



## A csillagászati geodézia helye a XXI. században

Dr.-Ing. E.h. Dr. Biró Péter akadémikus, a BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék Professor Emeritusa

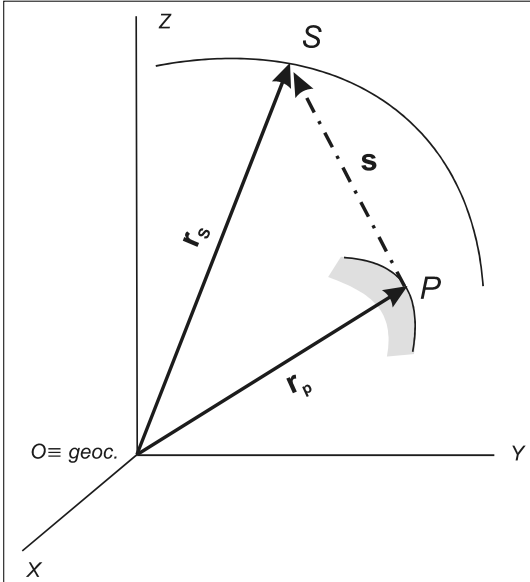
A Földön kívüli égitestekre, elsősorban a csillagokra (beleértve a Napot is) végzett méréseket az emberiség évezredek óta használja hely-, idő- és iránymeghatározási feladatok megoldására. Közismert alkalmazási területük a földi, vízi és légi járművek helyzet- és iránymeghatározása (a jármű navigáció), amihez általában a kisebb pontosságú, egyszerűsített, gyors módszereket használták. A mindenkor mérés technikai szinten elérhető szélső pontosságú (szabatos) csillagészleléseket a geodézia a Föld méretének, alakjának meghatározására, egyes kitüntetett geodéziai alappontok (a csillagászati geodéziai pontok) helymeghatározására, országos és kontinentális geodéziai alapponthálózatok elhelyezésére és tájékoztatására használta, használja. Csillagászati geodéziai (földrajzi helymeghatározás) mérések tették lehetővé a térképezésben (a kartográfiában) azt, hogy a földfelszín egyes ábrázolt részletei egymáshoz és a Föld forgástengelyéhez (a sarkokhoz és az egyenlítőhöz) viszonyítva a természetbeni elhelyezkedésüknek megfelelő helyzetbe kerüljenek a térképeken is. Az említett feladatok megoldására a geodéziának több ezer éven át nem is volt más eszköze, mint a csillagészlelés.

A XX. század második felében az űrtechnika fejlődésének eredményeként felbocsátott mesterséges holdak a geodézia számára teljesen új lehetőségeket nyitottak meg. A geodéziai célú mesterséges holdak lézer- és rádiótechnikai észlelési módszerei olyan megbízhatóságot (pontosságot) értek el, hogy a geodézia rohamos gyorsasággal kifejlődött új ága, a szatellita-geodézia, hamarok-

san átvehette a csillagászati geodézia több feladatának megoldását. Mára már olyan geodéziai mesterséges hold rendszereket fejlesztettek ki, melyek lehetővé teszik a nap 24 órájában, a Föld bármely helyén az álláspont helyzetének geodéziai megbízhatóságú meghatározását néhány óras vagy esetleg már néhányszor tíz perces mérésrel. Navigációs célú helymeghatározáshoz még ennél is sokkal rövidebb idő elegendő, így érthető, hogy ezt a feladatkört a mesterséges holdas technika teljesen átvette. A GPS (*Global Positioning System*) elnevezésű földi helymeghatározó rendszer ma már a geodéziai alappont-meghatározástól a részletmérésig számos területen napi gyakorlattá vált. Ezek ismeretében nem meglepő, ha felmerül – még szakmai körökben is – a kérdés, hogy van-e még szükség a XXI. században csillagászati geodéziai (földrajzi helymeghatározás) mérésekre. Erre a kérdésre szeretnénk a továbbiakban választ adni. Ehhez előbb tekintsük át, hogy pontosan mit kapunk eredményül a mesterséges holdakra, ill. a csillagokra végzett geodéziai mérésekből.

### 1. A mesterséges holdakra végzett geodéziai mérések eredményei

Ha a  $P$  állásponton (*1. ábra*) valamely mesterséges hold pillanatnyi  $S$  pontbeli helyzetére geodéziai mérést végzünk, akkor mérési eredményként az  $s$  észlelési vektort, pontosabban ennek egyes elemeit (*irányát és/vagy nagyságát, azaz hosszát*) kapjuk.



1. ábra. A mesterséges hold észlelési vektora

Ennek kapcsolata az álláspont  $\mathbf{r}_p$  és a mesterséges hold pályája  $S$  pontjának  $\mathbf{r}_s$  helyvektorával

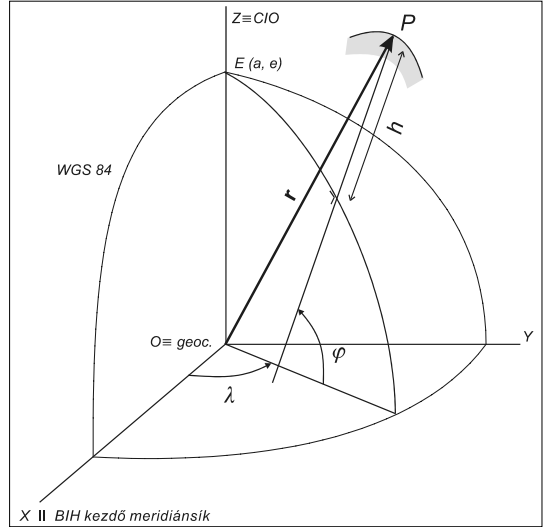
$$\mathbf{s} = \mathbf{r}_s - \mathbf{r}_p \quad (1)$$

A mesterséges hold pályaelemeinek ismeretében, az  $\mathbf{s}$  észlelési vektorral az (1)-ből az álláspont helyvektora

$$\mathbf{r}_p = \mathbf{r}_s - \mathbf{s} \quad (2)$$

egyszerűen számítható abban a geocentrikus koordináta-rendszerben, amelyben a pályaelemeket a felhasználó számára megadják. A mérés eredményéből, tehát az álláspont  $\mathbf{r}_p$  helyvektorát, illetve ennek derékszögű összetevőit tudjuk közvetlenül kiszámítani. A gyakorlatban több mesterséges hold helyzethez tartozó észlelési vektor *nagyságát* (hosszát) határozzuk meg, és velük többszörös térbeli ívmetszéssel, középkepzéssel határozzuk meg az álláspont helyzetét.

