

ILLÉS ERZSÉBET /MTA Csillagvizsg. Int./

A FELSŐLÉGKÖR SÜRÜSÉGÉNEK 27 NAPOS VÁLTOZÁSA 1971  
ŐSZÉN 22 MESTERSÉGES HOLD FÉKEZŐDÉSE ALAPJÁN

Bevezetés

Mesterséges holdak pályaváltozásának analizise révén ismertük meg Földünk semleges felsőlégkörének viselkedését. Bár az utóbbi időben egy-egy hold fedélzetén elhelyezett műszerek in situ mérései egyre nagyobb számban állnak rendelkezésre, a pályaanalízis - mint légsűrűségmeghatározó módszer - még mindig nem veszítette el jelentőségét. Párhuzamosan több magasságban és irányban, valamint időben tartósan követni a légsűrűség változásait ugyanis csak egyidőben több, különböző pályán keringő hold segítségével lehetne - ezt pedig anyagi okok miatt az in situ mérések még hosszú ideig nem tudják biztosítani. A "pályaszugorodási" /orbital decay/ módszerhez viszont minden megfigyelhető, a légkörben mozgó objektum felhasználható, legyen az műszeres hold, rakétatest vagy akár egy repeszdarab. Ilyen műholdmegfigyelés a földről folyamatosan végrehajtható akár optikai, akár rádiós technikával.

A pályaszugorodási módszerrel vizsgálható jelenségek köre nyilván függ az időfelbontástól, vagyis attól, hogy a megfigyeléseket egy-egy pályaelemrendszer meghatározásához mekkora időintervallumból gyűjtötték össze. A klasszikus módszer valamennyi pályaelemet egyidejűleg kívánja meghatározni, és ezért egy pályaelemrendszer levezetéséhez általában egy-két hetes, de legjobb esetben is 3-4 napos észlelési anyag szükséges. Ilyen módszerrel készülnek például az előrejelző központok által adott pályaelemek /SAO [1], SLOUGH [2], NORAD [3], COSMOS [4]/, melyek alapján 1-2 napos karakterisztikus idejű változások nyilván nem vizsgálhatók speciális módszerek nélkül, de ugyanezek a pályaelemrendszerek értékes információkat rejtenek magukban például a 27 napos ciklusra vonatkozó-

an. Minthogy a légellenállás hatására legnagyobb mértékben a pálya félnagytengelye, vagyis a keringés periódusa változik, légsűrűség meghatározás céljára elég a P keringési periódus változását nyomonkövetni. Ehhez speciális, csak a P-t meghatározó programokat /pl. PERLO program [5]/ használhatunk, melyekkel az időfelbontás növelhető, és finomabb változások elemzésére nyílik lehetőség.

### Megfigyelési anyag

Jelen dolgozat célja a naptevékenységtől függő 27 napos ciklikusság vizsgálata 1971 őszén 22 hold anomalisztikus keringési periódusának megfigyelt változása / P / alapján. A 22 hold közül 3-ra /Poljot 1, Explorer 19, Explorer 39/ rendelkezésre állt az Asztroszovjet AFU kameráival készített mintegy 1000 fotografikus felvétel, továbbá 30 európai és ázsiai megfigyelő állomás, mintegy 4000 vizuális megfigyelése [6], de felhasználtuk a különböző számítóközpontok által közölt pályaelemeket is: [1], [2], [3] és [4]. Ezen anyag időfelbontása átlag 2 nap. A többi 19 holdra a NORAD hálózat megfigyeléseiből meghatározott és a GSFC által közölt periódusértékeket használtuk fel [3], melyek időfelbontása 5-6-szor gyengébb. A felhasznált holdak adatait a táblázat tartalmazza.

COSPAR szám	Név	Alak	Tömeg kg	Méret m	$h_{ref}$ km	$i$ fok
63053A	Explorer 19	gömb	7	3.65	1060	78
68066A	Explorer 39	gömb	9.3	3.66	750	80
65082A	Transtage 6	henger	1500	6 3	580	32
69025B	OV1 - 18	henger	125	1.40 0.69	440	99
67073A	OGO 4	doboz	552	1.73 0.84 0.84	410	86
67072A	OV1 - 86	?	118	1.40 0.69	395	101
68006B	Cosmos 200 r	henger	1500 ?	6 2	? 385	74
70016B	Capsule	octogon	60 ?	0.3 0.9	? 370	88
63043A	Poljot 1		600	2 1	362	59
70017A	DIAL/WIKA	octogon	63	1.01 0.63	330	5
70017B	DIAL r MIKA	henger	120	2.60 0.80	325	5
71018B	China 2 r	henger	?		? 300	70
71044A	Cosmos 421	ellipsz.	400 ?	1.8 1.2	? 295	71
71002A	Cosmos 391	ellipsz.	400 ?	1.8 1.2	? 280	71
70073A	Cosmos 362	ellipsz.	400 ?	1.8 1.2	? 260	71
70097A	Cosmos 378	ellipsz.?	400 ?	1.8 1.5	? 255	74
70097B	Cosmos 378 r	henger	1500 ?	6 2	? 255	74
63031B	Syncom 2	henger	24	1.5 0.46	250	33
69018C	LEM 3	doboz	tele4450 üres2300	2.52 3.76 3.13	248	29
66110B	ATS 1	henger	700	6 1.5	220	31
65108A	Transtage 7	henger	2000?	10 3	? 200	26
70099A	Cosmos 379	?	?		? 180	51

