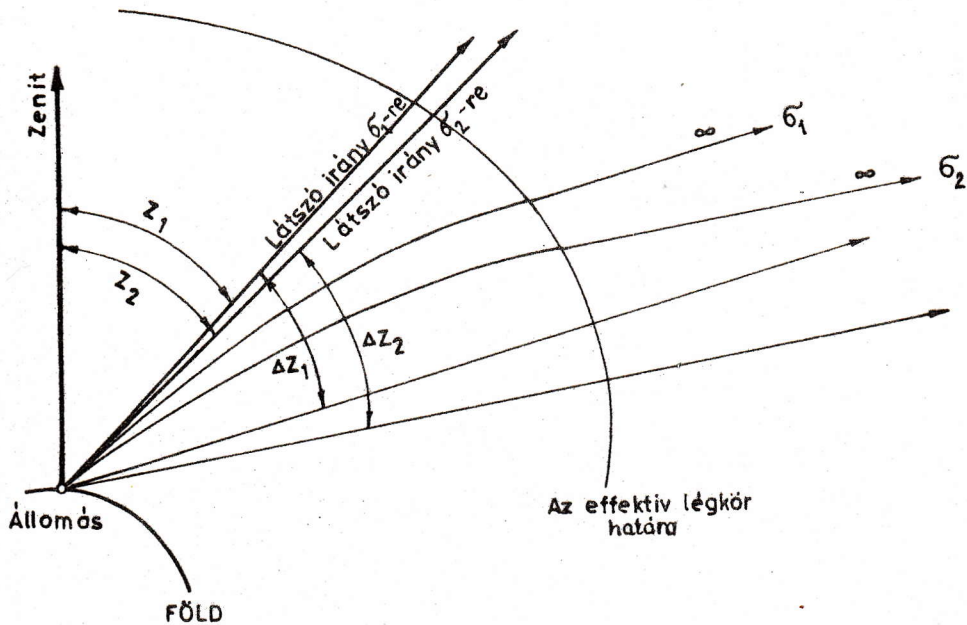
Ismeretes, hogy a fény a légkörben haladva a különböző sűrűségű rétegek határán megtörik, így a fénylő objektumot nem a valóságos helyén látjuk. Ez a jelenség a refrakció. Az égi objektumok megfigyelésekor fontos szerepe van a csillagászati refrakciónak, amelynek hatásaként a távoli fénylő pontot való-

ságos helyénél magasabban, a zenithez közelebb látjuk. A zenittávolság növekedésével a csillagászati refrakció értéke is növekszik. A 4. ábra a csillagászati refrakciót, valamint az egymáshoz közeli objektumokhoz tartozó csillagászati refrakciók különbségét, az u.n. differenciális refrakciót mutatja. Az ábrán σ_1 és σ_2 a két objektum, z_1 , z_2 , Δz_1 és Δz_2 az objektumok zenittávolsága és csillagászati refrakciója. A differenciális refrakció $\Delta z_2 - \Delta z_1$. A csillagászati refrakció miatti javítás értéke a következő:

$$\Delta \alpha_4 = -\Delta z \sin \kappa \sec \delta$$

/6/

$$\Delta \delta_4 = -\Delta z \cos \kappa$$



4. ábra

ahol
$$\Delta z = \frac{P}{760 + 2.785L} \left(61.13'' \operatorname{tg} z - 0.087'' \operatorname{tg}^3 z \right) \quad /7/$$
 a csillagászati refrakció hatása a zenittávolságra,

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos (\lambda - \alpha) \quad /8/$$

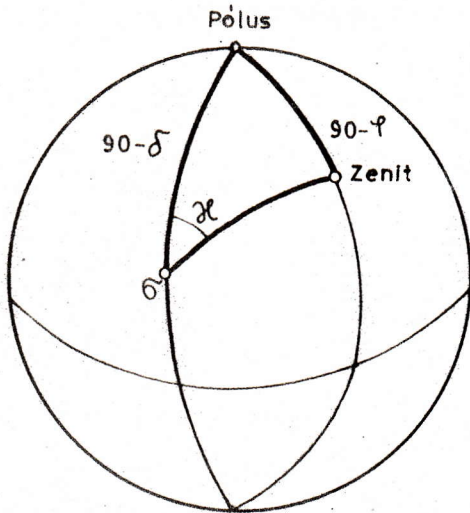
a zenittávolság és

$$\cos \kappa = \frac{\sin \varphi - \sin \delta \cos z}{\cos \delta \sin z} \quad /9/$$

a parallaxis szög /5.ábra/, valamint

P a légnyomás és

L a hőmérséklet.



5. ábra

A csillagok látszó koordinátái az így kapott javítások figyelembevételével a következők lesznek:

$$\alpha_{\text{látszó}} = \alpha_{\text{közepes}} + \Delta \alpha_1 + \Delta \alpha_2 + \Delta \alpha_3 + \Delta \alpha_4$$

/10/

$$\delta_{\text{látszó}} = \delta_{\text{közepes}} + \Delta \delta_1 + \Delta \delta_2 + \Delta \delta_3 + \Delta \delta_4$$

Ily módon valamennyi csillagra kapjuk az $\alpha_1, \delta_1, \alpha_2, \delta_2, \dots, \alpha_n, \delta_n$ látszó ekvatoriális koordinátákat.

Cészerü megemlíteni, hogy a csillagászati refrakció figyelembevételénél nem alakult ki egységes nézet. Egyes szerzők szerint egy felvételen minden csillagnál alkalmazni kell a csillagászatirefrakció-javítást, mások szerint elégséges csak egy, az adott felvételre vonatkozó átlagos értéket figyelembe venni, de vannak olyanok is, akik csak a felvételen belüli zenittávolság-változásból adódó refrakciókülönbségnek, a differenciális refrakciónak a figyelembevételét javasolják. Ebben a témában hazai vonatkozásban külön vizsgálatok történtek [12]. Eszerint a hazai körülmények között a $d/$ pont alatt közölt módszer került alkalmazásra.

2.3. A képi pontok koordinátái a felvétel koordinátarendszerében

A fotografikus észlelés eredményeképpen a filmen leképeződnek a csillagok és a mesterséges hold. Ezeknek a képi pontoknak a koordinátáit közvetlen méréssel határozzuk meg úgy, hogy azokat először szabatos monokomparátoron több ismétlésben kimérjük, a mért értékeket közepeljük, majd az így kapott műszer-koordinátarendszerbeli koordinátákat az origó eltolásával a felvétel vagy a kamera koordinátarendszerére redukáljuk. Ha ideális esetek léteznének, akkor ezzel már biztosítottak tekinthetnének az ekvatoriális koordinátarendszer és a felvétel vagy a kamera koordinátarendszere közötti összefüggés meghatározásához szükséges adatokat.

Ideális eset nem létezik. A következő nehézségek merülhetnek fel.

a/ A monokomparátor mérőtengelyei nem pontosan merőlegesek egymásra, méretarányuk egymástól különböző és időben változó, nem ideálisan egyenesvonalúak / [3], [15] /.

b/ A képet hordozó réteg deformálódik és nem alkot síkot. / [10] , [15] , [18] /.

c/ A kamera optikai rendszere torzít. Ennek következtében egyrészt olyan torzulások lépnek fel, amelyek - bár a kép terében nem változtatják meg az irányt, de - az objektum nem pontszerű leképezéséhez vezetnek és középpontjuk kijelölését bizonytalaná teszik. Ilyenek a szférikus aberráció, a helyzeti kromatikus aberráció, az asztigmatikus torzulás és a kóma. Jelentkezik a radiális és a tangenciális disztorzió hatása, amelynek eredményeképpen iránytorzulás áll elő, valamint a nagyítási kromatikus aberráció, ami azt eredményezi, hogy - mivel minden színhez tartozik egy fókusztávolság - a különböző színű égi objektumok az optikai középponthez viszonyítva radiálisan tolódnak el. Ezekkel a témákkal a szakirodalom részletesen foglalkozik. / [3] , [10] , [15] /.

d/ Nem ismerjük az optikai középpont helyét a filmen, valamint a fókusztávolság pontos értékét / [3], [10] , [17], [18] /.

Vizsgáljuk meg az egyes tényezőket.

A képi pontok kimérésére szabatos monokomparátorokat használunk, amelyek általában néhány tized mikronon belüli pontosságot biztosítanak. Ezenkívül, a felhasználásra kerülő csillagok és a szputnyikpontok általában szűk környezetben vannak, így a monokomparátor hibáinak hatása általában elhanyagolható. Ettől függetlenül azonban a monokomparátorokat szabályos időközönként meg kell vizsgálni és ha szükséges, akkor igazítani kell, vagy a vizsgálat eredményeképpen kapott paramétereket a következő képlettel figyelembe kell venni:

$$x_1 = x_{1\text{mért}} \cdot /1 - J/$$

$$y_1 = y_{1\text{mért}} - x_{1\text{mért}} \cdot I$$

/1/

/itt I a nem-merőlegességet, a J pedig a méretaránykülönbséget tartalmazó együttható/. A hazai gyakorlatban ez a művelet ki-marad / $[11]$ /.

A kamera optikai rendszerének azt a torzítását, amely a pontok foltszerű leképződéséhez vezet és ezáltal a tényleges középpont és a mérés folyamán becsült középpont között több mikronkülönbséget is eredményezhet, általában úgy küszöbölik ki, hogy minden egyes pontot méréskor több helyzetben $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ képelforgatással/ irányoznak meg és az így kapott mérések számtani középértékét képezik. Ezeknek a torzításoknak a hatását csökkentheti még az is, hogy a mérendő objektumok általában az optikai középpont körül szűk körzetben kerülnek felhasználásra, ahol a pontszerű leképződés még biztosított.

Megjegyzendő, hogy a foltszerű leképződés miatti megirány-zási bizonytalanság és a pontnak az optikai középponttól való távolsága között általában összefüggés van, amit a matematikai statisztika módszerével /pl. regresszióanalízis/ célszerű eset-leg meghatározni és ha szükséges, akkor azt a gyakorlatban fi-gyelembe venni.

A hordozóréteg deformációi lehetnek lineárisak, magasabb fokúak, vagy helyi jellegűek. A lineáris deformációk nem jelen-tenek problémát, mivel azok csupán méretarányváltozást ered-ményeznek, amely a további számítások folyamán implicite figye-lembevevődik. A magasabb fokú és a helyi jellegű deformációk üveglemezek esetében általában elhanyagolhatóan kicsik, szem-ben a filmekkel, ahol néhány mikront is elérhetnek. Meghatáro-zásuk és figyelembevételük nehézkes. Ezért arra törekszünk, hogy a felvételeket üveglemezre, vagy mérettartó estar alapanya-gu filmre készítsük.

A síkbafektetési hiba meghatározására vannak kidolgozott módszerek. Ismeretes azonban, hogy ennek a hibának a meghatározása és figyelembevétele tömeges feldolgozásnál igen nehézkes és általában nem történik meg. Film alkalmazása esetén ezzel számolni kell. Üveglemez alkalmazásakor a síkbafektetés hibája csökken.

A fókusz távolság nem pontos ismerete a méretarányban vezet problémákhoz. Ez azonban a későbbi számítások folyamán automatikusan megoldódik.

Nem kerülhető azonban el az optikai középpont nem pontos ismeretéből és a disztorzióból származó javítások figyelembevétele. Az optikai és a film keretjeleiből képzett geometriai középpont közötti Δx_0 , Δy_0 különbséget, valamint a radiális disztorzió h_1 és h_2 együtthatóit, a tangenciális disztorzió j_1 és j_2 együtthatóit és β tájolási szögét minden objektívra külön meg kell határozni. Erre a célra léteznek pontos és kevésbé pontos módszerek / [17], [18] /. Hazai viszonylatban eddig csak kevésbé pontos módszert alkalmaztunk, és csupán a Δx_0 , Δy_0 és a h_1 értékeket határoztuk meg. Pontosabb módszer kidolgozása folyamatban van.

Ezek után nézzük meg, hogy a több ismétléssel mért koordinátákból hogyan jutunk el a felvétel torzulásmentes koordináta rendszerében megadott koordinátákhoz.

1/ A több ismétléssel mért koordináták közepelése:

$$x_1 = \frac{\sum_{i=1}^{i=j} x_{1i}}{j}$$

/2/

$$y_1 = \frac{\sum_{i=1}^{i=j} y_{1i}}{j}$$

Képezzük az adott ponton az egy mérés középpontját is:

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=j} |x_{l_i} - x_l|^2}{j-1}}$$

/3/

$$m_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=j} |y_{l_i} - y_l|^2}{j-1}}$$

ahol j az ismétlések száma.

2/ Áttérés a kimérőműszer koordinátarendszeréből a felvétel geometriai középpontjára:

$$x' = x_l - x_{l_g}$$

/4/

$$y' = y_l - y_{l_g}$$

ahol x_{l_g} és y_{l_g} a geometriai középpont koordinátái a kimérőműszer rendszerében /a geometriai középpont a felvételen lévő és mért keretjelekből számítható/.

3/ Áttérés a felvétel torzulásmentes koordinátarendszerébe:

$$x = x' / (1 + h_1 \rho^2 + h_2 \rho^4) - (j_1 \rho^2 + j_2 \rho^4) / \sin \beta + \Delta x_0$$

/5/

$$y = y' / (1 + h_1 \rho^2 + h_2 \rho^4) + (j_1 \rho^2 + j_2 \rho^4) / \cos \beta + \Delta y_0$$

itt $\rho^2 = x'^2 + y'^2$, valamint β az x tengely és a maximális tangenciális disztortióhoz tartozó irány által bezárt szög. Az /5/ képletben többnyire csak a h_1 együtthatót használják, a többi ismeretlennek vagy nullának tételezik fel.

A fentebb említett műveleteket minden csillagra és a mesterséges holdra elvégezzük. Kapjuk az n darab csillag $x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n$, és mesterséges hold x_s, y_s torzulásmentes koordinátáit a felvétel koordinátarendszerében.

Megemlítendő, hogy a figyelmen kívül hagyott tényezők miatt, valamint az optikai középpont és a disztorzió adatainak csak korlátozott pontosságú ismerete miatt maradék torzulások lépnek fel. Ezeknek a hatása azonban már csekély és lineárisan jól közelíthető.

2.4. Transzformáció

Az ekvatoriális koordinátarendszer és a kamera koordinátarendszere közötti összefüggés meghatározásának folyamata a transzformáció. Mint az előző részekben arról már történt említés, ez megoldható asztrometriai, vagy fotogrammetriai uton. Általánosabb az asztrometriai, az u.n. Turner-módszer.

A Turner-módszer lényege a következő.

Minden felhasználandó /összesen n darab/ csillag ekvatoriális koordinátáiból képezzük a tangenciális koordinátákat:

$$\xi = f \frac{\cos \delta \sin / \alpha - A /}{\sin \delta \sin D + \cos \delta \cos / \alpha - A / \cos D}$$

/1/

$$\eta = f \frac{\sin \delta \cos D - \cos \delta \cos / \alpha - A / \sin D}{\sin \delta \sin D + \cos \delta \cos / \alpha - A / \cos D}$$

Itt A és D az optikai tengely ekvatoriális koordinátái az elképzelhető legjobb közelítésben. Eredményül kapjuk az n darab csillag $\xi_1, \eta_1, \xi_2, \eta_2, \dots, \xi_n, \eta_n$ tangenciális koordinátáit.

Minden csillagra felírható a tangenciális koordináta-rendszer és a felvétel koordinátarendszere közötti összefüggést leíró 1.12.2./2/ vagy 1.12.2./3/ két-két egyenlet. Az általánosság kedvéért tekintsük most a parabolikus transzformációt. A pontonkénti két-két összefüggést javítási egyenletek formájában írjuk fel és ξ és η szerint különválasztjuk azokat. A következő két javítási egyenletrendszert kapjuk:

$$\begin{aligned} a_0 + a_1 x_1 + a_2 y_1 + a_3 x_1^2 + a_4 x_1 y_1 + a_5 y_1^2 - \xi_1 &= v_{\xi_1} \\ a_0 + a_1 x_2 + a_2 y_2 + a_3 x_2^2 + a_4 x_2 y_2 + a_5 y_2^2 - \xi_2 &= v_{\xi_2} \\ \vdots \\ a_0 + a_1 x_n + a_2 y_n + a_3 x_n^2 + a_4 x_n y_n + a_5 y_n^2 - \xi_n &= v_{\xi_n} \end{aligned} \quad /2/$$

$$\begin{aligned} b_0 + b_1 x_1 + b_2 y_1 + b_3 x_1^2 + b_4 x_1 y_1 + b_5 y_1^2 - \eta_1 &= v_{\eta_1} \\ b_0 + b_1 x_2 + b_2 y_2 + b_3 x_2^2 + b_4 x_2 y_2 + b_5 y_2^2 - \eta_2 &= v_{\eta_2} \\ \vdots \\ b_0 + b_1 x_n + b_2 y_n + b_3 x_n^2 + b_4 x_n y_n + b_5 y_n^2 - \eta_n &= v_{\eta_n} \end{aligned} \quad /3/$$

A legkisebb négyzetek módszerével mindkét egyenletrendszert megoldjuk az ismeretlen a_0, a_1, \dots, a_5 és b_0, b_1, \dots, b_5 együtthatókra, kiszámítjuk a v_{ξ} és v_{η} javításokat, képezzük a súlyegység μ_{ξ}, μ_{η} középphibáit és az ismeretlen mennyiségek meghatározásának $\mu_{a_0}, \mu_{a_1}, \mu_{a_5}, \dots, \mu_{b_0}, \mu_{b_1}, \dots, \mu_{b_5}$ középphibáját. Azokat a csillagokat, amelyeknél a javítás értéke meghaladja az ϵ hibahatárt /a hibahatár lehet egy előre megadott abszolút határ pl. 0,03 mm, vagy relativ hibahatár, pl. $2\mu_{\xi}$ / vagyis

$$|v| = \left| \sqrt{v_{\xi}^2 + v_{\eta}^2} \right| > \epsilon \quad /4/$$

a további számításból kihagyjuk és a megmaradt csillagok felhasználásával újra elvégezzük az előző műveleteket. Megjegyzendő, hogy az a_0 és b_0 együtthatókban az A és D koordináták hibája van tulsulyban, ezért szokás az, hogy mielőtt az ujraki-egyenlítés megtörténne, az a_0 és b_0 értékekkel megjavítják az A és D mennyiségeket és új tangenciális koordinátákat számítanak.

Ha parabolikus transzformáció helyett affin transzformációt alkalmazunk, akkor a feladat kétszer három ismeretlen együttható meghatározására korlátozódik: $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$.

A parabolikus transzformációnak az az előnye az affinnal szemben, hogy a másodfoku tagok impliciten figyelembe veszik a képi pontok maradék torzulásait, a tangenciális koordináta-rendszer és a felvétel koordináta-rendszere síkjainak nem párhuzamos voltából származó torzulásokat, valamint a refrakció maradék hatását /a refrakció értékét, tudniillik, csak valamely átlagos modellből számítjuk, amely esetenként jelentősen eltérhet a valóságtól/. Hátránya az, hogy több csillagot igényel, mint az affin transzformáció. Ez a felvétel felhasználandó területének bővítéséhez vezet, ami azonban a 2.3. rész b/ és c/ pontjával kapcsolatban felvetett problémákhoz vezet. Ha a csillagok számát nem növeljük, akkor a fölös adatok száma kisebb lesz. Ez pedig extrém esetben a legkisebb négyzetek módszere elvének megsértését jelentheti.

Az affin transzformáció ilyen problémákat nem vet fel és a maradék hatásokat is lineárisan figyelembe veszi.