A gyakorlati felhasználás céljára a pályaelemek megadására használt geocentrikus térbeli derékszögű koordináta-rendszerünkre  $E(a, e)$  forgási ellipszoidot illesztünk úgy, hogy geometriai középpontja a koordináta-rendszer kezdőpontjával (a Föld tömegközéppontjával), kistengelye a koordináta-rendszer  $z$  tengelyével, ellipszoidi kezdő meridiánsíkja pedig az  $x$  tengellyel essék egybe ( $a$  az ellipszoid fél nagytengelyhossza,  $e$  az első numerikus excentricitása). Az ellipszoid adatainak függvényében, a megfelelő geometriai összefüggésekkel az álláspont helyvektorából kiszámítjuk annak  $\varphi$  és  $\lambda$  ellipszoidi földrajzi koordinátáit és a pont ellipszoid feletti  $h$  magasságát (2. ábra).



2. ábra.  $\varphi$  az ellipszoidi földrajzi szélesség,  $\lambda$  az ellipszoidi földrajzi hosszúság és  $h$  az ellipszoid feletti magasság

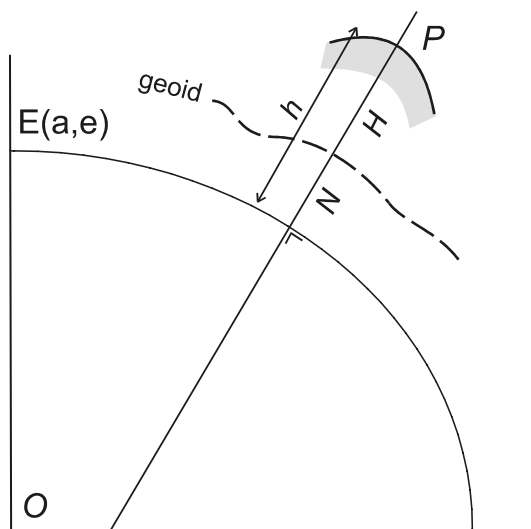
Az eddigiekből látható, hogy míg az álláspont geocentrikus helyvektora (illetve a koordináta-tengelyek tájékozása után ennek derékszögű összetevői) egyértelmű helymeghatározó adat(ok), addig az ellipszoidi földrajzi koordináták és az ellipszoid feletti magasság számértéke függ a választott ellipszoid méretétől és alakjától. A geodéziai gyakorlat napjainkban (de gyakorlatilag már az utóbbi két évtizedben) szinte kizárólagosan az ún. WGS84 (World Geodetic System 1984) jelű nemzetközi geodéziai vonatkoztatási rendszer ellipszoidját használja a mesterséges holdak észlelésével meghatározott ellipszoidi földrajzi koordináták és ellipszoid feletti magasságok megadására. Ez a vonatkoztatási rendszer geocentrikus elhelyezésű,  $z$  tengelye a CIO egyezményes nemzetközi pólushelyzet irányába mutat,  $x$  tengelye pedig a BIH nemzetközi kezdő meridiánsíkkal párhuzamos. Mivel a jelenleg használt ITRS (International Terrestrial Reference System) nemzetközi földi vonatkoztatási rendszer alapirányai (az IRP=IERS Vonatkoztatási Pólus és az IRM=IERS Kezdő Meridiánsík iránya) csak kevéssé térnek el a CIO-BIH rendszer alapirányaitól, a mesterséges holdas helymeghatározások mai megbízhatósági szintjén a WGS84 rendszerbeni geodéziai koordináták gyakorlatilag a korszerű ITRS koordinátáknak is tekinthetők (Biró 2002). A  $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$  koordinátahármas, tehát – az ellipszoid jellemző adataival együtt – az álláspont teljes körű, térbeli helymeghatározását adja a vonatkoztatási rendszer ellip-

szoidja által meghatározott, (képzeltbeli,) *tisztán geometriai rendszerben*.

Az így kapott  $\varphi$ ,  $\lambda$  ellipszoidi földrajzi koordináta párokból, az ellipszoid geometriai összefüggéseivel (2. geodéziai főfeladat) a földfelszíni észlelési helyek (alappontok) ellipszoidra vetített megfelelői közötti ellipszoidi ívhosszak és ez utóbbiak ellipszoidi azimútja számítható. A  $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$  ellipszoidi teljes koordinátahármasból (pontosabban már a közvetlenül meghatározott helyvektorokból) pedig az észlelési helyek közötti (különbség-) vektor (hossza és iránya) nyerhető.

A további gyakorlati felhasználáshoz a kapott  $\varphi$  és  $\lambda$  ellipszoidi földrajzi koordinátákat az ellipszoidhoz illesztett *transzverzális hengervetülettel* (UTM)  $x$ ,  $y$  síkkoordinátákká alakítjuk át. Magyarországi felhasználáskor további koordináta-átszámítással nyerjük az *EOV* koordinátákat. Így, a pont *vízszintes helyzetét* kifejező koordináták már további közvetlen felhasználásra alkalmasak.

Különös figyelmet és körültekintést igényel azonban a mesterséges holdak észlelésével meghatározott *ellipszoid feletti magasság*. Ez ugyanis a földfelszíni pontnak az eddigiekben leírt vonatkoztatási rendszer (képzeltbeli) ellipszoidjának felszínétől mért merőleges távolságát adja, ami tehát *tisztán geometriai méret*. Ez ráadásul (a vízszintes koordinátákhoz hasonlóan) még változhat is, attól függően, hogy milyen méretű és alakú ellipszoidot választunk a vonatkoztatási rendszerben.



