

A FÖLD FELSŐ LÉGKÖRÉNEK VIZSGÁLATA
MESTERSÉGES HOLDAK ÉLETTARTAMA ALAPJÁN

EGYETEMI DOKTORI ÉRTEKEZÉS

IRTA: BOTH ELŐD

TARTALOMJEGYZÉK

	oldal
1. Bevezetés	2
2. A Föld felső légköre	4
2.1. A légkört jellemző paraméterek	4
2.2. A légkört jellemző paraméterek változása	8
2.2.1. Térbeli változás	8
2.2.2. Időbeli változás	9
2.3. A CIRA-72 légköri modell	13
3. Mesterséges holdak élettartamának meghatározása	16
3.1. A felsőlégkör perturbáló hatása	16
3.2. A pályaelemek változása a légköri perturbációk hatására	18
3.3. Az élettartam meghatározásának módszerei	24
3.3.2. Numerikus integrálásos módszer	27
3.3.3. Műholdak fékeződésén alapuló módszer	28
3.4. Az élettartam függése a pályaelemektől és a légköri paraméterektől	32
3.5. A kapott eredmények összehasonlítása a megfigyelésekkel	44
4. Felsőléggöri hatások kimutatása a mesterséges holdak élettartamában	51
4.1. A felhasznált adatok és számítási módszerek	54
4.2. A 11 éves változás	54
4.3. A féléves változás	60
4.4. A 27 napos változás	69
5. Összefoglalás	77
6. Köszönetnyilvánítás	80
7. Irodalom	81

1. Bevezetés

A Kepler-pályán keringő mesterséges égitest végtelen ideig változatlan pályán maradna. A Föld környezetében fellépő gravitációs, légköri és egyéb perturbáló erők miatt azonban a pályaelemek változnak, csak az egyes időpillanatokhoz tartozó oszkuláló pályák tekinthetők Kepler-pályáknak. A pályaelemek változása, elsősorban a légköri közegellenállás hatására fellépő szekuláris perturbációk miatt az élettartam véges hosszúságú lesz. A közegellenállási erő fékező hatása még 1000 . . . 2000 km magasságban keringő holdak esetén is jól kimutatható.

A mesterséges holdak élettartamának tanulmányozása két szempontból fontos. Egyrészt a már megsemmisült holdak élettartamának elemzése új információkat nyújt a légköri eredetű perturbációkról. Ezek alapján lehetővé válik az eddigiekben alkalmazott élettartam meghatározó módszerek finomítása. Másrészt az aktív, kutatási feladatokat ellátó műholdak esetében fontos a pályát úgy megválasztani, hogy az élettartam hosszabb legyen a feladat elvégzéséhez szükséges időnél. Ehhez a várható élettartam minél pontosabb ismeretére van szükség.

Ennek megfelelően dolgozatomban elsősorban a légköri perturbációknak az élettartamra gyakorolt hatásával foglalkozom. A kapott eredmények alkalmazásával természetesen bármely újonnan felbocsátott vagy felbocsátandó műhold élettartama is kiszámítható.

Dolgozatom 2.fejezetében főként [1], [5], [10], [11], [14] alapján összefoglalom a Föld felső légköréről témám szempontjából fontos ismereteket, különös tekintettel a felső légkör paramétereinek periodikus változásaira. A 3.fejezetben [8] és [12] alapján ismertetem a légköri közegellenállás hatására fellépő perturbációkat. Definiálom az élettartam fogalmát és bemutatom a [12] által adott módszert és formulákat, melyeket a további számítások során kiindulásként használlok.

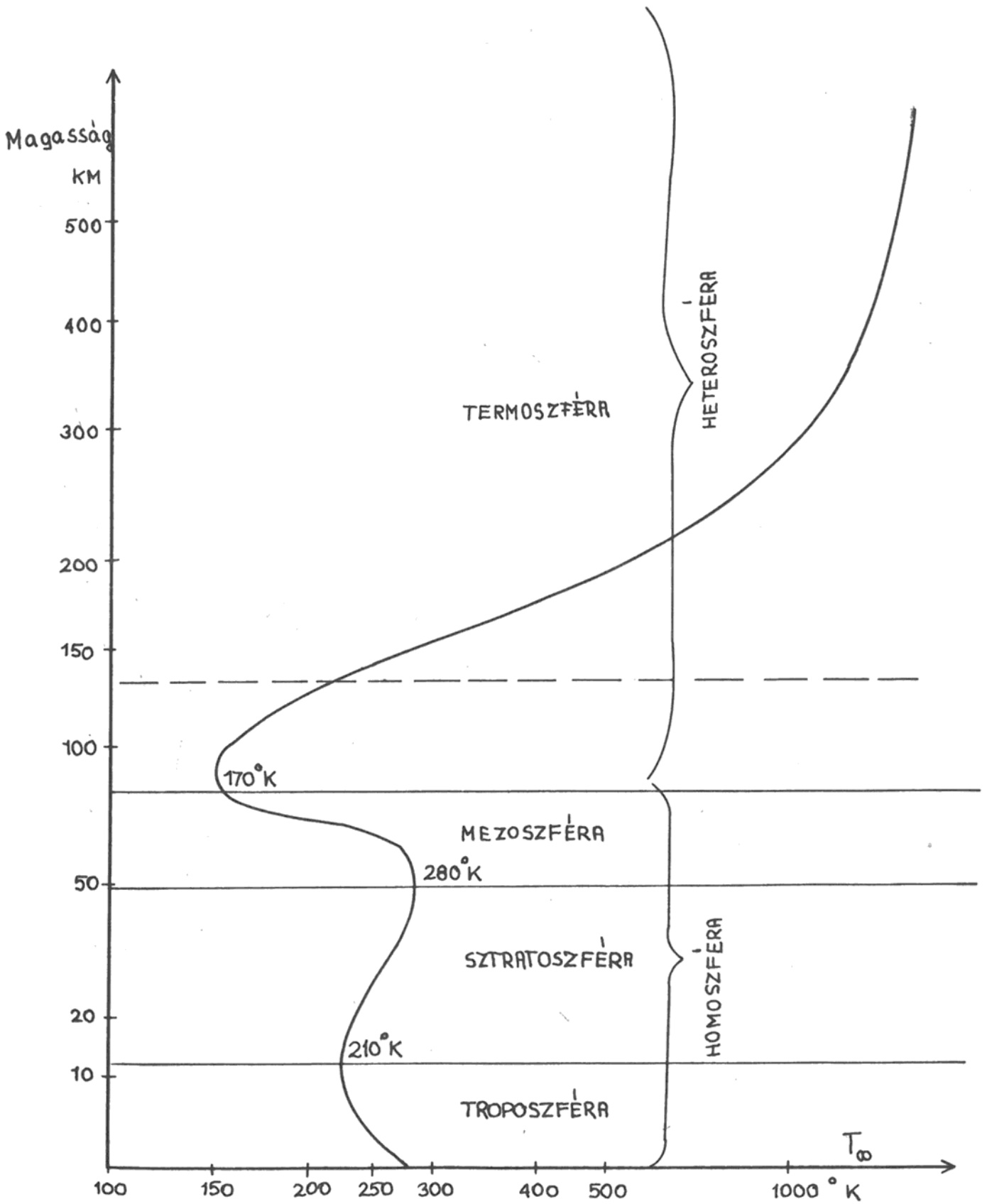
A 3.fejezet 4. és 5. pontjaiban a fent említett formulák segítségével megvizsgálom, hogy a mesterséges hold egyes pályaelemeinek, illetve bizonyos légköri paramétereknek a változása milyen mértékben változtatja meg a mesterséges holdak élettartamát. Az így kapott eredményeket összehasonlítom nagyszámu műhold élettartamának statisztikus elemzésével. A 4.fejezetben kimutatom a felsőlégkör három legfontosabb periodikus változásának, a 11 éves, a fél éves és a 27 napos változásnak az élettartamra kifejtett hatását. Mivel e három közül utóbbi kettő a számítások eredményében periodikusan fellépő hibát okoz, lehetőség van arra, hogy ezen légköri változások figyelembevételével az általuk okozott hibát kiiktassuk, vagy legalábbis jelentősen csökkentjük. Végül az 5. fejezetben összegezem a kapott fontosabb eredményeket, valamint megadok egy számítási módszert, amely a [12] formuláinak egyszerű alkalmazásával kapható eredményeknél pontosabban teszi lehetővé a mesterséges holdak élettartamának meghatározását.

2. A Föld felső légköre

2.1. A légkört jellemző paraméterek

A mesterséges holdak segítségével a légkörnek általában csak a 150 km fölötti része tanulmányozható, ennél alacsonyabb perigeummagasságú pályán ugyanis a műhold legfeljebb néhány keringést végezhet. E pontban azonban a tárgyalás egysége érdekében a légkör egészével foglalkozunk.

A légkört hőháztartása, illetve a kialakuló hőmérsékleti viszonyok alapján rétegekre szokás tagozni. /2.1.ábra/ A 0...10 km-ig terjedő troposzféra hőforrása a Föld felszínén, amelyre a Nap sugárzásának 43 %-a jut le, majd onnan az infravörös tartományban kisugárzódik. Emiatt a talajszinten kb. 280 K^o-os helyi hőmérsékleti maximum, 10 km magasságban pedig 210 K^o-os helyi minimum alakul ki /tropopauza/. A 20...50 km közötti sztratoszférában a hőmérséklet ismét emelkedik a sztratopauzabeli 280 K^o-os értékig. E réteg hőforrása a 25...35 km magasságban elhelyezkedő ozonoszféra ultraibolya abszorpciója. A mezoszférában a hőmérséklet lecsökken a 85 km-es magasságban lévő mezopauzabeli 170 K^o-ra. A termoszférában a Nap extrém ultraibolya /EUV/ sugárzásának, elsősorban a Fe XIV-XVI, Si IX-X, Mg X emissziós vonalaknak az elnyelődése következtében emelkedik a hőmérséklet, majd beáll az exoszférabeli magasságtól független érték. Mivel a Nap EUV sugárzása jelentős ingadozásokat mutat, a termoszféra és exoszféra közti határréteg magassága /exobázis/ és az exoszférikus hőmérséklet értéke is nagy változásokat mutat.



2.1. ÁBRA

Utóbbi változása a több száz fokot is elérheti, kis naptevékenység idején éjjel $T_{\infty} \approx 600$ °K, nagy naptevékenységkor nappal $T_{\infty} \approx 2000$ °K. Mivel a mesterséges holdak a termoszférában és az exoszférában keringnek, fékeződésük meghatározásához szükséges T_{∞} minél pontosabb ismerete.

A felsőlégkör jellemzésére használják a sűrűséget és a sűrűségi skálamagasságot $/H/$ is. Utóbbit a

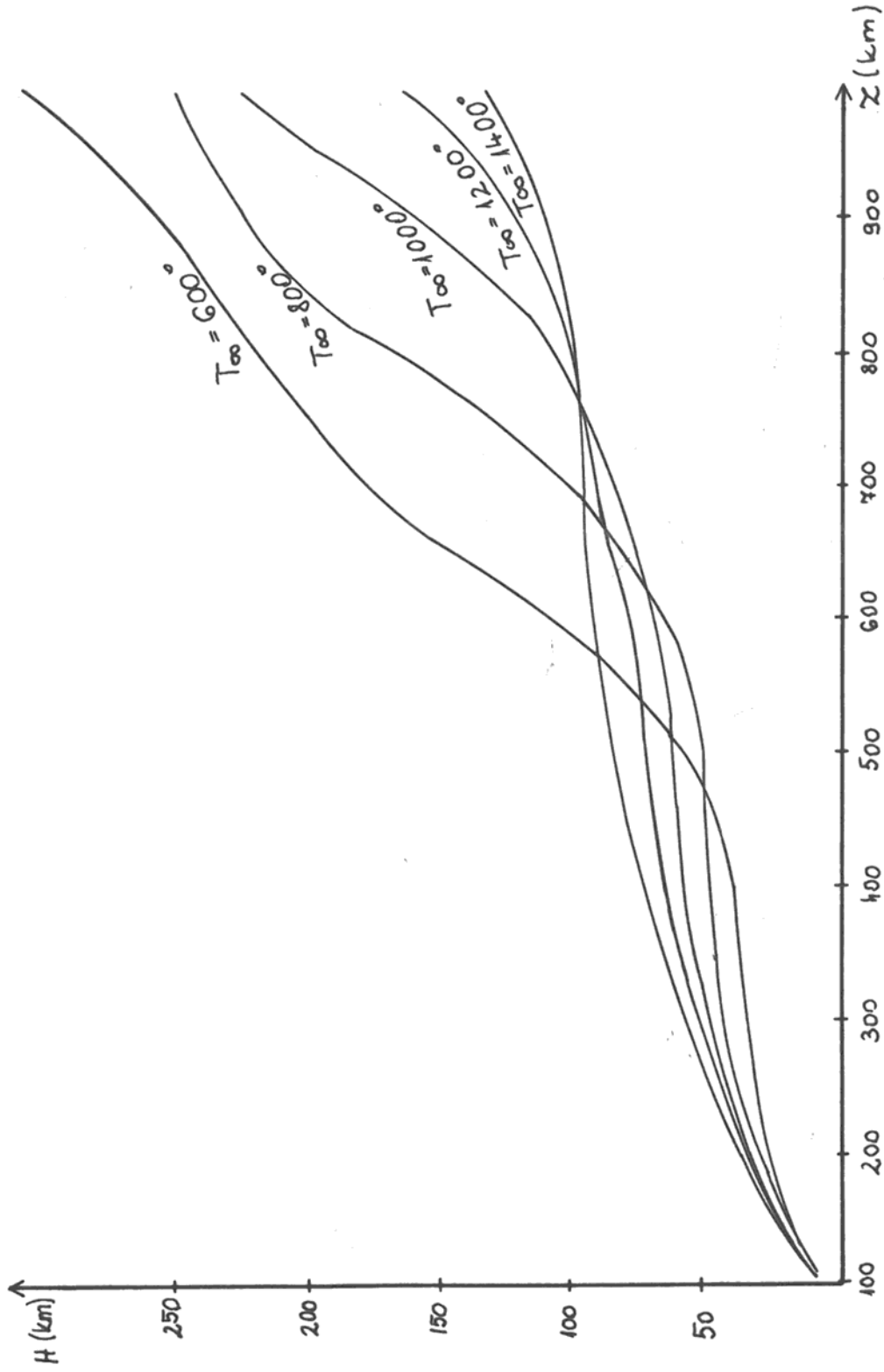
$$\rho = \rho_0 \cdot \exp\left(\frac{z_0 - z}{H}\right)$$

összefüggéssel értelmezzük, azaz H távolságon a légkör sűrűsége e -szeresére változik. H értéke 100 km-es magassáig 5.5 km, majd a magasságtól és T_{∞} -től függően a 2.2. ábra szerint változik. Mivel

$$H = \frac{kT}{\bar{m}g}$$

ahol k a Boltzmann állandó, T a hőmérséklet, \bar{m} a közepes molekulaszám és g a gravitációs gyorsulás, a skálamagasság változása a hőmérséklet és a kémiai összetétel változásait tükrözi, így a felsőlégkört jellemző fontos paraméter.

Fentiekén kívül több más mennyiség is használatos a légkör jellemzésére, például a légnyomás, a helyi hőmérséklet, az egyes összetevők koncentrációja, stb.



2.2. ÁBRA

2.2. A légkört jellemző paraméterek változása

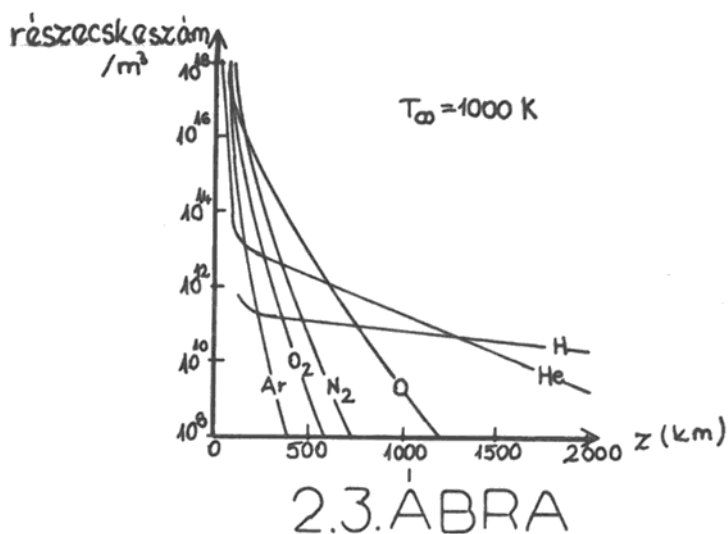
2.2.1. Térbeli változás

A sűrűség a magasság növekedésével exponenciálisan csökken. Mintegy 100 km magasságig a $\rho(z)$ függvény jól leírható az egyszerű barometrikus magasságformulával, mivel H csaknem állandó. Itt ugyanis a nagy sűrűség miatt a részecskék közepes szabad úthossza kisebb mint H , így az ütközések elég gyakoriak ahhoz, hogy a keveredés teljes legyen. A kémiai összetétel megegyezik a Föld felszínén mérttel, $\bar{m} = 28.96$. Ezt a réteget homoszférának vagy turboszférának szokás nevezni, felső határa a 100...110 km magasban lévő homopauza /turbopauza/.

Feljebb, a heteroszférában a szabad úthossz nagyobb mint H , ezért az összetevők molekulasúlyuk szerint szeparálódnak, a magasság növelésével a könnyebb összetevők részaránya megnő, \bar{m} csökken. A légkör kémiai összetételének és sűrűségének magasságfüggése átlagos naptevékenység esetén a 2.3. ábrán látható. A kémiai összetétel változásához hozzájárul a 100 km fölött jelentős ionizáció is.