Arra a kérdésre, hogy az affin vagy a parabolikus transzformációt célszerűbb alkalmazni, elsősorban a körülmények /alkalmazott kamera, fókusztávolság, a fotografikus felvételek zenittartománya, a felvétel hordozórétegének típusa, a feldolgozás módja stb./ adhatják meg a választ.

Ezzel a kérdéssel többek között a [10], [7] és [17] irodalmak foglalkoznak.

2.5. A mesterséges hold ekvatoriális koordinátáinak és a koordináták megbízhatóságának számítása

a/ A mesterséges hold x_s, y_s képi koordinátái és az előző részben kapott $a_0, a_1, \dots, b_0, b_1, \dots$ együtthatók segítségével számítjuk a mesterséges hold tangenciális koordinátáit:

$$\xi_s = a_0 + a_1 x_s + a_2 y_s + a_3 x_s^2 + a_4 x_s y_s + a_5 y_s^2 \quad /1/$$

$$\eta_s = b_0 + b_1 x_s + b_2 y_s + b_3 x_s^2 + b_4 x_s y_s + b_5 y_s^2,$$

valamint az együtthatóknak szintén az előző részben számított középhibája és a mesterséges hold m_{x_s}, m_{y_s} kimérési középhibája segítségével és a függvény hibaterjedési ξ_s törvénye alapján a mesterséges hold koordinátáinak középhibáját:

$$m_{\xi_s}^2 = /a_1 m_{x_s} /^2 + /a_2 m_{y_s} /^2 + \mu_{a_0}^2 + \mu_{a_1}^2 x_s^2 + \mu_{a_2}^2 y_s^2 + \mu_{a_3}^2 x_s^4 + \mu_{a_4}^2 x_s^2 y_s^2 + \mu_{a_5}^2 y_s^2 \quad /2/$$

$$m_{\eta_s}^2 = /b_1 m_{x_s} /^2 + /b_2 m_{y_s} /^2 + \mu_{b_0}^2 + \mu_{b_1}^2 x_s^2 + \mu_{b_2}^2 y_s^2 + \mu_{b_3}^2 x_s^4 + \mu_{b_4}^2 x_s^2 y_s^2 + \mu_{b_5}^2 y_s^2$$

b/ A tangenciális koordinátákról a topocentrikus ekvatoriális koordinátákra térünk át /itt a szférikus koordinátákat látzó helyen kapjuk/:

$$\alpha'_s = \text{arc tg} \left(\frac{\xi_s}{f \cos D' - \eta_s \sin D'} \right) + A'$$

$$\delta'_s = \arctg \left(\frac{\eta_s \cos D' + f \sin D'}{f \cos D' - \eta_s \sin D'} \cos |\alpha'_s - A'| \right) \quad /3/$$

Kiszámítjuk a mesterséges hold topocentrikus ekvatoriális koordinátáinak megbízhatóságát, ami egyben a módszer belső pontosságát is jelenti.

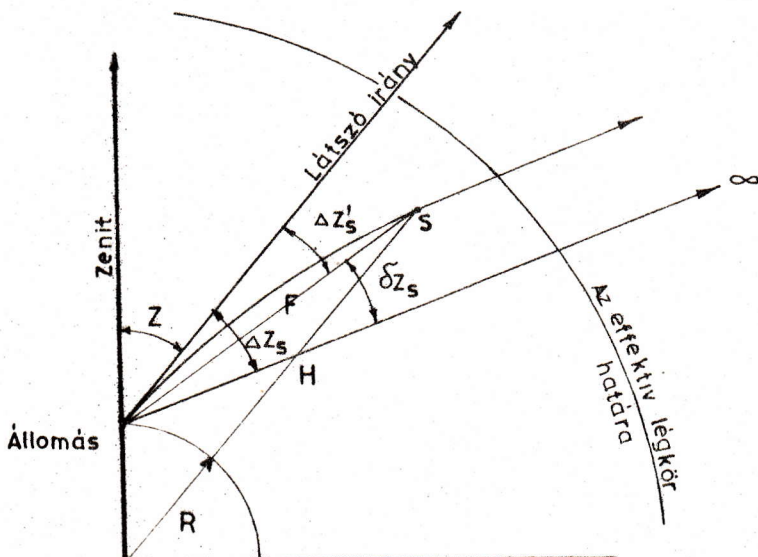
$$m_{\alpha_s} = \frac{m_{\xi_s}}{f \cos \delta'_s} \quad /4/$$

$$m_{\delta_s} = \frac{m_{\eta_s}}{f}$$

c/ A mesterséges hold topocentrikus ekvatoriális koordinátáinak redukálása 1950,0 epochára és közepes helyre.

A 2.1./5/ képlettel kiszámítjuk a napi aberráció értékét, amelyre a $\Delta\alpha_{3s}$ és $\Delta\delta_{3s}$ jelölést vezetjük be.

A 2.1./7/, 2.1./8/ és 2.1./9/ képletekkel a mesterséges holdra kiszámítjuk a Δz_s csillagászati refrakciót, a z_s zenittávolságot és a κ_s parallaxis-szöveget. Az itt kiszámított Δz_s csillagászati refrakció olyan esetben érvényes, amikor az objektum az effektív légkör határán túl van. A szputnyik e határon belül található, tehát a róla érkező fény kevesebb légrétegen halad át, tehát nem szenved "teljes" elhajlást. A 6.ábra szerint a $\Delta z'_s$ szputnyikrefrakció valamely δz_s értékkel kisebb az ugyanebben az irányban, de a végtelenben lévő fényforrás csillagászati refrakciójánál.



6. ábra

A szputnyikrefrakció számítására különböző módszerek léteznek. A módszereknek a [12] irodalomban végzett összehasonlító elemzése alapján hazai viszonyokra a következő képleteket használjuk.

$$\Delta\alpha_{4S} = \Delta z'_S \sin \kappa_S \sec \delta'_S \quad /5/$$

$$\Delta\delta_{4S} = \Delta z'_S \cos \kappa_S$$

ahol a szputnyikrefrakció

$$\Delta z'_S = \Delta z_S - \delta z_S = \xi_\infty - R \quad /6/$$

$$\delta z_S = \frac{435}{F_S} \operatorname{tg} z_S \sec z_S \left[1 - 0.00113 / \operatorname{tg}^2 z_S + 2 \sec^2 z_S / \right] \quad /7/$$

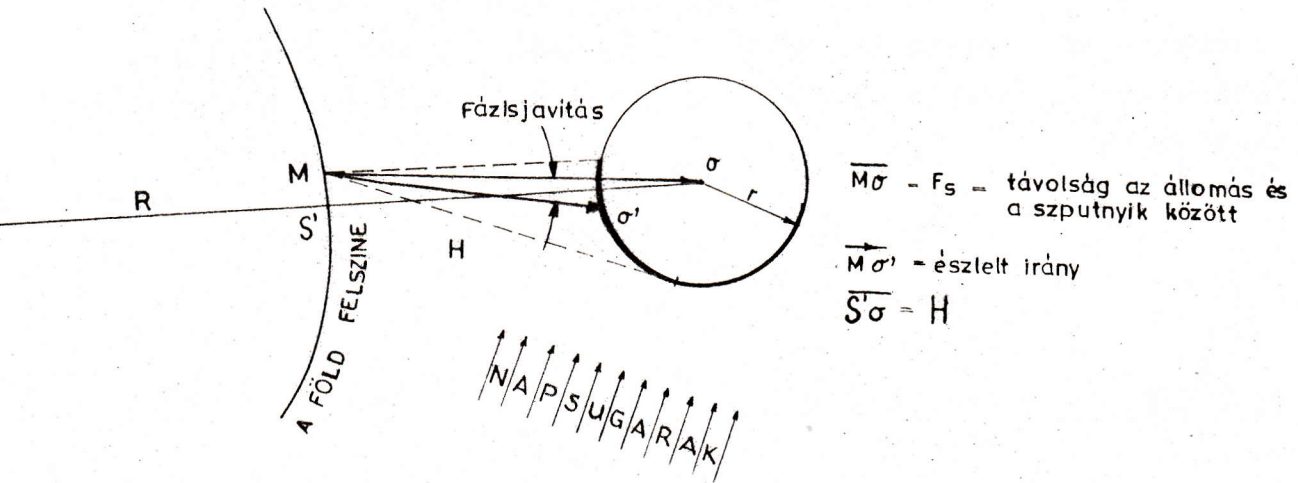
és a szputnyik topocentrikus távolsága

$$F_S = R \left\{ \left[\frac{2H}{R} + \left(\frac{H}{R} \right)^2 + \cos^2 z_S \right]^{1/2} - \cos z_S \right\}, \quad /8/$$

valamint

H a szputnyik földfelszín feletti magassága és R=6378 km a Föld közepes sugara.

d/ Gömb vagy közel gömb alakú mesterséges holdaknál egy u.n. fáziskorrekciót is alkalmazni kell. Ennek az a magyarázata, hogy észleléskor a mesterséges holdnak csak a Nap által megvilágított és az észlelő állomásról látható részét fényképezzük le, ami nem azonos a mesterséges hold geometriai középpontjával. A 7. ábra a fáziskorrekciót, valamint az észlelő állomásnak /M/, a mesterséges holdnak és a napsugarak irányának egymáshoz viszonyított helyzetét mutatja az észlelés pillanatában. A fáziskorrekció elvileg megegyezik a geodéziában közismert központosítással.



7. ábra

A fáziskorrekciónak figyelembevétele a következőképpen történik:

$$X''_S = X'_S + \frac{r}{F_S} / X'_S - X_0 /$$

$$Y''_S = Y'_S + \frac{r}{F_S} / Y'_S - Y_0 /$$

/9/

$$Z''_S = Z'_S + \frac{r}{F_S} / Z'_S - Z_0 /$$

ahol

X_0, Y_0 és Z_0 a Nap geocentrikus derékszögű koordinátái,

F_S a 2.5./8/ képlettel számított topocentrikus szputnyiktávolság,

r a mesterséges hold félátmérője,

X'_S, Y'_S és Z'_S a mesterséges hold derékszögű koordinátái a fáziskorrekciónak figyelembevétele előtt és

X''_S, Y''_S és Z''_S a mesterséges hold derékszögű koordinátái a fáziskorrekciónak figyelembevétele után.

Az X'_s, Y'_s és Z'_s derékszögű koordinátákat az 1.2./1/ képlettel számítjuk a 2.5./3/-ban kapott α'_s és δ'_s felhasználásával. Az X''_s, Y''_s és Z''_s derékszögű koordinátákat az 1.2./2/ képlet segítségével α''_s és δ''_s szférikus koordinátákká számítjuk át.

e/ A c/ pontban kiszámított javítások figyelembevételével a mesterséges hold topocentrikus ekvatoriális koordinátái 1950.0 epochában és közepes helyen a következők lesznek:

$$\alpha_s = \alpha''_s - \Delta\alpha_{3s} - \Delta\alpha_{4s} \quad /10/$$
$$\delta_s = \delta''_s - \Delta\delta_{3s} - \Delta\delta_{4s}$$

f/ A mesterséges hold pozíciójához tartozó időpont számítása.

Először kiszámítjuk a szputnyikpozícióhoz tartozó t_s időpontot a kamera időrendszerében. A t_s időpont számítása a kamera konstrukciójától függ. Az AFU kamera esetében ez egy speciális és hosszadalmas feladat, ezért ismertetését most mellőzzük. Tételezzük fel, hogy a t_s időpont már ismert. Feladatunk értelmében ezt redukálni kell az UT1 világidőre. A redukció az 1.13. fejezettel összhangban a következő képlettel történik:

$$UT1_s = t_s + \tau_k + \tau_R + \tau_a + \tau_d + \Delta UT + \Delta UT1 + \tau_{ab} \quad /11/$$

τ_k késés a kamera rendszerében,

τ_R késés a vevőkészülékben,

τ_a az állomás időszolgálat kvarcórájának járásából eredő javítás,

τ_d a rádióhullámok terjedési sebessége miatti késés az időjeladó és az észlelő állomás között,

ΔUT az időjeladó állomás időalapjának járásából eredő javítás,

$\Delta UT1$ áttérés a koordinált időről a BIH által meghatározott UT1 időre és

$\tau_{ab} = \frac{F_s}{c}$ az aberrációs idő /amíg a fény a szputnyiktól az észlelő állomásig eljut/,

ahol $c=300\ 000$ km/sec a fény terjedési sebessége és F_s a 2.5./6/ képlettel számított topocentrikus szputnyik-távolság.

2.6. A mesterséges hold irányának redukálása az 1900-1905 évi nemzetközi földi koordinátarendszerbe

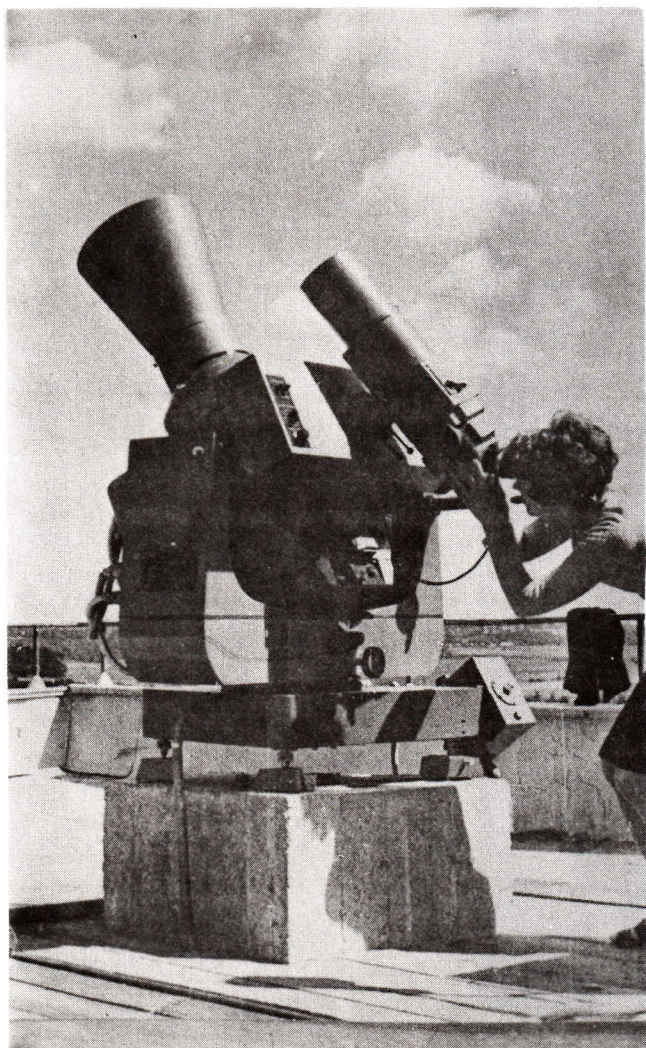
Az előzőekben elvégzett számítások eredményeképpen a következő adatok állnak rendelkezésünkre: az észlelés $UT1_s$ időpontja, az α_s és δ_s topocentrikus ekvatoriális koordináták 1950.0 epochában és közepes helyen, valamint a koordináták m_{α_s} , m_{δ_s} középhibái és esetleg az $UT1_s$ meghatározásának a pontossága, amely általában becsült érték.

A további geodéziai felhasználás céljából a koordinátákat az 1900-1905 évi nemzetközi földi koordinátarendszerbe kell redukálni. Ez a feladat az 1.4, az 1.5. és az 1.6. részekben leirtaknak megfelelően több lépcsőben történik. Először a precessziót és nutációt vesszük figyelembe, miáltal az észlelés epochájában a valódi égi koordinátarendszerbe jutunk. Ezután az 1.4./2/ képlet szerint kiszámítjuk a greenwichi valódi csillagidőt, az észlelés epochájára a BIH körlevélből kikeressük a pólusmozgás adatait. Végül az 1.6. rész /1/, /3/ és /5/ képleteivel áttérünk az 1900-1905 évi nemzetközi földi rendszerre.

Ha minden, valamely kozmikus geodéziai programban résztvevő állomás a mesterséges holdakra végzett fotografikus észleléseinek eredményeit az egységes koordinátarendszerben /az 1900-1905 évi nemzetközi földi rendszerben/ és egységes időrendszerben /UT1 világidőben/ adja meg, akkor elkezdődhet a kozmikus geodéziai feladatok /geometriaiak, dinamikaiak és kombinált feladatok egyaránt/ együttes megoldása. Ez azonban már meghaladja a jelen közlemény célját, így ezzel nem foglalkozunk.

3. Fotografikus észlelések feldolgozási technológiája

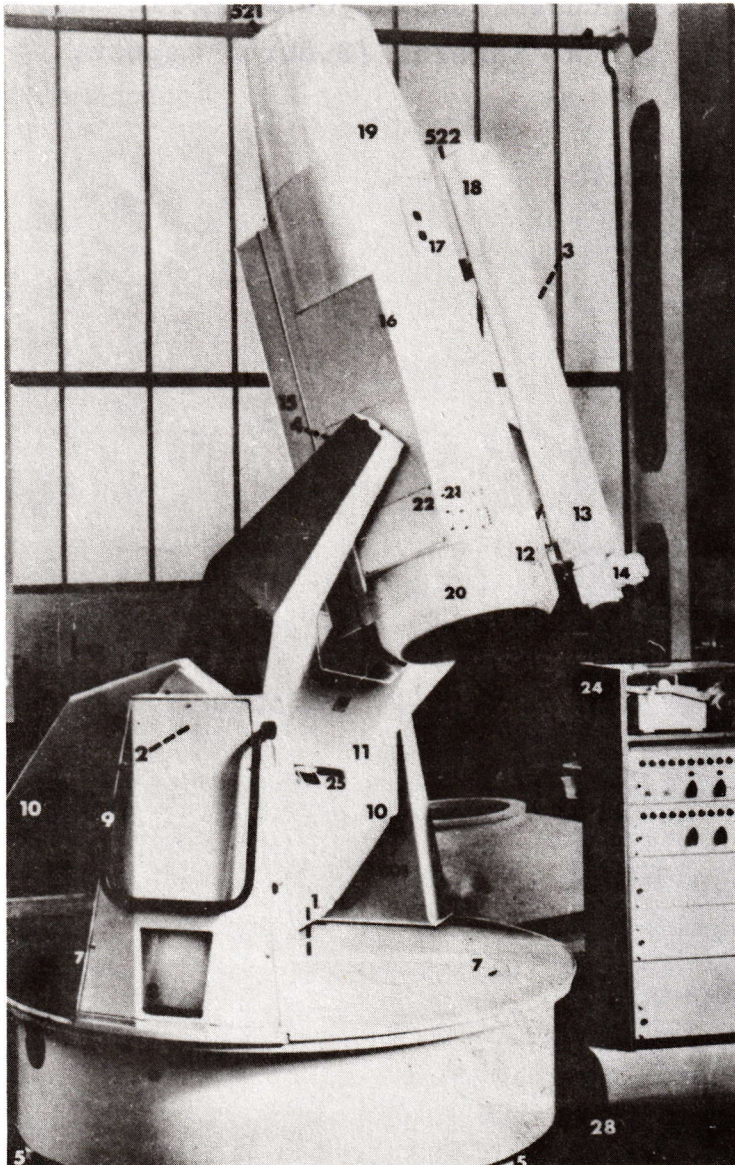
Hazánkban a mesterséges holdak geodéziai célu észlelésével 1965-66 óta foglalkozunk. Kezdetben egy kisteljesítményű NAFA kamera állt a szakemberek rendelkezésére az MTA Bajai Csillagvizsgáló Intézetében. 1968-ban a BGTV egy IGN típusu, kisteljesítményű kamerát vett, amely az MTA Budapesti Csillagvizsgáló Intézetében, majd a szombathelyi Gotthard Csillagvizsgálóban működött. Ezek a kamerák az ilyen irányú hazai tevékenységnek csak a kezdetét jelentették, konkrét kozmikus geodéziai programokban nem vettünk részt. Az OFTH és az MTA közös felhasználásra 1969-ben a Szovjetunió Tudományos Akadémiájától egy nagyteljesítményű AFU-75 típusu kamerát /8.ábra/ kapott, amely jelenleg Baján üzemel.