3. ábra Tengerszint (vagy geoid) feletti  $H$  magasság és a geoidnak a vonatkoztatási rendszer ellipszoidja feletti  $N$  magassága

A felhasználó (a térképész, a tervező mérnök, az iskolai tanuló stb.) azonban mindig a földi nehézségi erőterben, a szintfelületek között mért, ún. *tengerszint* (vagy *geoid*) feletti  $H$  magasságokat igényel (3. ábra). Ezek mutatják meg a földfelszíni pontok elhelyezkedését a nehézségi erőterben, azaz, hogy mely pontok vannak magasabban, illetve alacsonyabban valamely magassági alapszinthez (a tengerszinthez) viszonyítva; mennyit emelkedik az út vagy a vasút, merre folyik a víz stb. A szintfelületek között mért magasságok a képzeletünktől függetlenül létező, *természetbeni, valóságos méretek*.

Az elmondottakból következik, hogy a mesterséges holdak észleléséből meghatározott *ellipszoid feletti magasságok* (szűk körtől eltekintve), *általában a felhasználói igényeket nem elégítik ki*. Egész földi viszonylatban az ellipszoidi és a tengerszint feletti magasságok eltérése mintegy  $\pm 120$  m-en belül változó nagyságú, így egyik a másiknak még közelítő értéke sem lehet. Ahhoz, hogy a (képzeltbeli) ellipszoid feletti magasságokból a felhasználói igényeket kielégítő természetbeni (tengerszint vagy geoid feletti) magassági mérőszámokat tudjunk meghatározni, a földi nehézségi erőterhez kapcsolódó további ismeretre (információra) van szükségünk. Az a hiányzó „további ismeret” a *geoidnak a vonatkoztatási rendszer ellipszoidja feletti  $N$  magassága* (3. ábra), ami már a nehézségi erőterhez kapcsolódó fizikai elemet (a geoidot, mely az erőter potenciáljának szintfelülete) tartalmaz, így az eddig tárgyalt tisztán geometriai módszerrel nem határozható meg.

A mesterséges holdak geodéziai alkalmazásának *dinamikai módszere* azon a tényen alapszik, hogy a mesterséges hold a Föld külső nehézségi erőterében, ennek hatása alatt végzi pályamozgását. Így a pályamozgás megfigyelésével (követésével) a földi nehézségi erőterre jellemző adatokhoz juthatunk.

A mesterséges hold  $\mathbf{r}_s$  helyvektorát a rendszer fenntartója a mesterséges holdnak a követő állomások által rendszeresen meghatározott  $\Omega_p$ ,  $\omega_p$ ,  $i_p$ , ... *simuló pályaelemei* és a *nehézségi erőteret jellemző*  $kM$ ,  $J_{n,m}$ ,  $K_{n,m}$  ( $n=0, 1, 2, \dots$ ,  $m=0, 1, 2, \dots, n$ ) *állandók*

$\mathbf{r}_s = \mathbf{r}_s(\Omega_p, \omega_p, i_p, \dots; kM, J_{n,m}, K_{n,m})$  (3)  
függvényeként számítja. Ezt az (1)-be beírva, az észlelési vektort az

$\mathbf{s} = \mathbf{s}(\Omega_p, \omega_p, i_p, \dots; kM, J_{n,m}, K_{n,m}; \mathbf{r}_p)$  (4)  
alakban tudjuk kifejezni. Néhányszor tíz vagy még több állandó megfigyelőállomás több éven át gyűjtött, többször 10–100 ezer mérési eredményét

egyenként a (4) baloldalára ismert számértékként beírva, ugyanilyen nagy számú egyenletből álló egyenletrendszer kapunk, amelyből ennél kevesebb számú ismeretlen a legkisebb négyzetek módszerével kiszámítható. Ha ezen az úton ismeretleneként a földi nehézségi erőteret jellemző  $kM$ ,  $J_{n,m}$ ,  $K_{n,m}$  állandók véges számú értékét és a megfigyelő hálózat pontjainak  $r_p$  helyvektorát (álmáskoordinátáit) számítjuk ki, akkor az így nyert adatsort együttesen *földmodellnek* nevezzük. A mesterséges holdak geodéziai alkalmazása során számos ilyen földmodellt határoztak meg. Jelenleg a földi nehézségi erőteret jellemző  $J_{n,m}$ ,  $K_{n,m}$  állandók számértékét  $n=m=360$  fokig és rendig ismerjük. Segítségükkel a Föld külső terében, tetszőleges helyre számítani tudjuk az erőter potenciálját és a nehézségi térerősséget.

Ha a földmodellben meghatározott állandók közül kivesszük a Föld tömegét és a lapultságát jellemző  $kM$  és  $J_2$  számértékét, továbbá hozzávesszük a Föld  $\omega$  forgási szögsebességét, valamint  $a$  egyenlítői (nagy-)tengelyhosszát, akkor ebből a négy kiinduló mennyiségből (*Stokes-féle* elemekből) olyan képzeletbeli (*normál*) *nehézségi erőter* jellemzőit tudjuk kiszámítani, amelynek egyik szintfelülete a kiválasztott a méretű ellipszoid (szintellipszoid). Ennek (képzeletbeli) normál potenciálértéke jól megközelíti a geoid valódi (természetbeni) potenciálértékét. Ezt az eljárást alkalmazták a már említett WGS84 jelű vonatkoztatási rendszer ellipszoidja lapultságának és a vele kapcsolatos normál nehézségi erőter jellemzőinek kiszámítására.