Egy adott magasságban is változik ρ a Nap pillanatnyi helyzetétől függően. A szubszoláris ponttól $45^\circ \dots 75^\circ$ -kal keletre a sűrűségnek 1.2...1.3 $\bar{\rho}$ értékű helyi maximuma /bulge/, míg az ezzel átellenes pontban 0.8...0.9 $\bar{\rho}$ értékű helyi minimuma van. A bulge földrajzi szélessége a Nap deklinációjától függően változik. Megjegyezzük, hogy a Föld forgását

figyelembevée a fenti térbeli változás a helyi idő függvényében bekövetkező változásnak is tekinthető. Ez esetben a hajnali sűrűségminimum $4^h \dots 6^h$, míg a délutáni maximum $15^h \dots 17^h$ szoláris helyi időkor /LST/ következik be.



2.2.2. Időbeli változás

A felsőlégkör sűrűségének időbeli változásai közül legfontosabbak a naptevékenységgel összefüggő változások. A felsőlégkör fűtését egyrészt a már említett Fe XIV-XVI, Si IX-X és Mg X ionok emissziós sugárzásának abszorpciója biztosítja. Ez a sugárzás a magasabb hőmérsékletű aktiv területekről indul ki, ezért intenzitása a Nap tengelyforgásával egyező, kb. 27 napos

periódusú változást mutat, az aktív területeknek a napkorong szélein való fel- és eltűnésének megfelelően. A Nap EUV sugárzásának korong komponense viszont a teljes napkorongról érkezik, így csak a naptevékenység 11 éves periódusának megfelelő változásokat mutat. Forrásai a He I-II, O IV ionok és a He kontinuum.

Az EUV sugárzás intenzitásával általában /de nem mindig/ jól korrelál a Nap 10.7 cm-es /1440 MHz/ rádiósugárzása, mérés technikai okokból ezt használják előbbi jellemzésére. Az F napi érték az aktív-terület komponensre, míg a belőle

$$\bar{F} = \frac{\sum wF}{\sum w} \quad w = \exp \left[-\left(\frac{t-t_0}{\tau} \right)^2 \right]$$

$\tau = 3$ naprotációra vett súlyozott közepeléssel kapott \bar{F} érték a korong komponensre jellemző. Ha F-et és \bar{F} -ot 10^4 Jansky egységekben mérjük, az exoszférikus hőmérsékletre

$$T_{\infty} = 5.48 \cdot \bar{F}^{0.8} + 101.8 \cdot F^{0.4} \quad /2.1/$$

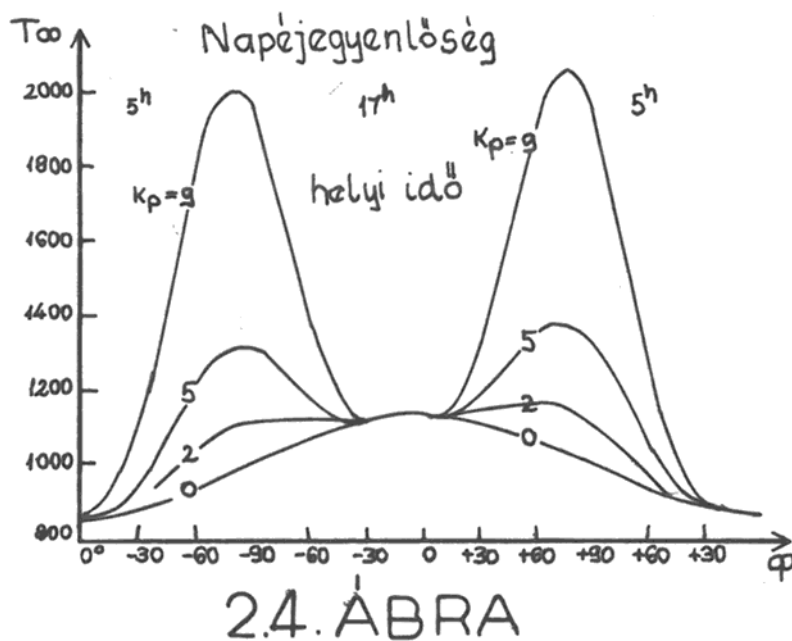
adódik. A 11 éves effektus amplitudója T_{∞} -ben kb. 700° , míg a 27 naposé kb. 100° .

Több száz, esetenként ezer $^{\circ}\text{K}$ -ot is elérő amplitudójú változásokat okoz T_{∞} -ben a geomágneses effektus. Kiváltó oka a Nap korpuszkuláris sugárzása, jellemzésére valamelyik geomágneses index, rendszerint K_p használatos. T_{∞} változása K_p változását néhány órás késéssel követi,

amplitudója [11] szerint

$$T_{\infty} = 57.5 \cdot K_p (1 + 0.027 \exp(0.4 K_p)) \cdot \sin^m \varphi_i$$

ahol φ_i a geomágneses szélesség és $m = 4$. Az effektus a geomágneses pólus szélességén $(\varphi = 78^\circ)$ maximális, az egyenlítő környékén jelentéktelen. /2.4. ábra/



Mivel a geomágneses viharok időtartama néhány nap, a jelenség rövidlefutású sűrűségváltozásokat okoz.

Mindmáig tisztázatlan eredetű a felsőléggör féléves periódusú sűrűségváltozása. Eszerint a sűrűségnek I. közepén és VII. végén minimuma, IV. elején és X. végén maximuma van. A jelenség pontos leírásánál nehézséget okoz,

hogy a változás lefutása nem szimmetrikus, az egyes maximumok és minimumok időpontja és nagysága évről évre változik, amplitudója ezen felül magasságfüggést is mutat. A féléves effektus nem írható le mint T_{∞} változása, bár megállapítható, hogy $\Delta T_{\infty} \approx 100^{\circ}$ -nak felel meg. A különböző modellek általában közvetlenül ρ változásaként írják le, mégpedig egy magasság és egy időfüggő rész szorzataként, a CIRA-72 modell szerint pl.

$$\Delta \lg \rho = f(z) \cdot g(t) \quad /2.2/$$

$$f(z) = (5.876 \cdot 10^{-7} \cdot z^{2.331} + 0.06328) \exp(-2.868 \cdot 10^{-3} z)$$

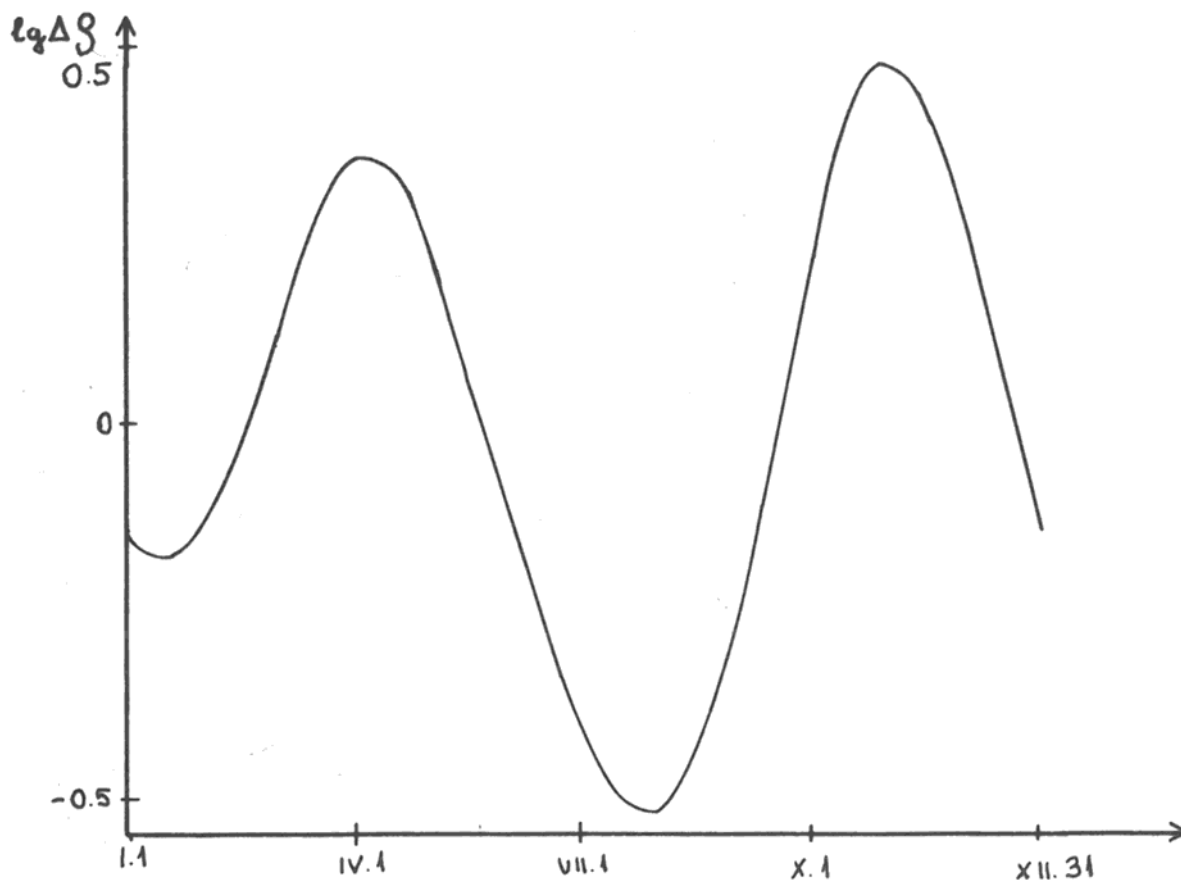
$$g(t) = 0.02835 + 0.3817 [1 + 0.4671 \sin(2\pi\tau + 4.137)] \cdot \sin(4\pi\tau + 4.259)$$

$$\tau = \phi + 0.09544 \left\{ [0.5 + 0.5 \cdot \sin(2\pi\phi + 6.035)]^{1.650} - 0.5 \right\}$$

$$\phi = \frac{t - 36204}{365.2422}$$

ahol z km-ben, t pedig MJD-ben értendő. A sűrűség tipikus, megfigyelésekből nyert lefutása a 2.5. ábrán látható.

A felsőléggör egyéb, témánk szempontjából kisebb jelentőségű változásai közül meg kell említeni a sűrűség és a kémiai összetétel évszakos és szélességfüggő változásait / a Nap deklinációjának változásával összefüggésben /, valamint a gyors, irreguláris, hullámszerű sűrűségváltozásokat.



2.5. ÁBRA

2.3. A CIRA-72 légköri modell

Dolgozatomban a CIRA-72 légköri modell adatait használok fel, ezért röviden kitérek e modell ismertetésére [5].

A műholdas légkörkutató előtti időben a légköri modellek csak néhány száz 10 km magasságig terjedtek ki. Nagyobb magasságokra való kiterjesztésükre az igény már az ötvenes évek végén felmerült. A COSPAR 1961-ben és 1965-

ben hozta nyilvánosságra első referencia légköreit, a CIRA-61-et és a CIRA-65-öt /Cospar International Reference Atmosphere/. Ezek továbbfejlesztett változata a CIRA-72 modell.

A CIRA-72 egyrészt megad egy közepes referencia-légkört a 25...500 km magasságtartományra. A közepes modell a 25...75 km közti tartományban a $\varphi = 30^\circ$ földrajzi szélességre vonatkozó éves átlagmennyiségeken alapul. 120...500 km közt $\varphi = 30^\circ$ -ra, a napi, évszakos és fél-éves változás átlagértékére, valamint $\bar{F} = 145 \cdot 10^4$ Jansky naptevékenységi indexre vonatkozik. Ezután a teljes tartományra táblázatosan megadja a hőmérséklet, a sűrűség, a nyomás, a nyomás skálamagassága, a gravitációs gyorsulás, a közepes molekulasúly és az egyes összetevők koncentrációjának értékét. A közepes referencia-légkör gömb-/ellipszoid-/szimmetrikus, egyváltozós /z/ modell, csak egyszerűbb számításokhoz alkalmazható.

A továbbiakban a CIRA-72 részletesen ismerteti a 25...120 km közti légkört, majd a 110...2000 km-es tartományra a légköri paramétereket.

Utóbbi modell táblázatos része két változó, a magasság és az exoszférikus hőmérséklet / $T_\infty = 500...2200^\circ\text{K}$ / függvényében megadja a hőmérséklet, az összetevők koncentrációját, a nyomást, a közepes molekulasúlyt, a sűrűségi skálamagasságot és sűrűséget. A táblázatok két független változóján kívül több más légköri paraméter ill. vál-

tozás is figyelembe vehető. A 2.2. pontban leírt változások egyrészt mint T_{∞} korrekciói, másrészt mint a T_{∞} és z függvényében kapott ρ korrekciója /a féléves effektus esetén/ szerepelnek. A modell tartalmazza a paramétereinek kiszámításához használt számítógépi programot, valamint a termoszférára és az exoszférára vonatkozó egyes megfigyelési eredményeket és a semleges felsőlégkör fizikájáról szerzett ismereteket.

A CIRA-72 publikálása óta is számos más légköri modell jelent meg, ezek közül számításaim során kisebb mértékben a Jacchia '77 modellt használtam föl. [11]

3. Mesterséges holdak élettartamának meghatározása

3.1. A felsőlégkör perturbáló hatása

A mesterséges holdakra ható perturbáló erők közül legnagyobbak a geodéziai és a felsőlégköri eredetűek. A geodéziaiakat a Föld gravitációs potenciáljának a gömbszimmetrikustól való eltérése okozza. Ezek közül legjelentősebbek a J_2 második zonális harmonikus által a felszálló csomó hosszában $|\Omega|$ és a perigeum argumentumában $|\omega|$ keltett szekuláris perturbációk. E két pályaelemet a légkör perturbáló hatása alig változtatja, így légköri vizsgálatoknál a geodéziai eredetű perturbációk jól külön választhatók. Számításaim eredményét Ω és ω változása nem befolyásolja, így dolgozatomban a geodéziai eredetű perturbációkat figyelmen kívül hagyhatom.

A légköri perturbációkat a

$$D = \frac{1}{2} \rho v^2 F S C_D$$

közegellenállási erő okozza. Itt ρ és v az adott pontban a levegő sűrűsége, illetve a műhold sebessége a Föld tömegközéppontjához képest. Az

$$F = \left(1 - \frac{r_p}{V_p} w \cdot \cos i \right)^2$$

tényező a légkör forgási sebességének a műholdra gyakorolt hatását tartalmazza. r_p a hold perigeumbeli geocentrikus távolsága, V_p a perigeumbeli sebessége, i a pályahajlása, w pedig a légkör szögsebessége.

Jó közelítéssel $w=1.0 w_{Föld}$ alkalmazható, bár egyes vizsgálatok szerint a légkör $w=1.1...1.2 w_{Föld}$ arányban gyorsabban forog a Földnél [2]. A $w=w_{Föld}$ feltevéssel F menete a 3.1. ábrán látható.

S a műhold átlagos keresztmetszete. Gömbalaku vagy szabályos alaku és stabilizált műholdaknál S meghatározása egyszerű. A műholdak többsége azonban tetszőleges tengely körüli forgást végez. Ilyen esetekben henger alaku holdakra a King-Hele által javasolt

$$S = 1 \cdot d \cdot \left(0.818 + 0.25 \frac{d}{l} \right) \quad /3.1./$$

összefüggést használom, ahol l és d a hold hossza, ill. átmérője. Szabálytalan alaku holdaknál általában a megfigyelt fékeződés alapján számítják ki vagy javítják S értékét.

A C_D arányossági tényező értéke $C_D=2.1...2.25$ közötti, kismértékben függ a hold alakjától [7].

Szokás bevezetni a

$$\mathcal{J} = \frac{F \cdot S \cdot C_D}{m} \quad \text{jelölést,}$$

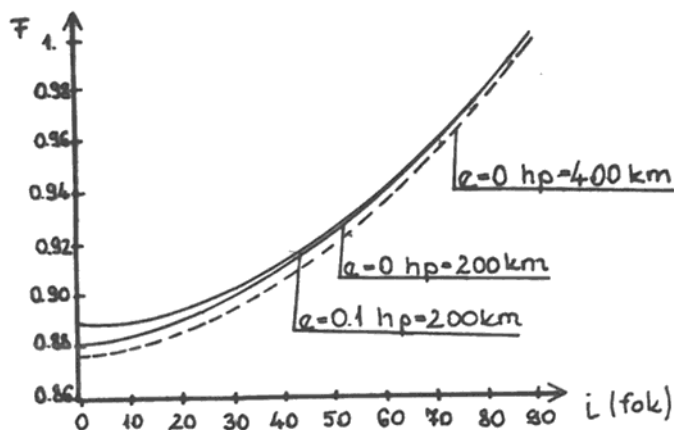
ahol m a műhold tömege. A legtöbb műholdra $\mathcal{J}=0.01...0.02$ m^2/kg körüli. E jelöléssel a tömegegységre ható perturbáló erő

$$F_T = \frac{1}{2} \rho v^2 \mathcal{J}$$

alakban írható.

Más perturbációk csak különleges esetekben válhatnak

jelentőssé, pl. a sugárnyomás eredetűek ballonholdaknál, a luniszolárisak nagy excentricitású pályáknál vagy rezonancia esetén, így ezek a továbbiakban szintén figyelmen kívül hagyhatók.