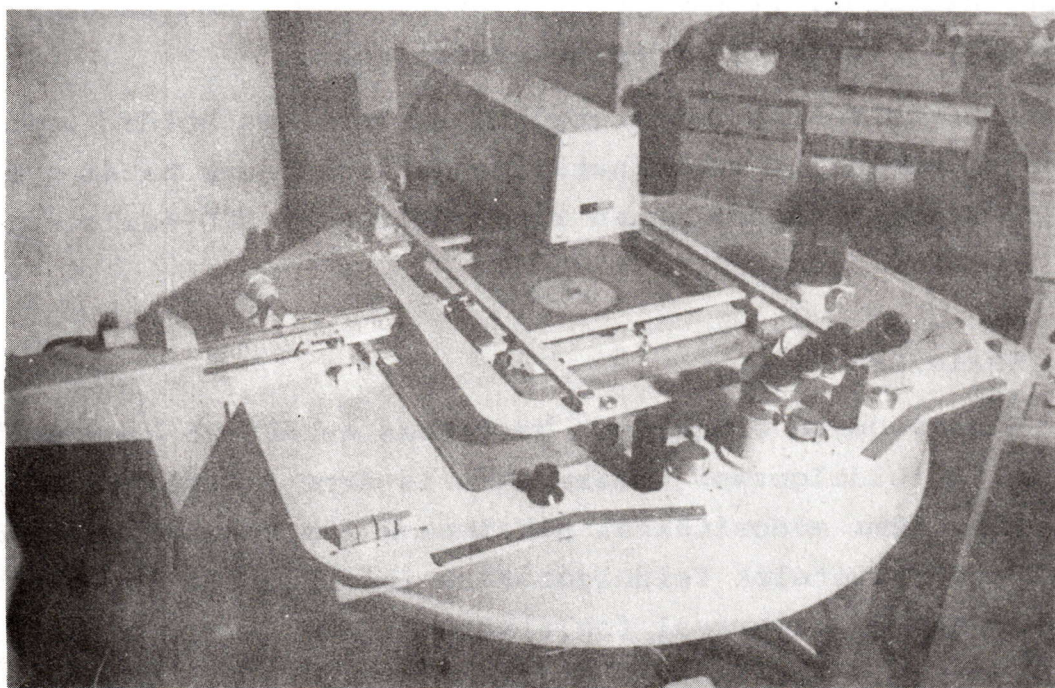
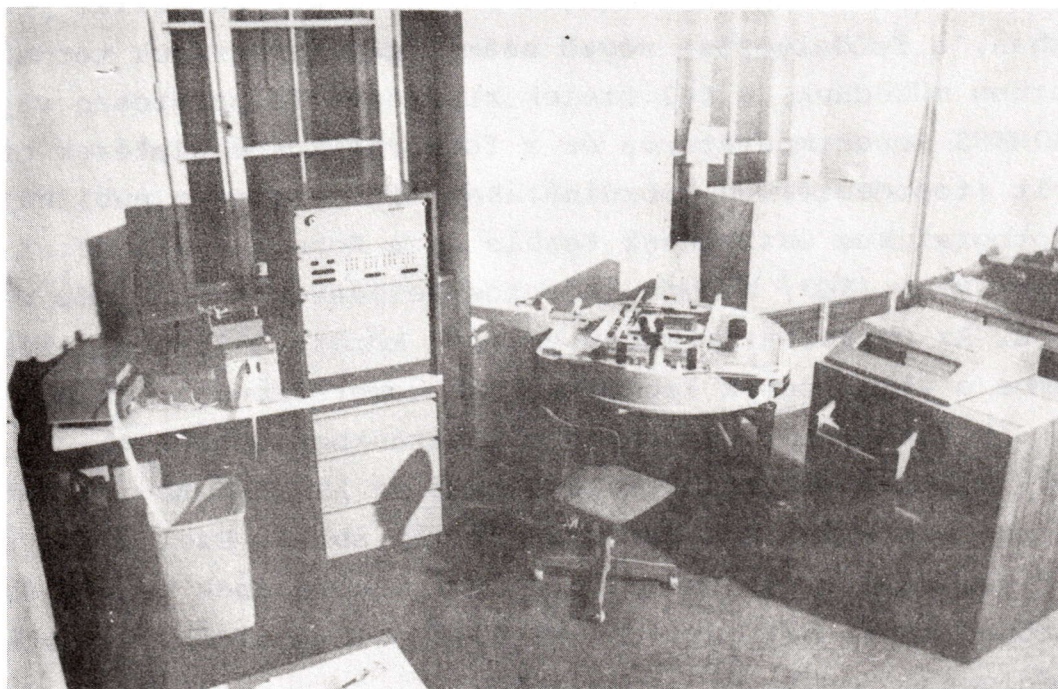
8. ábra

Ebben és az ezt követő időszakban a szakemberek gyakorlatot szereztek a mesterséges holdak előrejelzés-szolgálatára területén, az észlelésben, a fotografikus felvételek feldolgozásában és különböző vizsgálatokat végeztek az adott részterületeken.

A fotografikus felvételek feldolgozása munkaigényes feladat, jelentős műszerparkot és számítástechnikát igényel. A feldolgozás első számítógépi programja 1972-ben készült és ebben az időben kezdtük kialakítani a felvételek kimérésének hazai technológiáját a MTA Budapesti Csillagvizsgáló Intézetének KOMESS monokomparátorán.



9. ábra



10. ábra

Jelenleg ott tartunk, hogy az elmúlt időszakban eredményesen részt vettünk különböző nemzetközi kozmikus geodéziai programokban, a feldolgozást végző számítógépi programok termelés-szerűen működnek, a felvételek kimérését folyamatosan végezzük a KOMESS monokomparátoron és a fotografikus észlelések eredményeit /topocentrikus koordinátákat/ folyamatosan publikáljuk. A fotografikus észlelések területén a Kozmikus Geodéziai Observatóriumban /KGO/ nagyon jelentős feladatok várnak még megoldásra. Az obszervatóriumban egyebek között 1975-ben helyezük üzembe a világ egyik legkorszerűbb kameratípusát, az SBG kamerát /9.ábra/, amely jelenleg már hazánkban található. Ugyancsak 1975-ben tervezzük felállítani az ASCORECORD-3DP automatikus regisztrálású monokomparátort /10.ábra/. Ezek a tények, és egyáltalában, a KGO obszervatóriumi működésének beindulása jelentősen kihat majd az időszolgálat, előrejelzés, észlelés és feldolgozás területére egyaránt.

Az eddigi hazai kozmikus geodéziai tevékenység egy részét - vizsgálatokat, eredményeket, javaslatokat, módszereket utasításokat - az irodalomjegyzék tartalmazza.

A továbbiakban ismertetjük a mesterséges holdak topocentrikus ekvatoriális koordinátái meghatározásának hazai gyakorlatát és ezzel kapcsolatban igen röviden az AFU-észleléseket.

3.1. Észlelés

A nagytömegű észlelések hazánkban az AFU-75 kamerával történnek. A feldolgozási módszereket is erre a kamerára készítettük, /bár némi módosítással alkalmasak más kameratípusok által készített felvételek feldolgozására is/. Ezért a továbbiakban csak az AFU-75 kamerával foglalkozunk.

Az AFU-75 kamara szerkezeti kialakítása szerint ekvatoriális felállítású, négytengelyes, követőrendszerű műszer. A műszer fókusz távolsága 750 mm körül van, az objektív kómája nagy, időrendszerének pontossága $\pm 0,001$ sec, a felvételeket filmre készíti. Az irány meghatározásának pontossága az üzemmódtól függően 1-5". Ezen belül a passzív nagyfényességű és az aktív mesterséges holdak fényképezésére szolgáló üzemmódok pontosság tekintetében a kozmikus geodézia valamennyi igényét nagyon jól kielégítik, a passzív halvány holdak fényképezését végző üzemmódok viszont csak részben használhatók szabatos geodéziai feladatok megoldására.

A felvételek készítése az egyes üzemmódokban a következőképpen történik.

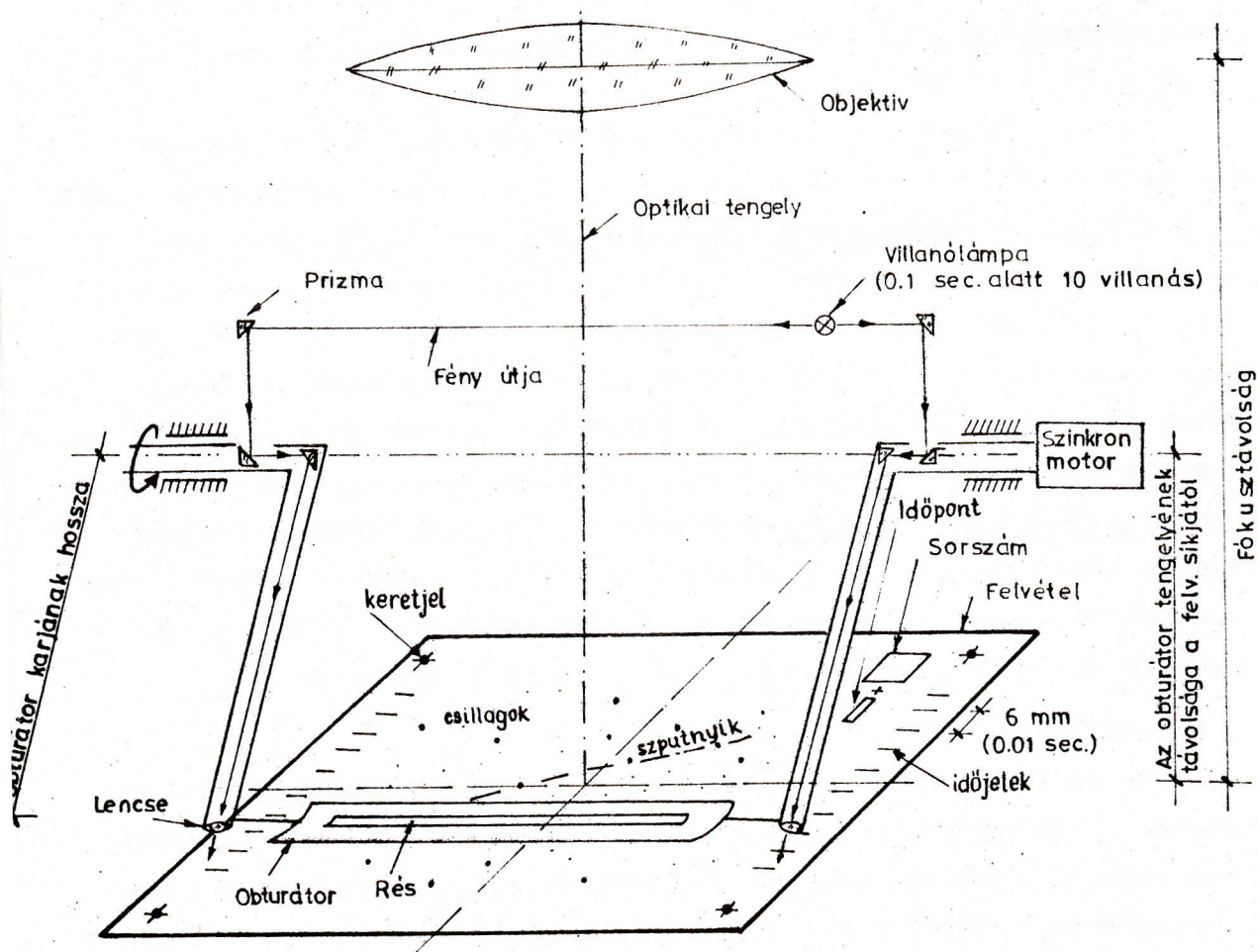
a/ A és P üzemmód

Ez az üzemmód csak villogó /saját fényforrás/ mesterséges holdak fényképezésére alkalmas. A felvétel készítése alatt egy központi zárszerkezet állandóan nyitott állapotban van, a műszer követi a csillagokat és leképezi a mesterséges hold villogásait, "flash"-eket. A felvétel készítésének időpontja nem regisztrálódik. Az észlelő feljegyzése alapján csak a durva időpont áll rendelkezésünkre. A flash-ek pontos időpontja világidőben minden esetben adott kell, hogy legyen. A felvételen minden csillagról egy-egy nyompont készül, a csillagok elég nagy tömegben képződnek le. A mesterséges hold pontszerű nyomot hagy. Ez az üzemmód csak elvétve kerül felhasználásra, mivel a villogó holdak száma a nagy energiaigény miatt korlátozott.

b/ Ja üzemmód

A Ja üzemmód fényes mesterséges holdak fényképezésére alkalmas. A felvétel készítése idején a központi zár állandóan nyitva van, a kamera követi a csillagokat, és az utóbbiak egy-egy nyompontban képződnek le. A másodpercenként pontosan egy

fordulatot tevő forgódobzár /obturátor/, a mesterséges hold nyomát megszagatja, miáltal az vonás-pont-vonás formában képződik le. Fotokronográf segítségével leképződik a mesterséges hold első nyompontjához tartozó időpont, valamint a film két szélén egy-egy sorozat időjelvonás, amelyeknek az egymástól való távolsága kb. 6-6 mm /11. ábra/. Ezen 6 mm-hez 0,01 sec időköz tartozik. A mesterséges hold másodpercenként soronkövetkező nyompontjainak leképződési időkülönbsége arányos az adott nyompontnak az öt megelőző időjelvonáspárt összekötő egyenestől mért távolságával. Ezen alapszik az exponálási időpont szabatos meghatározása.



11. ábra

c/ CC és C üzemmód

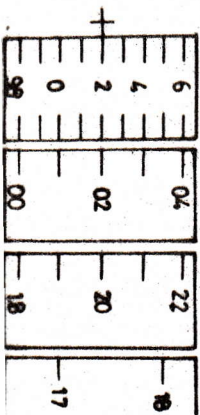
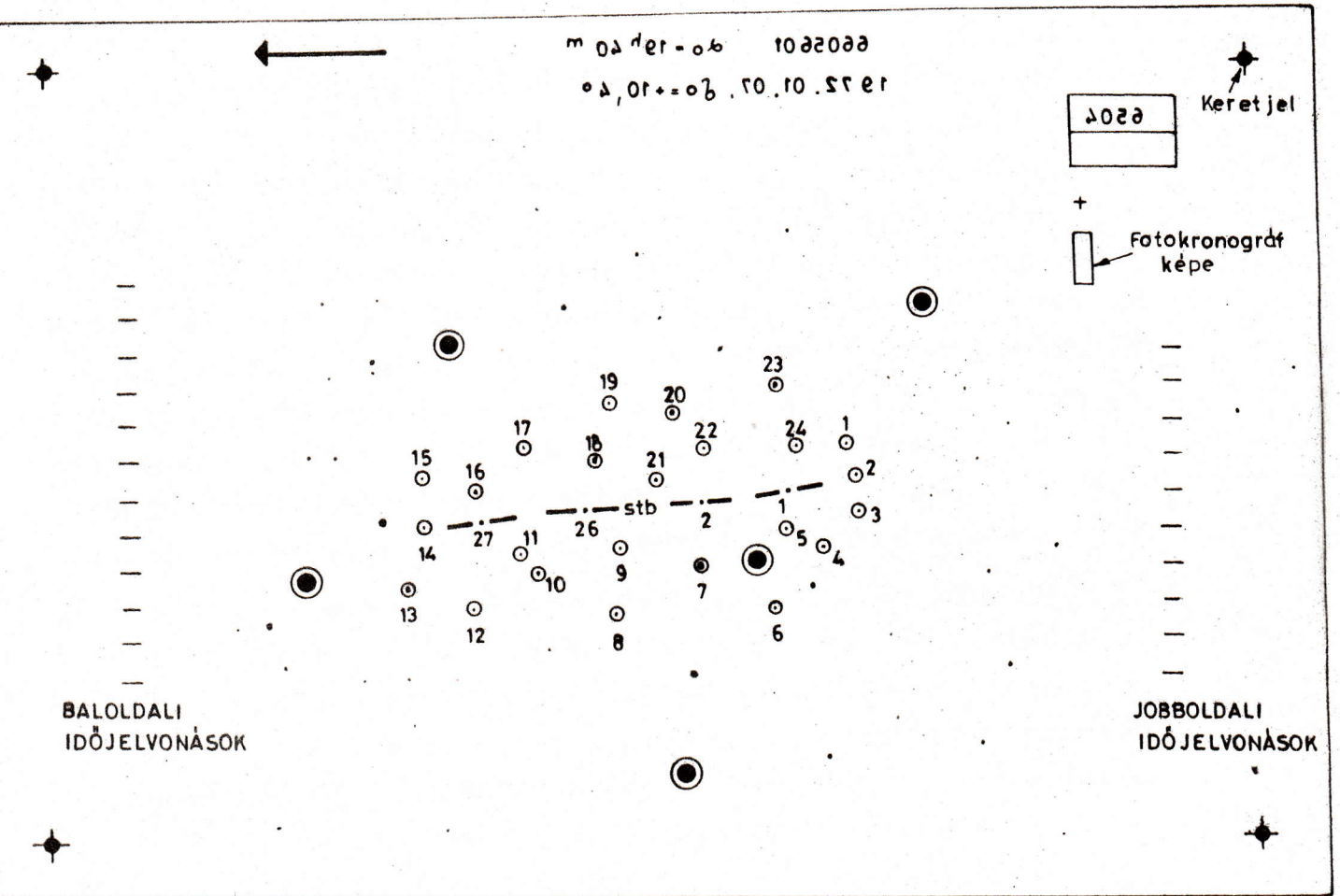
Ez a két üzemmód a halvány mesterséges holdak fényképezésére alkalmas. A felvétel készítésekor a központi zár állandóan nyitva van. A fotokamera szakaszosan követi a csillagokat és a mesterséges holdat, miáltal a csillagok és a mesterséges hold nyoma egy-egy, a film hossz tengelyével párhuzamos egyenes mentén pontszerűen több nyompontban képződik le. A csillagok követése az óratengely menti követéssel analóg módon, az u.n. alapzat segítségével a teljes kameratest elmozdulásával történik. A mesterséges hold követésekor a kameratest mozdulatlan, csak a filmet tartó asztal mozog a mesterséges hold haladási irányában. A szakaszos követés a következőképpen zajlik le:

- kinyílik a központi zár, megindul a sziderikus követés, és a csillagok egy-egy pontban képződnek le, leképződik egy u.n. álló időjel /ami a sziderikus követés elejét jelzi/, egy bizonyos idő után befejeződik a sziderikus követés és az előzővel azonos helyen még egyszer leképződik az álló időjel,

- megindul a mesterséges hold követése; ez alatt a film az asztallal együtt mozog és kb. 1,5 mm-ként u.n. mozgó időjelek képződnek a fotokronográf digitális képével együtt, így az asztal megadott helyzeteihez egy-egy időpontot rendelhetünk, tehát meghatározható az asztal mozgásegyenlete; egy bizonyos idő után befejeződik a mesterséges hold követése.