Valamely geoidi pontban a földi nehézségi erőter állandóival kiszámított *valódi* potenciálérték és a vonatkoztatási rendszer normál nehézségi erőterének jellemzőivel ugyanezen pontba kiszámított *normál* potenciálérték különbsége egyenesen arányos a geoidnak a vonatkoztatási rendszer ellipszoidja feletti  $N$  merőleges távolságával. Ezt a számítást az ellipszoidi földrajzi koordináta-hálózat kiválasztott kerek értékű metszéspontjaira elvégezve, a kapott  $N$  értékekkel előállíthatjuk a geoidnak a vonatkoztatási ellipszoidhoz viszonyított ábrázolását. Ennek megbízhatósága annál nagyobb, minél több  $J_{n,m}$ ,  $K_{n,m}$  állandó számértékét használtuk fel a számításhoz. („Hibátlan” eredményt akkor kapnánk, ha végtelen sok ilyen állandót ismernénk, és használnánk fel.) A jelenleg ismert számú állandóval  $1^\circ \times 1^\circ$ , azaz mintegy  $100 \times 100$  km felbontású geoidképet tudunk előállítani az egész Földre.

Visszatérve a mesterséges holdak észlelésével

geometriai úton meghatározott  $h$  ellipszoid feletti és a felhasználók által igényelt  $H$  tengerszint (*geoid*) feletti magasságnak a 3. ábrán bemutatott kapcsolatára, láthatjuk, hogy a kétféle magassági mérőszámot összekapcsoló  $N$  geoid-ellipszoid távolságok ismeretében a kétféle magasságértékek már egymásba átszámíthatók. Ily módon a mesterséges holdak, pl. GPS észleléséből meghatározott ellipszoid feletti magasságok elvileg a felhasználói igényeket kielégítő tengerszint (*geoid*) feletti magasságokká alakíthatók át.

A gyakorlati kivitelezéssel egyelőre még abba a nehézségbe ütközünk, hogy – mint az előbbieken említettük – a mesterséges holdak geodéziai felhasználásának dinamikai módszerével ma még, a legjobb esetben is csak mintegy  $100 \times 100$  km felbontóképességű geoidképet kaphatunk, ami azt jelenti, hogy a kapott  $N$  értékek ekkora területekre vonatkozó átlagértékek, és nem mutatják az ezen belüli eloszlást. Így a megbízhatóságuk több deciméter nagyságrendű, ami messze alatta marad mind a mesterséges holdakkal, mind pedig a szintezéssel végzett magasságmeghatározásnak. Így tisztán a mesterséges holdak geodéziai alkalmazásával a felhasználói igényeket kielégítő magasságoknak csak *erősen közelítő értékét* tudjuk meghatározni. Az a lehetőség, hogy a szintezéseket esetleg GPS-mérésekkel helyettesítsük, csak akkor kerülhet szóba, ha az  $N$  geoid-ellipszoid távolságokat (a geoid finomszerkezetét) – legalább szűkebb környezetben – a tisztán mesterséges holdas módszerekénél nagyságrenddel nagyobb megbízhatósággal tudjuk meghatározni. Ehhez más geodéziai módszereket is segítségül kell hívni.

Utalunk még röviden arra, hogy a mesterséges holdak geodéziai módszerek (az egyéb kozmikus geodéziai technikák mellett) széleskörű felhasználásra találnak a *Nemzetközi Földforgás és Vonatkoztatási Rendszer Szolgálat (IERS)* napi obszervatóriumi tevékenységében is. A Szolgálat feladata a Föld ún. *tájékozási paramétereinek* folyamatos meghatározása és rendszeres közzététele. Ezek a mennyiségek teremtenek kapcsolatot a térben rögzített *Nemzetközi Égi (ICRS)* és a Földdel együtt forgó *Nemzetközi Földi (ITRS) Vonatkoztatási Rendszer* között. Ezek jellemzik a forgó Földnek (és a hozzá kapcsolt földi vonatkoztatási rendszernek) a térben rögzített égi koordináta-rendszer alapirányaihoz viszonyított pillanatnyi helyzetét. A legfontosabb ilyen mennyiségek a *póluskoordináták*, az IERS kezdő szintfelületi meridiánsík (IRM) helyi *valódi csillagideje* (korábbi nevén a *greenwichi valódi csillagidő*

(GAST)), ami a Föld tengely körüli forgásának (elfordulásának) mértéke, a Föld forgási sebességének változásai és az alapvető időrendszerek különbsége (Biró 2003). Ezek meghatározásának ma már egyik leghatékonyabb eszköze a mesterséges holdak (lézeres és/vagy rádiótechnikai) észlelése. A Föld tájékozási paraméterei mérés kori értékének ismerete a mesterséges holdakkal végzett helymeghatározáshoz is nélkülözhetetlen, amikor az álláspont helyzetét az ITRS földi vonatkoztatási rendszerben kívánjuk meghatározni. Ezeket a rendszer fenntartója a közvetlen felhasználásra megadott (fedélzeti) pályaelemek kiszámításakor használja fel, és építi be a helymeghatározás számítási menetébe. (Az eredetileg meghatározott pályaelemek ugyanis az égi rendszerben értendők.)

## 2. A csillagászati geodéziai mérések eredményei

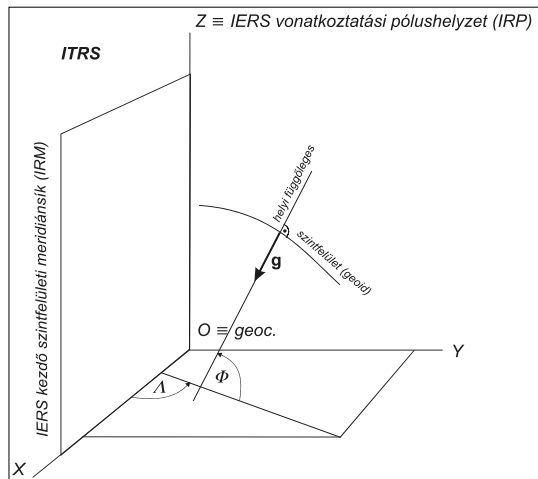
Csillagészleléssel (földrajzi helymeghatározás méréssel) az észlelt csillag katalógusból kivett égi koordinátái, valamint a Nemzetközi Földforgás és Vonatkoztatási Rendszer Szolgálat (IERS) által nyújtott kiegészítő adatok felhasználásával az álláspontunk  $\Phi$  és  $\Lambda$  szintfelületi földrajzi szélességét és hosszúságát, valamint a mért földi iránynak  $A$  szintfelületi azimútját tudjuk meghatározni. A  $\Phi$ ,  $\Lambda$  szintfelületi koordinátápar az álláspont helyi függőlegesének (a nehézségi térerősség vektor irányának) térbeli helyzetét adja meg az ITRS (a Nemzetközi Földi Vonatkoztatási Rendszer) alapirányaihoz viszonyítva (4. ábra).