3.1. ÁBRA

3.2. A pályaelemek változása a légköri perturbációk hatására

Az F_T tömegegységre ható légköri perturbáló erő, amely a műhold pillanatnyi sebességével ellentétes irányba mutat, felbontható f_r radiális, f_t erre merőleges, a pálya síkjában fekvő és f_n a pályasíkra merőleges összetevőkre. Ezeket a nem konzervatív perturbáló erő esetére levezetett planetáris Lagrange-egyenletekbe helyettesítve a pályaelemek változására a következőket kapjuk [8] :

$$\frac{da}{dt} = \frac{2a^2}{\sqrt{\mu p}} \left[f_r \cdot e \cdot \sin v + f_t (1 + e \cdot \cos v) \right]$$

$$\frac{de}{dt} = \sqrt{\frac{p}{\mu}} \left[f_r \cdot \sin v + f_t (\cos v + \cos E) \right]$$

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{1}{\sqrt{\mu p} \cdot \sin i} \cdot r \cdot \sin u \cdot f_n$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{\sqrt{\mu p}} \cdot r \cdot \cos u \cdot f_n$$

$$\begin{aligned} \frac{d\omega}{dt} = & \frac{1}{e} \sqrt{\frac{p}{\mu}} \left[-f_r \cdot \cos v + f_t \left(1 + \frac{r}{p}\right) \cdot \sin v \right] - \\ & - \frac{\operatorname{ctg} i}{\sqrt{\mu p}} \cdot r \cdot \sin u \cdot f_n \end{aligned}$$

ahol u a geocentrikus gravitációs állandó, p a pálya paramétere, v a valódi anomália és E az excentrikus anomália. A hatodik pályaelem, M változásának témánk szempontjából nincs jelentősége.

Mivel $f_t \gg f_r$, f_n és $f_t \sin v$ kicsi, mert f_t csak $v=0$ környezetében jelentős, ezért a légköri perturbációk csak a -ban és e -ben okoznak számottevő változást. A perturbáló erő értékét beírva ezekbe:

$$\frac{da}{dt} = - \frac{a^2 \rho \int v^3}{\mu} \quad /3.2./$$

$$\frac{de}{dt} = - \rho \int v (e + \cos v)$$

adódik, melyből Δa és Δe kifejezhető. A gyakorlatban azonban a műhold T keringési ideje egyszerűbben és pontosabban mérhető mint az a fél nagytengely, ezért

$0.02 < e < 0.2$ excentricitású holdakra a keringési idő $\dot{T} = \frac{dT}{dt}$ változása és a perigeummagasság fölött $\frac{1}{2} H$ -val mért sűrűség közt a következő összefüggés áll fenn:

$$\rho = - \frac{0.157}{\sigma} \cdot \dot{T} \sqrt{\frac{e}{aH}} \left\{ 1 - 2e + \frac{5}{2}e^2 - 3e^3 - \frac{H}{8ae} \left(1 - 10e + \frac{7H}{16ae} \right) + \frac{\xi}{e} \sin^2 i \cos 2\omega \right\} \quad /3.3./$$

ahol $\xi = 0.00335$ a Föld sztatikus lapultsága. A légkör lapultságát ezzel megegyezőnek tekintjük.

Mivel a műhold élettartamát szintén a és e változása alapján lehet definiálni /1. 3.3.fejezet/, az élettartam is kifejezhető \dot{T} függvényében. \dot{T} meghatározása tehát fontos a továbbiak szempontjából, így röviden erre is kitérek.

a./ \dot{T} meghatározható közvetlenül megfigyelésekből, a légköri hatások kimutatására ez a legcélravezetőbb. Ilyenkor egy epochához tartozó "pillanatnyi", gyakorlatilag néhány napos észlelési sorozatból levezetett értéket adnak meg. \dot{T} helyett használható a középmozgás változása

$$\dot{n} = - \frac{n^2}{2} \cdot \dot{T}$$

valamint az M középanomália

$$M = M_0 + M_1 t + M_2 t^2 + \dots$$

sorfejtésből származó M_2 mennyiség, melyek a mozgás leírása szempontjából egyenértékűek.

b./ Amennyiben \dot{T} megfigyelésekből nem hozzáférhető, /3.3./ alapján is kiszámítható a pályaelemek ismeretében. A pályaelemekből a $h_p = a \cdot (1-e) - R_E (1 - \varepsilon \cdot \sin^2 i \cdot \sin^2 \omega)$ összefüggéssel $/R_E$ a Föld egyenlítői sugara/ kapom a hold perigeummagasságát. Az F és \bar{F} naptevékenységi adatokból /2.1./ képlettel T_{∞} számítható. T_{∞} és h_p ismeretében valamelyik légköri modell /számításaim során a CIRA-72/ táblázatos részéből H , valamint a $h_p + \frac{1}{2}H$ magassághoz tartozó ρ kikereshető. ρ -t a műhold méretének és tömegének ismeretében számítom. Ezután $0.02 < e < 0.2$ excentricitású holdakra \dot{T} /3.3./-ből adódik.

$e > 0.2$ esetén /3.3./ helyett

$$\rho = - \frac{0.590 \dot{T}}{\int \sqrt{aH}} \left\{ \Xi(e) + 0.266 \frac{\varepsilon}{\sqrt{e}} \sin^2 i \cos 2\omega \right\}$$

$$\Xi(e) = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{2e}{\pi}} \left\{ \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \left[1 + \frac{H(8e-3e^2-1)}{8r_p e(1+e)} \right] \right\}$$

összefüggéseket kell használni.

A módszer hibája, hogy $e < 0.02$ esetén fizikailag irreális eredményt ad, hiszen e kis megváltozására \dot{T} jelentős változása következik be. Emellett $e=0.2$ -nél a két képlet alkalmazási határán az átmenet nem folytonos, mintegy 5 %-os ugrás tapasztalható.

c./ Minden e -re használható a

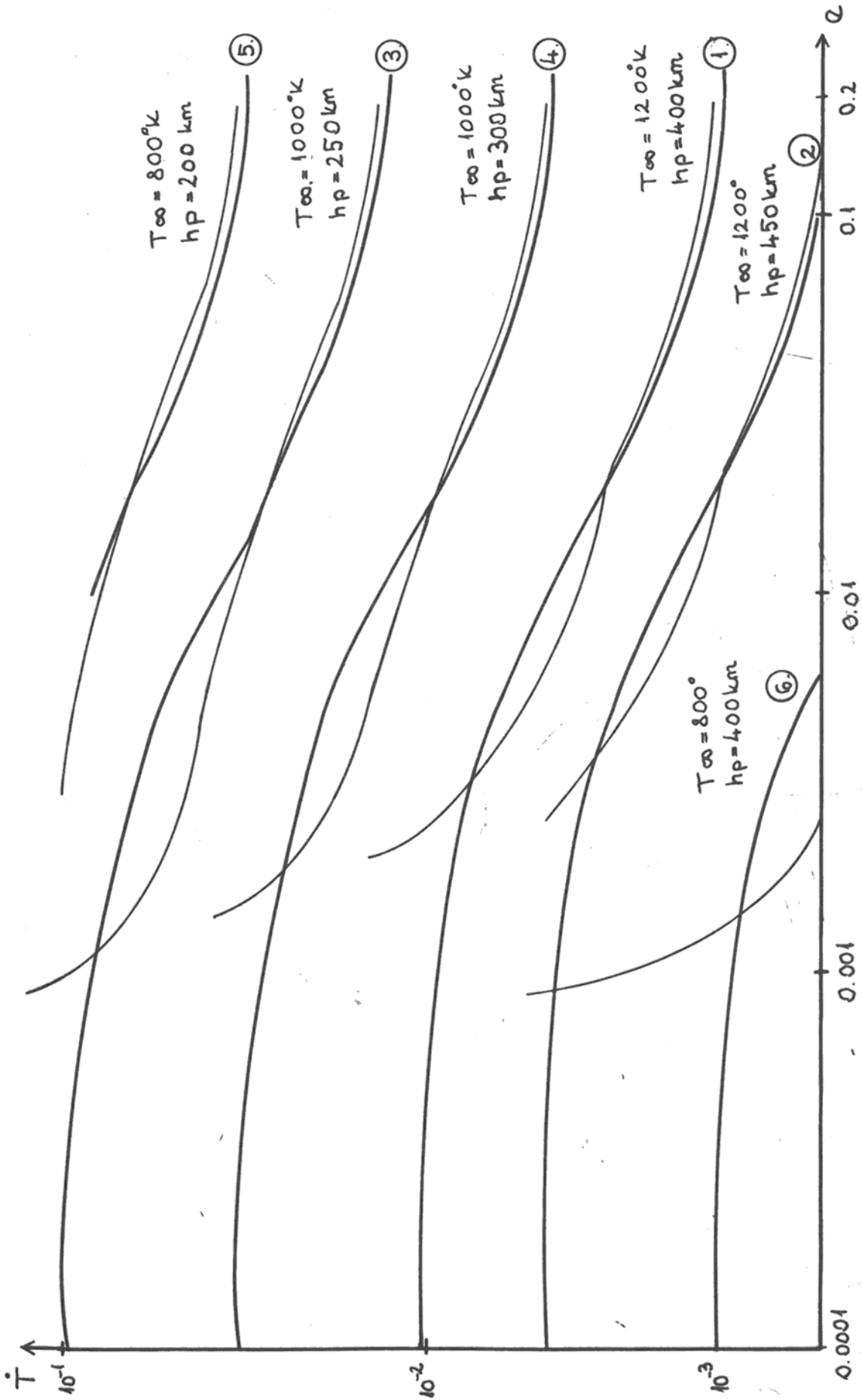
$$\rho = - \frac{\dot{T}}{3a\pi\delta} \cdot \frac{\exp(z+c \cdot \cos 2\omega)}{d} \quad /3.4./$$

$$d = I_0 + 2eI_1 + \frac{3}{4} e^2 (I_0 + I_2) + \frac{1}{4} e^3 (3I_1 + I_3) + \\ + c (I_2 + 2eI_3) \cos 2\omega + \frac{1}{4} c^2 (I_0 + I_4 \cos 4\omega)$$

formula ahol $z=a \cdot e/H$, $I=I(z)$ a képzetes argumentumu Bessel-függvényeket jelöli és $c = \frac{1}{2} \frac{\xi^r_p}{H} \cdot \sin^2 i$.

Ez az összefüggés a sűrűséget h_p magasságban veszi figyelembe. Bár számításigényesebb az előző összefüggéseknél, előnye azokkal szemben, hogy minden excentricitásra alkalmazható.

A $\dot{T}(e)$ görbe menetét $\delta = 0.02$ -re különböző T_∞ és h_p értékekre a 3.2. ábrán mutatom be. Megfigyelhető, hogy $z > 3$ esetén a b./ ill. c./ módszerrel kapott görbék $< 10\%$ eltéréssel együtt haladnak, $z < 3$ -nál viszont az eltérés jelentős. Fizikailag reális eredményt a c./ módszer ad.



3.2. ÁBRA

Számításaim során ha lehetséges volt az a./ módszer szerint, megfigyelésekből levezetett és publikált \dot{T} -okkal dolgoztam, ha pedig ez nem volt lehetséges, a c./ módszert alkalmaztam.

3.3. Az élettartam meghatározásának módszerei

3.3.1. Az élettartam értelmezése

A mesterséges hold élettartamának kezdeteként a hold pályáraállásának időpontját tekintjük, vagy a pontossági követelményeinken belül ezzel jól megegyező fellövési időpontot. Valójában természetesen az élettartamszámítást későbbi epochákra végezzük, figyelembe véve a fellövés óta eltelt időt.

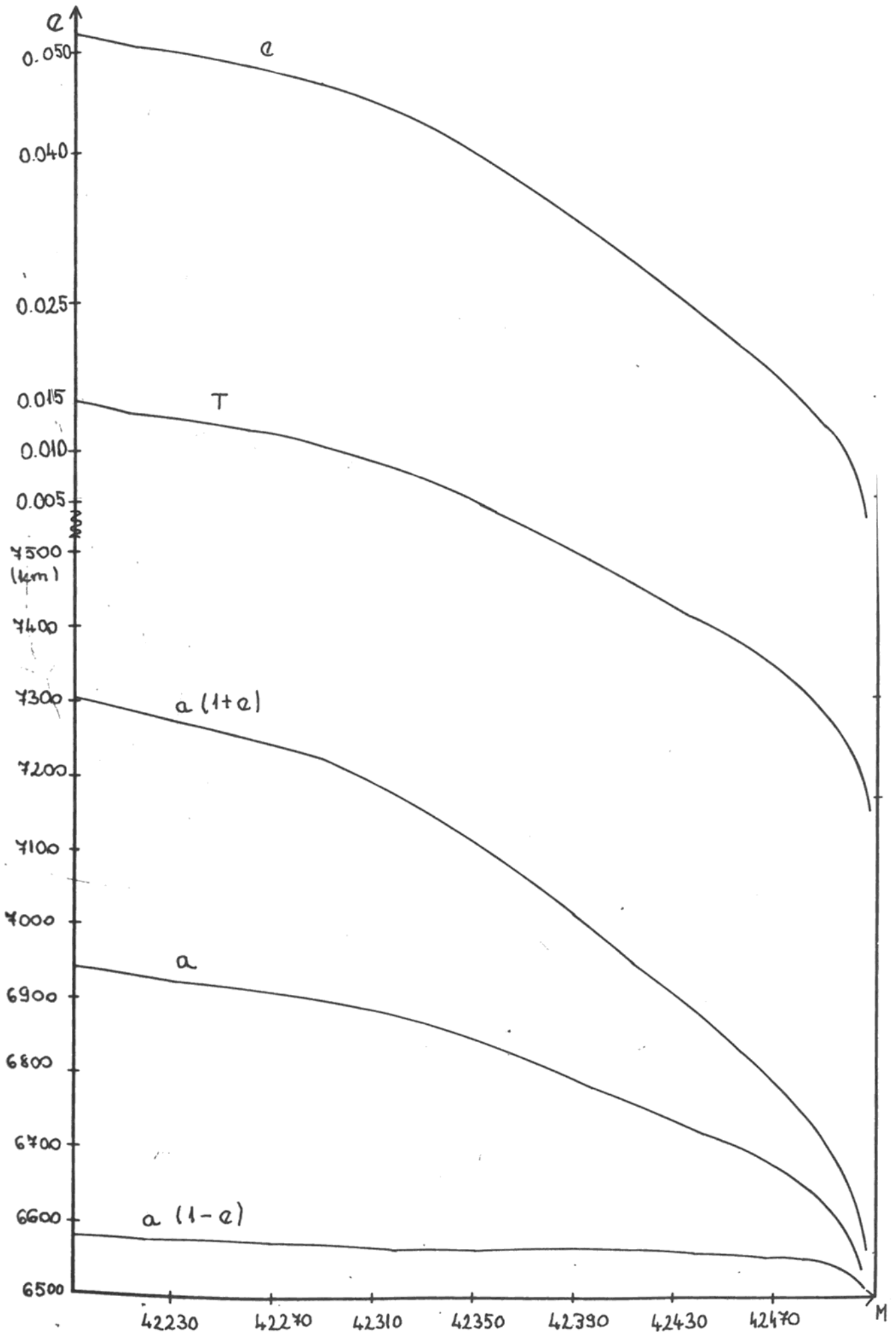
A 3.2. pont szerint a légköri perturbációk közül a e és e változása a legszámottevőbb, az élettartam során a pályaváltozásait a 3.3. ábra szemlélteti. Példaképp a Kozmosz 462 /71-106-01/ hold esetére a 3.4. ábrán bemutatom az $r_a = a(1+e)$ apogeumtávolság, az $r_p = a(1-e)$ perigeumtávolság valamint a, e és T változását a hold életének MJD=42200...42506 szakaszára. A hold MJD=42506-kor semmisült meg. Látható, hogy az élettartam utolsó szakaszában a pályaelemek változása igen gyors.

Az élettartam végét általában az $e=0$ eléréséhez szokás kötni, de az eredményeken nem változtat a

$h_p = 140 \dots 160$ km magasság kikötése sem. Éppen a gyors változások miatt az a megsemmisülés időpontjában csak kis pontatlanságot eredményez.



3.3. ÁBRA



34. ABRA

3.3.2. Numerikus integrálásos módszer

Numerikus integrálással elvben a fellövéstől megsemmisülésig végigkövethető a műhold pályája, így pontosan meghatározható az élettartama. Ehhez azonban a számítás minden lépéséhez tartozó helyen és időpontban ismerni kell a fellépő perturbáló erőket.

Nehézséget okoz, hogy a légköri eredetű perturbáló erőket még rövid távra is nehéz pontosan előrejelezni, hiszen ezek legnagyobb mértékben a naptevékenységtől függenek. Mint pl. a féléves effektusnál látható, még a periódikus változások sem jelezhetők a numerikus integráláshoz szükséges pontossággal előre. Ezen felül a számítás során a fellépő kisebb hibák felhalmozódnak, a végeredményt jelentősen megváltoztathatják.

A módszer hibája még, hogy rendkívül gépidőigényes, több nagyságrenddel nagyobb a számításigénye mint a 3.3.3. pontban ismerttetendő módszereké. A gépidő a numerikus integrálásnál arányos a hátralévő élettartammal, míg az utóbbi módszernél független attól.

Jól alkalmazható azonban a módszer a műhold élettartamának utolsó napjaiban a megsemmisülés pontos időpontjának meghatározására. Ilyen távolságra a naptevékenység még viszonylag pontosan előrejelezhető, és a gépidőigény is mérsékelt.

3.3.3. Műholdak fékeződésén alapuló módszer

A műholdak fékeződésén alapuló módszer alkalmazásakor egy tetszőleges epochához tartozó \dot{T} -ból és pályaelemekből következtetünk a hátralévő L élettartamra. A módszer előnye, hogy a számítás egyszerű, nagy tömegű adat feldolgozása is könnyen elvégezhető. Hátránya viszont, hogy a légkörnek csak az adott epochához tartozó tulajdonságait tudja figyelembe venni.