Ez a ciklus egymás után többször ismétlődik. A követés sziderikus követéssel fejeződik be.

Látható tehát, hogy a pontszerű leképezés érdekében több fajta mozgást rendeltek egymás mellé. Ez a tény, valamint az, hogy a különböző követési nehézségek miatt követési pontatlanságok fordulnak elő, azt eredményezi, hogy az ezekben az üzemmódokban készült felvételek kevésbé pontosak és ezért a kozmikus geodézia igényeit csak részben elégítik ki.



Leolvasás
17^h 20^m 02.02^s

A fotokronográf képe

- 2 SORSZÁMOZOTT SZPUTNYIKPONT
- JELÖLT ÉS SORSZÁMOZOTT CSILLAG
- JELÖLT BEFORGATÓ CSILLAG

12. ábra

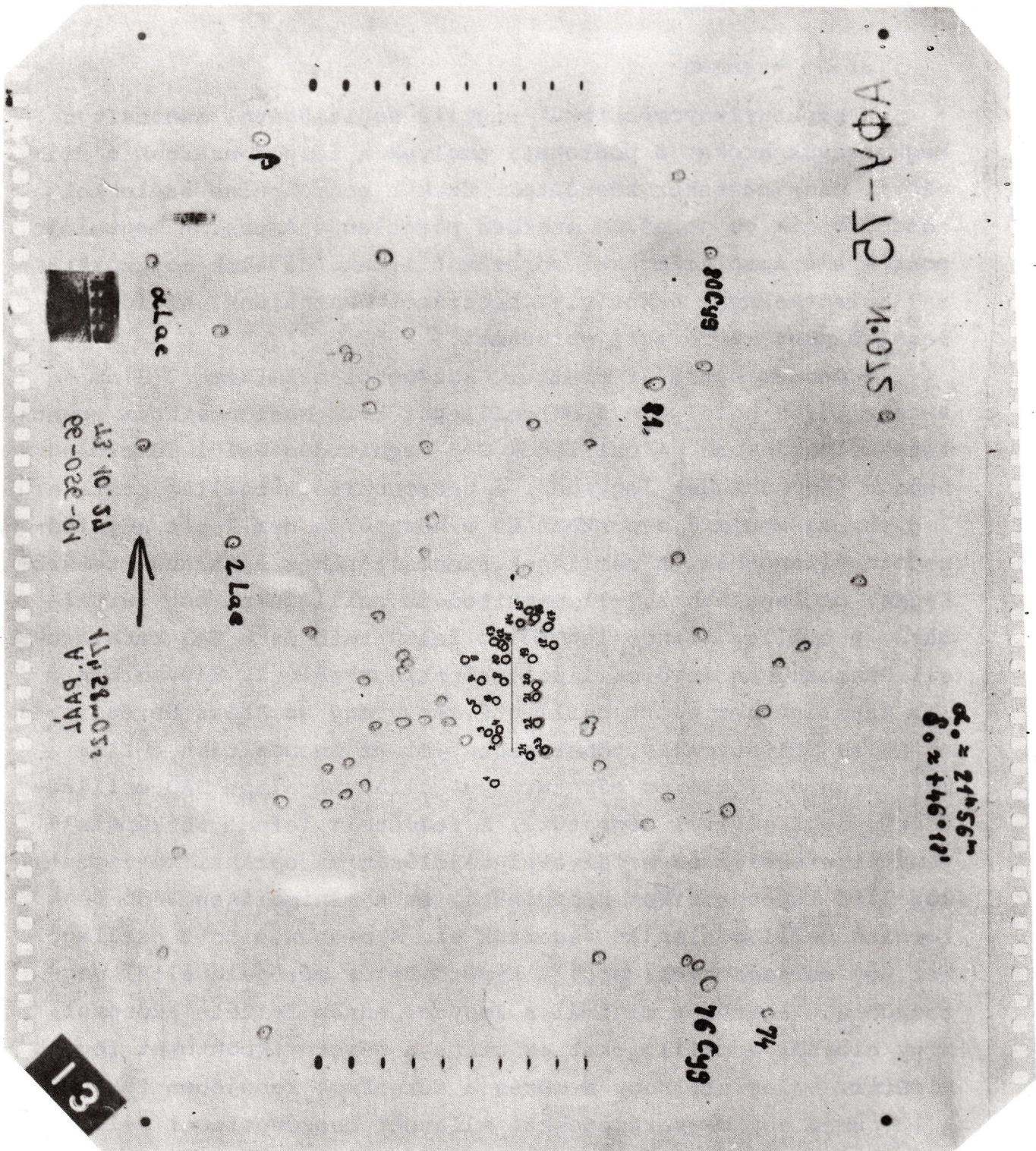
3.2. A felvételek előkészítése feldolgozáshoz, kimérés

3.2.1. Előkészítés

a/ Ja üzemmód

A szputnyiknyompontokat nagyító segítségével azonosítjuk. Megkeressük azokat a pontokat, amelyek a forgódobzárnak a film előtti elhaladásakor készültek. Ezek a pontok éles szélekkel rendelkeznek és normális esetben páratlan számuak. A megtalált pontok alá apró számokkal sorszámot írunk. Ha azok megszakítással jelentkeznek, akkor elvi sorszámot használunk. Az időben legelső pont kapja az 1 sorszámot.

A mesterségeshold-pontsor közepétől számított 2-3 cm sugaru körön belül 20-25 db csillagot kell beazonosítani egyenletes eloszlásban. A csillagok 2-3 magnitudón belül lehetőleg azonos fényességűek legyenek. A beazonosított csillag pontszerű legyen, az emulzió a pontban és a környékén nem lehet meghibásodott állapotban. A csillagok azonosításához általában tetszőleges, de legalább a 9-10 magnitudóju csillagokat még tartalmazó, a csillag színét lehetőleg feltüntető és a SAO katalógussal összhangban levő csillagtérképet használunk. Elsősorban a SAO katalógushoz adott csillagtérkép, vagy az Atlas Borealis és az Atlas Eclipticalis jöhet szóba /mi az azonosítást a film méretarányával azonos méretarányu, átlátszó alapu SAO csillagtérkép segítségével végezzük/. A felvételt lefedő térképszelvény kikeresését és a felvétel tájolását az optikai középpont közelítő topocentrikus koordinátái és a minimálisan 3 db beforogató csillag alapján végezzük el. A beazonosított csillagokat úgy sorszámozzuk, hogy a kimérőműszer mérőjele által megteendő ut lehetőleg minimális legyen, annak feltételezésével, hogy először a csillagokat és utána a szputnyikpontokat fogjuk kimérni, valamint, hogy a mérés a sorszámok rendjében történik. A 12. ábra egy magyarázatokkal ellátott beazonosított felvételt mutat. A 13. ábra egy eredeti felvétel másolata.



13. ábra

b/ Követő üzemmód

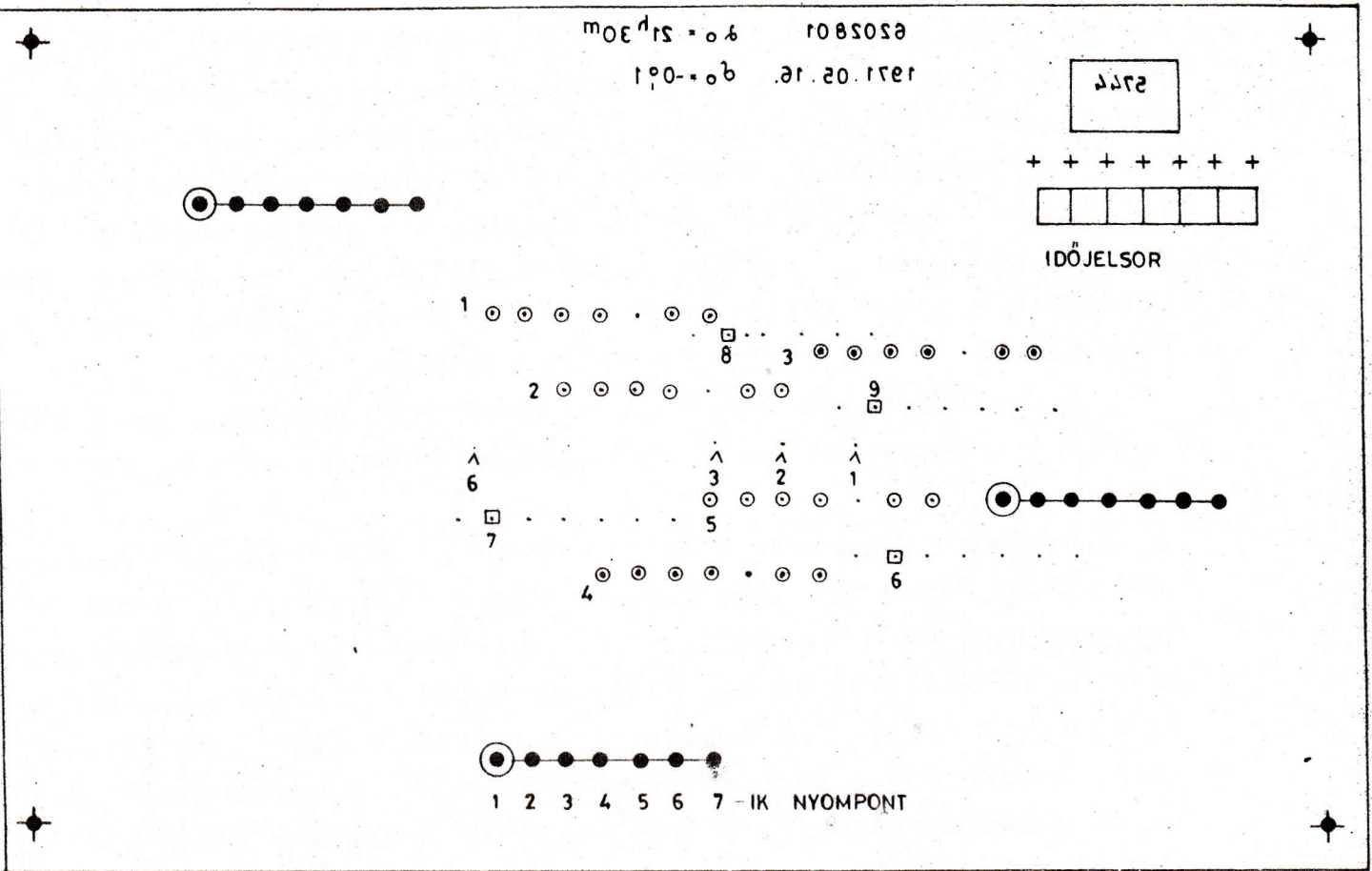
A szputnyikpontokat nagyítóval megvizsgáljuk. Arról, hogy valamely pont meghatározásra kerül-e vagy nem, a következő kritériumok alapján döntünk: a szputnyik tényleg pontszerű legyen, a hozzátartozó időadatcsoportban /mozgó időjelek/ minimálisan két értékelhető időadat legyen, az időadatcsoportot jobb és bal oldalon álló időjelek fogják közre, a szputnyik követését két olyan csillagkövetés fogja közre, amelyhez tartozóan legalább 5 db csillag hagyott pontszerű nyomot.

A meghatározandó szputnyiknyompontokat jelöljük, majd időrendileg sorszámozzuk az adott üzemmód szerinti elvi sorszámmal.

A szputnyikpontosor körül kb. 4 cm sugaru körön belül pontosan 5 db olyan csillagot azonosítunk, amelyeknél a jelölt szputnyikpontok meghatározásához szükséges minden nyompont megtalálható. Nevezük ezeket többnyomontos csillagoknak. Ezek a csillagok lehetőleg egyenletes eloszlásuak és kb. 3 magnitudón belül azonos fényességűek legyenek. Ezeknek a csillagoknak minden mérendő nyompontját külön jelöljük. A csillagokat 1-től 5-ig sorszámozzuk. A sorszámot az időben legelső nyompont alá írjuk.

A többnyomontos csillagokon tulmenően azonosítani kell még kb. 5-15 db olyan csillagot, amelyek közül mindegyiknek van egy, ugyanazon csillagkövetésből kapott jól mérhető nyompontja. Ezeket a csillagokat nevezük kitüntetett nyompontu csillagoknak. Ezek a csillagok a szputnyikpontosor körül szintén kb. 4 cm sugaru körön belül legyenek. Sorszámozásuk 6-tól folytatódik.

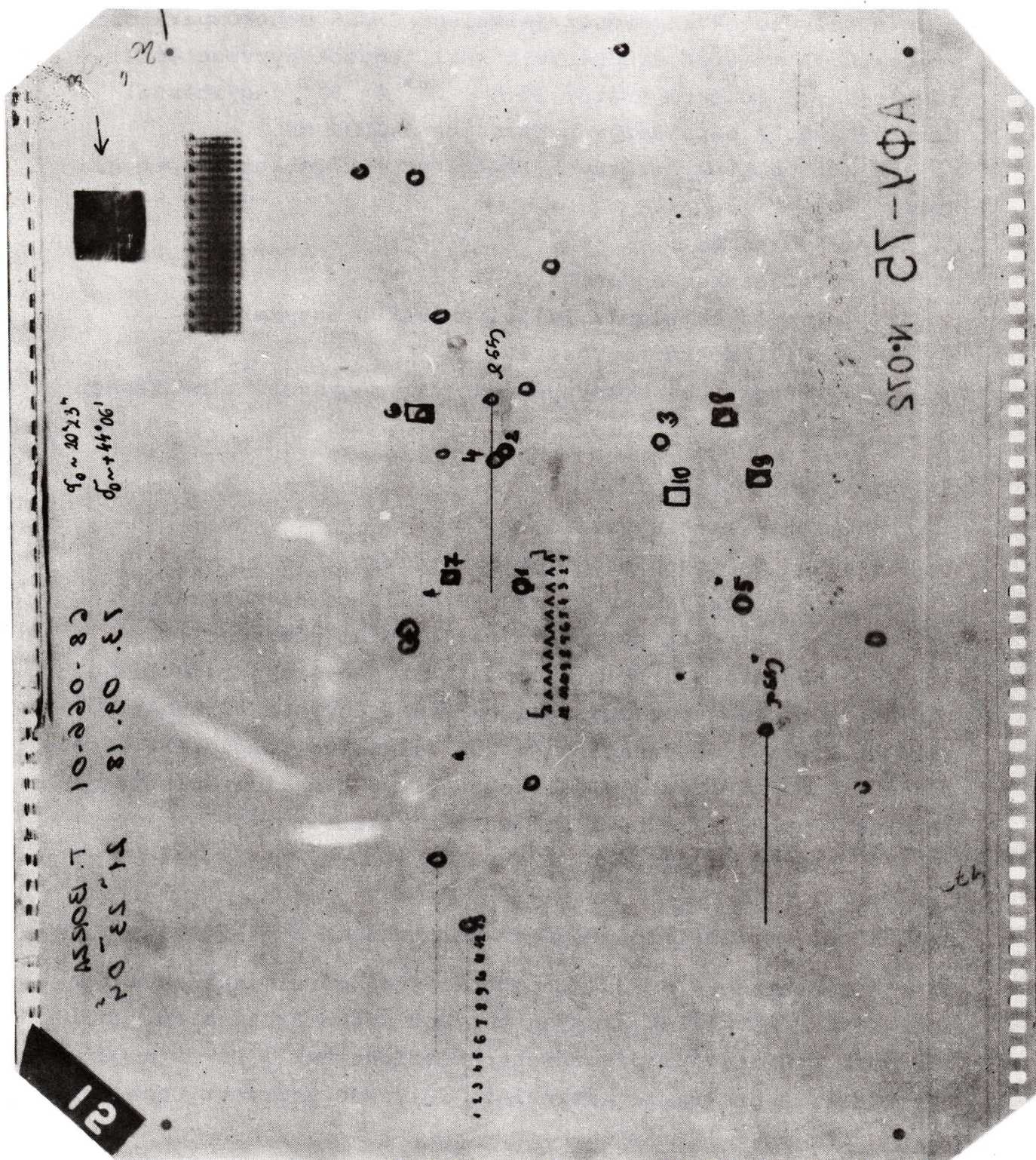
A 14. ábra egy magyarázatokkal ellátott beazonosított követő üzemmódu felvételt mutat. A 15. ábra egy eredeti felvétel másolata.



JELÖLÉSEK:

- △ JELÖLT ÉS SORSZÁMOZOTT SZPUTNYIK-NYOMPONT
- 6 JELÖLT ÉS SORSZÁMOZOTT „TÖBBNYOMPONTOS” CSILLAG
- ⊙ JELÖLT ÉS SORSZÁMOZOTT „TÖBBNYOMPONTOS” CSILLAG
- 4 ELSŐ NYOMPONTJA
- JELÖLT ÉS SORSZÁMOZOTT „KITÜNTETETT NYOMPONTÚ”
- 7 CSILLAG KITÜNTETETT NYOMPONTJA

14. ábra



AΦλ-Σ2 N.015

19044+~0p
5x10x~0p

13. 03. 18
C8-000-01

51, 53, 04
L. BOSNA

12

15. ábra

3.2.2. Kimérés

A felvételek kimérését jelenleg *KOMESS monokomparátoron végezzük. A kimérés eredményeit kézi jegyzőkönyvvezetéssel rögzítjük. A monokomparátor 12.5^x , 25^x és 50^x nagyítással használható. A berendezés pontossága 0,0004 mm.

A képi pontok mérésének ismétlése a következőképpen alakul:

a/ Ja üzemmód

- keretjeleket egyszeri,
- jobb- és baloldali időjelvonásokat egyszeri,
- a csillagokat négyszeri,
- a mesterséges hold nyompontjait négyszeri ismétlésben mérjük.

b/ Követő üzemmód

- keretjeleket egyszeri,
- álló- és mozgó időjeleket kétszeri,
- az 5 db teljes nyompontosorú csillagokat kétszeri,
- a kitüntetett nyompontú csillagokat négyszeri,
- a mesterséges hold nyompontjait négyszeri ismétlésben mérjük. A pontokat az egyszeri mérésnél egyenes állásban 0° -nál, kétszeri ismétlésnél 0° és 180° állásban, négyszeri ismétlésnél 0° , 90° , 180° és 270° állásban mérjük. A kimérés sorrendje olyan, hogy az időbeli szimmetria biztosított.

3.3. A felvételek feldolgozása számítógépen

A mesterséges holdak topocentrikus koordinátáinak a fotografikus felvételek alapján történő meghatározása céljából 1972-ben számítógépi programokat készítettünk a Ja és a CC üzemmódra. A programok használata folyamán szerzett tapasztala-

*A KGO 1975 áprilisban üzembehelyezte a korszerű ASCORECORD-3DP monokomparátort

tok a programok fokozatos átalakításához vezettek. A végeredményképpen kapott programok az eredetiektől lényegesen eltérnek, ami elsősorban a felépítésben és szervezésben mutatkozik meg. A programok felépítése és szervezése az alábbi szempontok szerint történt: a feldolgozandó felvételek száma nagy, a felvételek előkészítése teljesen manuálisan, csillagtérképek és nyomtatott csillagkatalógus segítségével történik, a felvételek kimérésére KOMESS monokomparátort használunk regisztráló berendezés nélkül, mi felhasználók nem szerepelhetünk kezelőként az alkalmazott számítógép mellett, a KGO megszervezésével kialakult az adatnyilvántartás és adattárolás rendszere, a felvételek feldolgozásának folyamata több személyre differenciálódik, e programokat várhatóan nemcsak a KGO fogja használni. A Ja üzemmódu felvételek feldolgozása a TOPOCOORD-JA1, a követő üzemmóduaké pedig a TOPOCOORD-KO1 elnevezésű számítógépi programmal történik.