Ehhez még hozzá kell tennünk azt, hogy a  $\Lambda$  szintfelületi földrajzi hosszúság meghatározása a Föld forgásához kapcsolódó helyi idő (pl. helyi valódi csillagidő) meghatározásán és a kezdő szintfelületi meridiánsík helyi idejével összehasonlításán alapszik. Így a csillagászati geodéziai feladatok magukba foglalják a Föld forgásán alapuló időrendszerekben a helyi idők meghatározását is a csillagészlelésekből.

Valamely földi irány  $A$  szintfelületi azimútja az iránynak az álláspont szintfelületi meridiánsíkjával bezárt vízszintes szöge. Ez gyakorlatilag az iránynak a vonatkoztatási rendszer  $Z$  tengelyéhez (az északi irányhoz) viszonyított helyzetét (tájékozását) adja meg.

A kérdés az, hogy használja-e és mire a XXI. századi geodézia ezeket.

A  $\Phi$ ,  $\Lambda$  szintfelületi földrajzi koordináták – mint előbb mondtuk – az álláspont helyi függőlegesének (a valódi, természetbeni iránynak) a tér-



4. ábra Az álláspont helyi függőlegesének (a nehézségi térerősség vektor irányának) térbeli helyzete az ITRS (a Nemzetközi Földi Vonatkoztatási Rendszer) alapirányaihoz viszonyítva

beli helyzetét adják meg. A helyi függőleges (a nehézségi térerősség) iránya mindenhol merőleges a földi (valódi) nehézségi erőternek a ponton átmenő szintfelületére. Ha a terepponton mért szintfelületi földrajzi koordinátákat a geoid (a tengerszint) magasságára átszámítjuk, akkor ezek a geoidi helyi függőleges (a geoidra merőleges iránynak) és ezzel magának a geoidnak az ITRS nemzetközi földi vonatkoztatási rendszer koordináta-tengelyeihez viszonyított helyzetét adják.

Hasonló gondolatsorral a 2. ábra alapján megállapíthatjuk azt is, hogy valamely pont, így az előbbi geoidi pont  $\varphi$ ,  $\lambda$  ellipszoidi földrajzi koordinátái pedig a rajta átmenő ellipszoidi normálisnak és vele együtt a rá merőleges ellipszoid felületnek a vonatkoztatási rendszer tengelyeihez viszonyított helyzetét adják meg.

Ezek után könnyű belátni, hogy valamely geoidi pontban a geoidi és az ellipszoidi normális iránykülönbsége (az ún. függővonal-elhajlás) a két felület, a geoid és az ellipszoid egymáshoz viszonyított helyzetét mutatja. Ezen alapszik a geoid meghatározásának geometriai módszere, a csillagászati szintezés. Ezzel a módszerrel valamely csillagászati-geodéziai hálózat területén a geoidfelület alakja meghatározható. Az elérhető megbízhatóság – a mérési pontosság mellett – alapvetően a csillagászati-geodéziai pontok sűrűségétől (egymástól mért távolságától) függ. Következésképpen a pontsűrűség növelésével szinte korlátlanul növelhető a geoid meghatározásának megbízhatósága. Kellő pontsűrűséggel a geoid alakjának

helyi részletei (a geoid finomszerkezete) is meghatározható. Csillagászati szintezéssel ily módon megszerkesztett *részletes, helyi geoidképet* a mesterséges holdak geodéziai észlelésével (ennek dinamikai módszerével) meghatározott *földi (globális) geoidképhez* beillesztve, már az – pl. GPS-szel meghatározott – ellipszoid feletti magasságok és a szintezéssel levezetett tengerszint (geoid) feletti magasságok megbízhatóságát jobban megközelítő pontosságú, a helyi részleteket is tartalmazó geoidkép alakítható ki. Ezzel pedig már a mesterséges holdak észlelésével meghatározott *h ellipszoid feletti magasságok* nagyobb megbízhatósággal alakíthatók át *H tengerszint feletti magasságokká*. Ebben tehát még a *XXI. században is szerepe van a csillagászati-geodéziai méréseknek*.

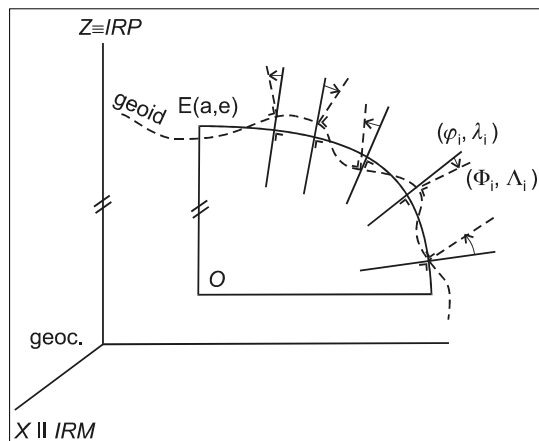
Sajnos a csillagészlelések meglehetősen idő-, munka-, így költségigényesek. A gyakorlatban ez szab határt annak, hogy milyen pontsűrűséggel fogjuk a helyi geoidképet csillagászati szintezéssel meghatározni. Ezért törekszik a mai csillagászati geodézia jól automatizálható, gyors, olcsóbb mérés technikákat kialakítani (pl. a CCD lemezre dolgozó fotografiai zenitkamara stb.).