A /3.2./ szerinti

$$\dot{a} = - \frac{a^2 \rho \delta v^3}{\mu} \quad \text{és} \quad \dot{e} = - \rho \delta v (e + \cos v)$$

összefüggésekben v és μ helyett az E excentrikus anomália használatára áttérve a és $x=ae$ egy keringés során bekövetkező változására

$$\Delta a = - a^2 \rho \int_0^{2\pi} \frac{(1+e \cos E)^{\frac{3}{2}}}{(1-e \cos E)^{\frac{1}{2}}} \delta E$$

$$\Delta x = - a^2 \rho \int_0^{2\pi} \left(\frac{1+\cos E}{1-\cos E} \right)^{\frac{1}{2}} (\cos E + e) \delta E$$

értékeket kapjuk. Ezekből integrálás után az $I_n(z)$ -ed rendű képzetes argumentumú Bessel-függvények felhasználásával

$$\Delta a = d \cdot \left[I_0 + 2eI_1 + \frac{3}{4}e^2 (I_0 + I_2) + \frac{1}{4}e^3 (3I_1 + I_3) \right] \quad /3.5./$$

$$\Delta x = d \cdot \left[I_1 + \frac{1}{2}e(3I_0 + I_2) + \frac{1}{8}e^2(11I_1 + I_3) + \frac{1}{16}e^3(7I_0 + 8I_2 + I_4) \right]$$

adódik, ahol a_0 , x_0 és ρ_{p0} a kezdeti értékeket jelöli.

Alkalmaztuk a

$$d = -2\pi \int a^2 \rho_{p0} \exp\left\{\frac{1}{H}(a_0 - a - x_0)\right\} \text{jelölést és a}$$

$$\rho = \rho_{p0} \exp\left(\frac{a_0 - a - x_0}{H} + \frac{x \cdot \cos E}{H}\right)$$

helyettesítést. /3.5./-ből az excentricitás e -ről e_t értékre történő megváltozásának t idejére a

$$t = \frac{e_0^2}{2B} \left\{ 1 - \frac{e_0^2}{e_0} + \frac{e_0}{6} \left(2\frac{e_0^3}{e_0^3} + 9\frac{e_0^2}{e_0^2} - 11 \right) - \frac{e_0^2}{16} \left(15\frac{e_0^4}{e_0^4} + 8\frac{e_0^3}{e_0^3} + 6\frac{e_0^2}{e_0^2} - 29 \right) - \right. \\ \left. - \frac{3He^2}{4a_0 e_0^2} \ln \frac{e_0}{e} + \frac{7H(1 - \frac{e^2}{e_0^2})}{8a_0} \right\}$$

kifejezést kapjuk. Ebbe $e_t=0$ helyettesítés esetén a hátralévő élettartam $L = t(e_t=0)$

$$L = \frac{e_0^2}{2B} \left(1 - \frac{11e_0}{6} + \frac{29}{16} e_0^2 + \frac{7H}{8a_0} \right)$$

ahol $B = \frac{2\pi}{T} \int \rho_p \times I_1(z) \exp(-z-e)$

Mivel $T \sim a^{3/2}$ és egy keringésre $\Delta t = T$:

$$\dot{T} = \frac{3T}{2a} \cdot \dot{a} = \frac{3T}{2a} \cdot \frac{\Delta a}{\Delta t} = \frac{3\Delta a}{2a}$$

Ide Δa /3.5./ alatti értékét behelyettesítve, ebből $\sigma \cdot \rho_p$ -t kifejezve és B-be, majd ezt L-be helyettesítve

$$L = - \frac{3eT}{4\dot{T}} \cdot \frac{I_0(z)}{I_1(z)} \cdot \left[1 + 2e \frac{I_1(z)}{I_0(z)} - \frac{5e}{6} + \frac{5e^2}{16} + \frac{7H}{8a} \right] \quad /3.6./$$

adódik.

A Bessel-függvények aszimptotikus közelítését alkalmazva a $z > 3$ esetekben /3.6./ a következőképp írható:

$$L = - \frac{3eT}{4\dot{T}} \left[1 + \frac{7e}{6} + \frac{5e^2}{16} + \frac{H}{2ae} \left(1 + \frac{11e}{12} + \frac{3H}{4ae} + \frac{3H^2}{4a^2e^2} \right) \right] \quad /3.7./$$

A $z < 3$ esetekre a fentihez hasonló gondolatmenettel

$$L = - \frac{3eT}{4\dot{T}} \cdot \frac{I_0(z)}{I_1(z)} \left[1 + 2e_1 \frac{I_1(z)}{I_0(z)} - \frac{9ez}{40} + \frac{H}{2a} \right] \quad /3.8./$$

adódik.

Fenti összefüggések $e=0$ esetén $L=0$ -t adnak.

Körpályák esetére az

$$L = - \frac{3T}{2\dot{T}} \frac{H\eta}{a}$$

ahol

$$\eta = 1 - \exp \left\{ -(h-h_0)/H \right\}$$

/3.9./

összefüggéseket kell alkalmazni $/h_0=140 \text{ km}/$.

A $0.0001 < e < 0.24$ tartományban $T_{\infty} = 800, 1000, 1200$ °K, és $150 \text{ km} < h_p < 450 \text{ km}$ értékekre összehasonlítottam a /3.6./, /3.7./ és /3.8./ képletekkel kapott L értéket. Megállapítható, hogy /3.7./ illetve /3.8./ a megfelelő $z > 3$ ill. $z < 3$ tartományokban $\Delta L < 1\%$ hibával közelíti /3.6./-ot, így a továbbiakban $e(z)$ minden értékére /3.6./-ot használom.

Példaképp az 1. táblázatban /1. 1.melléklet/ bemutatom a különböző képletekkel kapott L értékeket $T_{\infty} = 1000$ °K, $h_p = 350 \text{ km}$, $\sigma = 0.02$, $i = 90^\circ$, $\omega = 0^\circ$ paraméterek mellett. A perigeumban $H = 53.75 \text{ km}$ és $\rho = 0.9099 \cdot 10^{-11} \text{ kg/m}^3$. A táblázat $0 < e < 0.24$ értékekre a /km/, T /perc/, \dot{T} /perc/nap/, $z = ae/H$ /-/, $I_0(z)$ és $I_1(z)$ adatokat, valamint a /3.6./, /3.7./ és /3.8./ képletekkel / $e=0$ -ra /3.9./ kapott L -eket /napban/ tartalmazza. Ugyancsak megállapítható, hogy /3.8./-ban a $H/2a$ tag szokásos elhanyagolása is legfeljebb 1% hibát okoz.

Az $e=0$ esethez tartozó /3.9./ ellenőrzésekor feltételezhető, hogy $\lim_{e \rightarrow 0} L(e) = L(0) \approx L(0.0001)$. Ezért a /3.6./ szerinti $L(0.0001)$ -et és a /3.9./ szerinti $L(0)$ -t is összehasonlítottam. Minél rövidebb az élettartam /kisebb h_p , nagyobb T_{∞} / annál rosszabb az egyezés, de $h_p \geq 300 \text{ km}$ -nél $\Delta L < 5\%$ és csak $h_p \leq 200 \text{ km}$ -en $\Delta L > 10\%$. Az egyezés nem túl jó, de az eltérés csak elvi jelentőségű, a gyakorlatban az $e < 0.0001$ excentricitások alig fordulnak elő.

Ennek megfelelően a további számításokhoz /3.6./-ot, vagy ha szükséges volt /3.9./-et használtam. A számítások során egy epochára vagy egy epochasorozat minden egyes tag-

jára kiszámítottam a hátralévő élettartamot. Mivel a felhasznált holdak már megsemmisültek, össze tudtam hasonlítani a számított és a megfigyelt hátralévő élettartamot.

Minden epochára meghatároztam ezek $\frac{O-C}{O}$ relativ eltérését.

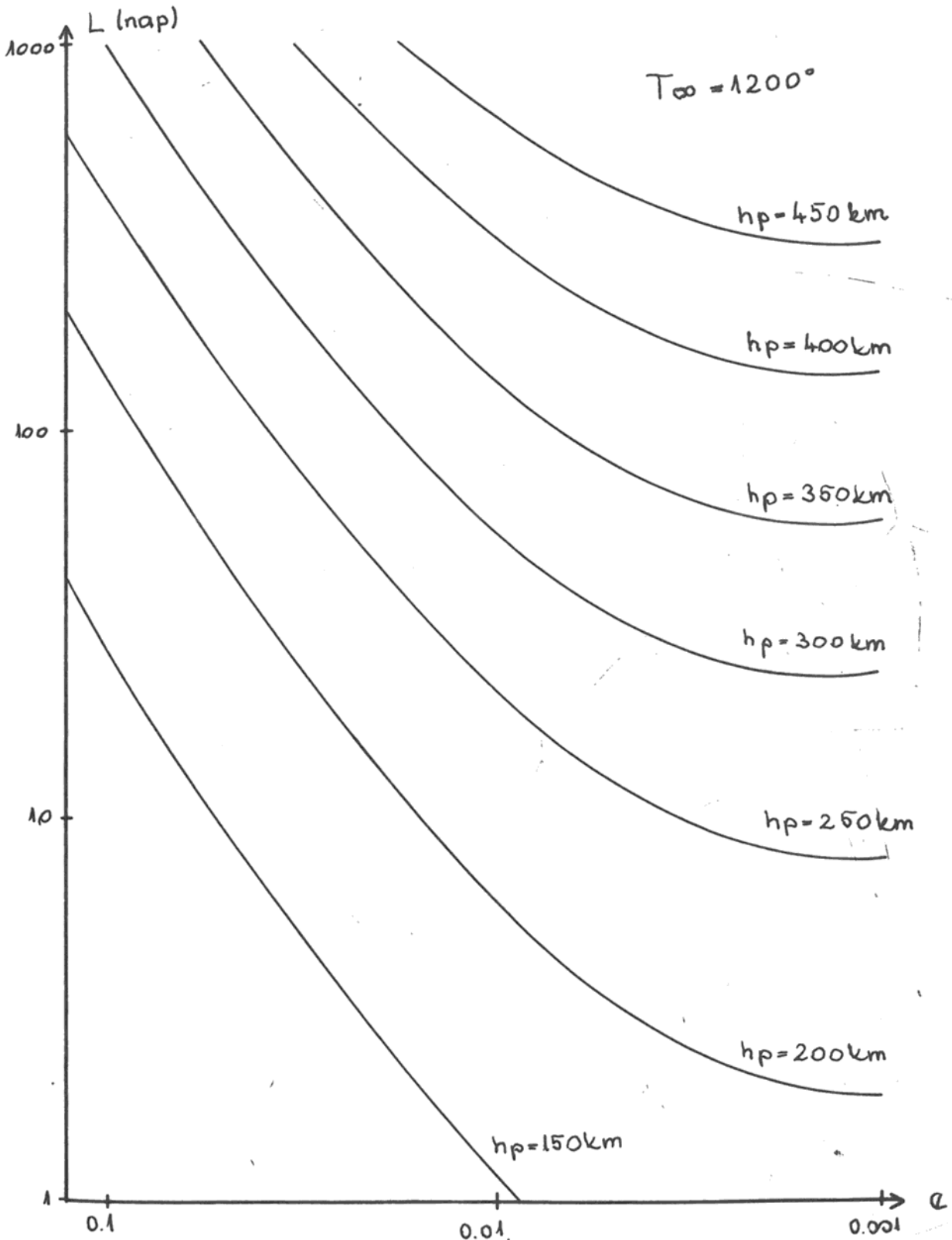
A számításokban a légköri hatásokat egyrészt a megfigyelésekből származó \dot{T} , másrészt az adott epochára rendelkezésre álló naptevékenységi adatok alapján számított T_{∞} függvényében a CIRA-72 modellből vett H képviseli. Amennyiben a két paraméter a /3.6./ képletben kellő mértékben venne figyelembe a légköri változásokat, úgy $\frac{O-C}{O}$ értéke 0 lenne.

Mint a 4. fejezetben részletesen kimutatom, ez nem így van, $\frac{O-C}{O}$ jól tükröz bizonyos légköri változásokat, azaz a képlet ezeket H-n és \dot{T} -on keresztül nem veszi kellő mértékben figyelembe.

3.4. Az élettartam függése a pályaelemektől és a légköri paramétereiktől.

A mesterséges hold élettartama elsősorban pályája perigeummagasságától és excentricitásától, valamint az exoszférikus hőmérséklettől függ. /Utóbbiról itt felteszünk, hogy az élettartam teljes ideje alatt állandó marad./

A 2.a./, b./ és c./ táblázatban /1.1. melléklet/ $T_{\infty}=800$ °K, 1000 °K és 1200 °K értékekere bemutatom L függését e-től és h_p -től. A 3.5. ábrán $T_{\infty} = 1200$ °K esetére az L(e) görbesereg látható különböző h_p -kre. h_p 50 és 100 km-es megnövelésének élettartamhosszabbító hatását, az $L(h_p)/L(h_p-50)$



3.5. ABRA

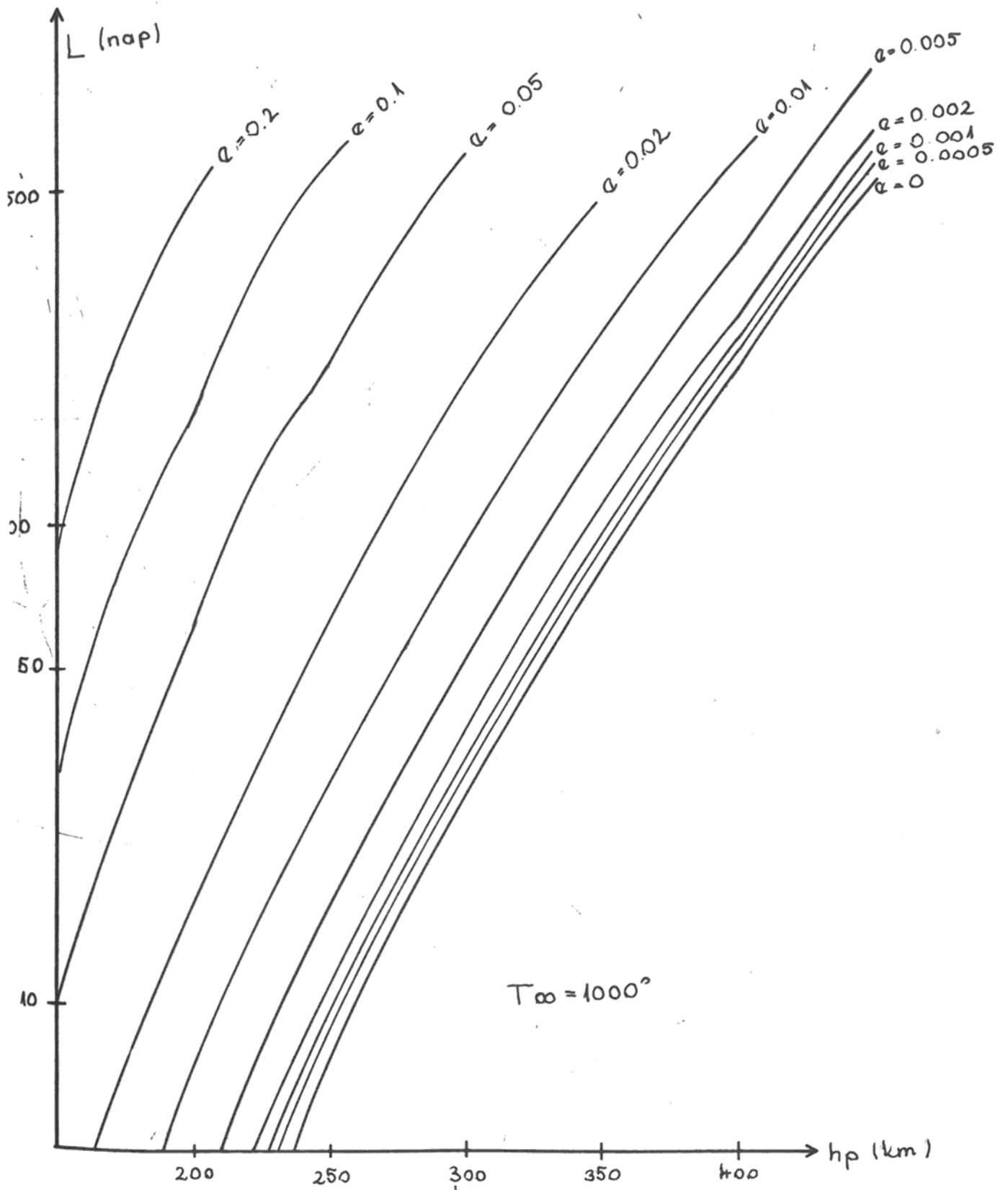
ill. az $L(h_p)/L(h_p-100)$ arányokat, az excentricitás kis, közepes és nagy értékére a 3. táblázat tartalmazza, ugyancsak $T_\infty = 1200$ °K mellett.

3. táblázat

e	$\frac{L\ 250}{L\ 200}$	$\frac{L\ 350}{L\ 300}$	$\frac{L\ 450}{L\ 400}$	$\frac{L\ 250}{L\ 150}$	$\frac{L\ 350}{L\ 250}$	$\frac{L\ 450}{L\ 350}$
0.0022	3.93	2.51	2.16	30.34	7.35	4.94
0.02	3.10	2.30	2.08	15.84	5.87	4.50
0.2	2.96	2.24	2.05	14.02	5.52	4.36

A perigeummagasság növelésének hatása főleg a kis magasságoknál jelentős, hiszen itt $\Delta h_p > H$, míg nagyobb magasságokon $\Delta h_p < H$ miatt a perigeumbeli légsűrűség relatív megváltozása kisebb. Nagyobb excentricitásoknál a hatás kisebb, mivel itt az apogeumbeli fékeződés hatása már elhanyagolhatóan kicsiny.