3.3.1. A számítógépi programok feladata

Mindkét program egyaránt végrehajtja a következő feladatokat:

- a csillagok és a szputnyikpontok mért koordinátáinak közepelése, a pontonkénti mérési középhiba meghatározása, az adott felvétel azonos típusu pontjai esetére /csillag vagy szputnyik/ egy mérés középhibájának /m/ meghatározása,

- a közepelt képkoordináták redukálása a felvétel torzulásmentes koordinátarendszerébe /az optikai középpont javítása és a radiális disztorzió figyelembevételével/,

- az egyes szputnyikpontok időpontjának meghatározása tetszőleges időrendszerben /az észlelő állomás időrendszere, UTC, UT1 vagy UT2 időrendszer a következő időkorrekciók figyelembevételével: késés a kamerában, késés a vevőrendszerben,

a helyi vezérlő kvarcóra járása, az észlelő állomás és az időjeladó állomás közötti terjedési idő, az időjeladó állomás tényleges és nominális ideje közötti különbség, és vagy-lagosan a $\Delta UT_1 = UTC - UT_1$ vagy a $\Delta UT_2 = UTC - UT_2$,

- módosított Julian dátum számítása,

- a "greenwichi csillagidő Greenwichben éjfélnél" számítása,

- a Nap koordinátáinak számítása az ekvatoriális derékszögű koordinátarendszerben /a számítás pontossága kb. 10 ivperc/,

- a csillagok katalógusi koordinátáinak redukálása az észlelés epochájára és látszó helyre, azoknak a korrekcióknak a figyelembevételével, amelyek a csillagok egymáshoz viszonyított helyzetét a katalógusi és az észlelési epocha között eltelt idő alatt megváltoztatják, így a csillagok sajátmozgását, a csillagászati refrakciót, a napi aberrációt és az évi aberrációt/,

- a topocentrikus ekvatoriális koordinátarendszer és a felvétel koordinátarendszere közötti kapcsolat meghatározása, a kapcsolatot jellemző együtthatók meghatározási pontosságának számítása, az egyes csillagpontokhoz az ellentmondások számítása, valamint a μ_0 egységsúlyu középhiba számítása,

- a durva és finom hibák kiszűrése /a durva hibákat 0,03 mm-es abszolút hibahatárral a maximális hibák egyenkénti kiszűréseivel, a finom hibákat pedig a $2\mu_0$ relatív hibahatár segítségével szűri ki/,

- a szputnyik topocentrikus ekvatoriális koordinátáinak meghatározása az észlelés epochájában,

- a szputnyik topocentrikus ekvatoriális koordinátái meghatározási pontosságának kiszámítása a kimérési középhiba és a transzformálásból kapott középhiba figyelembevételével,

- a szputnyik topocentrikus ekvatoriális koordinátáinak redukálása 1950.0 epochára és a közepes helyre /itt figyelembeveszi a szputnyikrefrakciót és a napi aberrációt/,

- aberrációs idő számítása,

- felvételek csoportos feldolgozása,

- hibás adat esetén hibajelzés és áttérés a soronkövetkező felvétel feldolgozására.

A TOPOCOORD-JA1 programra következő részfeladatok elvégzése járul:

- a forgódobzárból eredő javítások figyelembevétele az időpont meghatározásánál,
- szükség esetén a forgódobzár paramétereinek újbóli meghatározása,
- a szputnyik méretéből, valamint a Naphoz és az észlelőhöz viszonyított helyzetéből eredő fázisjavítás,
- megfelelő paraméter bevitelével tetszőleges sorszámú szputnyikpont határozható meg.

A TOPOCOORD-KO1 programra a következő részfeladatok járulnak:

- a követőasztal mozgásegyenletének /sebességének és gyorsulásának/ kiszámítása,
- az asztalmozgás paramétereinek függvényében az egyes szputnyiknyomponthoz tartozó leképzési időpont meghatározása,
- megfelelő paraméterek bevitelével tetszőleges szputnyiknyomponthoz meghatározása úgy, hogy csak a meghatározáskor matematikailag szükséges csillagnyomponthoz és időjelek adatait kelljen bevinni,
- az AFU kamera követő üzemmódjai minden elképzelhető változatának feldolgozása.

3.3.2. Input-adatrendszer

a/ TOPOCOORD-JA1 input adatai

Állomás- és kameraadatok: az állomás száma, az állomás földrajzi szélessége, és hosszúsága, a kamera fókusztávolsága,

a radiális disztorzió együtthatója, az optikai középpont javítása x és y irányban, a geometriai középpont távolsága a forgódobzár tengelyének lemezvetületétől, a forgódobzár tengelyének távolsága a fókuszstól, a forgódobzár karjának hossza.

Egy felvétel általános adatai: a felvétel sorszáma, a szputnyik száma, a felvétel készítésének dátuma, a felvételen leképződött időpont, a felvétel központjának közelítő rektaszcenziója és deklinációja, a transzformálásban szereplő csillagok száma, a meghatározandó szputnyikpontok száma, a mérésismétlés száma, a feldolgozásban szereplő időjelvonások száma, a forgódobzár állandóinak meghatározására vonatkozó vezérlő paraméter /ha új állandókat akarunk számítani, akkor "0", ha nem, akkor "1"/, a szputnyik földfelszín feletti magassága az észlelés pillanatában, a szputnyik testének átmérője, légnyomás, hőmérséklet, az időjeladó állomás távolsága az észlelő állomástól, hullámterjedési sebesség az időjelvétel hullámhosszán, az észlelés előtti és utáni időjelvétel ideje, az első és második időjelvételkor leolvasott fázistolóállás, késés a vevőrendszerben, késés a kamerában, az időjeladó nominális és tényleges időpontja közötti különbség, $\Delta UTL = UTL - UTC$ különbség.

Ez után következnek az egyes pontok mérésének sorszáma és a kimért x és y koordináták a keretjelekre, időjelvonásokra, csillagokra és a szputnyiknyompontra, valamint a csillagok katalógusbeli adatai: rektaszcenzió, sajátmozgás rektaszcenzióban, deklináció, sajátmozgás deklinációban.

b/ A TOPOCOORD-K01 input-adatok

Állomás- és kameraadatok: az állomás száma, az állomás földrajzi szélessége és hosszúsága, a kamera fókusztávolsága, a radiális disztorzió együtthatója, az optikai középpont javítása x és y irányban. Egy felvétel általános adatai: a felvétel sorszáma, a szputnyik száma, a felvétel készítésének

dátuma, a felvételen leképződött időpontokból képzett átlag, a felvétel középpontjának közelítő rektaszcenziója és deklinációja, a transzformálásban szereplő összes csillagok száma, a szputnyikpontok száma elvileg, a szputnyikpontok tényleges száma, a csillagok kitüntetett nyompontjának sorszáma/általában a második nyompont/, a meghatározandó szputnyikpontok sorszámai időrendi sorrendben, a szputnyik földfelszín feletti magassága, a légnyomás, a hőmérséklet, az időjeladó távolsága az észlelő állomástól, a hullámterjedési sebesség az időjelvétel hullámhosszán, az észlelés előtti és utáni időjelvétel ideje, az első és a második időjelvételkor leolvasott fázistolóállás, késés a vevőrendszerben, késés a kamerában, az időjeladó nominális és tényleges időpontja közötti különbség, a $\Delta UT1 = UT1 - UTC$ különbség, a felvételen leképződött időpontok időrendi sorrendben /csak a meghatározandó szputnyikpontokhoz tartozó időpontok szükségesek/.

Ezután következnek az egyes pontok mérésének sorszáma és a kimért x és y koordináták a keretjelre, álló és mozgó időjelekre, a teljes nyompontosorú csillagokra, a kitüntetett nyompontú csillagokra és a szputnyik nyompontjaira. A csillagok katalógusbeli adatai: rektaszcenzió, sajátmozgás rektaszcenzióban, deklináció, sajátmozgás deklinációban.

3.3.3. Output-adatok

Az output adatok nyomtatásban és lyukszalagon jelennek meg. A lyukszalag mindkét program esetében a kiszámított szputnyikpontok adatait tartalmazza a közepes helyen, 1950.0 epochában és UT1 időrendszerben, nevezetesen tartalmazza: az állomás számát, a dátumot, a szputnyikpont sorszámát, időpontját /h,m,s egységben/, rektaszcenzióját /h,m,s, egységben/, rektaszcenzió-

jának középhibáját /sec-ben/, deklinációját /fok, ivperc, ivmp egységben/, deklinációjának középhibáját /ivmp-ben/ és az eredő hibát /ivmp-ben/.

Az adatokat egymástól vessző választja el. A lyukszalagra rögzítésnek az volt a célja, hogy a fentebb említett adatok a további felhasználás folyamatába emberi beavatkozás /ujra gépelés, újra lyukasztás/ nélkül kerüljenek bele.

Az adatok kinyomtatását úgy szerveztük meg, hogy

- a publikálásra kerülő adatok külön kezelhető lapon legyenek; ilyenek: az állomás és a kamera adatai, a felvételek általános adatai és a szputnyikpontokra vonatkozó végleges adatok; ilyen formátumban történő kinyomtatásra azért volt szükség, hogy publikáláshoz az adatokat csak sokszorosítani kelljen, miáltal a publikáció előkészítése hibamentes, könnyebb és gyorsabb,

- minden egyéb input adat nyomtatásban is megjelenik /jó helykihasználással/. Erre azért van szükség, hogy a későbbiekben tárolandó papiranyag mennyiségét csökkentjük /vagyis eredményes futás után minden további, szerteágazó és nagy helyet foglaló adathalmaz megsemmisíthető/,

- a végeredmény elemzésének megkönnyítésére a számítás fontosabb közbülső lépéseinek eredményei is megjelennek nyomtatásban.

A nyomtatásban megjelenő adatok esetében minden kinyomtatott adatszoportot a rá vonatkozó felirat előz meg. A publikálásra kerülő lapokon a feliratokat angolul adjuk meg.

a/ A TOPOCOORD-JAI program output-rendszere

A TOPOCOORD-JAI program esetében a következő adatok kerülnek kinyomtatásra:

A számítás megkezdésekor: az állomás és a kamera adatai.

Az egyes felvételek számításakor:

- a felvétel általános adatai /ugyanaz, mint az input/,
- a keretjeleknek, a jobb- és baloldali időjelvonásoknak, a csillagoknak és a szputnyikpontoknak a mért koordinátái minden ismétlésben,
- a kimért szputnyikpontok sorszámai,
- a csillagok mérési hibáinak elemzésekor kiszűrt csillagok sorszáma, középhibája /x és y irányban, valamint ezek eredője/, egy mérés középhibája /x és y irányban, valamint ezek eredője/, a közelítés száma, amelynél a hibaszűrés megtörtént,
- a csillagok közepelt és a felvétel torzulásmentes rendszerébe redukált koordinátái és azok középhibái csillagonként, valamint a csillag sorszáma,
- a csillagokból képzett súlypont koordinátái,
- a csillagokra vonatkozóan az egy mérés középhibája,
- a szputnyikpontok közepelt és a felvétel torzulásmentes rendszerére redukált koordinátái és azok középhibája pontonként, valamint a szputnyikpontok sorszáma,
- a szputnyikpontokból képzett súlypont koordinátái,
- a szputnyikpontokra vonatkozóan az egy mérés középhibája,
- a csillagok katalógusbeli adatai,
- a transzformálás eredményei minden közelítésben:
a közelítés száma, a hibaegyenletek száma, a kapott együtthatók és megbízhatóságuk, az egységsúlyu középhibák, ha van hibás csillag, akkor annak a sorszáma, maradék hibái és a hiba jellege,
- a véglegesen megmaradt csillagok és hibaegyenletek sorszáma, valamint az egyes csillagokon a maradék hibák,
- a szputnyikpontok végleges adatai /ugyanaz, mint a lyukszalagon/,

-ha az adott felvétel valamilyen hiba miatt nem fut tovább, akkor ezt a tényt és triviális esetben a hiba jellegét kinyomtatja.

Egy ilyen feldolgozás eredményét a melléklet tartalmazza.

b/ A TOPOCOORD-KO1 program outputrendszer

A TOPOCOORD-KO1 program esetében a következő adatok kerülnek kinyomtatásra:

A számítás megkezdésekor: az állomás és a kamera adatai.

Az egyes felvételek számításakor:

- a felvétel általános adatai /ugyanaz, mint az input/,
- az időjelek időpontja szputnyikpontonként,
- a keretjelek, álló időjelek és mozgó időjelek mért koordinátái minden ismétlésben,
- az asztalmozgás adatai /kiindulás ideje, sebesség, gyorsulás/ szputnyikpontonként,
- a minden szükséges nyomponthoz mért csillagok nyompontjainak koordinátái mindkét ismétlésben,
- a nyompont-távközök elemzésének eredménye: a távköz száma, közelítés száma, a távköz átlagos értéke és középhibája, hibás nyompontok sorszáma, az esetleg alkalmatlanná vált távköz sorszáma,
- a kitüntetett nyomponthoz mért csillagok mért koordinátái,
- a kitüntetett nyomponthoz mért csillagok mérési hibaelemzésének eredménye: közelítésenként a közelítés száma, hibás pontok sorszáma, középhibák, egy mérés középhibája,
- a hibátlanul minősített kitüntetett nyomponthoz mért csillagok száma és középhibái és az egy mérés középhibája,
- a szputnyikpontok sorszáma, középhibái és az egy mérés középhibája,
- a csillagok katalógusbeli adatai,
- a transzformálás eredményei szputnyikpontonként, minden közelítésben, a közelítés száma, a hibaegyenletek száma, a

kapott együtthatók és megbízhatóságuk ,az egységsúlyu közép-
hibák, ha van, akkor a kiszűrt csillag sorszáma, maradék hibái
és a hiba jellege,

- a véglegesen megmaradt csillagok és a hibaegyenletek sor-
száma és a maradék hibák az egyes csillagok nyompontjain,

- a szputnyikpontok végleges adatai /ugyanaz, mint a lyuk-
szalagon/ ,

- ha az adott felvétel valamilyen hiba miatt nem fut tovább,
akkor ezt a tényt és triviális esetben, a hiba jellegét kinyom-
tatja.

3.3.4.Szubrutinok

Az olyan feladatok elvégzésére, amelyek többször ismét-
lődnek, a programokban szubrutinok állnak rendelkezésre. A szub-
rutinok és az általuk elvégzendő feladatok a következők.
Mindkét programban szerepelnek:

- BANACHEWICZ - normálegyenlet-rendszer megoldására szolgál,
hibajelzést is tartalmaz,
- NORMAL - javítási egyenletrendszerből normál-egyenlet-
rendszert képez, azt megoldja, valamint az
igénytől függően a javítási egyenletek ellent-
mondásait, az egységsúlyu középphibát, súlyko-
efficienseket és a normálegyenlet-rendszer
megoldásának pontosságát számítja,
- CSJ - a topocentrikus szférikus koordinátákat javít-
ja a napi aberrációval és refrakcióval tetszés
szerint a csillagokra vagy szputnyikpontokra,
valamint az évi aberrációval a csillagokat és
szputnyikrefrakcióval a szputnyiknyompontokat,

- MJD - a módosított Julián dátumot számítja az év , hó- nap, nap formában megadott dátum alapján,
- TE TRA - számítja a "greenwichi csillagidőt Greenwichben éjfélkor",
- NAP - a Nap ekvatoriális derékszögü koordinátáinak közelítő értékét számítja,
- FRAD - a "fok, ivperc, ivmásodperc" formában megadott mennyiséget átszámítja radiánba,
- IDORAD - az "óra, perc, sec" formában megadott mennyi- séget átszámítja radiánba,
- KI - radiánban /vagy annak 15-öd részében/ megadott mennyiséget fok, ivperc, ivmásodperc /vagy óra, perc, sec/ formára átalakítja,
- KIH - formátum-szubrutin, kiiratáskor tetszőleges szá- mu betűhely kihagyására szolgál,
- KIK - formátum-szubrutin, kiiratáskor tetszőleges szá- mu sorköz kihagyására szolgál,

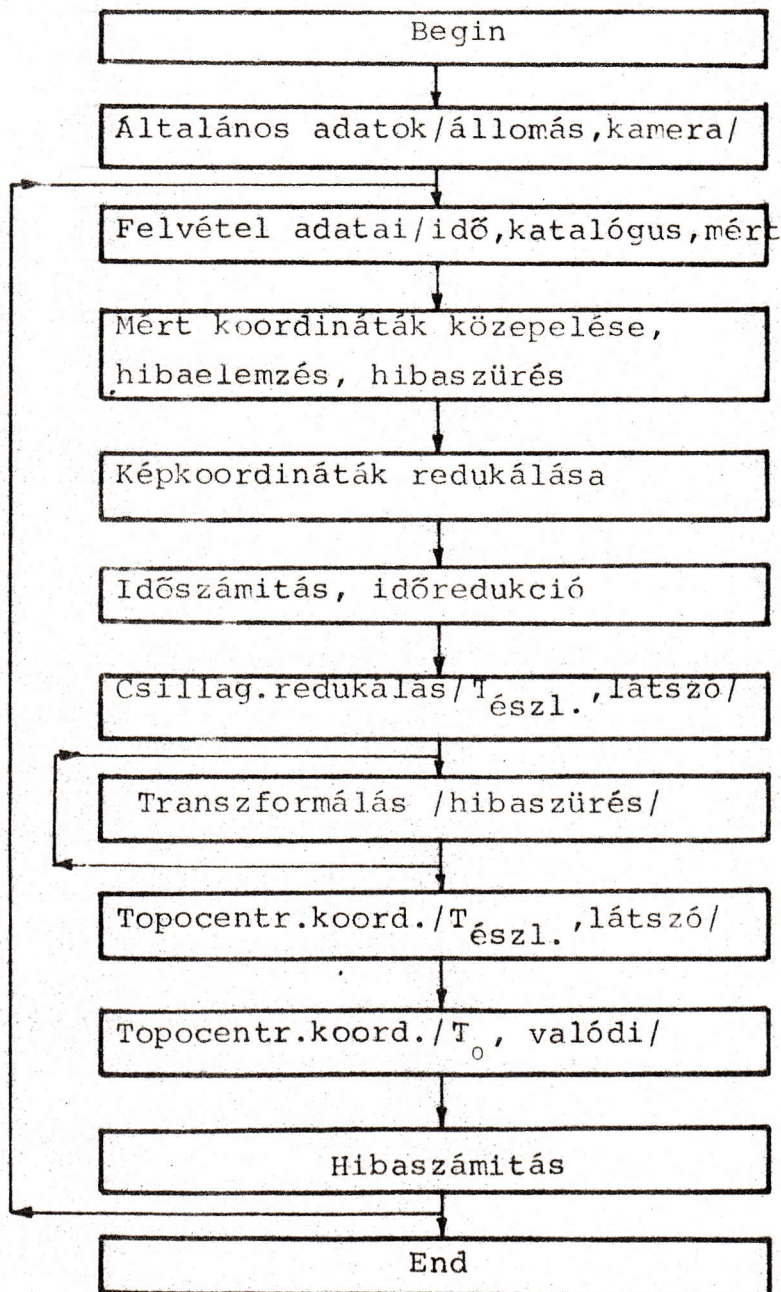
A TOPOCOORD-JAI programban szerepelnek

- OBTUR - a forgódobzár paramétereinek újrameghatározását végzi /hívása szükség szerint történik/,
- L J - a mért képkoordinátákat a geometriai középpontra redukálja, valamint az optikai középpont javitá- sát és a radiális disztorziót veszi figyelembe,
- KOZEP - tetszőleges számú ismétléssel mért képkoordináták közepelését végzi, egyes pontokra kapott több mé- rési eredmény alapján meghatározza a pontonkénti mérési középhibát, az adott felvétel azonos tipu- su pontjai esetében /csillag vagy szputnyikpontok/ az egy mérés négyzetes középhibáját, hívható csillagra vagy szputnyiknyompontokra.