További lehetőség a részletes geoidkép előállítási költségeinek csökkentésére a *nehézségi mérések* bevonása a feladat megoldásába. Nehézségi mérésekkel olyan jól ellátott területeken, mint Magyarország, a mesterséges holdakkal meghatározott földi (átfogó) geoidképet a helyi részletekkel viszonylag ritkább *csillagászati-geodéziai* pontok és közöttük sűrű *nehézségi* (térerősség és/vagy gradiens-) mérések eredményeinek együttes feldolgozásával egészítjük ki (Völgyesi, Tóth 2002).

Még további, igen hatékony eszköz az *N* értékek megbízhatóságának növelésére, ha a helyi geoidképek a földi rendszerbe illesztéséhez olyan GPS pontokat is felhasználunk, amelyeknek a *geoid (tengerszint) feletti magasságát* is meghatároztuk *szintezéssel*. Ezekben a pontokban, ugyanis, az *N* értékek (a 3. ábra alapján) nagy megbízhatósággal közvetlenül számíthatók, és így ezek a beillesztéshez mintegy „keretpontokként” szolgálhatnak. Így alakul ki a gyakorlatban az ún. *GPS szintezés*, amivel már lehetségessé válik, hogy kisebb megbízhatóságú (pl. III. rendű alappontszintezéseket vagy mérnöki szintezéseket) a sokkal kevésbé munkaigényes GPS technikával helyettesítsünk (Kenyeres, Borza 2000, Kenyeres et al. 2002). Ez azonban már messze nem tisztán mesterséges holdas technika, nem is csillagászati geodézia, hanem a rendelkezésre álló geometriai

és fizikai geodéziai eszközök (módszerek) célra vezető együttes felhasználása. Ily módon a *geoid minél pontosabb és részletesebb meghatározása* a XXI. századi geodéziának, ezen belül a *GPS technika napi gyakorlati alkalmazásának kulcsfeladatává vált*.

Az 1. részben megállapítottuk, hogy a mesterséges holdak geodéziai észlelésével meghatározott álláspont koordináták minden esetben a vonatkoztatási rendszer (többnyire a WGS84) *geocentrikus* elhelyezésű ellipszoid alapfelületére vonatkoznak. Ennek az a nagy előnye, hogy a földfelszín bármely pontján meghatározott geodéziai alappontok koordinátái egységes rendszert képeznek, belőlük a pontokat összekötő geodéziai vonal ívhossza és ellipszoidi azimútja közvetlenül számítható, függetlenül attól, hogy közöttük összelátás van-e, szög- és távolságmérés végezhető-e, vagy sem. Ehhez kapcsolódó további nagy előny, hogy az ezen pontokra támaszkodó további alappont-meghatározás és térképezés is ugyanebben a rendszerben végezhető. A geocentrikus elhelyezésű ellipszoidhoz kapcsolódó UTM vetületben ké-



5. ábra Az ellipszoidi normálisok adott területen való illeszkedése a geoidi normálisok közé

szült térképek az egész Földön egységes rendszert képeznek. Ennek a kis- és esetleg a közép-méretarányú térképezésben csak előnye, míg a nagyméretarányú térképezésben hátránya is van.

A geocentrikus elhelyezésű ellipszoid és a geoid függőleges távolsága ugyanis (mint már említettük) mintegy +120 és -120 m között változik a hely függvényében. Így a terepről a tengerszintre (a geoidra) átszámított mérési eredmények is a hely függvényében változó mértékben torzul-

nak, amikor úgy tekintjük őket, mintha az ellipszoid a geoid magasságában lenne.

Ezt kivédendő, azok az országok, akik nagyméretarányú felmérésekben a lehető legkisebb torzulásokra törekkenek (mint pl. a magyarországi EOV), a nemzetközi megállapodással elfogadott méretű és alakú ellipszoidot nem geocentrikus, hanem a saját felméréndő területükön a geoidhoz legjobban simuló helyzetben használják. Igaz, ezzel az is velejár, hogy így készült alaphálózataink és térképeink nemzetközi csatlakoztatása nehezebb.

Ezt a simuló helyzetet úgy érik el, hogy az ellipszoidot számítással olyan helyzetbe hozzák, amikor az ellipszoidi normálisok a szóban lévő területen a legjobban illeszkednek a geoidi normálisok közé (5. ábra). A geoidi normálisok térbeli helyzetét a csillagászati geodéziai pontok mért és a geoidra átszámított  $\Phi$ ,  $\Lambda$  szintfelületi, az ugyan-ezen pontokon átmenő ellipszoidi normálisok helyzetét  $\varphi$ ,  $\lambda$  ellipszoidi földrajzi koordinátái adják meg. Az illesztést a kétféle felületi normálisok iránykülönbsége (a függővonal-elhajlások) négyzetösszegének minimalizálásával oldják meg (ebbe bevonják a mért szintfelületi és az előzetesen számított ellipszoidi azimútokat is). Ilyen például az IUGG 1967 ellipszoidnak a magyarországi simuló elhelyezése, amit HD72 jelű rendszernek nevezünk (Ádám 1986). Ez az EOV vonatkoztatási rendszere.

*Ez a feladat, a XXI. században is, szélső pontosságú csillagászati-geodéziai mérésekkel oldható meg.*

A látható csillagok optikai észlelése helyett az IERS obszervatóriumi hálózatában fontos szerepet kapott a távoli rádióforrások (rádiócsillagok vagy QUASAR-ok) interferométeres mérése. Ezek a rádióforrások a látható csillagoknál sokkal távolabb vannak, és saját mozgásuk a nagy távolságból már nem érzékelhető. Így kiválóan alkalmasak arra, hogy egyrészt az ICRS égi vonatkoztatási rendszerünket a térben hozzájuk rögzítsük, másrészt, hogy a Föld tájékozási paramétereit, sőt az egymástól igen messze (több ezer km-re) fekvő állomások távolságát rájuk támaszkodva határozzuk meg (VLBI=Very Long Baseline Interferometry). Mindezt pedig az optikai észleléseknél több nagyságrenddel nagyobb megbízhatósággal. A módszer szélesebbkörű elterjedésének egyelőre határt szab a szükséges mérőberendezés (az ún. rádiótávcső) nagy tömege és igen magas költsége. A geodéziai gyakorlatban most még mindössze néhányszor tíz ilyen berendezés működik, na-

gyobb részük telepített obszervatóriumi körülmények között.