A 3.6. ábrán $T_\infty = 1000$ °K-ra az $L(h_p)$ görbékét mutatom be különböző e értékekre. A legalsó, $e = 0$ értékhez tartozó görbe jelenti az adott perigeummagasságú pályán megvalósuló legrövidebb élettartamot. Az excentricitást növelve az élettartam nagyságrendekkel meghosszabbodhat, mint az a 4. táblázatból látható. A táblázatban $T_\infty = 1000$ °K-ra négy perigeummagasságra megadom, hogy az adott excentricitású pályán az élettartam hányszorosa a körpálya élettartamának $/L(e)/L(0)/$.



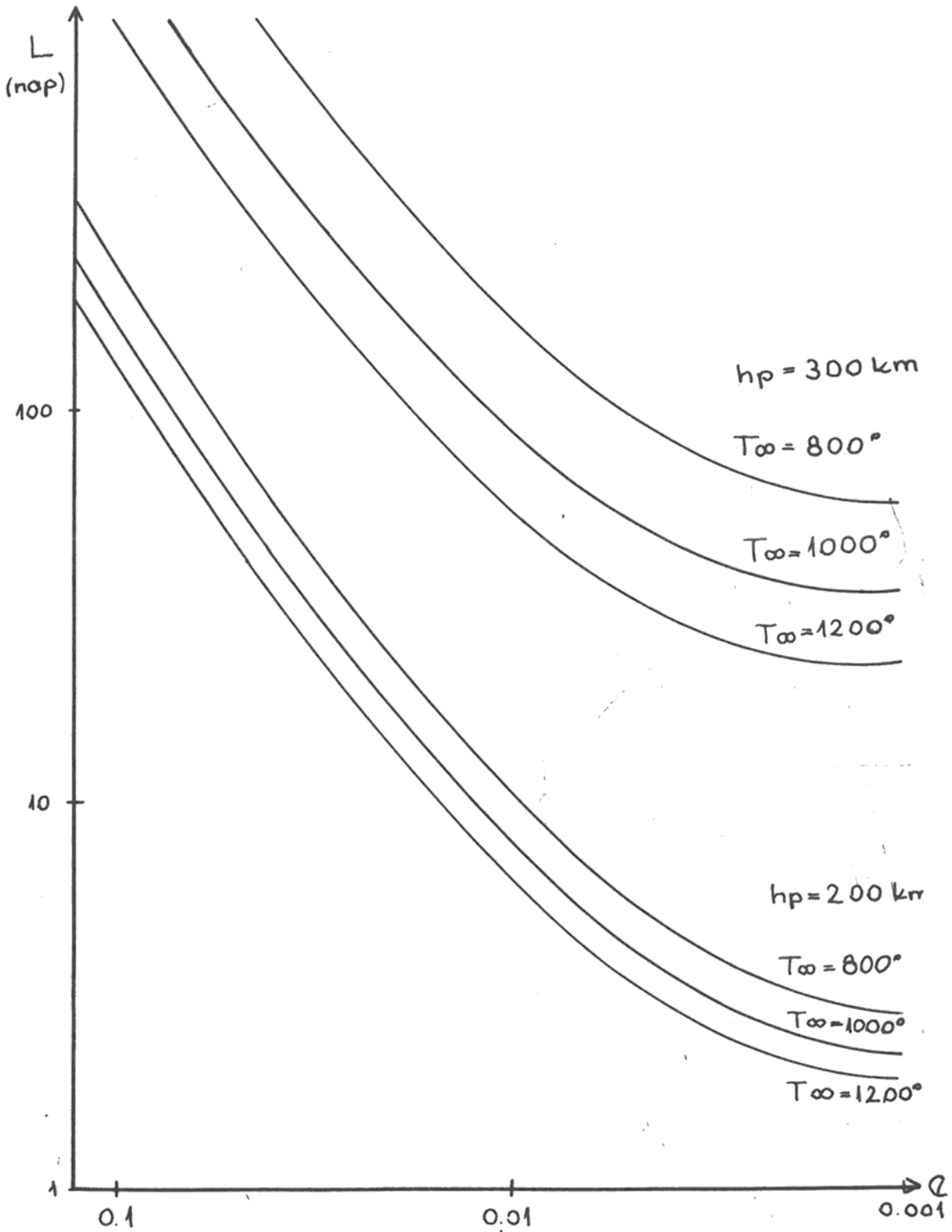
3.6. ABRA

4. táblázat

$h_p \backslash e$	0.005	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2
150	3.53	7.35	17.41	63.71	177.76	524.59
250	1.97	3.35	7.14	24.20	65.93	189.85
350	1.74	2.75	5.53	18.14	49.02	140.32
450	1.66	2.57	5.02	16.23	43.70	124.79

Az excentricitás növelésével rohamosan nő az élettartam, ez teszi lehetővé, hogy pl. igen kis, $h_p < 150$ km perigeummagasságú pályán is kb. 1 hetes élettartamú holdak keringhessenek. Nagyobb, $e > 0.5$ excentricitásokra a használt formulákkal nem kaphatunk jó eredményeket, mivel itt az élettartamot erősen befolyásolják a luniszoláris perturbációk. Nagyobb perigeummagasságoknál az effektus kisebb, ennek oka a 3. táblázat kapcsán mondottakhoz hasonló.

Az exoszférikus hőmérséklettől az előző két paraméternél kisebb mértékben függ az élettartam. T_∞ csökkenésekor egy adott magasságban is csökken, ezért az élettartam hosszabb lesz. A 3.7. ábrán két különböző perigeummagasságra mutatom be az $L(e)$ függvényt, T_∞ kis /800 °K/, közepes /1000 °K/ és nagy /1200 °K/ értékei mellett. Az $L(800 \text{ °K})/L(1200 \text{ °K})$ arányokat e és h_p függvényében az 5. táblázatban foglalom össze.



3.7. ABRA

5. táblázat

e \ h _p	150	250	350	450
0.0002	1.18	1.84	3.11	5.50
0.002	1.21	1.96	3.32	5.87
0.02	1.29	2.40	4.34	7.87
0.2	1.30	2.50	4.66	8.58

Nagyobb magasságokon T_{∞} változásának hatása jelentősebb, aminek az oka az, hogy

$$\left. \frac{d \lg \rho}{dz} \right|_{T_{\infty}=800} < \left. \frac{d \lg \rho}{dz} \right|_{T_{\infty}=1000} < \left. \frac{d \lg \rho}{dz} \right|_{T_{\infty}=1200},$$

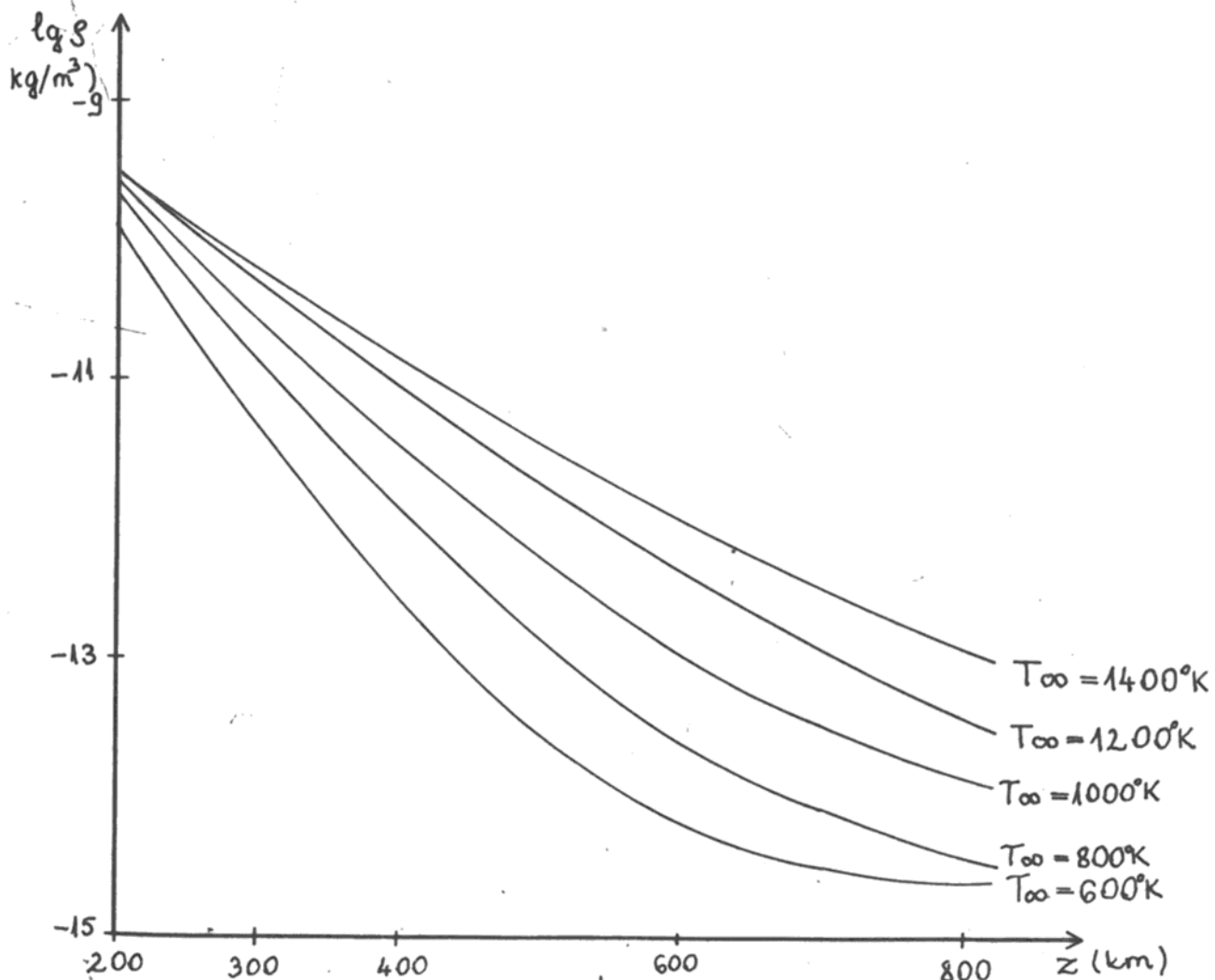
tehát nagyobb magasságon ugyanakkora hőmérsékletváltozás nagyobb sűrűségváltozást okoz /3.8.ábra/. Ugyanez az oka az e függésnek is, bár az csak kismértékű, a vizsgált tartományban az

$$\left(L(800^{\circ}\text{K}) / L(1200^{\circ}\text{K}) \right)_{e=0.2} / \left(L(800^{\circ}\text{K}) / L(1200^{\circ}\text{K}) \right)_{e=0.0002}$$

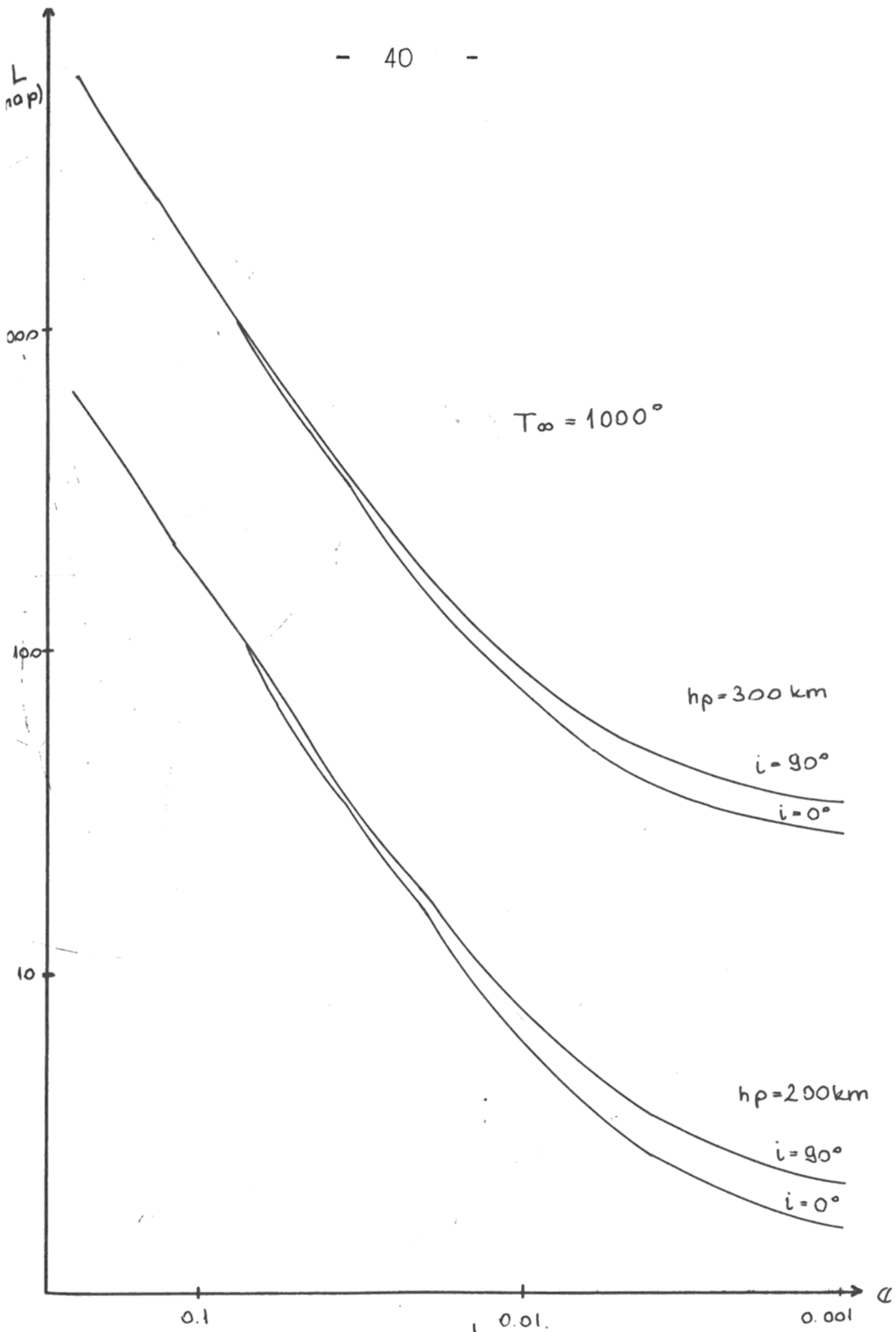
arány 1.1 ... 1.6 közti értékű.

Az élettartam pályahajlástól való függése kicsi. Mint a 3.9. ábrán $T_{\infty} = 1000^{\circ}\text{K}$ és $\omega = 0^{\circ}$ esetére látható, az $L(90^{\circ}) / L(0^{\circ})$ arány csak kis magasságon és kis excentricitásnál jelentős, $e = 0$ -nál az arány értéke a $150 < h_p < 450$ km tartományon 1.7 ... 1.2 közti. A hatást a Föld légkörének lapultsága okozza.

Megvizsgáltam az élettartam függését a perigeum argumentumától is. Ebben az esetben a légkör forgásszimmetrikusnak és az egyenlítőre szimmetrikusnak tekinthető, ezért az $L(\omega)$ függvény 2π szerint periodikus, tehát elég a $0^\circ \leq \omega \leq 90^\circ$ tartományon vizsgálni. Az $L(\omega = 90^\circ) / L(\omega = 0^\circ)$ arányt h_p és e néhány értékére a 6. táblázatban mutatom be.
 $T_{00} = 1000^\circ, i = 90^\circ /$



3.8. ÁBRA



3.9. ABRA

6. táblázat

$e \backslash h_p$	150	250	350	450
0.0002	0.28	0.59	0.66	0.68
0.002	0.32	0.59	0.66	0.68
0.02	0.69	0.75	0.77	0.78
0.2	0.89	0.94	0.95	0.95

Itt a perigeummagasságot minden ω -ra állandónak tekintetem. Ez azonban a kis excentricitású pályák esetében a Föld lapultsága miatt az eredményeket irreálissá teszi.

Tekintsünk ugyanis egy $e \approx 0$; $\omega = 0^\circ$; $i = 90^\circ$; $h_p = 150$ km adatokkal jellemzett pályát. Erre $r_p = h_p + R_E$, ahol r_p a perigeumpont geocentrikus távolsága, R_E pedig a Föld egyenlítői sugara. A pályát saját síkjában 90° -kal elforgatva és a $h_p = 150$ km értéket megtartva

$$r'_p = h_p + R_E (1 - \xi \sin^2 i \cdot \sin^2 \omega) = h_p + R_E (1 - \xi) < r_p$$

és így a pálya földfelszínhez legközelebbi pontja nem a perigeumban lesz, hanem az egyenlítőnél, és értéke

$$h_p = r_p - R_E \text{ helyett } h'_p = r'_p - R_E = h_p - \xi \cdot R_E \approx h_p - 21 \text{ km}$$

lesz. Így a 6. táblázatban a kis excentricitások esetén tapasztalható nagymértékű élettartam rövidülést nem ω változása, hanem h_p relativ csökkenése okozza. Kis excentricitásokra reálisabb képet kapunk, ha h_p helyett a

$$h_p' = h_p + (R_E - r_e(\varphi))$$

korrigált perigeummagassággal számolunk, ahol $r_e(\varphi)$ a φ földrajzi szélességű helyen mért fűldsugár ($r_e(0) = R_E$), és

$$\varphi -t a \quad \sin \varphi = \sin i \sin \omega$$

gömbháromszögtani sinus tétel definiálja.

Az eredményeket a 7. táblázatban adom meg.