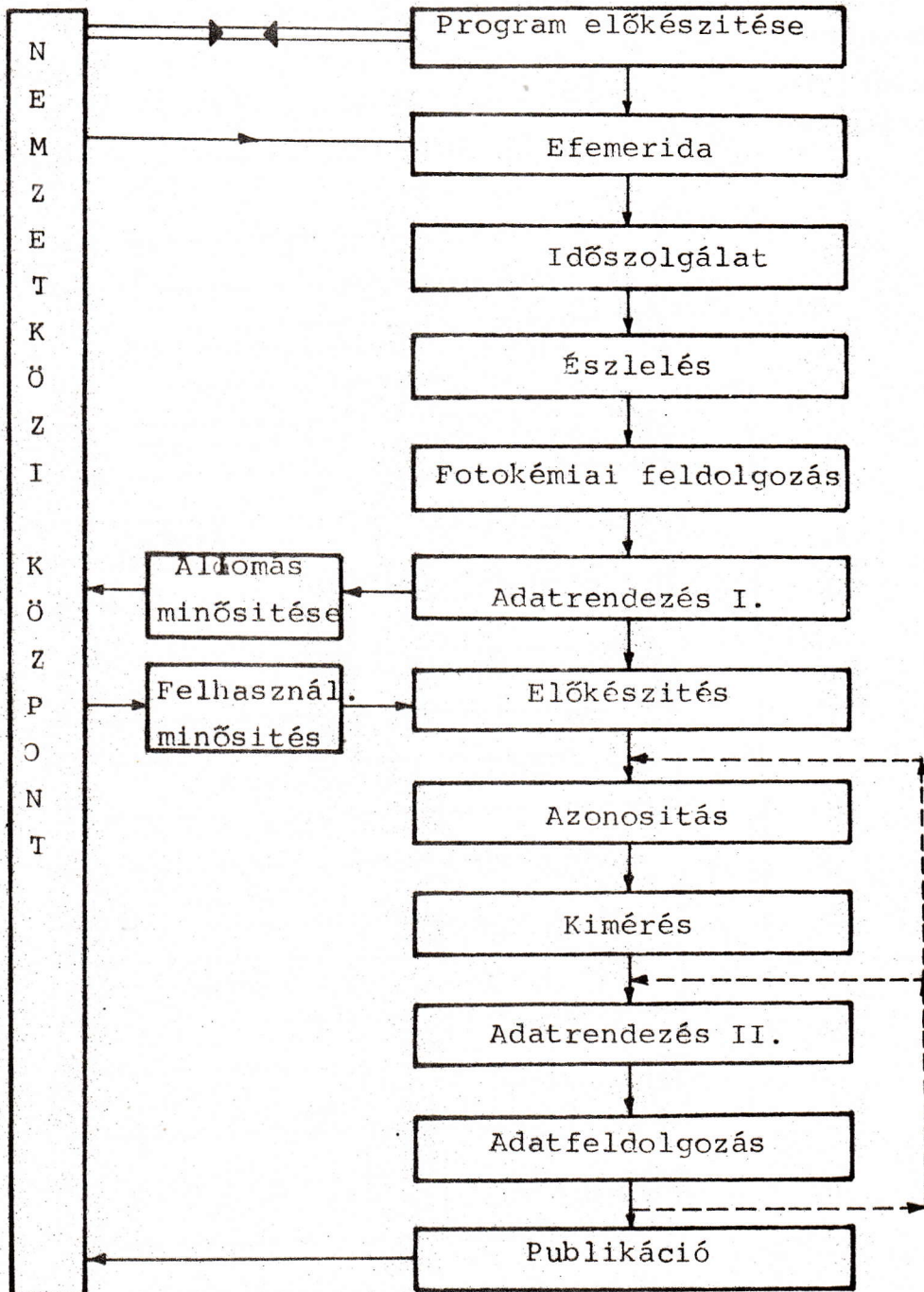
A TOPOCOORD-KO1 programban szerepel a KOZEP szubrutinnak egy másik változata, amely lényegében ugyanazokat a feladatokat végzi el, mint az előbb, azonban attól szervezésében különbözik és csak a négyszeres mérésismétléssel mért egynyomponos csillagok és szputnyikpontok esetére alkalmas.

3.4. Folyamatdiagrammok, adatáramlás

A számítógépi számítás folyamatdiagrammja lerövidített formában, "Adatfeldolgozás" elnevezés alatt a következő. Az "Adatfeldolgozás" olyan mértékben általánosít, hogy alkalmas mind a TOPOCOORD-JA1, mind pedig a TOPOCOORD-KO1 számítógépi programok jellemzésére.

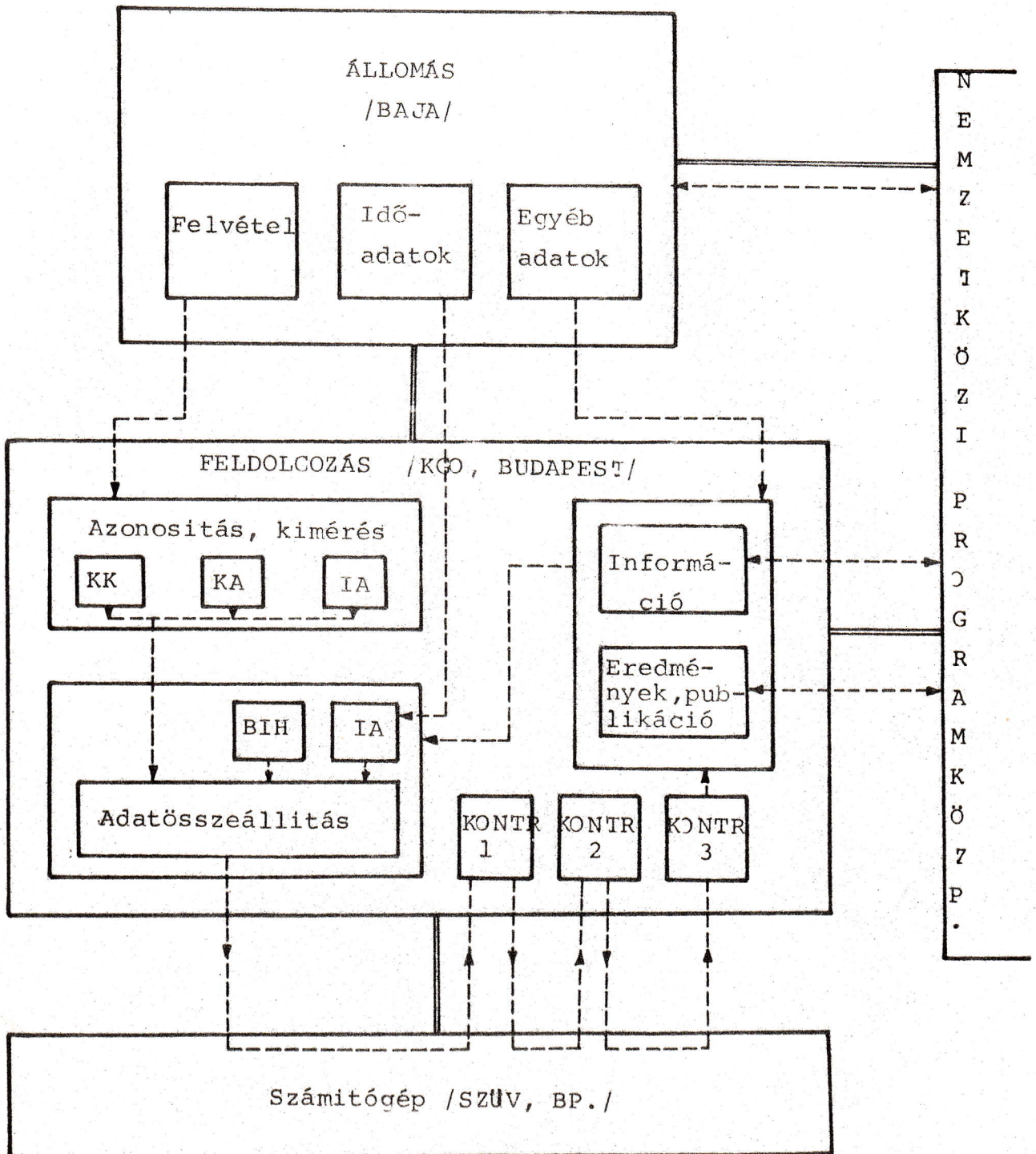


Az "Adatfeldolgozás" az alábbi "Technológia" szerint illeszkedik be a kozmikus geodéziai nemzetközi programok keretében végzett hazai fotografikus szputnyik-megfigyelés folyamatába.



A "Technológia" az alábbi "Adatáramlás" alapján valósul meg. Néhány rövidítés jelentése:

- KK - képkoordináták,
- KA - katalógusi adatok,
- IA - időadatok,
- BIH - a BIH körlevélből kiirt időkorrekciós adatok,
- KONTR1 - a lyukasztott adatok átvizsgálása ellenőrző számítógépi futáshoz/a megfelelő üzemmódokban



- egy ELL JAL, illetve ELLK01 elnevezésű program vizsgálja az adatok összeállításának helyességét/ és leadás pl. ELLJAL futásra,
- KONTR2 - az ellenőrző futás eredményeinek átvizsgálása és a hibák kijavítása, leadás TOPOCOORD-JAL futásra,
- KONTR3 - a számítási eredmények ellenőrzése és elemzése.

3.5. Külföldön alkalmazott feldolgozási módszerek

Az előzőekben a szputnyikkoordinátáknak a KGO-ban kidolgozott számítási módszerét ismertettük. A módszert hazai viszonyokra fejlesztettük ki.

A fotografikus szputnyikmegfigyeléssel foglalkozó és az eredményeket a kozmikus geodézia céljaira felhasználó országokban és intézményeknél a körülmények különbözőek, ezért az egyes helyeken kialakított módszerek egymástól eltérőek. A körülmények és a feltételek között fontos szerepet játszik az észleléshez használt fotokamera, annak felállítása és követési módja, fókusztávolsága, fényereje, objektívjének minősége, a fényérzékeny réteget hordozó alap anyaga /film vagy üveglemez/, maga a fényérzékenység, a feldolgozás előkészítésének automatizáltsága, a felvételek kimérésére használt berendezések milyensége, az alkalmazott számítógép, stb.

A továbbiakban célszerű röviden áttekinteni néhány külföldön használt tipikus módszert.

3.5.1. Az asztrometriai és fotogrammetriai módszer

Először két alapvető módszernek, az asztrometriai és a fotogrammetriai módszernek az összehasonlításával foglalkozunk.

A geodéziai célú fotografikus észleléseknél maximális irány-pontosságra kell törekedni. Ennek érdekében a kamera fókusztávolságát 500-1500 mm-ig növelik, miközben a felvétel méretei vagy változatlanok, vagy csökkennek a fotogrammetriában megszokott méretekhez képest. Ennek következtében a látómező $5-10^{\circ}$ -ig csökken, illetve, ha még figyelembe vesszük azt, hogy az objektív különböző torzításai miatt csak az optikai középpont körüli szűk környezetet használjuk, akkor a látómező $2-4^{\circ}$ -ra szűkül. Ilyen keskeny sugárnyaláb esetén a fotogrammetriai módszer már különösen érzékeny a film síkjában jelentkező bármilyen hibára. Az asztrometriai módszer lényege pedig éppen abban van, hogy a keskeny sugárnyaláb esetén a film síkjában jelentkező hibák hatását minimálisra csökkenti, miáltal a transzformációt két, egy síkban lévő koordinátarendszer között valósítja meg.

Megvizsgálva az 1.13.3./3/ képletet látható, hogy a fotogrammetriai módszer esetében két koordinátarendszer között csupán forgatás történik. Így a koordinátákat a tárgyterben és a képtérben mindenfajta torzulástól mentesíteni kellene. Ez azonban a fotografikus szputnyikmegfigyeléseknél nehezen, vagy egyáltalán nem valósítható meg /pl. a modellből számított és a tényleges refrakció közötti különbség/. Az asztrometriai módszernél a maradék torzulások a már korábban említett módon impliciten figyelembe vehetők.

A fentebb felsorolt tényezők elsősorban az okai annak, hogy a fotografikus szputnyikmegfigyeléseknél a transzformáció asztrometriai úton történik.

3.5.2. A SzUTA Csillagászati Tanácsa által használt módszer

A Csillagászati Tanácshoz tartozó észlelőhálózat állomásain, néhány kivételtől eltekintve, AFU kamerák találhatóak. A felvéte-

lek kimérésére automatikus regisztráló berendezéssel ellátott Ascorecord vagy saját gyártmányu szabatos monokomparátort használnak. Az alkalmazott elektronikus számítógépek közvetlenül hozzáférhetőek /BESZM-4, vagy Minszk típusu számítógépek/. A katalógusi koordinátákat térképről vett előzetes koordináták, illetve csillagsorszámok alapján nyomtatott SAO katalógusból manuálisan írják ki, vagy mágnesszalagon lévő SAO katalógusból számítógépes uton nyerik. Egy felvételen a meghatározandó szputnyiknyompontok száma változó. Nyommegszakításos üzemmódban /Ja üzemmód/ a leképződött 26-27 nyompontról csak 10-15, követő üzemmódnál pedig minden nyompontot /3-12 nyompont/ meghatároznak. Mivel a kamera fókusztávolsága viszonylag nagy /700-750 mm/ és az objektív torzitása jelentős, a meghatározandó szputnyikpontok közelében csak 10-20 alapcsillagot használnak fel, amelyek közül a számítógépi program minden egyes szputnyikpont meghatározására a legközelebbi 8-16 db /kb. 70-80%/ csillagot választja ki.

A számítás fázisai az alábbiak szerint alakulnak.

1/ A csillagok és a szputnyikpontok több ismétlésben mért képkoordinátáit közepelik, majd a közepelt értékeket a keretjelből képzett geometriai középpontra redukálják, az utóbbiakat pedig a radiális disztorzió harmadfoku tagjával megjavítják.

2/ A csillagok katalógusi koordinátáit a sajátmozgással és a csillagászati refrakció értékével javítják.

3/ A felvétel koordinátarendszere és az ekvatoriális koordinátarendszer közötti kapcsolatot a kétszer háromismeretlenes lineáris Turner-módszerrel, a legkisebb négyzetek módszerével oldják meg. A legközelebbi csillagok alapján minden szputnyiknyompontra külön számítják a Turner-egyenletek együtthatóit.

4/ A szputnyikpontoknak az 1/-ben kapott koordinátáiból és a hozzátartozó együtthatókból kiszámítják a szputnyikpontok ekvatoriális koordinátáit.

5/ Ezeket javítják a csillagászati refrakcióval /szigoruan nézve a szputnyikrefrakciót kellene figyelembe venni; a csillagászati és a szputnyikrefrakció közötti különbség valamely, viszonylag nagy, $z=60^{\circ}$ zenittávolságnál és egy $H=1000$ km közepes földfelszín feletti magasságu szputnyiknál $0.6''$ /. Továbbá figyelembe veszik az egyébként a csillagokra vonatkozó évi aberrációt. Így a szputnyikpontok szférikus koordinátáit a közepes helyen és 1950.0 epochában kapják a topocentrikus ekvatoriális koordinátarendszerben. A szputnyikpontok megbízhatóságát a függvény hibaterjedési törvénye alapján számítják, a megbízhatóság $0.5-2.0''$.

6/ A szputnyikpozícióhoz tartozó időpontot először a kamera időrendszerében, az AFU kamerára jellemző módszer szerint határozzák meg, majd ezután redukálják az "Эталонное Время" által definiált UT1 időrendszerre. Szputnyikaberrációt sem időben, sem pozícióban nem vesznek figyelembe /ezt az irány felhasználásának fázisára hagyják/.

3.5.3. A SAO Baker-Nunn kamerával felszerelt állomásainak módszere

A Baker-Nunn kamera fókusztávolsága az AFU kameráénál kisebb /500 mm/, fényereje nagyobb, az optikai torzításokat a film nem síkban történő kifeszítésével csökkentik. A felvételek kimérését automatikus regisztrálású monokomparátoron végzik. A felhasználandó csillagok katalógusi koordinátáit mágnesszalagon lévő SAO katalógusból azonosító csillagok segítségével, számítógépi úton kapják. Egy felvételen több szputnyikpontot határoz-

nak meg, de ezekből egyetlen fiktív irányt képeznek másod- vagy harmadfokú pályaproximációval. A szputnyikpontok meghatározására 20-50 csillagot használnak. A szputnyikpozíciók megbízhatósága 1-2".

A számítás fázisai a következők:

1/ A több ismétlésben mért csillag- és szputnyikkoordinátákat közepelik, majd a geometriai középpontra redukálják.

2/ Az alapcsillagok katalógusi koordinátáit a sajátmozgással, csillagászati refrakcióval és a csillagokból képzett súlypontra számított évi aberrációval javítják.

3/ A felvétel koordinátarendszere és az ekvatoriális koordinátarendszer közötti összefüggést elsőfokú vagy ritkábban másodfokú Turner-módszerrel határozzák meg.

4/ Az 1/-ben kapott koordináták és a 3/-ban kapott összefüggés alapján kiszámítják a szputnyik topocentrikus szférikus koordinátáit.

5/ A számított szputnyikpozíciók és az egyes pozíciókhoz tartozó időpontok alapján másod- vagy harmadfokú polinom segítségével pályaproximációt végeznek és ebből egyetlen fiktív irányt vezetnek le.

3.5.4. A WEST állomásain alkalmazott redukciós módszerek

A Nyugateurópai kozmikus háromszögelési hálózat /West European Satellite Triangulation angol elnevezés rövidítése: WEST/ állomásain különböző típusú kamerák működnek, így az alkalmazott redukciós módszerek is különböznek egymástól. Az 500-mm-nél nagyobb fókusztávolságú kameráknál általában a Turner-módszert vagy

annak valamely módosított változatát használják és a feldolgozás menete az előzőekben leírtakéhoz hasonlít. Az ennél rövidebb fókusztávolságú kameráknál általában más módszert alkalmaznak. Ilyenek a több állomáson felállított BC-4 kamerák, amelyek viszonylag rövid fókusztávolságuk ellenére pontosság tekintetében előkelő helyet foglalnak el a szputnyikgeodéziában. Az alábbiakban az NSZK-ban, a BC-4-re alkalmazott redukciós módszert mutatjuk be röviden.

A BC-4 fókusztávolsága 305 mm, optikai torzításai minimálisak, a felvételt üveglemezre készíti, a felvétel területének kb. 60%-a használható. A felhasználható csillagok száma nagy, a szputnyik a felvételen a 20°-os ívet is elérheti /a Baker-Nunn és az AFU kameráknál ez 5-7°/. A katalógusi koordinátákat mágnesszalagon lévő SAO katalógusból veszik számítógépes úton. A felvételek kimérését PEK monokomparátoron számítógépes vezérléssel, automatikusan végzik. Ehhez minimálisan három domináns csillag képi koordinátáit mérik, katalógusi koordinátáit /vagy katalógusi sorszámát/ megadják. Ezekből az adatokból a számítógép egy előzetes transzformálás együtthatóinak felhasználásával kikeresi a felvétel területére eső csillagok katalógusi koordinátáit és kiszámítja ezek előzetes képi koordinátáit. Az utóbbiak alapján végzik a monokomparátoros mérést.