### 3. Összefoglalás, zárókövetkeztetések

Eddigi részletes elemzéseink alapján a következőket állapíthatjuk meg.

A mesterséges holdas helymeghatározó rendszerben végzett észleléseink (méréseink) eredményeként az álláspont ellipszoidi földrajzi koordinátáit és ellipszoid feletti magasságát kapjuk a WGS84 vonatkoztatási rendszer geocentrikus elhelyezésű (képzeltbeli) ellipszoidjához kapcsolódóan. Ezek gyakorlatilag ITRS nemzetközi földi vonatkoztatási rendszerbeli koordináták is, melyek a vonatkoztatási ellipszoid adataival együttesen, az álláspont teljes értékű, térbeli helymeghatározását adják. Segítségükkel az egyes álláspontok egymáshoz viszonyított (relatív) helyzete is (geometriai összefüggésekkel) számítható.

Az ellipszoidi földrajzi koordinátákat a napi gyakorlati felhasználáshoz az ellipszoid valamelyik síkvetületének alkalmazásával síkkoordináttá számítjuk át. Ez, nemzetközi viszonylatban többnyire az UTM transzverzális, míg Magyarországon az EOV ferdetengelyű hengervetület.

Az ellipszoid feletti magasságok, a meghatározás természeténél fogva, olyan képzeltbeli, geometriai mérőszámok, amelyek a felhasználók részére (szűk körtől eltekintve) közvetlenül nem hasznosíthatók. Ahhoz, hogy belőlük a felhasználók által igényelt valóságos, természetbeni, tengerszint (geoid) feletti magasságokat tudjunk számítani, elengedhetetlenül szükséges a geoidfelületnek legalább az ellipszoid feletti magasságok megbízhatóságának megfelelő pontosságú meghatározása. Így, a nagy-megbízhatóságú geoidmeghatározás (az ún. „centiméter”, vagy „centiméter alatti” geoid előállítás) a XXI. századi geodézia (és benne a mesterséges holdas módszerek) egyik alapvető fontosságú gyakorlati feladatává vált. Megoldásához, a mesterséges holdak geodéziai észlelésén túl, más geodéziai módszerek (csillagészlelések, gravimetria, szintezések stb.) felhasználása is szükséges.

Megfelelően kialakított (az egész Földet viszonylag jól beborító) hálózatban hosszabb időn át végzett, jól szervezett, mesterséges hold észlelések eredményeiből földmodellek határozhatók meg. Ezek a megfigyelő állomáshálózat pontjainak nagy-megbízhatóságú koordinátái mellett a földi nehézségi erőter jellemzőinek nagyszámú értéksozárát tartalmazzák. Belőlük néhánynak a felhasz-

nálásával lehet a természetet megközelítő geodéziai vonatkoztatási rendszer (*alaphelület és normál nehézségi erőtér*) jellemzőit meghatározni.

Hasonló módon szervezett rendszeres obszervatórium észlelésekből meghatározhatók a Föld térbeli tájékozását jellemző mérőszámok (a *földforgás paraméterek*).

A **csillagászati-geodéziai mérések** eredményeiből az álláspont geoidi megfelelőjében a helyi függőleges (*a geoidi felületi normális*) térbeli irányát határozzuk meg az *ITRS* nemzetközi földi vonatkoztatási rendszer alapirányaihoz viszonyítva (*szintfelületi földrajzi koordináták*). Így, egy egyenesnek a térbeli helyzetét kapjuk, amely átmegegy a meghatározandó pontunkon. A teljes térbeli helymeghatározáshoz ismerni kellene a geoidi pontunk *potenciálértékét* is, amit azonban a kellő megbízhatósággal nem tudunk meghatározni. Ezért a csillagészlelések gyakorlatilag *nem nyújtanak teljes, térbeli helymeghatározást*. Mivel a szintfelületek (köztük a geoid is) bonyolult alakú felületek, a csillagészlelésekből meghatározott szintfelületi koordinátákból a *pontok egymáshoz viszonyított távolságát, irányát gyakorlatilag nem tudjuk meghatározni*.

Csillagészleléssel és további kiegészítő adatokkal meg tudjuk határozni valamely földi iránynak az *ITRS* földi vonatkoztatási rendszer pólusirányával bezárt vízszintes szögét (*szintfelületi azimúttját*).

A csillagészlelések említett eredményei lehetővé teszik a *geoidfelület alakjának* az ellipszoidhoz viszonyított, *elvileg tetszőleges részletességű és pontosságú meghatározását*. Ily módon hozzásegítenek ahhoz, hogy a mesterséges holdak észleléséből meghatározott ellipszoid feletti magasságokat a felhasználói igényeket kielégítő geoid feletti magasságokká lehessen átszámítani. Mivel e célra más eszközeink (pl. gravimetria, gradiometria, szintezés) is vannak, további vizsgálatokkal kell meghatározni, hogy különböző terepviszonyok között, a kívánt megbízhatóságú és részletességű geoidkép (a geoid finomszerkezete) milyen pontsűrűségű csillagászati, gravimetriai, gradiometriai mérésekkel és szintezésekkel határozható meg leggazdaságosabban. Ezek a különböző fajtájú mérések egymás kiegészítésére, de átfedéssel egymás ellenőrzésére is szolgálnak. Különösen ez utóbbi szempontból nagy a csillagászati-geodéziai mérések jelentősége, ugyanis ez az említett többi módszertől *teljesen független, és nem terheli semmilyen átszámítási (redukciós) modell bizonytalansága* (mint pl. a nehézségi rendellenességé-

ket). A *geoidmeghatározás, tehát a csillagászati-geodéziai méréseknek a legfontosabb XXI. századi alkalmazása*.

Másik fontos alkalmazási területük a lehető legkisebb torzulású nagy-méretarányú felmérések és térképezések (nemzeti) geodéziai alaphálózata alaphelületének *helyi, simuló elhelyezése a geoidhoz*.