7. táblázat

$e \backslash h_p$	150	250	350	450
0.0002	0.80	0.96	0.97	0.97
0.002	0.87	0.97	0.98	0.97
0.02	1.90	1.24	1.15	1.11
0.2	2.44	1.54	1.41	1.36

Itt h_p növekedése miatt nagy excentricitásokon kapunk irreálisan nagy élettartamnövekedést. A valóságos eset valahol a tárgyalt két változat közt helyezkedik el, hiszen a és e gravitációs eredetű periodikus perturbációi miatt ω -val együtt h_p is változik.

Az eredményekből arra következtethetünk, hogy $L(\omega)$ szélső értékei közt is csak $\approx 10 \dots 20 \%$ az eltérés, tehát L -et $\sim 1 \%$ hibával kapjuk meg, ha ω -t néhány fok pontossággal ismerjük.

Megvizsgáltam L reagálását közvetlenül ρ megváltoztatására is. Itt minden T_{∞} , e és h_p értékre az elméleti összefüggések diszkussziója alapján várható

$$L \sim \frac{1}{\rho}$$

eredményt kaptam. Ez a várakozásnak megfelel, hiszen /3.6./ szerint $L \sim \frac{1}{\rho}$, míg /3.4./ szerint $\dot{T} \sim \rho$.

Az élettartam függ közvetlenül H változásaitól is. Ezt a $0.5 H \dots 1.5 H$ tartományon tanulmányoztam, oly módon, hogy a légköri modellből kapott H értéket \dot{T} illetve L kiszámítása előtt megváltoztattam. A 8. táblázatban az $\frac{L_{1.5H}}{L_H}$ értékeket adom meg $T_{\infty} = 1000^{\circ}$ mellett. Megjegyzem, hogy az $\frac{L_H}{L_{0.5H}}$ eredmények jellege hasonló, a számértékek csak kissé különböznek.

8. táblázat

$e \backslash h_p$	150	250	350	450
0.0002	1.22	1.38	1.40	1.41
0.002	1.06	1.26	1.31	1.32
0.02	0.83	0.89	0.93	0.94
0.2	0.79	0.82	0.82	0.82

Nagy excentricitású pályákon haladó műholdak élettartama lecsökken ha H -t megnöveljük. H növelésével ugyanis

az adott sűrűségű szintek följebb kerülnek, így a perigeum, amelynek környékén a fékeződés a legjelentősebb, sűrűbb lég-rétegbe kerül, tehát az élettartam lerövidül.

Kis excentricitású pályák esetén a műhold a teljes pálya mentén csaknem azonos mértékben fékeződik. A hold leesését a közegellenállási erő munkája által okozott mozgási energiavesztés okozza. Mivel $F_g \sim \rho$, ezért ha a hold h -tól h_0 magasságig süllyed
$$W_s \sim \int_h^{h_0} \rho dh = \exp\left(-\frac{h_0-h}{H}\right)$$
 Ebből látható, hogy amennyiben H -t megnövelem, W_s kisebb lesz, vagyis a hold élettartama megnő.

Összefoglalva megállapítható, hogy az élettartam leg-erősebben az excentricitástól és a perigeummagasságtól függ, így a számítások során ezeket igen nagy pontossággal kell ismernünk. Kisebb az exoszférikus hőmérséklet a skálamagasság és a sűrűség hatása. Jelentéktelennek mondható az élettartam függése a perigeum argumentumától és a pályahajlástól, így ezeket elegendő néhány fok pontossággal ismerni.

3.5. A kapott eredmények összehasonlítása a megfigyelésekkel

Az előző fejezet eredményeit a megfigyelésekkel kb. 900 mesterséges hold pályadatai alapján végeztem el. [17] alapján felhasználtam valamennyi 1957 és 1975 között fellőtt $L_0 < 100$ nap élettartamu mesterséges holdat. Így azonban igen nagy szórású eredményeket kaptam, ezért a módszert finomítani kellett.

Először minden egyes műholdra elvégeztem az

$$L' = L_0 \cdot \frac{\mathcal{J}}{0.02}$$

korrekciót, hogy az élettartamok a 3.4. fejezet $\mathcal{J}=0.02$ értékkel számított eredményeivel összehasonlíthatók legyenek. Elvégeztem továbbá a megfigyelt élettartam értékeknek a 4.2. fejezetben leírtak szerint a naptevékenység 11 éves ciklusára vonatkozó és a 4.3. fejezetben leírtak szerint a féléves effektusra vonatkozó korrekcióját. Előbbihez a 4.2. fejezeteredményei alapján felállított

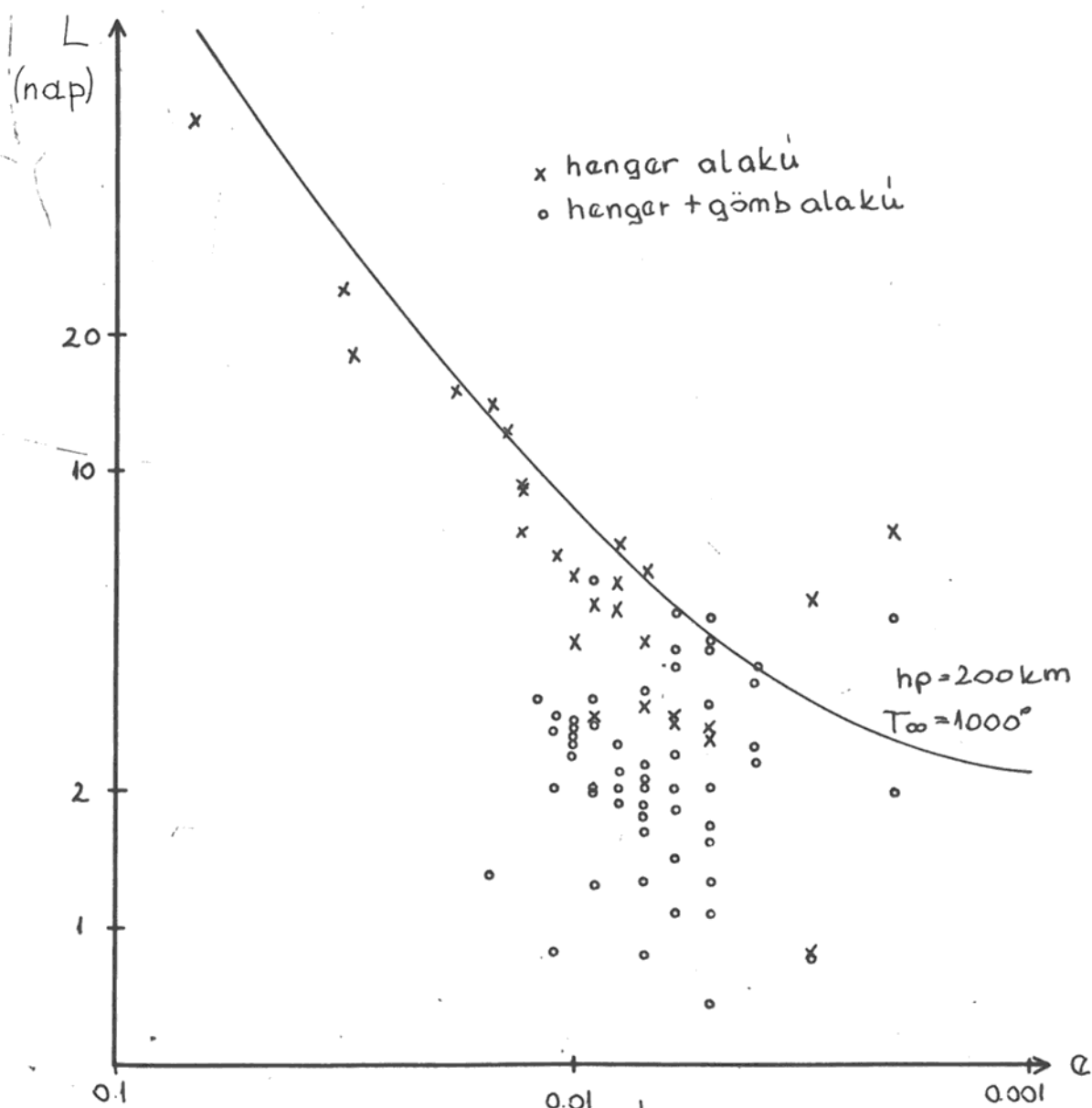
$$\Delta \mathcal{P}_{11} = \left(75 \cdot \sin \frac{\text{MJD} - 41200}{1900} + 155 \right) / 155$$

empirikus formulát, utóbbihoz pedig /2.2./-t használtam.

Az így kapott módosított L élettartamokat e függvényében ábrázolva a kapott eredmények a 3.5. és 3.7. ábrával összehasonlíthatóak. A 3.10. ábrán a $h_p = 200 \pm 3$ km perigeummagasságú holdak közül 77 db módosított élettartamát ábrázolom. Az ábrán feltüntettem a $h_p = 200$ km-hez és $T_{\infty} = 1000^{\circ}\text{K}$ -hoz tartozó elméleti $L(e)$ görbét is. Eltérően jelöltem a henger alakú holdakat, amelyekre /3.1./ megszorítás nélkül alkalmazható, és az egyéb, többnyire hengeres és gömbalakú részből összetett holdakat, amelyekre /3.1./-t közelítésként próbáltam alkalmazni.

Az ábra alapján megállapítható, hogy a henger alakú holdakra kapott értékek jól illeszkednek az elméleti görbére. A henger + gömb alakúak esetén viszont a hatáske-

resztmetszet meghatározására /3.1./ még közelítésként sem fogadható el. A henger + gömb alakot az őt magába foglaló hengerrel közelítve a valóságosnál mintegy 3-szor kisebb S -et illetve δ -t kapunk. Ezen kívül itt a szórás is sokkal nagyobb mint a henger alakú holdaknál.



3.10. ABRA

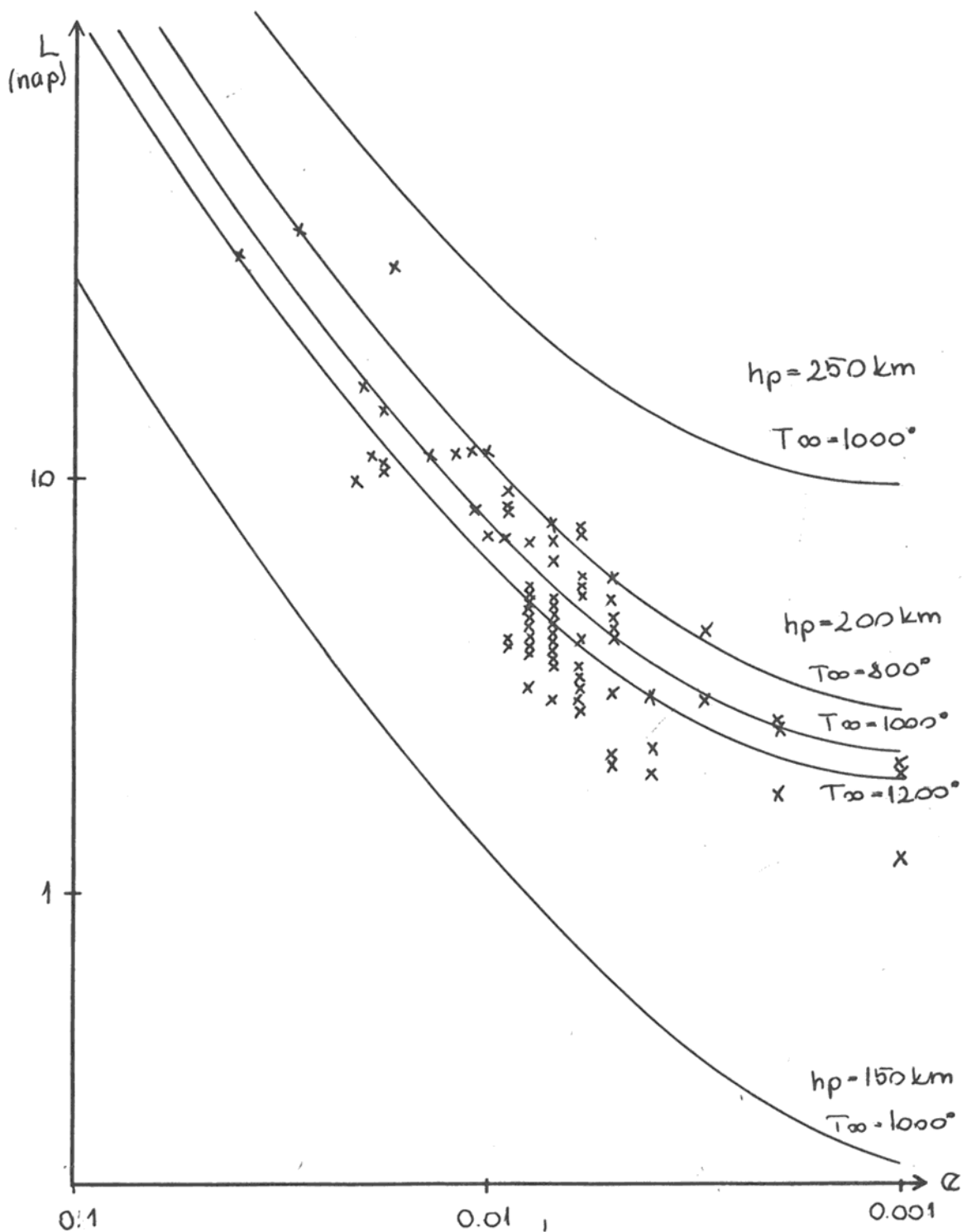
Az elméleti görbékkel való jobb összehasonlíthatóság érdekében külön megvizsgáltam Kozmosz mesterséges holdak hordozórakétáinak élettartamát két holdcsoportra. Mindkét csoport tagjai henger alakúak, méret és tömegadataik

$$m_1 = 2500 \text{ kg}; l_1 = 7.5 \text{ m}, d_1 = 2.6 \text{ m}; m_2 = 1500 \text{ m};$$

$$l_2 = 8.0 \text{ m}; d_2 = 1.65 \text{ m}.$$

A $C_D = 2.15$ értékkel számolva $\sigma \approx 0.015$ és $\sigma \approx 0.016$ adódott, a pontos értéket minden egyes holdra külön-külön határoztam meg, mivel a különböző inklinációjú pályák miatt F értéke holdanként változott. Az első csoportban 389; a másodikban 86 holdat vizsgáltam meg.

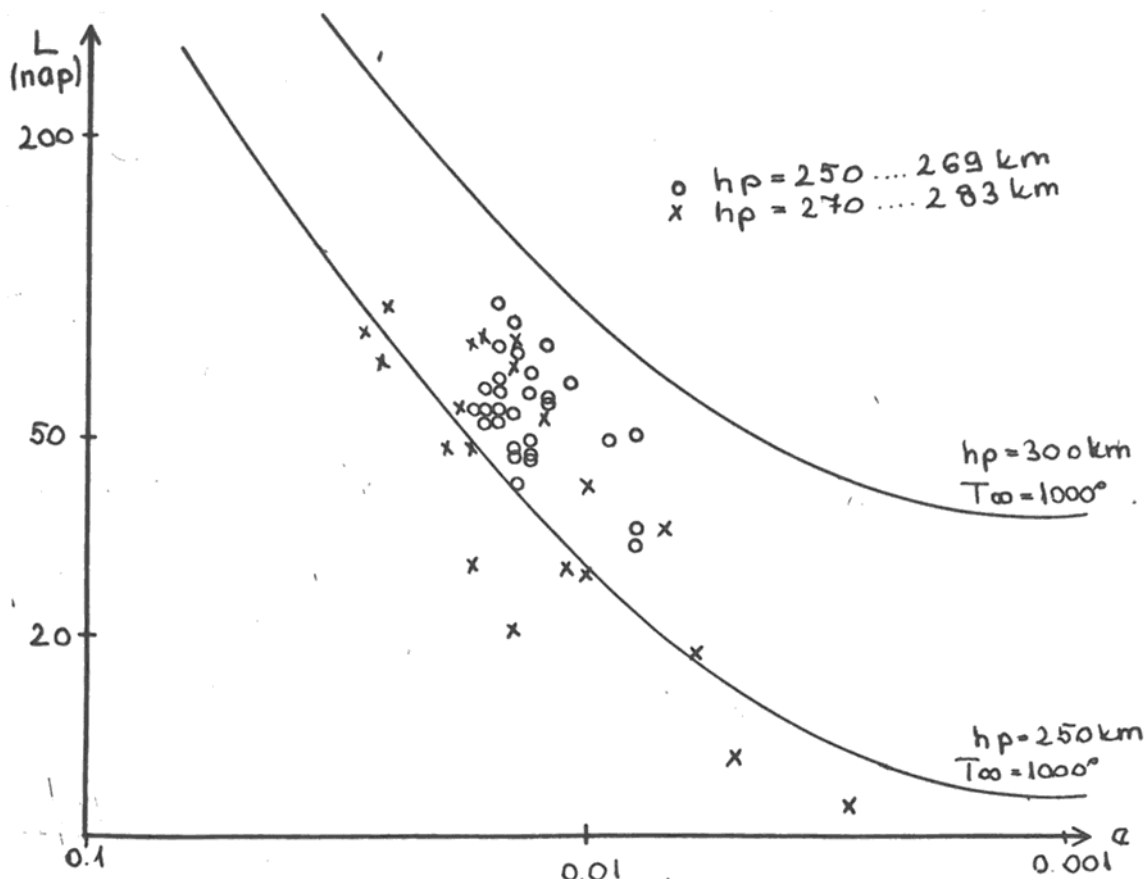
A 3.11. ábrán az első csoport holdjai közül a $h_p = 200 \pm 3$ km perigeummagasságúak módosított élettartamát mutatom be, az összehasonlításhoz szükséges elméleti görbékkel együtt. Az ábráról leolvasható, hogy a szórás a 3.10. ábra nem hengeres holdjaihoz képest jelentősen lecsökkent. A megmaradó szórást több tényező magyarázhatja: T_∞ változásai, a holdak tömegét csak 100 kg pontossággal ismerjük, [17]-ben a tömegadat rendszerint bizonytalanként van feltüntetve, C_D értékére csak jó közelítéssel fogadható el $C_D = 2.15$. Az ábrán felfedezhetünk egy szisztematikus eltérést is az elméleti görbéktől. Ennek valószínű oka az, hogy a holdak egymással megegyező, de nem pontosan henger alakúak, ezért σ értéke szisztematikus hibával terhelt. σ -t kb. 25 %-kal empirikusan megnövelve az elméleti görbékkel jobb egyezést kapunk. A henger + gömb a-



3.11. ABRA

lakú holdakról mondottak szerint σ 25 %-os hibáját már a henger alaktól való csekély eltérés is megmagyarázhatja.