A számítás fázisai az alábbiak:

1/ A csillagok és a szputnyikpontok képi koordinátáit a geometriai középpontra redukálják, majd a belső tájékozási elemek és disztorziós együtthatók felhasználásával képezik a mért pontok torzulásmentes koordinátáit a kamera rendszerében, majd az 1.12.4./2/ képlettel számítják a mért pontok iránykoszinuszait.

2/ A csillagok katalógusi koordinátáit az észlelés epochájára és a látszó helyre redukálják, majd az 1.12.4./1/ képlettel számítják az ekvatoriális derékszögű koordinátákat. A redukció folyamán a csillagászati refrakciót, az évi és a napi aberrációt csillagonként veszik figyelembe.

3/ A kamera koordinátarendszere és az ekvatoriális koordinátarendszer közötti összefüggés megállapítására az 1.12.4.-ben leírt fotogrammetriai módszert alkalmazzák. Az eredmény a 1.12.4./3/-ban szereplő \bar{A} forgatómátrix.

4/ A szputnyikpontok iránykoszinuszai és az \bar{A}^T forgatómátrix felhasználásával kiszámítják a szputnyikpontok derékszögű ekvatoriális koordinátáit, amelyeket az 1.2./2/ képlettel szférikus koordinátákká alakítanak át.

5/ A szputnyikpontok topocentrikus ekvatoriális koordinátáit az 1950.0 epochára és a közepes helyre redukálják. A refrakció-parallaxist és a napi aberrációt is ebben a lépésben veszik figyelembe.

6/ A szputnyikpozícióhoz tartozó időpontokat a BIH által definiált UTL-re redukálják. A szputnyikaberrációt is itt veszik figyelembe.

4. Eredmények

4.1. A feldolgozott anyagok elemzése

A számítógépi programok termelészerű használatának beindulása után és a rendszeres kimérések eredményeképpen 1974 második felében már elég sok feldolgozott felvétel állt rendelkezésünkre ahhoz, hogy az eddigi kimérésnek és a számítási folyamatnak néhány mennyiségi és minőségi jellemzőjét megállapítsuk. Az így adódó következtetések lehetővé teszik a további kimérések és számítások minőségének javítását és ezáltal a szputnyikpozíciók pontosságának a növelését. A rendelkezésünkre álló mintegy 100 db Ja üzemmódu felvételt több szempontból elemeztük.

Először is vizsgálatokat végeztünk arra vonatkozóan, hogy a transzformációs együtthatók meghatározásánál a hibaszűrés következtében hány csillag és miért esett ki a kiegyenlítésből. A programban durván hibásnak minősül az a csillag, amelynél a transzformációban a $v = \sqrt{v_{\xi}^2 + v_{\eta}^2}$ eredő javítás meghaladja a 0.03 mm /korábban a 0.05 mm/ állandó hibahatárt. Finom hibát a program akkor állapít meg, amikor a v abszolút értéke meghaladja a $2\mu_0$ értéket /itt $\mu_0 = \sqrt{\mu_{\xi_0}^2 + \mu_{\eta_0}^2}$ a transzformálásnál a kiegyenlítésből kapott egységsúlyu középhiba/. A vizsgált felvételek 10%-ánál a hibaszűréskor valamennyi csillag hibahatáron belül volt. Előfordult azonban 1 db olyan felvétel is, amelynél a számítás kezdetén 27 csillag szerepelt, de a hibaszűréskor 16 hibásnak bizonyult. Ebből 12 durva, 4 pedig finom jelleggel volt hibás. A 100 db felvételre összesítve az input, output-és a kiszűrt csillagok számát az 1. táblázat tartalmazza. Ugyanott szerepelnek az átlagos értékek is.

1. táblázat

		input	output	kiszűrt		
				összes	durva	finom
100 db felvételre összesen	db	2220	1875	345	266	79
	%	100	84.5	15.5	12	3.5
1 felvételre át- lagosan	db	22-23	18-19	3-4	2-3	1

A táblázatból látható, hogy a kiszűrt csillagok száma nagy, átlagosan 15.5%. Észre kell azonban venni, hogy ezen belül a finom hibák csak 3.5%-ot tesznek ki, ami normálisnak tekinthető. Durva hiba miatt a csillagoknak 12%-a esett ki, ami elsősorban abból származik, hogy a feldolgozás rendszere - a lehetőségek miatt - még jelenleg is szaggatott. A vizsgált felvételek több mint felénél az azonosítás az állomáson történt, a koordinátákat bér munkában irták ki a katalógusból, a mért koordinátákat kézi jegyzőkönyvvezetéssel rögzítették és végül az adatok lyukasztása kontroll-lyukasztás nélkül történt. Ez mind durva hibára /elazonosítás, elírás, ellyukasztás stb./ ad lehetőséget, amit az adatok nagy tömege miatt /felvételenként kb. 6500 jel/ lehetetlen manuális módon kiszűrni. Jelenleg az azonosítás, a jegyzőkönyvvezetés, a kimérés és a katalógusi adatok kiírása már a KGO-ban történik és az adatok ellenőrizhető részére külön ellenőrző számítógépi programok készültek /ezek Ja üzemmód esetén az ELLJAI, a követő üzemmód esetén pedig az ELLK01 elnevezést kapták/. Mégis, a durva hibák száma még így is jelentős. Ennek a minimálisra való csökkentését várjuk az ASCORECORD-3DP monokomparátoron kapott mérési eredmények automatikus regisztrálásától és lyukasztásától,

valamint a félautomatikus feldolgozás tervezett beindításától, amikor is a katalógusi adatok kikeresése mágnesszalag katalógusból, azonosító program segítségével történik.

Felmerült az a gondolat, hogy az ilyen mértékű kiszűrés esetleg a pontosság csökkenéséhez vezethet, mivel a hibaszűrés következtében a csillagok eloszlása a szputnyik körül kedvezőtlené válhat. Ennek elbírálására 3 változatot vizsgáltunk meg. Az 1. változatba tartoztak azok a felvételek, amelyeken a csillagoknak több mint 20%-a hibás volt. Ilyen felvétel 22 db volt. A második változatba tartoztak azok a felvételek, amelyeken a csillagoknak több mint 15.5%-a hibás volt. Összesen 43 db ilyen felvételt találtunk. /Nyilván ezek között voltak az 1. változat felvételei is/. És végül a 3. változatnál mind a 100 db felvételt együtt vizsgáltuk. A hibaszűrés utáni pontossági adatokból változatokként átlagos értékeket képeztünk. Ez úgy történt, hogy az adott változathoz tartozó valamennyi felvételen

a/ csillagok esetén

- kiválasztottuk a legnagyobb mérési középhibát $/m_{\max}/$,
- kiirtuk az adott felvételre vonatkozó mérési középhibát $/m_{\text{felv}}/$,
- kiválasztottuk a kiegyenlítés utáni legnagyobb ellentmondást $/v_{\max}/$ és
- kiirtuk a kiegyenlítésből kapott egysúlyú középhibát $/\mu_0/$,

b/ szputnyik esetén vettük a topocentrikus pozíció középhibáját $/m_{\text{topo}}/$.

/Valamennyi érték eredő irányban értendő. Az m_{\max} , m_{felv} , v_{\max} , μ_0 és m_{topo} mennyiségek mindegyikéből annyi van, ahány felvétel az adott változathoz tartozik/. Ezekből képeztük az \bar{m}_{\max} , \bar{m}_{felv} , \bar{v}_{\max} , $\bar{\mu}_0$ és \bar{m}_{topo} átlagokat is. Az adatok a 2. táblázatban találhatóak.

2. táblázat

	\bar{m}_{\max}	\bar{m}_{felv}	\bar{v}_{\max}	\bar{u}_0	\bar{m}_{topo}
	0.001 mm egységben				"
1. változat	6.9	3.9	16.2	9.2	1.4.
2. változat	6.4	4.0	17.5	10.0	1.8
3. változat	7.1	4.1	17.8	10.3	1.3

A 2. táblázatból megállapítható, hogy a 3. változat esetében a szputnyikpozíció középpontja jobb, egyéb pontossági jellemzői pedig rosszabbak, mint az 1. és 2. esetében. Ez az elmentmondás arra az egyébként ismert tényre utal, hogy, ha a fölős mérések száma jelentősen csökken, akkor

- bár a kiegyenlítésben megmaradt csillagok lehet, hogy "jól visszajönnek" /lásd \bar{v}_{\max} /, de az ismeretlenekre /a transzformációs együtthatókra, közvetve pedig a szputnyikpozícióra/ kapott érték nem tekinthető a legmegbízhatóbbnak,
- a csillagok konfigurációja kedvezőtlenül alakulhat, ami ismét az ismeretlenek megbízhatóságának csökkenéséhez vezet.

A szputnyikpontokra vonatkozó pontossági adatok bemutatása és összehasonlítása céljából valamennyi felvételen /100 db/

- kiválasztottuk a szputnyikpontok legnagyobb mérési középpontját / m_{\max} /,
- kiirtuk a szputnyikpontoknak az adott felvételre vonatkozó mérési középpontját / m_{felv} / és
- vettük a topocentrikus pozíció középpontját / m_{topo} /.

/A szputnyikra vonatkozó m_{\max} , m_{felv} és m_{topo} mennyiségek mind-egyikéből felvételenként egy, összesen tehát 100 van/. Az ezekből képzett átlagokat a 3. táblázat utolsó sora tartalmazza.

Ezután kiválasztottuk azt a felvételt, amelyiken m_{topo} legkisebb /az 5214. számú felvétel/ és azt, amelyiken a legnagyobb /a 6594. számú felvétel/. Az ezekhez a szélsőséges esetekhez tartozó pontossági értékek is a 3. táblázatban találhatóak.

3. táblázat

	m_{topo}	m_{\max}	m_{felv}
	"	0.001 mm egységben	
5214.sz. felvétel	0.5	2.4	1.5
6594.sz. felvétel	4.2	16.4	8.0
átlag /100 db felvétel- ből/	1.3	5.8	3.4

Összegezve, az ilyen típusu elemzés részletes és messze-
menő következtetések levonására nem kifejezetten alkalmas, jobb
eredményt lehet elérni a matematikai statisztika módszereivel.
Mégis az alább felsorolt megállapítások ide kívánkoznak.

1/ A szputnyik pozíciójának középhibája csupán belső pon-
tosság, amely a feldolgozási módszer pontosságát jellemzi. Tar-
talmazza a szputnyikpontok kimérésének középhibáit és a transz-
formálás hibáját.

2/ A szputnyikpontok és a csillagok átlagos kimérési közép-
hibái /0.0034 és 0.0041 mm/ a nemzetközi színvonalat jól megkö-
zelítik.

3/ A szputnyikpozíciók átlagos középhibája /1.3"/nem
rosszabb a nemzetközi színvonalnál, bár a szórás elég nagy
/0.5"-4.2" között/. Megjegyzendő, hogy ha a legnagyobb hibával
rendelkező három felvételt elhagyjuk, akkor a szórás 0.5"-3.2"
között van. Ennek ellenére a pontosság egységesítése érdekében
a hibaszűrést célszerű módosítani.

4/ A 2.táblázattal kapcsolatban mondottak miatt óvatosan
kell kezelni a kiszűrhető csillagok számának kérdését, ezért
hangsúlyozott figyelmet kell fordítani az adatösszeállítás el-
lenőrzésére, illetve minél hamarabb át kell térni a mérési ered-
mények automatikus rögzítésére és az automatikus csillagazono-
sításra.

A [20] tanulmányban feldolgozott Ja üzemmódu felvételek
egy részének matematikai statisztikai elemzése, valamint az
affin és a parabolikus transzformáció összehasonlítás található.
A [20] tanulmány szerzője elemzései alapján a gyakorlat számára
fontos következtetésekhez jutott. A különböző típusu és célú
elemzések igen sok felvételre /pl. 75 db felvétel/ és a mérések

nagy számára /pl. 1000 mérés/ támaszkodnak, így a következők megalapozottaknak és objektíveknek tekinthetők. Főbb következtetései a következők:

a/ A csillagok és a szputnyikpontok kimérésének optimális száma 4.

b/ A kimérési eredmények hibaszűrését állandó hibahatár segítségével célszerű végezni. A négyszeres mérésismétlésből számított kimérési középhibára vonatkozó állandó hibahatár értéke 0.007-0.008 mm.

c/ Az affin transzformálásnál a kiegyenlítés után az egyes csillagokra kapott javítások hibaelemzésére szintén állandó hibahatárt célszerű alkalmazni, amelynek értéke 0.02 mm.

d/ Összevetve minden szempontot, az AFU felvételek feldolgozása esetén az affin transzformáció alkalmazása célszerűbb, mint a másod- vagy harmadfokúé.

4.2. További feladatok

A mesterséges holdak geodéziai célú fotografikus észlelésének feldolgozása területén a következő néhány fontosabb teendő van.

1/ A felvételek feldolgozásának és matematikai statisztikai elemzésének folytatása.

2/ Az eddigi elemzések eredményeit felhasználva módosítások a feldolgozási programban, a szükségesnek látszó helyeken.

3/ A feldolgozási program összehasonlítása külföldi programokkal.

4/ Az ASCORECORD-3DP automatikus regisztrálású monokomparátor üzembehelyezése és a feldolgozás szükséges módosítása.

5/ A számítógépi program elkészítése a jövőben használandó CDC-3300 számítógépre és a mágnesszalagon lévő katalógus segítségével történő automatikus azonosítás realizálása.

6/ Az újonnan felállítandó SBG kamera felvételei feldolgozásának megoldása.

I R O D A L O M J E G Y Z É K

- [1] Вейс Г.: Геодезическое использование искусственных спутников изд. Недра, Москва, 1967 /Fordítás angolból/
- [2] Меллер И.: Введение в спутниковую геодезию, изд. Мир, Москва, 1967 /Fordítás angolból/
- [3] Mihály Sz. - Oravec G.: Mesterséges holdak geodéziai célú megfigyelése, Budapest, BGTV, 1967, /Beszámoló a Pulkovó-i tanfolyamról/
- [4] Стандартная Земля, изд. Мир. Москва 1969 /Fordítás angolból/
- [5] Lambeck K.: On the reduction and accuracy of precise Baker-Nunn Observations, COSPAR Transaction No7, 1970
- [6] Ozechowski J.: The reduction of artificial Earth satellite photographic observations by empirical transformation functions, COSPAR Transaction No7, 1970.
- [7] Kakkuri J.: Plate reduction for the stellar triangulation, Helsinki, 1972, Finnish Geodetic Institute
- [8] Mihály Sz.: Mesterséges holdak fotografikus felvételeinek matematikai feldolgozása és a feldolgozás számítógépi programja, Budapest, FÖMI, 1972. Kutatási jel.
- [9] 1973 Standard Earth /III/, Cambridge, 1973, SAO Special Reports No.353
- [10] Рауш Э.: Результаты исследований по астрометрической обработке фотографических снимков пассивных спутников Земли при помощи камеры АФУ-75 на астрогеодезическом пункте, Берлин, 1973, NDK Geodéziai szolgálatának külön jelentése

- [11] Mihály Sz.: Utmutató a mesterséges holdak topocentrikus koordinátáinak számításához. Bp., FÖMI, 1972, Kutatási jel.
- [12] Михай С.: Рациональные методы учета астрономической и спутниковой рефракции при производстве фотографических наблюдений, 1974, Geodéziai szolgálatok tanácskozása Dobruskában /Csehszlovákia/
- [13] "Эталонное время" с. kiadvány
- [14] "ВН" с. kiadvány
- [15] "Mesterséges holdak geodéziai célú megfigyelése" BGTV, 1967, 1968, 1969, 1970
- [16] Ерпылов Н.П. - Лапушка Н.К. и др.: Серия программ астрометрической обработки на ЭВМ спутниковых снимков АФУ-75, Москва, 1970, "Методы вычисления топоцентрических.." с.kiadvány
- [17] Pachelski W.: Algorithm for the reduction of photographic plates with unknown optical centre, COSPAR Transaction No.7, 1970.
- [18] Dufour H.M.: Plan général des calculs de géodésie spatiale á partir des photographie de satellites sur fond d'étoiles, COSPAR Transaction, No.7.1970.
- [19] Kozmikus Geodéziai Obszervatórium rendszerterve, FÖMI, 1973.
- [20] Nagy S. - Németh Zs.: AFU felvételek matematikai statisztikai vizsgálata, Budapest, FÖMI, 1974.

M E L L É K L E T

PLATE NUMBER 9444

A KIMERES EREDMENYEI (MM)

A KERETJELEK KOORDINATAI

611,5145 143,4299
609,5656 278,3660
410,1023 274,9635
411,9451 139,9844

A JOBBOLDALI ES BALOLDALI IDOJELVONASOK KOORDINATAI

600,4903 224,7719 420,7964 221,9369
600,6095 219,4556 420,9159 216,6600
600,6891 214,3087 421,0090 211,5010
600,7809 209,1531 421,0961 206,3556
600,8561 203,9363 421,1682 201,1493
600,9261 198,6830 421,2290 195,9086
600,9725 193,4207 421,2821 190,6165
601,0743 187,8406 421,2940 185,0913
601,1400 182,1065 421,3381 179,3800
601,2585 176,2723 421,3455 173,4977

A CSILLAGOK KOORDINATAI G1 ISMETLESBEN

515,2840 201,2626 515,2849 201,2635 515,2858 201,2620 515,2850 201,2632
519,7285 201,5500 519,7264 201,5511 519,7256 201,5482 519,7261 201,5468
518,6171 196,9849 518,6154 196,9863 518,6194 196,9823 518,6187 196,9844
528,3121 200,8214 528,3150 200,8181 528,3129 200,8206 528,3120 200,8181
531,2451 200,0045 531,2444 200,0038 531,2419 200,0036 531,2428 200,0024
531,0325 201,7309 531,0338 201,7319 531,0341 201,7331 531,0329 201,7322
533,3080 195,8797 533,3100 195,8769 533,3097 195,8751 533,3085 195,8766
535,6735 204,6356 535,6749 204,6326 535,6781 204,6323 535,6754 204,6330
538,0344 204,3740 538,0377 204,3703 538,0343 204,3721 538,0358 204,3703
539,2070 196,7632 539,2081 196,7602 539,2094 196,7616 539,2099 196,7600
543,1330 205,1891 543,1345 205,1856 543,1339 205,1897 543,1315 205,1868
538,7117 212,4785 538,7147 212,4754 538,7133 212,4771 538,7124 212,4749
537,2657 220,8300 537,2645 220,8288 537,2651 220,8309 537,2669 220,8288
534,0240 206,3095 534,0260 206,3076 534,0260 206,3055 534,0265 206,3067
529,6071 210,9318 529,6064 210,9302 529,6049 210,9300 529,6040 210,9279
529,4644 212,0683 529,4661 212,0661 529,4637 212,0663 529,4642 212,0649
528,6434 207,1217 528,6430 207,1184 528,6400 207,1207 528,6411 207,1177
526,0564 214,4885 526,0572 214,4875 526,0556 214,4848 526,0539 214,4865
523,3650 206,0991 523,3641 206,0965 523,3645 206,0969 523,3656 206,0951
523,2409 210,3358 523,2421 210,3346 523,2402 210,3351 523,2423 210,3334
523,4866 211,2050 523,4861 211,2043 523,4861 211,2064 523,4874 211,2050
522,0168 210,1102 522,0176 210,1090 522,0177 210,1080 522,0165 210,1077