### A feldolgozás módszere

A  $\dot{P}$  mért fékeződésértékekből egy adott időpontra a  $\mathcal{S}$  mért sűrűségértékeket King-Hele ismert képleteivel számoltuk ki [7], melyek szerint  $z^* > 3$  esetén  $H^*/2$ -vel a perigeum felett a sűrűség

$$S_A = - \frac{0.590 \dot{P}}{8\sqrt{a} H^{\#}} \left\{ F /e/ + 0.266 \frac{\varepsilon}{\sqrt{e}} \sin^2 i \cos 2\omega \right\}$$

ahol:  $0.02 < e < 0.2$  esetén az

$$F/e/ = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{2e}{\mathcal{J}}} \left\{ 1 - 2e + \frac{5e^2}{2} - 3e^3 - \frac{H}{8ae} /1 - 10e + \frac{7H}{16ae}/ \right\}$$

és  $e > 0.2$  esetén az

$$F/e/ = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{2e}{\mathcal{J}}} \left[ \frac{/1-e/^{1/2}}{/1+e/^{3/2}} \left\{ 1 + \frac{H}{8 r_p} \frac{/8e-3e^2-1/}{e/1+e/} \right\} \right]$$

és  $z^{\#} < 3$  esetén  $\lambda H^{\#}$ -gal a perigeum felett a sűrűség

$$S_{\lambda} = - \frac{\Phi \dot{P}}{3\mathcal{J} a \delta} \frac{\exp/c \cos 2\omega/ + o/0.01, e^2, 1/4c^2/}{1 + \frac{2eI_1/z^{\#}/}{I_0/z^{\#}/} + \frac{c I_2/z^{\#}/}{I_0/z^{\#}/} \cos 2\omega}$$

ahol a mérés időpontjában a mesterséges hold adataira /S hatás-keresztmetszet, m tömeg/, a hold pályáját jellemző adatokra /a félnagy tengely, e excentricitás, i inklináció,  $\omega$  perigeum-hossz/, és a légkör jellemzőire /H skálamagasság,  $H^{\#}$  ennek legjobb becslése,  $\varepsilon$  a légkör ellipticitása/ van szükség, és ahol  $\Phi/z^{\#}/$  empirikus függvény,  $I_n/z^{\#}/$  Bessel függvény,  $r_p$  a perigeum rádiusza,  $v_p$  a hold sebessége perigeumban,

$$z^{\#} = \frac{ae}{H^{\#}}, \quad \delta = F \frac{S}{m} C_D, \quad F = /1 - \frac{r_p^w}{v_p} \cos i/2$$

$$C_D = \text{konst}, \quad c = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon}{H} r_p \sin^2 i, \quad \text{és } \lambda = \begin{cases} z^{\#} - \frac{1}{2} z^{\#2}, & \text{ha } 0 \leq z^{\#} \leq 1 \\ \frac{1}{2}, & \text{ha } z^{\#} > 1 \end{cases}$$

A naponta beinterpolált periódusértékekből számolt  $\mathcal{S}$  mért sűrűségértékekhez meghatároztuk a Jacchia-71 modellből [8] a megfelelő  $\mathcal{S}_{J-71}$  értékeket, végigkövetve a modellszámolással naponta a hold perigeumhelyzetének vándorlását az egész feldolgozási intervallumban. A számolások elvégzésére elkészítettük a KFKI ICT-1905-ös számítógépére a KING HELE nevű Algol programot.

Ha a Jacchia-71 modell jól írná le a légkör sűrűség-változását, akkor nyilván az

$$f = \frac{\mathcal{S}_{\text{mért}}}{\mathcal{S}_{J-71}} \approx 1$$

Sok esetben azonban a holdak hatáskeresztmetszetét és tömegét nem ismerjük kellő pontossággal. Ezért jelen vizsgálatnál a mért sűrűségek átlagértékének a modelltől való eltéréséből nem vontunk le semmi következtetést a modellre vonatkozóan, hanem a holdak hatáskeresztmetszetét úgy változtattuk, hogy átlagértékben a mért sűrűség a modellel egyezzen meg. Ezután az ilyen módon korrigált hatáskeresztmetszettel újra számolt  $\mathcal{S}_{\text{mért}}$  értékekből levontunk egy olyan modell-értéket, amely az

$|\overline{S_{10.7}} - \overline{S_{10.7}}|$ -től függő korrekció kivételével valamennyi is-

mert hatást figyelembe vette az exoszferikus hőmérséklet kiszámításánál.  $\overline{S_{10.7}}$  a Nap rádiósugárzásának intenzitása 10.7 cm-en. A különbségértékek, mint az idő függvényei tehát ezt az effektust mutatják, amelynek az időbeli periodicitása általában 27 nap. A maradékgörbéken 5 napos csuszóközepelést alkalmaztunk, hogy a különböző időfelbontású görbéket homogenizáljuk.

