



résben alkalmazott távolságadat Alexandria és Asszuán között, akkor az expedíció által hagyományosan mért délkör hossza 39 534, illetve 37 275 km. A relatív eltérés a ma elfogadott értéktől $-1,2$ illetve $-6,8\%$ — kissé rosszabb, mint Erathoszenész eredménye. *Ponori Theureux Auréli* a gyengébb eredmény egyik okát a függő szeles idő miatti bizonytalanabb beállításával magyarázza [1]. Természetesen az is belejátszik az eltérő eredménybe, hogy az erathoszenészi mérések helyét nem sikerült kellő pontossággal azonosítani, így az expedíció mérési helyszíne Alexandriában és Asszuánban attól $0,5-1'$ -cel is eltérhetett, E—D irányban.

Ez utóbbi tényező is alátámasztotta azt az igényt, hogy a Nap-magasságmérések helyét Doppler-technikával meghatározzák, és ennek alapján értékeljék a méréseket. A Doppler-mérések ugyanis nemcsak a két mérőhely szélességkülönbségére, hanem hosszúságkülönbségére, illetve távolságára is megbízható adatokat szolgáltatnak.

A Földmérési és Távérzékelési Intézet Kozmikus Geodéziai Observatóriuma díjmentesen rendelkezésre bocsátotta egyik JMRIA típusú Doppler-vevőjét, és ezzel támogatta az expedíció sikerét. A mérések közül négy helyszín érdemel említést, melyek közül kettő kapcsolódott az erathoszenészi mérések megismétléséhez.

A Doppler-mérések során az expedíciók körülményei miatt, nem lehetett szélső pontosságra törekedni a helymeghatározásban, de nem is volt rá szükség. Egy helyszínen gyakran csak néhány óra állt rendelkezésre és a mérési körülmények is távol álltak a megfelelőitől. Ugyanakkor, az így is elérhető, néhányszor 10 m-es pontosság a pontok geocentrikus koordinátaiban teljesen megfelel a célnak.

A nyers mérési adatokat a hazatért követően a pécsi Kozmikus Geodéziai Observatóriumban értékelték ki.

Asszuánban a Doppler-mérés pontosan a Nap-magasságmérés helyén történt. A majdnem húszórás megfigyelés a körülményekhez képest jó eredményeket hozott. A helyszín azonban nem volt ideális, mert

egy közeli épület leárnyékolta a műholdátvonulások északi részét. Az észlelt 13 vonulásból 9-et azonban így is hasznosítani lehetett. A pontmeghatározás becslött hibája ± 33 m.

Alexandriában a Doppler-mérés még ennél is mostohább körülmények között történt, egy autóbusz belsőjében. Az autóbusz kb. 500 m-re nyugatra állt a Nap-magasságmérés helyszínétől. Az észak—déli eltérés azonban kevesebb volt, mint 50 m. 5 átvonulásból csak 2-t sikerült kiértékelni, és ezért a pontmeghatározás hibája itt volt a legnagyobb, ± 87 m.

A Doppler-mérésekből az alábbi következtetések adódnak az erathoszenészi mérés ismétlésére vonatkozóan:

Egyedül Doppler-mérésből számolva, a Föld mérete: Alexandria és Asszuán közötti húr hossza $840,3 \pm 0,1$ km, geocentrikus szögtávolságuk $7^\circ 35' 1'' \pm 3''$. Ebből, gömbalakot feltételezve, a Föld sugara $6353,4$ km, és a délkör hossza $39\,920$ km. A relatív eltérés a ma elfogadott értéktől $-0,3\%$.

A Doppler- és Nap-magasságadatok összehasonlítása: A szélességkülönbség Alexandria és Asszuán között Doppler-mérésből $7^\circ 06' 21''$, ami $7,4'$ -cel kevesebb a Nap-magasságmérés által kapott értéknél. Ez utóbbi relatív hibája tehát $+1,7\%$. A Doppler-mérésből Alexandria és Asszuán szélességkülönbségéhez tartozó gömbi távolság, vagyis az a távolság, amire a Nap-magasságmérések vonatkoznak, $787,9$ km. Az Erathoszenész által használt 5000 sztidion $787,5$ km, illetve $742,5$ km, a valóságoshoz meglepően közeli értékek. A Doppler-mérésből nyert távolságra alapozva az expedíció Nap-magasságmérését, a Föld délkörének hosszára, gömbalakot feltételezve, $39\,241$ km-t kapunk.

Doppler-mérés segítségével egy másik érdekes kérdésre is választ kaphatott az expedíció: Milyen távol helyezkedik el a Kheopsz-piramis a 30° szélességi körtől? Sokan vitatják pro és kontra, hogy az ó-birodalom e hatalmas alkotását szándékosan építették-e a 30° szélességi körre. A vitát ugyan az expedíció nem tudta eldönteni, de tény, hogy a piramis majdnem pontosan ezen a kitüntetett helyen fekszik.

A Doppler-mérés a piramis délkeleti sarkán történt, több mint 8 óran keresztül. A 6 műholdátvonulásból meghatározott koordináták becslött hibája ± 69 m. A piramis geometriai méreteit tekintetbe véve, csúcának ellipszoidi szélessége $29^\circ 58' 45'' \pm 2''$, tehát mindössze $1,25'$ -cel helyezkedik el délebbre a 30° szélességi körtől. Ha ezt szándékosan és optikai mérések alapján tervezték, bámulatba ejtő a pontosságuk, különösen, ha meggondoljuk, hogy a refrakció hatását az ó-egyiptomiak nem ismerték, ezt figyelembe véve, az eltérés még a fenti adatnál is csekélyebb.