A csillagászati-geodéziai módszerek legutóbb kifejlesztett ága, a távoli rádióforrások (*rádiócsillagok*) *interferométeres észlelése* minden eddigénél több nagyságrenddel nagyobb megbízhatóságú irány- és pontok közötti távolság-meghatározást tesz lehetővé. Ezt egyelőre az égi és a földi vonatkoztatási rendszer térbeli (a csillagokhoz kötődő) tájékozására, valamint táblamozgások meghatározására használja a geodézia (*VLBI*).

*A szerző itt mond köszönetet az OTKA T 043007 és a T 046718 sz. témapályázat keretében kapott támogatásért.*

#### IRODALOM

*Ádám J.*: A kozmikus geodézia koordináta-rendszerei. Geodézia és Kartográfia 38., 84–92, (1986)

*Biró P.*: Kozmikus geodéziai alapfogalmaink újragondolása. Geomatika közlemények V. 7–24, (2002)

*Biró P.*: Kozmikus geodézia. I. rész: Csillagászati alapismeretek és földrajzi helymeghatározás. Elektronikus jegyzet <http://www.agt.bme.hu/tananyag/kozmosz-geodezia/kozmosz-geod-jegyz.doc> (2003)

*Kenyeres A.–Csizmadia M.–Horváth J.–Kisasszonyi F.*: A GPS-szel végzett EOMA III. rendű hálózatsűrítés tapasztalatai. Geomatika közlemények V. 285–293, (2002)

*Kenyeres A.–Borza T.*: Technológia-fejlesztés a III. rendű szintezés GPS technikával történő kiváltására. Geodézia és Kartográfia 52, 1 (8–14), (2000)

*Völgyesi L.–Tóth Gy.*: Az Eötvös-inga mérések jelentősége és geodéziai alkalmazásuk. Geodézia és Kartográfia 54, 10 (28–33), (2002)

#### The role of geodetic astronomy in the 21st century

*Prof. P. Biró*  
*Summary*

Satellite such as GPS observations result in geodetic co-ordinates of the stations. Geodetic latitudes and longitudes can be practically used, but



heights above the reference ellipsoid must be converted to height above the sea level i.e. above the geoid. For this purpose, a very detailed and precise determination of the geoid surface is needed. Geodetic astronomy is one of the most precise tools to solve this task. (The best result can be achieved by the combination of geodetic astrono-

my, gravimetry, gradiometry and geodetic leveling.)

On the other side geodetic astronomy is the exclusive tool to find a local best fitting orientation of the reference ellipsoid to the geoid for large-scale mapping (if it is needed).

## Látogatás az MFTTT elnökénél

Dr. Joó István, egyetemi tanár

Az MFTTT (Magyar Földmérési, Térképészeti és Távérzékelési Társaság, továbbiakban Társaság) életében fontos szerepet tölt be a négyévenkénti tisztújító közgyűlés. A legutóbbira 2003. május 15-én került sor. Ez a közgyűlés elismerte/elfogadta az addigi



vezetés munkáját, és megválasztotta az új tisztségviselőket. Ezzel biztosította a Társaság szakmai, társadalmi tevékenységének folyamatosságát.

A közgyűléssel összefüggésben – a jogelőd Geodéziai és Kartográfiai

Egyesület (GKE)→ MFTTT folyamatoságának biztosítása mellett – az is figyelmet érdemel, hogy az új tisztségviselők megválasztása eredményeképpen lényegesen megváltozott a tisztségviselők összetétele.

Ha csupán a legfőbb tisztségeket vesszük számba, akkor is határozottan tekinthető ez a változás, hiszen

- új elnököt és új alelnököt választott a közgyűlés,
- a két főtítkárhelyettes posztra is új kollégák kerültek,
- szinte teljesen megújult a választott hat fős Intéző Bizottság, amely pedig a Társaság életének meghatározó operatív testülete,
- frissítések történtek a többi egységben, szakosztályban is, végül
- az országos választmány közvetlenül válasz-

tott tíz tagjából kettőt választottak újra, és ezen belül a választmány 50 százaléka a földhivatali kollégákat képviseli (nem szabad elfelejteni, hogy közelítőleg ugyanilyen arányú a tagságban is a földhivataloknál dolgozó kollégák száma).

A múlt évi tisztújítás, az ennek eredményeként történt változások, ezen kívül az új elnök megválasztásának ténye arra sarkallt bennünket, hogy megkeressük az MFTTT új elnökét, Apagyi Géza okleveles mérnököt. A beszélgetés során tájékozódni szeretnénk a megújult Társaság működésének eddigi tapasztalatairól, a továbbfejlesztést célzó elképzelésekről, továbbá egyes, a Társaságot érintő kérdésekről.

Mielőtt azonban hozzáfognánk a téma boncolgatásához, a magunk és a szakterület többi munkatársának nevében is megelégedettségünknek szeretnénk hangot adni abból az alkalomból, hogy a földművelésügyi és vidékfejlesztési miniszter végül is határozatlan időre kinevezte Apagyi Gézát az FVM Földügyi és Térképészeti Főosztály (FVM FTF) vezetőjévé. Reméljük, ezzel lezárult a hosszú idő óta tartó bizonytalan helyzet (a megbízotti, illetve helyettesítési státuszokkal összefüggésben). Erre tekintettel, gratulálunk Apagyi Gézának a főosztályvezetői kinevezéshez, és bízunk abban, hogy ez az egyértelmű vezetői megbízatás hasznára lesz nemcsak az agrárágazat felső vezetésének, hanem az FVM FTF most már kinevezett vezetője határozottabban tudja képviselni a földügyi szakigazgatás érdekeit és biztosítani a feladatairányos forrásokat.

Visszatérve látogatásunk eredeti céljára, előbb szeretnénk röviden ismertetni Apagyi Géza megválasztott MFTTT elnök (egyúttal kinevezett FTF vezető) eddigi szakmai életútját, majd pedig rátérnénk a tervezett kérdésekre.

\*