A SZPUTNYIK NYOMOPONTJAINAK KOORDINATAI G1 ISMETLESBEN

538,3808 204,7415 538,3821 204,7389 538,3838 204,7384 538,3803 204,7395
537,6606 204,7720 537,6576 204,7709 537,6612 204,7729 537,6604 204,7746
536,9287 204,8115 536,9310 204,8096 536,9315 204,8116 536,9303 204,8129
536,2119 204,8520 536,2127 204,8473 536,2151 204,8486 536,2141 204,8507
535,4830 204,8830 535,4845 204,8812 535,4856 204,8803 535,4867 204,8849
534,7584 204,9227 534,7565 204,9210 534,7589 204,9228 534,7580 204,9252
534,0341 204,9531 534,0356 204,9551 534,0361 204,9524 534,0358 204,9559
533,3059 205,0015 533,3051 204,9979 533,3080 204,9991 533,3068 205,0007
532,5880 205,0355 532,5894 205,0330 532,5909 205,0334 532,5900 205,0355
531,8529 205,0730 531,8541 205,0711 531,8572 205,0694 531,8563 205,0736
531,1339 205,1050 531,1339 205,1035 531,1363 205,1029 531,1372 205,1062
530,4059 205,1441 530,4090 205,1416 530,4097 205,1424 530,4077 205,1439
529,6922 205,1803 529,6887 205,1775 529,6911 205,1779 529,6904 205,1805
528,9680 205,2139 528,9663 205,2107 528,9677 205,2107 528,9671 205,2135

528,2469	205,2572	528,2500	205,2568	528,2509	205,2556	528,2493	205,2589
527,5195	205,2984	527,5221	205,2976	527,5239	205,2980	527,5213	205,2988
526,8004	205,3308	526,8031	205,3303	526,8028	205,3289	526,8008	205,3316
525,3604	205,4051	525,3620	205,4021	525,3625	205,4029	525,3611	205,4049
524,6290	205,4496	524,6308	205,4510	524,6329	205,4491	524,6304	205,4523
523,9111	205,4791	523,9122	205,4790	523,9147	205,4773	523,9132	205,4806
523,1911	205,5164	523,1917	205,5129	523,1935	205,5134	523,1935	205,5158
522,4717	205,5539	522,4735	205,5511	522,4754	205,5520	522,4745	205,5534
521,7514	205,5881	521,7508	205,5889	521,7530	205,5865	521,7519	205,5898
521,0277	205,6265	521,0288	205,6249	521,0284	205,6242	521,0310	205,6269
520,3040	205,6567	520,3054	205,6553	520,3068	205,6546	520,3055	205,6537

A SZPUNYIK KOVETKEZO NYOMOPONTJAIT MERTEK:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
21	22	23	24	25	26															

SZAMITASI EREDMENYEK

A CSILLAGOK MERT KOORDINATAINAK KOZEPELESE

KOZEPELT ES REDUKALT LEMEZKOORDINATAK

A PONT SZAMA, KOORDINATAI(N,X,Y) ES KOZEPHIBAI(MX,MY,M)

1	4,9132	-8,6833	0,0007	0,0007	0,0010
2	9,3551	-8,3972	0,0013	0,0019	0,0023
3	8,2462	-12,9622	0,0018	0,0017	0,0024
4	17,9430	-9,1273	0,0014	0,0017	0,0022
5	20,8746	-9,9437	0,0015	0,0009	0,0017
6	20,6642	-8,2149	0,0007	0,0009	0,0012
7	22,9416	-14,0715	0,0010	0,0019	0,0021
8	25,3082	-5,3134	0,0019	0,0015	0,0024
9	27,6697	-5,5753	0,0016	0,0018	0,0024
10	28,8446	-13,1881	0,0013	0,0015	0,0020
11	32,7712	-4,7594	0,0013	0,0019	0,0023
12	28,3475	2,5313	0,0013	0,0016	0,0021
13	26,9001	10,8865	0,0010	0,0010	0,0014
14	23,6574	-3,6391	0,0011	0,0017	0,0020
15	19,2357	0,9842	0,0014	0,0016	0,0021
16	19,0946	2,1207	0,0010	0,0014	0,0018
17	18,2717	-2,8265	0,0016	0,0019	0,0025
18	15,6850	4,5413	0,0014	0,0016	0,0021
19	12,9935	-3,8492	0,0006	0,0017	0,0018
20	12,8701	0,3888	0,0010	0,0010	0,0014
21	13,1153	1,2593	0,0006	0,0009	0,0011
22	11,6457	0,1628	0,0006	0,0011	0,0013

SULYPONT KOORDINATAI(X,Y)

19,1522 -3,9853

A SZPUNYIK MERT KOORDINATAINAK KOZEPELESE

KOZEPELT ES REDUKALT LEMEZKOORDINATAK

A PONT SZAMA, KOORDINATAI(N,X,Y) ES KOZEPHIBAI(MX,MY,M)

1	28,0161	-5,2074	0,0016	0,0014	0,0021
2	27,2938	-5,1743	0,0016	0,0016	0,0022
3	26,5638	-5,1354	0,0012	0,0014	0,0018
4	25,8464	-5,0971	0,0014	0,0021	0,0025
5	25,1175	-5,0644	0,0016	0,0020	0,0026
6	24,3902	-5,0238	0,0010	0,0017	0,0020
7	23,6673	-4,9925	0,0009	0,0016	0,0019
8	22,9380	-4,9468	0,0012	0,0016	0,0020
9	22,2208	-4,9122	0,0012	0,0013	0,0018
10	21,4860	-4,8747	0,0020	0,0019	0,0027
11	20,7660	-4,8421	0,0017	0,0015	0,0022
12	20,0385	-4,8034	0,0017	0,0012	0,0021
13	19,3208	-4,7673	0,0015	0,0016	0,0021

14	18,5972	-4,7341	0,0007	0,0017	0,0019
15	17,8790	-4,6892	0,0017	0,0014	0,0022
16	17,1512	-4,6481	0,0018	0,0005	0,0019
17	16,4312	-4,6159	0,0014	0,0011	0,0018
18	15,7083	-4,5816	0,0008	0,0014	0,0016
19	14,9906	-4,5424	0,0009	0,0015	0,0018
20	14,2597	-4,4957	0,0016	0,0014	0,0022
21	13,5416	-4,4671	0,0015	0,0013	0,0020
22	12,8192	-4,4385	0,0012	0,0017	0,0021
23	12,1024	-4,4095	0,0016	0,0013	0,0020
24	11,3803	-4,3578	0,0009	0,0014	0,0017
25	10,6574	-4,3204	0,0014	0,0013	0,0019
26	9,9338	-4,2910	0,0011	0,0013	0,0017

Számítástechnikai és Ügyvitelszervező Vállalat

SULYPONT KOORDINATAI (X,Y)
18,9661 -4,7465

0,0457 0,0586 -0,0798 -0,6655 -0,6848 -0,2969 23,8570
41995,755 31501,389 223754,688

KATALOGUSI ADATOK (MEAN PLACE, EPOCH 1950)

ALFA (H, M, S)	MUALFA (SEC)	DELTA (F, P, MP)	MUDELTA (MP)
202328,8623	0,0106	545048,8457	0,0530
202414,8018	-0,0019	543111,1348	-0,0040
202143,7578	0,0023	543039,5957	-0,0010
202501,5762	-0,0004	535138,2656	-0,0190
202459,9209	0,0012	533729,3848	-0,0060
202551,0117	-0,0008	534026,4648	0,0040
202311,5234	0,0007	532318,0957	0,0170
202755,0166	-0,0003	532251,8848	-0,0010
202804,9922	0,0001	531155,0254	-0,0030
202425,3779	-0,0012	525752,1172	0,0240
202907,3564	-0,0027	524952,3359	-0,0150
203215,1543	0,0035	531744,3242	0,0320
203620,0156	-0,0014	533250,6055	-0,0130
202833,2607	0,0047	533209,6250	-0,0110
203022,0674	-0,0049	535715,4648	-0,0220
203055,9717	-0,0002	535906,8145	0,0070
202817,4609	0,0011	535723,8047	-0,0130
203146,0430	0,0011	541706,6250	0,0120
202705,3691	0,0008	542015,9355	-0,0060
202915,9063	0,0008	542523,0742	-0,0060
202944,6074	0,0035	542504,3457	-0,0090
202859,0322	0,0101	543037,6953	0,1110

TRANSZFORMALAS

KOZELITES SZAMA, HIBAEGYENLETEK SZAMA 1 22
EGYUTTHATOK, MEGBIZHATOSAGUK KSZI ES ETA IRANYBAN
-0,2421504 0,0002310 -0,1174419 0,0008614
-0,2485289 0,0001079 0,9654818 0,0004024
-0,9672847 0,0001264 -0,2478784 0,0004715
EGYSEGSULYU KOZEPHIBA (MKSZI, META) 0,0037 0,0137
HIBASZURES (CSILLAG SZAMA, MARADEK HIBAK, HIBAJELLEG)
19 0,0098 0,0424 DURVA HIBA

KOZELITES SZAMA, HIBAEGYENLETEK SZAMA 2 21
EGYUTTHATOK, MEGBIZHATOSAGUK KSZI ES ETA IRANYBAN
-0,2419916 0,0001891 -0,1167534 0,0006163
-0,2485850 0,0000872 0,9652384 0,0002843
-0,9672769 0,0001005 -0,2478447 0,0003275

EGYSEGSULYU KOZEPHIBA(MKSZI,META) 0.0029 0.0095
 HIBASZURES(CSILLAG SZAMA,MARADEK HIBAK,HIBAJELLEG)
 21 -0.0001 -0.0303 DURVA HIBA

KOZELITES SZAMA,HIBAEGYENLETEK SZAMA 3 20
 EGYUTTHATOK,MEGBIZHATOSAGUK KSZI ES ETA IRANYBAN
 -0.2419928 0.0002043 -0.1174236 0.0004000
 -0.2485846 0.0000919 0.9654503 0.0001799
 -0.9672773 0.0001057 -0.2480797 0.0002069
 EGYSEGSULYU KOZEPHIBA(MKSZI,META) 0.0030 0.0059
 HIBASZURES(CSILLAG SZAMA,MARADEK HIBAK,HIBAJELLEG)

Számítástechnika és Ügyvitelszervező Vállalat - SZAMA 4 20
 EGYUTTHATOK,MEGBIZHATOSAGUK KSZI ES ETA IRANYBAN
 0.0000198 0.0002080 -0.0000918 0.0004031
 -0.2439924 0.0000936 0.9666818 0.0001813
 -0.9684576 0.0001076 -0.2435815 0.0002085
 EGYSEGSULYU KOZEPHIBA(MKSZI,META) 0.0031 0.0059
 HIBASZURES(CSILLAG SZAMA,MARADEK HIBAK,HIBAJELLEG)

A CSILLAG ES A HIBAEGYENLET SORSZAMA,MARADEK HIBAK(N,I,MX,MY)

1	1	0.0004	0.0082
2	2	0.0004	0.0049
3	3	-0.0031	0.0049
4	4	-0.0026	-0.0063
5	5	-0.0037	-0.0052
6	6	-0.0012	-0.0070
7	7	-0.0007	-0.0031
8	8	0.0001	-0.0002
9	9	0.0031	-0.0013
10	10	0.0056	0.0033
11	11	-0.0012	0.0089
12	12	-0.0009	0.0109
13	13	-0.0044	0.0025
14	14	-0.0011	-0.0072
15	15	-0.0006	-0.0021
16	16	0.0003	-0.0025
17	17	0.0014	-0.0029
18	18	0.0048	-0.0083
20	19	0.0057	0.0004
22	20	-0.0024	0.0021

202815.4092 531107.4082 202818.1748 531106.6406 221945.2734 -0.1087
 1.3521

PLATE NUMBER 9444

SATELLITE NUMBER 6605601
 DATE (Y,M,D) 19731109
 CAMERA TIME(H,M,S) 18 07 03.02
 COORDINATES OF THE PRINCIPAL POINT (RA,DECL.) 20 27 19.58 55 23 27.37
 SATELLITE HEIGHT (KM) 5260.0000
 SATELLITE DIAMETER(KM) 0.0478
 ATMOSPHERIC PRESSURE 756.0000
 TEMPERATLRE 1.0000
 DISTANCE BETWEEN STATION AND RADIOSTATION(KM) 525.0000
 WAVE PROPAGATION VELOCITY(KM/SEC) 280000
 RECORDS ON THE CHRONOSCOPE(SEC) 0.4233
 TIME OF THE RECORDS(H,M,S) 15 59 60.00 18 59 60.00
 DELAY IN THE RECEIVER SYSTEM(SEC) 0.0009
 DELAY IN THE CAMERA(SEC) 0.0000
 CORR. FOR EMISSION TIME OF SIGNAL(SEC) 0.0008
 UT1-UTC(SEC) -0.1429
 PARAMETERS 20 26 4 10 11

RESULTS (MEAN PLACE,EPOCH 1950)

NR	UT1			RA			MRA SEC	DECL			MDECL	POS.ER.
	H	M	S	H	M	S		0	'	"		
1,	18	07	02.8911,	20	28	18.174,	0.050,	53	11	06.64,	1.32,	1.40,
2,	18	07	03.8911,	20	28	13.756,	0.051,	53	14	24.31,	1.30,	1.38,
3,	18	07	04.8911,	20	28	09.442,	0.048,	53	17	44.47,	1.27,	1.35,
4,	18	07	05.8906,	20	28	05.196,	0.053,	53	21	01.16,	1.25,	1.34,
5,	18	07	06.8906,	20	28	00.684,	0.052,	53	24	20.62,	1.24,	1.33,
6,	18	07	07.8906,	20	27	56.408,	0.049,	53	27	40.19,	1.21,	1.28,
7,	18	07	08.8906,	20	27	51.872,	0.047,	53	30	57.93,	1.19,	1.26,
8,	18	07	09.8906,	20	27	47.715,	0.047,	53	34	18.37,	1.18,	1.25,
9,	18	07	10.8901,	20	27	43.299,	0.045,	53	37	34.79,	1.16,	1.23,
10,	18	07	11.8901,	20	27	38.825,	0.050,	53	40	56.15,	1.16,	1.24,
11,	18	07	12.8901,	20	27	34.306,	0.045,	53	44	13.22,	1.14,	1.21,
12,	18	07	13.8901,	20	27	29.899,	0.043,	53	47	32.71,	1.12,	1.19,
13,	18	07	14.8901,	20	27	25.478,	0.045,	53	50	49.38,	1.10,	1.16,
14,	18	07	15.8896,	20	27	20.911,	0.044,	53	54	07.42,	1.06,	1.13,
15,	18	07	16.8896,	20	27	16.735,	0.043,	53	57	24.82,	1.08,	1.14,
16,	18	07	17.8896,	20	27	12.355,	0.037,	54	00	44.55,	1.08,	1.13,
17,	18	07	18.8896,	20	27	07.750,	0.040,	54	04	01.60,	1.03,	1.09,
18,	18	07	19.8896,	20	27	03.174,	0.040,	54	07	19.51,	1.00,	1.06,
19,	18	07	20.8892,	20	26	58.774,	0.040,	54	10	36.39,	0.99,	1.05,
20,	18	07	21.8892,	20	26	54.498,	0.041,	54	13	57.34,	1.00,	1.06,
21,	18	07	22.8892,	20	26	49.744,	0.040,	54	17	13.58,	0.98,	1.04,
22,	18	07	23.8892,	20	26	45.180,	0.042,	54	20	30.94,	0.95,	1.02,
23,	18	07	24.8892,	20	26	40.689,	0.038,	54	23	48.00,	0.96,	1.02,
24,	18	07	25.8887,	20	26	36.091,	0.038,	54	27	05.80,	0.92,	0.98,
25,	18	07	26.8887,	20	26	31.522,	0.038,	54	30	23.92,	0.93,	0.98,
26,	18	07	27.8887,	20	26	26.691,	0.037,	54	33	41.69,	0.91,	0.96,

T A R T A L O M J E G Y Z É K

	old.
Bevezetés.	1
1. Koordinátarendszerek és időrendszerek	3
1.1. Az 1900-1905 évi nemzetközi földi koordináta- rendszer.	4
1.2. Csillagászati alaprendszer	4
1.3. Égi koordinátarendszer.	6
1.4. A Föld forgása.	6
1.5. Pólusmozgás.	8
1.6. Áttérés a csillagászati alaprendszerből az 1900-1905 évi nemzetközi földi rendszerbe.	8
1.7. Topocentrikus ekvatoriális koordinátarendszer.	11
1.8. Tangenciális koordinátarendszer.	11
1.9. A kamera koordinátarendszere.	12
1.10. A felvétel koordinátarendszere.	12
1.11. A kimérőműszer koordinátarendszere	12
1.12. A koordinátarendszerek közötti összefüggés	13
1.12.1. Áttérés a kimérőműszer koordinátarend- szeréből a felvétel koordinátarend- szerébe.	13
1.12.2. A felvétel koordinátarendszere és a tan- genciális koordinátarendszer közötti összefüggés.	13
1.12.3. A tangenciális és az ekvatoriális koor- dináták közötti összefüggés.	14
1.12.4. A kamera koordinátarendszere és az ekva- toriális koordinátarendszer közötti összefüggés.	15
1.13. Időrendszerek	17
1.13.1. Alapvető időrendszerek.	18
1.13.2. Időszolgálat az észlelő állomásokon	21

2. A mesterséges holdak topocentrikus ekvatoriális koordinátái meghatározásának matematikai modellje.	23
2.1. Alapfeladat.	23
2.2. A csillagok ekvatoriális koordinátái.	24
2.3. A képi pontok koordinátái a felvétel koordináta-rendszerében.	29
2.4. Transzformáció.	34
2.5. A mesterséges hold ekvatoriális koordinátáinak és a koordináták megbízhatóságának számítása.	37
2.6. A mesterséges hold irányának redukálása az 1900-1905 évi nemzetközi földi koordinátarendszerbe.	42
3. Fotografikus észlelések feldolgozási technológiája.	43
3.1. Észlelés.	46
3.2. A felvételek előkészítése feldolgozáshoz, kimérés.	51
3.2.1. Előkészítés.	51
3.2.2. Kimérés.	56
3.3. A felvételek feldolgozása számítógépen.	56
3.3.1. A számítógépi programok feladata.	57
3.3.2. Input-adatrendszer.	59
3.3.3. Output-adatok	61
3.3.4. Szubrutinok	65
3.4. Folyamatdiagrammok, adatáramlás.	67
3.5. Külföldön alkalmazott feldolgozási módszerek	70
3.5.1. Az asztrometriai és fotogrammetriai módszer.	70
3.5.2. A SzUTA Csillagászati Tanácsa által használt módszer.	71
3.5.3. A SAO Baker-Nunn kamerával felszerelt állomásainak módszere.	73
3.5.4. A WEST állomásain alkalmazott redukációs módszerek.	74
4. Eredmények	77
4.1. A feldolgozott anyagok elemzése.	77
4.2. További feladatok.	83
Irodalomjegyzék	85
Melléklet	87

Készítette: a FÖLDMÉRÉSI INTÉZET
Információs és Dokumentációs
Csoportja
Budapest V., Guszev u. 19.

A szerkesztésért felelős: Dr. Lukács Tibor
A kiadásért felelős: Jagasics Béla

Sokszorosította: a FÖLDMÉRÉSI INTÉZET Rota-üzeme
Megjelent 200 példányban A/4 ív terjedelemben
Eng. sz.: 50480/1972. sz. MÉM-OFTH