Doppleres helymeghatározásokat az expedíció eredetileg csak Asszuánban, Alexandriában és a piramisok közelében tervezték, de meg kell említeni egy váratlanul adódott alkalmat is, ami időben szerencsére megelőzte a tervezett méréseket. Amikor Thébanban, a Nílus nyugati partján, az expedíció felkereste *Kákosy László* professzor évek óta vezetett ókoris-feltárási munkálatait, elhatározták, hogy a kéznél levő műholdas technikával meghatározzák a pozícióját. A feltárási földrajzi koordinátái ugyanis meglehetősen pontosan, és egy ellenőrzést, esetleg pontosítást szívesen fogadtak a magyar régészkollegák.

A fáraók híres temetkezési helyére való megérkezés másnapján tehát felállították a Doppler-vevőt és antennáját *II. Ramszesz* királyi írónakán, *Dzsehu-timesz*nek a sírjánál. Itt azonban váratlan műszaki probléma adódott: a vevő nem akarta rögzíteni a mérési adatokat mágneskazettára. Ez a hiba a teljes mérési program veszélyeztette. Hála *Csikó György*, a régészcsoporthoz tagja makacsságának és segítségének, néhány óras izzasztó hibakeresés után sikerült megtalálni a jelenség okát és elhárítani. Kiderült, hogy az alkalmazott mágneskazetta túlzottan áttetszős a JMR fényérzékelőnek, és a vevő úgy viselkedett, mintha nem lett volna benne szalag. Ha a mérési szalagot a tervezettnél megfelelően indul, alighanem üres adatkazettákkal kellett volna visszatérni Magyarországra, mert a körülmények később nem tették lehetővé az alapos hibakeresést.

Végül is 11 óra alatt hét műholdátvonulást sikerült rögzíteni, amelyek igen jó eredményt adtak, ± 12 m-es becslült hibával. Mindenesetre a thébai nekropolisz történetében most először határozták meg egy sír pozícióját műholdak segítségével.

A Doppler-mérési eredmények az 1. táblázatban vannak összefoglalva. A táblázat 1., 2., 3. számmal jelzett oszlopai az antenna helyének X-, Y-, Z-koordinátáit adják, méter egységben. A 4., 5. és 6. oszlopok

a Föld alakját jól megközelítő (WGS 72 rendszerű) ellipszoidi szélesség-, hosszúság- és magasságadatokat tüntetik fel. A 7. oszlop a megfigyelt és rögzített műholdátvonulások számát, a 8. oszlop a számítás során felhasznált műholdátvonulások számát adja. Végül a 9. oszlopban a pozíciómeghatározás valószínű hibája van feltüntetve. A négy egyiptomi helyszín mellett, összehasonlításképp, a pénci Doppler-referenciapont koordinátáit is feltüntettük [3].

I. táblázat

EGYIPTOM '88 EXPEDÍCIÓ: Helymeghatározás Doppler-mérésekkel

Doppler-vevő: JMR-1A SN76166

Észlelők: dr. Fejes István, dr. Horváth András, Hudoba György

	1. Derékszögű koordináták			2. Ellipszoidi koordináták			3. Műh.-átv. sz.		4. Becsült hiba
	X	Y	Z	szél.	hossz.	mag.	észl.	elf.	
THEBA	4 842 887,2	3 098 654,8	2 752 420,1	25°43'56,1"	32°36'45,3"	116,3 m	7	7	± 12 m
ASSZUAN	4 891 097,0	3 164 402,1	2 588 592,6	24°06'05,1"	32°54'06,2"	128 m	13	9	± 33 m
ALEXANDRIA	4 733 024,0	2 722 379,9	3 285 563,6	31°12'26,1"	29°54'25,2"	-4,5 m	5	2	± 87 m
KHEOPS	4 733 062,2	2 859 033,8	3 168 332,9	29°58'41,5"	31°08'03,5"	104,3 m	8	6	± 69 m
PENC	4 052 450,5	1 417 643,1	4 701 411,2	47°47'23,0"	19°16'50,8"	297 m	—	—	$\pm 2,1$ m

A hibaadatokból láthatjuk, hogy a mérés pontossága a legrosszabb esetben is jobb mint 3 ívmásodperc, a legkedvezőbb esetben jobb, mint 0,5 ívmásodperc. A Napra végzett magasságmérések hibái ezeknek több mint százszorosa. Ezért a „legpontatlanabb” Doppler-mérés is még messzemenően megfelelt a kitűzött célra. Geodéziai célú Doppler-mérésnél, terepi körülmények között és hosszabb (3–5 napos) megfigyeléssel, 0,1 ívmásodperces abszolút helymeghatározási pontosság érhető el.

Természetesen az út során lehetőség nyílt a Doppler-méréstechnika propagálására, reklámozására is. A KGO-ban készített információs anyagokat, illetve szórólapokat az expedíció eljuttatta többek között az asszuáni egyetemre, a thébai műemlék-felügyelőségre,

a heluáni obszervatóriumba és a kairói magyar kereskedelmi kirendeltségre.

Dr. Fejes István

I R O D A L O M :

1. Ponori Thewrewk A.: Csillagászati Expedíció Egyiptomban. = Tudomány, 1988/6.
2. Schwarz, K. P.: Zur Erdmessung des Eratosthenes. = Allg. Verm.-Nachr., 1975/1.
3. Ádám J.: A magyar Doppler-hálózatok összehasonlító vizsgálatának néhány eredménye. 8. Kozmikus Geodéziai Szeminárium, Budapest, 1987. november 10.