#### A 27 napos effektus vizsgálata

Valamennyi holdnál 5 napos csatlakozó időintervallumonként megkerestük a simított maradékgörbék maximumait. Az

1. ábra alsó része a 22 görbén talált összes maximum előfordulási gyakoriságának hisztogramja. Véletlenszerű eloszlás esetén megállapítható, hogy egy-egy intervallumban maximum fellépésének várható értéke 28% körül van /folytonos vízszintes vonal/, kb. 7%-os szórással. A hisztogram valamennyi maximuma tehát 99.9%-os szignifikancia szinten reálisnak tekinthető. Ezek a feltűnő maximumok a 27 napos periodicitást mutatják annak ellenére, hogy az 1. ábra felső részén folytonos vonallal bemutatott - a modellekben a naptevékenység indexeként használt -  $S_{10.7}$  görbe 27 napos ciklikussága ebben az időszakban erősen zavart. Szemléltetés céljából a felső görbén szaggatott vonallal  $n \cdot 27$  nap eltolással / $n = \pm 1, \pm 2$ / megisméltük az augusztusi pregnáns maximumot; a hisztogram maximumainak időbeli egybeesése az  $S_{10.7}$  görbe ezen "hiányzó" maximumaival tehát reális effektusnak tekinthető. Más szavakkal kifejezve: ebben az időszakban a Nap 10.7 cm-es rádiósugárzása nem tekinthető a geoaktív naptevékenység megfelelő indexének.

Hasonló jelenséget egy másik időszakra vonatkozóan már korábban is publikáltunk [9] egyetlen hold 4 hónapos észleléseinek PERLO feldolgozása alapján /lásd 2. ábra, amelyen az elrendezés hasonló az 1. ábrához, csak középen maga az észlelt sűrűséggörbe, alul pedig az észlelt periódusgörbe látható/.

Ezt a jelenséget egyébként a szakirodalom többször említi, de a megbízhatóan feldolgozott esetek száma kicsi. Jacchia megállapítja [10], hogy "néha a korreláció a 2800 MHz-es napfluxus és az EUV intenzitás között gyenge, és ez a defektus tükröződik a megfigyelt, illetve a modellből számított sűrűségek közötti eltérésekben. Példának említhető, hogy 1962 májusában a 2800 MHz-es fluxus oszcillációi több élénk 27 napos ciklus után szinte elhaltak, miközben több prominens EUV vonal intenzitása folyamatosan mutatta azokat a nagy oszcillációkat, amelyek a megelőző 27 napos ciklusokban is jelent-

keztek [11]; a légsűrűség az EUV vonalak menetét követte. A tapasztalat azt mutatta, hogy a 2800 MHz-es fluxus ilyen defektusai viszonylag ritkák, és nem terjednek ki több, mint egyetlen 27 napos ciklusra."

Az 1. ábrán bemutatottak alapján úgy tűnik, hogy ebben az esetben legalább két ciklusról bizonyítható az  $S_{10.7}$  index alkalmatlansága a felsőlégtörési modellekben az észlelt közepes időskálájú sűrűségváltozások leírására.

### Irodalomjegyzék

- [1] Modified Orbital Elements, Smithsonian Astrophysical Observatory, Cambridge, Massachusetts
- [2] Orbital Elements of S.R.C. Radio and Space Research Station Slough
- [3] Current Gear Ratio Elements Derived by NASA GSFC from NORAD Data
- [4] COSMOS központtól kapott pályaelemek /Moszkva/
- [5] A. Horváth, E. Illés-Almár: The "PERLO" Orbital Period Determination Program. Nabl. ISZZ No 9. 277-283. old.  
A. Horváth, E. Illés-Almár: Vlijányie Geomagnitnoj Buri 1972-ovo g. na dvizsenyije szputnyikov-ballonov 1963-53A i 1968-66A. Nabl. ISZZ No 14. 417-425. old.
- [6] E. Illés-Almár: Izminyenyie perioda trjoh szputnyikov v 1971. g., opregyeljonnoe iz nabljugyenyij po programme "ATMOSZFERA". Nabl. ISZZ No 14. 427-437. old.
- [7] King-Hele: Theory of Satellite Orbits in an Atmosphere. Butterworths. 1964.
- [8] L.G. Jacchia: Revised Static Models of the Thermosphere and Exosphere with Empirical Temperature Profiles. SAO Spec. Rep. 332. 1971.

- [9] I. Almár, A. Horváth, E. Illés-Almár: Analysis of the Atmospheric Drag of the Echo-1 Satellite Using the PER-LO Orbital Period Determination Program. Dynamics of Satellites 1969. 244-248. old. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
- [10] L.G. Jacchia: A Search for Lunar Tides in the Thermosphere. JGR Vol. 80. No 10. 1374. old. 1975.
- [11] W.M. Neupert, W.E. Behring and J.C. Lindsay: The Solar Spectrum from 50 A to 400 A. Space Res. IV. 719-724.