A 3.12. ábrán a második csoport holdjai közül a $h_p=250\dots 283$ km közti perigeummagasságúakat tüntettem föl. Az elméleti görbékkel az egyezés itt is jó, a szórásról az előző ábra kapcsán elmondottak itt is érvényesek. Szisztematikus hibát itt nem lehet felfedezni. Figyelemre méltó, hogy 3.11.-gyel szemben itt $e > 0.01$ excentricitású holdak vannak többségben, így a két ábra, bár más perigeummagasságra vonatkoznak, kiegészíti egymást.



3.12. ÁBRA

Összefoglalva elmondható, hogy a 3.4. fejezet eredményeit a megfigyelések megerősítik, bár esetenként az elmélettől való jelentős eltérések is fellépnek. Különösen érzékenyen érinti a számítás pontosságát δ nem kellően pontos ismerete. Ez indokolja azt a gyakorlatot, hogy nem szabályos alakú holdak esetén δ értékét a fékeződési adatokból szokás levezetni.

4. Felsőlégi hatások kimutatása a mesterséges holdak élettartamában.

4.1. A felhasznált adatok és számítási módszerek

Amint az a 3.4. pontból látható, a légköri paraméterek változása jelentősen befolyásolja a mesterséges holdak élettartamát. Így a 2.2.2. pontban felsorolt légköri változásoknak az élettartamban tükröződni kell. E változások közül a 11 éves, a fél éves és a 27 napos periódusúak kimutatásával foglalkozom e fejezetben.

Fenti effektusokat a LIFE 11, LIFE 4 és LIFE 3 nevű FORTRAN nyelven írt és az MTA CDC 3300 típusú gépen futtatott programokkal mutattam ki. A programok főprogramjának fordítási listáját a 2.-4. mellékletben mutatom be. Mindhárom programban az egyes holdakra rendelkezésre álló, adott epochákra vonatkozó pályaelemekből a 3.3.3.-ban leírt módon kiszámítottam L -et. Mivel a számításokhoz mindig olyan holdakat használtam amelyek leesésének időpontja már ismert, a számított L -et összehasonlítottam az adott epochától a műhold megsemmisüléséig ténylegesen eltelt L_0 idővel. A két élettartamot összehasonlítva megkaptam a számítás L_0 - L hibáját, illetve $(L_0 - L)/L_0$ relatív hibáját. Utóbbira továbbiakban az $M = (L_0 - L)/L_0$ jelölést alkalmazom.

Az élettartam meghatározásához szükség volt F , \bar{F} , H és ρ értékeire is. Valamennyit táblázatos formá-

ban olvastattam be, F -et az $MJD = 36000 \dots 43185$ időszakra naponként, míg \bar{F} -ot az $MJD = 36330 \dots 42800$ időszakra lo naponként [11] adtam meg. H -t [5] táblázatai alapján a $z = 130 \dots 2000$ km magassági tartományra és $T_{\infty} = 700^{\circ}K \dots \dots 1400^{\circ}K$ exoszférikus hőmérsékletekre adtam meg, a keresett H értéket az ismert magasság valamint az F értékekből kapott T_{∞} függvényében kettős interpolációval határoztam meg. ρ értékeit a $z = 130 \dots 500$ km és $T_{\infty} = 700^{\circ}K \dots \dots 1400^{\circ}K$ tartományra adtam meg.

A mesterséges holdak pályaelemeit LIFE 11 esetében [17]-ből, LIFE 4 esetében [15] , [16]-ből, míg LIFE 3 esetében [9]ből vettem. Előbbinél egy holdhoz egy epocha tartozott, utóbbiaknál egy-egy holdhoz hosszabb pályaelem sorozat állt rendelkezésre. Általában adott volt a , e , i , ω vagy ennek megfelelő mennyiségek. Lényeges különbség abban mutatkozik, hogy [17]-ben az adott epochához tartozó \dot{T} vagy ezzel analóg mennyiség nincs megadva, ezt is a számítás során, a légköri modellt elfogadva kell meghatározni.

H kiszámítását a SKALA nevű szubrutinnal végeztem /5. melléklet/. Ebben F és \bar{F} ismeretében az adott epochára T_{∞} -t /2.1./ segítségével meghatározom, majd a táblázatból ezen T_{∞} -hez és a kívánt magassághoz tartozó skálamagasságot kiszámítom. Kimenő adatként H , T_{∞} és ha szükséges F és \bar{F} áll rendelkezésre.

Amennyiben \dot{T} nem volt megadva megfigyelések alapján, akkor azt a TPONT szubrutin segítségével /6.melléklet/ a pályae-

lemek, T_{∞} valamint ρ táblázatos, modellbeli ismeretében határoztam meg /3.4/ felhasználásával.

Itt emlitem meg, hogy a 3.4. pont eredményeit a LIFE 5 programsorozat segítségével kaptam /7, melléklet/. Itt bemenő adatként csak H és ρ táblázatos értékei szerepeltek. T_{∞} -t és a pályaelemeket önkényesen adom meg illetve változtatom. Más-más paraméterek élettartamra gyakorolt hatásának vizsgálatához a programot kissé módosítottam, a 7. mellékletben az a változat látható, amely a 2.a,b,c táblázatokat adja eredményül.

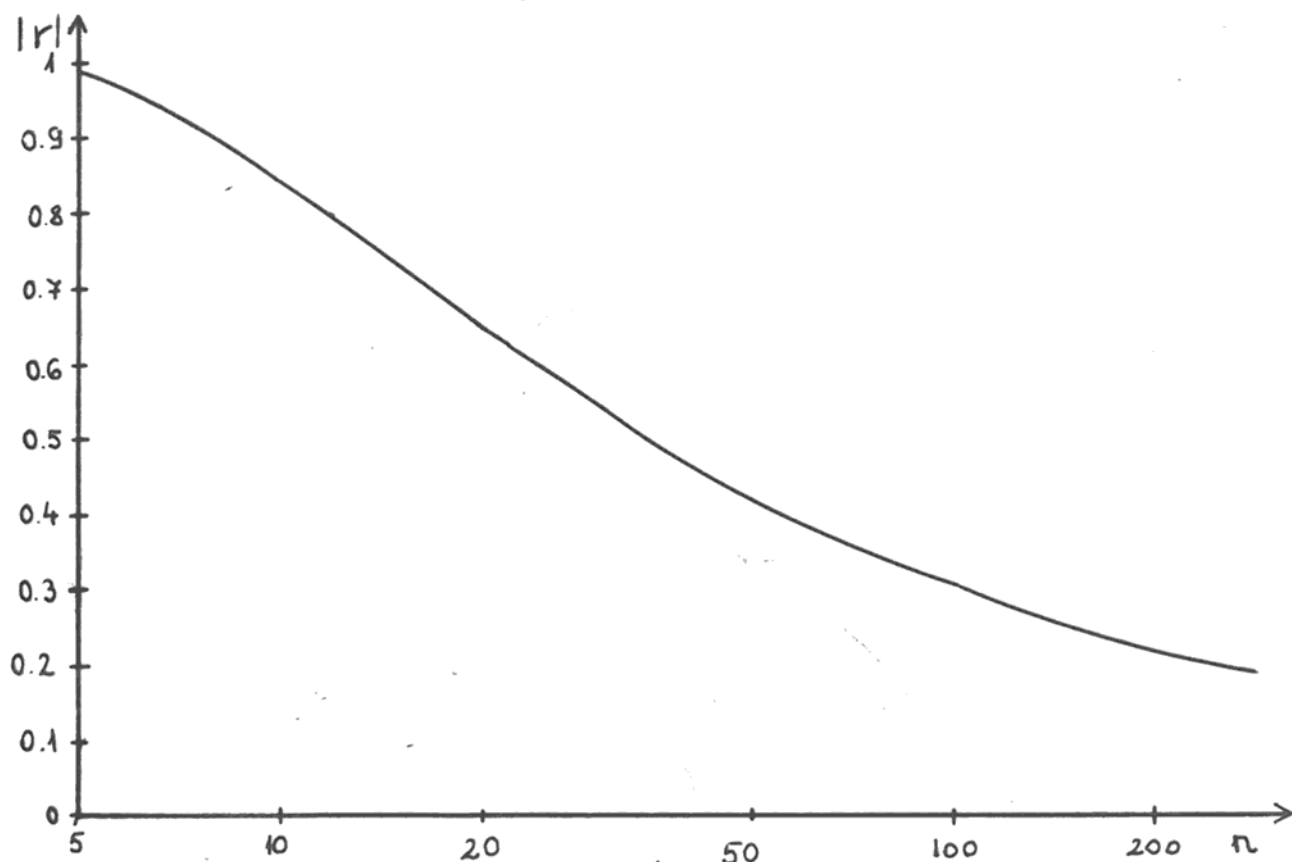
Az eredmények feldolgozása során többször végeztem korrelációs számítást az

$$r = \frac{\sum x_i y_i - \frac{1}{n} \sum x_i \cdot \sum y_i}{\sqrt{\left(\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}\right) \left(\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n}\right)}}$$

formula segítségével. Az n pontra kapott korrelációt akkor tekintetem szignifikánsnak, ha az r korrelációs együtthatóra

$$|r| > f(n)$$

teljesült, ahol az $f(n)$ függvény menetét 4.1. ábra mutatja.



4.1. ABRA

4.2. A 11 éves változás

A 11 éves naptevékenységi ciklusnak a felsőlégkör sűrűségére gyakorolt hatásának a műholdak élettartamában való tükröződését Kozmosz mesterséges holdak és azok hordozó-rakétái segítségével mutattam ki. A számításokhoz 1967 és 1975 között felbocsátott Kozmosz holdak négy csoportját használtam fel. Az egyes csoportokba tartozó mesterséges holdak számát, fontosabb geometriai és pályaadatait a 9. táblázat tartalmazza.

9. táblázat

csoport	hold típusa	db	alak	tömeg kg	hossz. m	átmérő m
I.	Kozmosz	48	ellipszoid	400	1.8	1.27
II.	Kozmosz hordozó-rakéta	48	henger	1500	8.0	1.65
III.	Kozmosz	8	ellipszoid	400	1.8	1.27
IV.	Kozmosz hordozó-rakéta	9	henger	1500	8.0	1.65

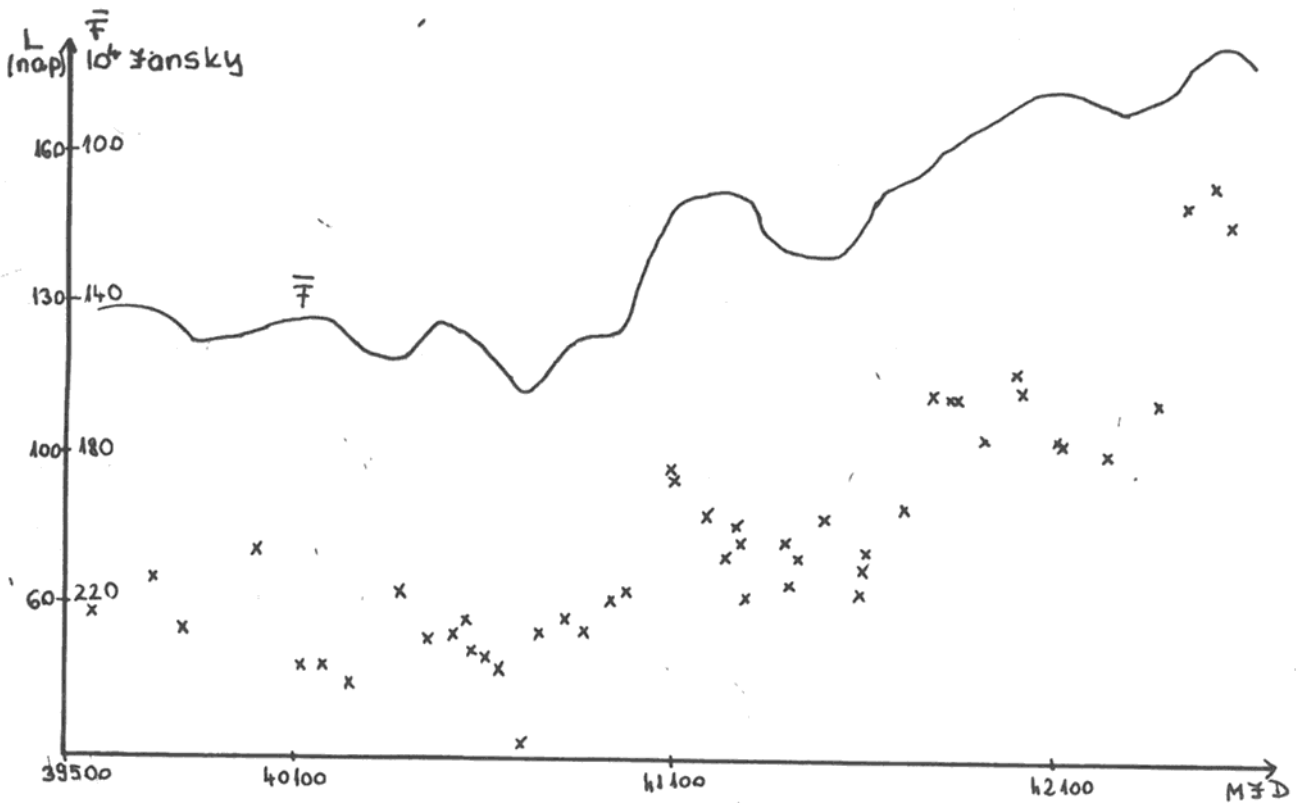
9. táblázat/folytatása/

csoport	i	T perc	h_p km	h_a km	e	ω
I-II.	71.0 ± 0.05	92.2 ± 0.3	272 ± 4	486 ± 14	0.016 ± 0.002	80 ± 10
III-IV.	71.0 ± 0.05	95.5 ± 0.4	271 ± 4	814 ± 23	0.039 ± 0.002	80 ± 5

Az egyes holdak pályadatait [17]-ből vettem. Egy-egy csoporton belül a holdak pályaelemei és \mathcal{O} értékei azonosak, megfigyelt élettartamuk mégis jelentős eltéréseket mutat.

Az I. és II. csoportba tartozó holdak élettartamát a fellövés időpontjának függvényében a 4.2. és 4.3. ábrán mutatom be.

Ugyanezekre az ábrákra felrajzoltam az adott időszakra a nap-tevékenység korong komponensét jellemző, tehát a 11 éves ef-

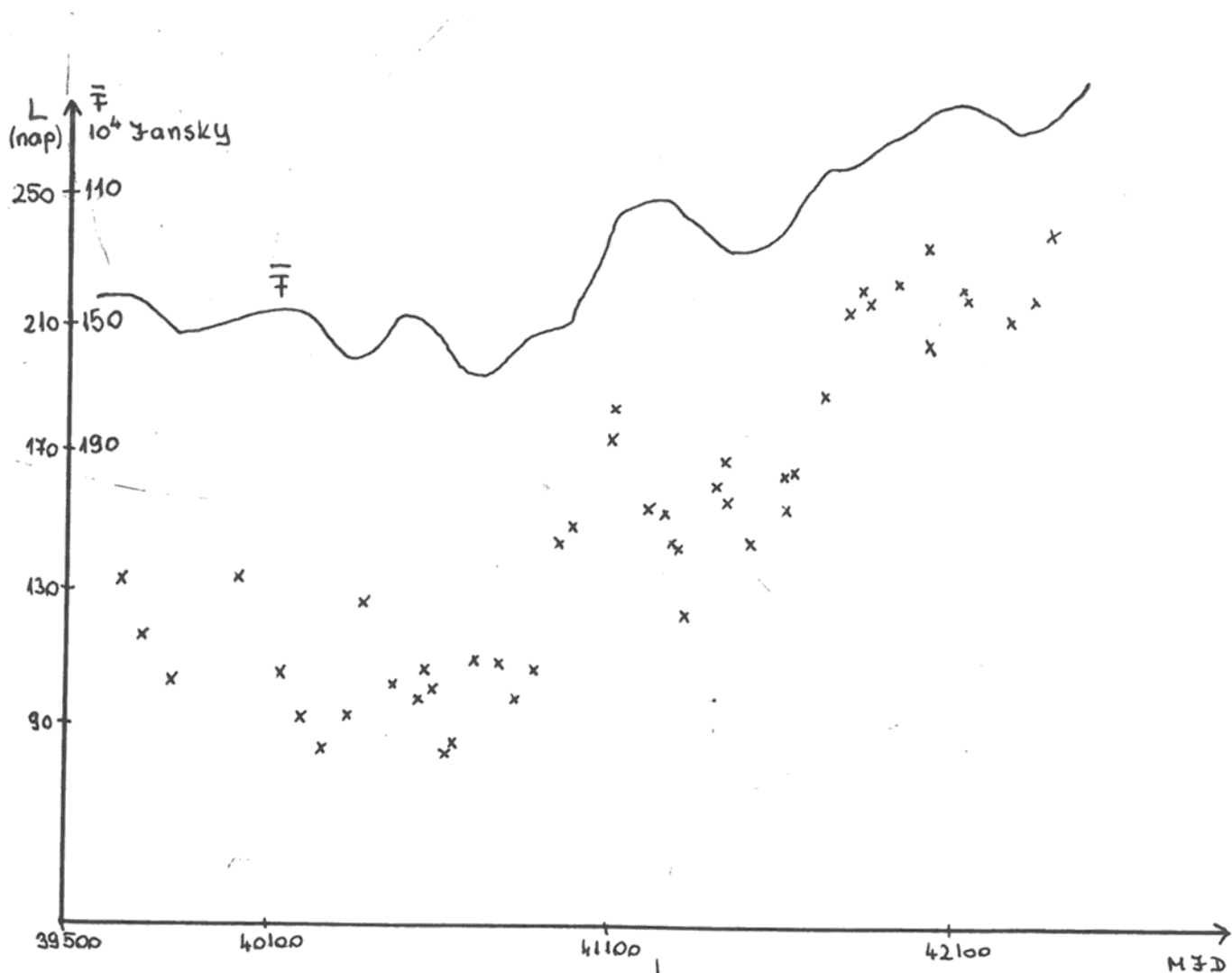


4.2. ÁBRA

fektust mutató \bar{F} értékeket is. Meghatároztam a korrelációs együttható értékét a megfigyelt élettartam és az \bar{F} illetve az F aktiv-terület komponens naptevékenységi indexek közt 3-3 esetre: $\bar{F}_1; \bar{F}_2; \bar{F}_3$ és $F_1; F_2; F_3$ rendre a megfigyelt élettartam kezdetéhez /fellövés illetve első epocha, melyre a pályaelemek adottak/, közepéhez és végéhez /megsemmisülés időpontja/ tartozó naptevékenységi indexek. Az egyes csoportokra kapott korrelációs együtthatókat a 10. táblázatban foglalom össze:

10. táblázat

	\bar{F}_1	\bar{F}_2	\bar{F}_3	F_1	F_2	F_3
I.	-0.934	-0.949	-0.937	-0.833	-0.788	-0.773
II.	-0.923	-0.922	-0.910	-0.790	-0.793	-0.775
III.	-0.898	-0.914	-0.847	-0.758	-0.805	-0.669
IV.	-0.884	-0.905	-0.872	-0.780	-0.637	-0.841



4.3. ABRA

Az eredményekből kitűnik, hogy L és \bar{F} közt a korreláció mind a négy csoport esetében igen szoros, r jóval a 4.1. ábra szerinti szignifikancia szint fölött van. Általában az \bar{F}_2 -gal számított korreláció valamivel jobb, mint az \bar{F}_1 -gal vagy \bar{F}_3 -gal számított, tehát a naptevékenység 11 éves ciklusának a műhold élettartamára gyakorolt hatását az élettartam közepéhez tartozó \bar{F} index jellemzi legjobban. E tény várakozásunknak megfelel. Az F indexszel a korreláció kisebb, sőt a III. és IV. csoport esetében valamivel a szignifikancia szint alatt van. Az aktiv-terület komponensnek a teljes élettartamra tehát kicsi a hatása. A korrelációs együttható minden esetben negatív, vagyis naptevékenységi maximum idején ugyanolyan mesterséges hold ugyanolyan pályán rövidebb élettartamú, mint naptevékenységi minimumkor.

A 4.1. pontban leírt módon minden holdra kiszámítottam a rendelkezésre álló epochához tartozó hátralévő élettartamot, és ennek a megfigyelt élettartamról való M relatív eltérését. A hátralévő élettartam számításánál a 4.3. pontban ismertető módon a féléves változás hatását figyelembe vettem.

A számított hátralévő élettartam a fenti \bar{F} és F értékekkel ugyanolyan jól korrelált mint L . A kapott r értékek a 10. táblázatban szereplő eredményektől csak $\Delta r < 10^{-2}$ mértékben térnek el. A csekély eltérés azt mutatja, hogy a számított élettartam értékekben figyelembe vettük a naptevékenység 11 éves változását. Ez úgy történik, hogy \dot{T} ki-

számításához ismernünk kell T_{∞} értékét. T_{∞} -nek az adott epochára történő kiszámítása viszont a /2.1./ képlettel történik, mely \bar{F} -ot tartalmazza.

Azt, hogy a számítás során milyen pontosan vesszük figyelembe a 11 éves sűrűségváltozást, a következőképp becsültem meg. A számított élettartam M relatív hibáját is korreláltattam az \bar{F} és F értékekkel. Az I.-II. csoport esetében $|r| < 0.25$, míg a III.-IV. csoportra $|r| < 0.7$ adódott, amely értékek minden esetben jóval a 4.1. ábrán megadott szignifikancia szint alatt vannak.

A kapott relatív hibák viszonylag nagyok, 10...20 % nagyságúak, ez azzal magyarázható, hogy a rendelkezésre álló pályaelemek pontossága a kívánatosnál kisebb volt, e-ben 10^{-3} , h_p -ben pedig 1 km volt az adatok pontossága. Ennek ellenére egyértelműen látható, hogy a relatív hiba független a naptevékenység 11 éves periódusától.

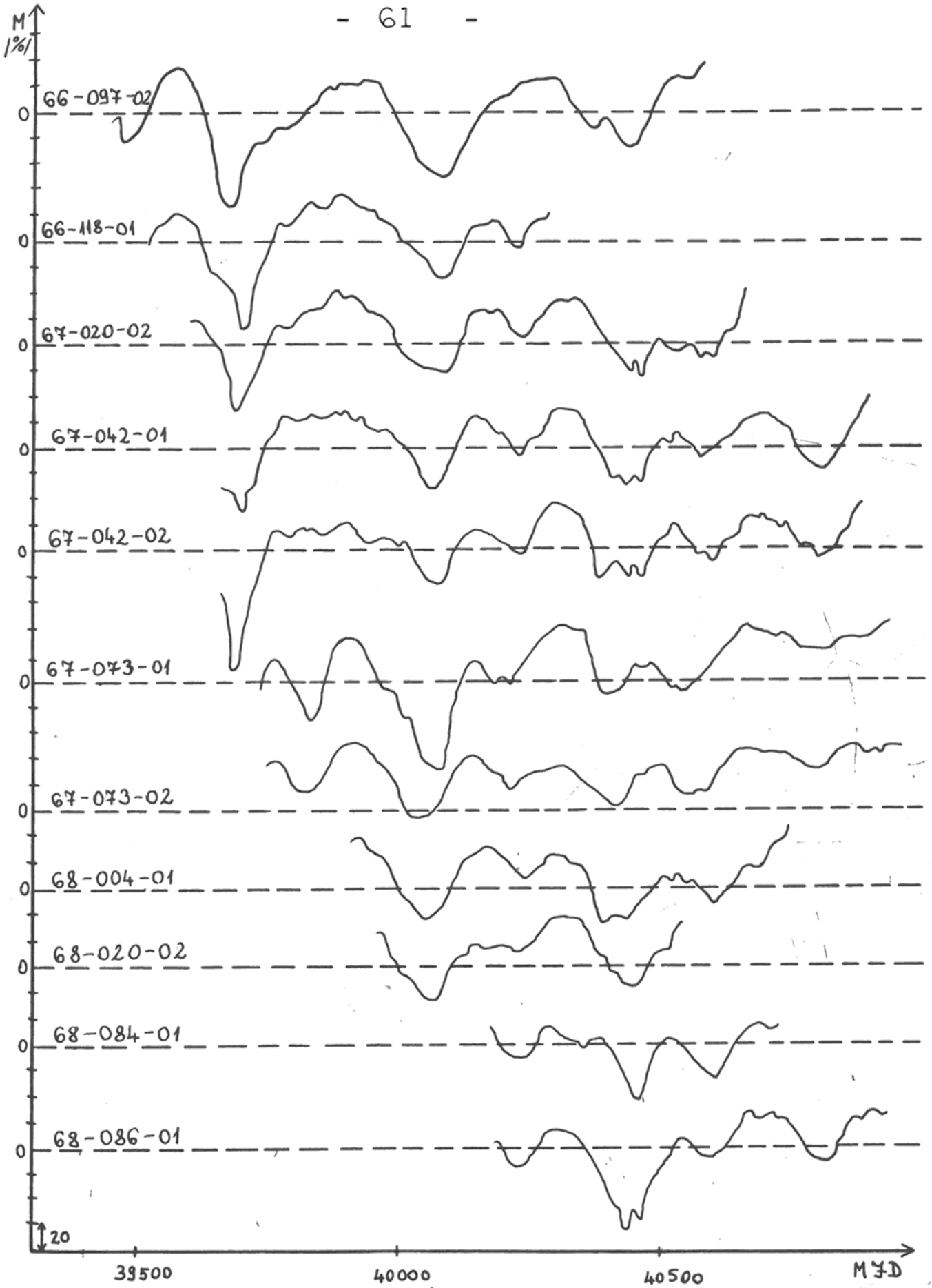
Összefoglalva a kapott eredményeket, a következő megállapítások tehetők. A naptevékenység 11 éves periódusa által okozott sűrűségváltozás hatása a műholdak élettartamában kimutatható; a megfigyelt élettartamok és a naptevékenység \bar{F} indexe közt szignifikáns antikorrreláció van. Az élettartam számításához felhasznált összefüggések a 11 éves sűrűségváltozást jól veszik figyelembe. Utóbbi megállapításból az is következik, hogy a 11 éves effektus hatása T_{∞} változásaként jelentkezik hiszen \bar{F} az élettartam kiszámítása során csak /2.1./ képletben szerepel.

4.3. A féléves változás

A féléves légköri változásnak a műholdak élettartamára gyakorolt hatását olyan holdakra mutatom ki, amelyekre hosszabb időre pályaelemsorok álltak rendelkezésre. Ezekre minden epochához meghatároztam a pályaelemek és a megfigyelt \dot{n} alapján a hátralévő élettartamot, valamint annak M relatív hibáját. A számítások során a 27 napos változás ki-küszöbölése érdekében a 4.4. fejezetben leírt módon 54 napos csúszó közepelést alkalmaztam. A számításokat először 40 holdra végeztem el, megbízható következtetéseket azonban csak azoknál lehetett levonni, ahol az adatok több éves időtartamot lefedtek. A többi holdra kapott eredmények ezeknek nem mondanak ellent, de újabb következtetések sem vonhatók le belőlük. A továbbiakban szereplő holdak fontosabb pályadatait a 11. táblázatban mutatom be.

A 4.4. ábrán bemutatom a vizsgált 11 holdra kapott M értékeket az $MJD = 39400 \dots 41000 / 1966.X. - 1971.II./$ időszakra az idő függvényében. Összehasonlításképp az $MJD = 40000 \dots 40900$ időszakra a 64-063-03 hold megfigyeléseiből meghatározott sűrűségértékeket is ábrázolom a 4.5. ábrán. A 11. táblázatban e hold adatait is feltüntetem.

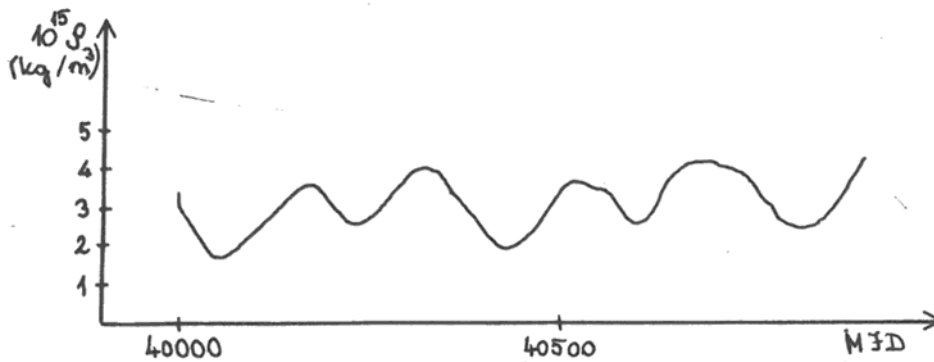
A 4.4. ábrán jól látható, hogy az $M(t)$ görbék nagyjából féléves periódusú változást mutatnak, amely fázisában jól egyezik a 4.5. ábra $\rho(t)$ görbéjével. Az $M(t)$ görbék periódusa és fázisa független a holdak pályaelemeitől, a különböző magasságban keringő és különböző excentricitású holdakra a görbék hasonlóak.



4.4. ABRA

11. táblázat

hold jele	a km	e	h_p km	i fok	T_Ω nap	T_ω nap
64-063-03	7447	0.002	1054	89.9	35600	124
66-097-02	7336	0.087	319	82.0	417	129
66-118-02	6869	0.0007	486	75.0	181	141
67-020-02	6925	0.001	540	32.9	57	38
67-042-01	6931	0.008	497	80.2	284	113
67-042-02	6935	0.009	494	80.2	284	113
67-073-01	7035	0.035	411	86.0	728	104
67-073-02	7032	0.034	415	86.0	727	104
68-004-01	6876	0.007	450	75.1	183	140
68-020-02	6880	0.003	481	83.1	392	102
68-084-01	7276	0.088	258	93.8	851	115
68-086-01	6875	0.002	483	75.0	182	141



4.5. ABRA

Érdekes azonban megfigyelni, hogy az 1968. I.-i sűrűségminimum hatása csak 2 holdnál jelentkezik, akkor is a vártnál kb. 30 nappal korábban, az 1969. I.-i minimum pedig 2 holdnál nem figyelhető meg. A 67-073-01 és a 67-073-02 jelű holdaknál a minimumok a legtöbb esetben 30...40 nappal korábban jelentkeznek, mint a többi holdnál.

A 4.4. ábrán felrajzolt eredményekből kétféleképpen igazoltam, hogy valóban a féléves effektus látható a görbéken. Minden hold $M(t)$ görbéjéről leolvastam a minimumok helyét a bemenő adatok által lehetővé tett ± 10 napos pontossággal. A 12. táblázatban feltüntettem, hogy az adott minimumkor hány holdra volt meg az $M(t)$ görbe (n_n), ebből hány holdnál lehet megfigyelni a minimumot (n_{\min}), a görbékről leolvasott minimumhelyek középértékét, a megfelelő irodalmi értéket [13] és a kettő eltérését.

A meghatározott minimumok helye az irodalmi értéktől csak abban a két esetben tér el 20 napnál többel, amikor $n_{\min} \leq 2$.

Az $L_0 - L \leq 20$ nap eltérés az adatok pontossága alapján megengedhető. A vizsgált holdaknál a januári minimumokra $L_0 - L > 0$ míg a júliusiakra általában $L_0 - L < 0$. A holdak kis száma miatt azonban ez a kijelentés nem tekinthető általános érvényűnek.

Kiszámítottam a korrelációs együtthatót az $M(t)$ és $\rho(t)$ függvények között. A 13. táblázatban megadom az egyes holdak esetében a korrelációs számításnál figyelembe vett idő-

12. táblázat

mini- mum	n_n	n_{min}	a minimum időpontja			$L_0 - L$ nap
			MJD	polgári	irodalmi	
67.I.	1	1	39470	66.XII.10.	I.24	+45
67.VII.	5	5	39690	67.VII.10.	VII.21	+ 2
68.I.	7	2	39825	67.XII.1.	I.24	+54
68.VII.	9	9	40065	68.VII.28.	VII.21	- 7
69.I.	11	9	40229	69.I.8.	I.24	+16
69.VII.	10	10	40430	69.VII.28.	VII.21	- 7
70.I.	7	7	40590	70.I.4.	I.24	+20
70.VII.	5	5	40804	70.VIII.6.	VII.21	-17

13. táblázat

hold jele	vizsgált időszak MJD	n	r_1	r_2
66-097-02	40000 ... 40580	59	0.561	0.376
66-118-02	40000 ... 40280	29	0.894	-0.241
67-020-02	40000 ... 40660	67	0.785	-0.144
67-042-01	40000 ... 40900	91	0.884	0.046
67-042-02	40000 ... 40880	89	0.857	-0.047
67-073-01	40000 ... 40900	91	0.697	0.247
67-073-02	40000 ... 40890	90	0.690	-0.048
68-004-01	40000 ... 40740	75	0.809	0.020
68-020-02	40000 ... 40540	55	0.918	-0.028
68-084-01	40170 ... 40720	56	0.788	0.285
68-086-01	40180 ... 40900	73	0.848	0.165

intervallumot, a vizsgált pontok számát n és az r_1 korrelációs együtthatót. / r_2 értelmezését ld. később/

Az r_1 korrelációs együttható értéke minden holdnál magas, a szignifikancia szint fölött van, annak ellenére, hogy a sűrűségi adatok 1000 km-es magasságra vonatkoznak, a vizsgált holdak viszont $h_p = 250 \dots 550$ km perigeummagasságú pályán mozognak. Az $e > 0.01$ excentricitású holdakra r_1 valamivel kisebb mint $e < 0.01$ -re.

Ellenőrzésképpen az $M(t)$ görbék periódusát összehasonlítottam az egyes holdaknál Ω és ω periódusával, megfelelő egyezést azonban nem tapasztaltam. Nem lehetséges tehát, hogy az $M(t)$ görbék periodicitását $\dot{\Omega}$ vagy $\dot{\omega}$ okozza.

Fentiek alapján tehát bizonyítottnak tekinthető, hogy az élettartamszámítás során a légkör féléves sűrűségváltozását nem, vagy nem kellően vesszük figyelembe, ez a számításokban jelentős, de jól leírható hibát okoz. Kézenfekvő tehát, hogy a számítások során a féléves effektust tartalmazó korrekciót végezzünk. Ezt nem lenne célszerű minden egyes esetben az adott időszakra vonatkozó megfigyelt sűrűségadatok alapján végezni, ezért a CIRA-72 modellben szereplő /2.2./ formulákat használtam fel. Mivel

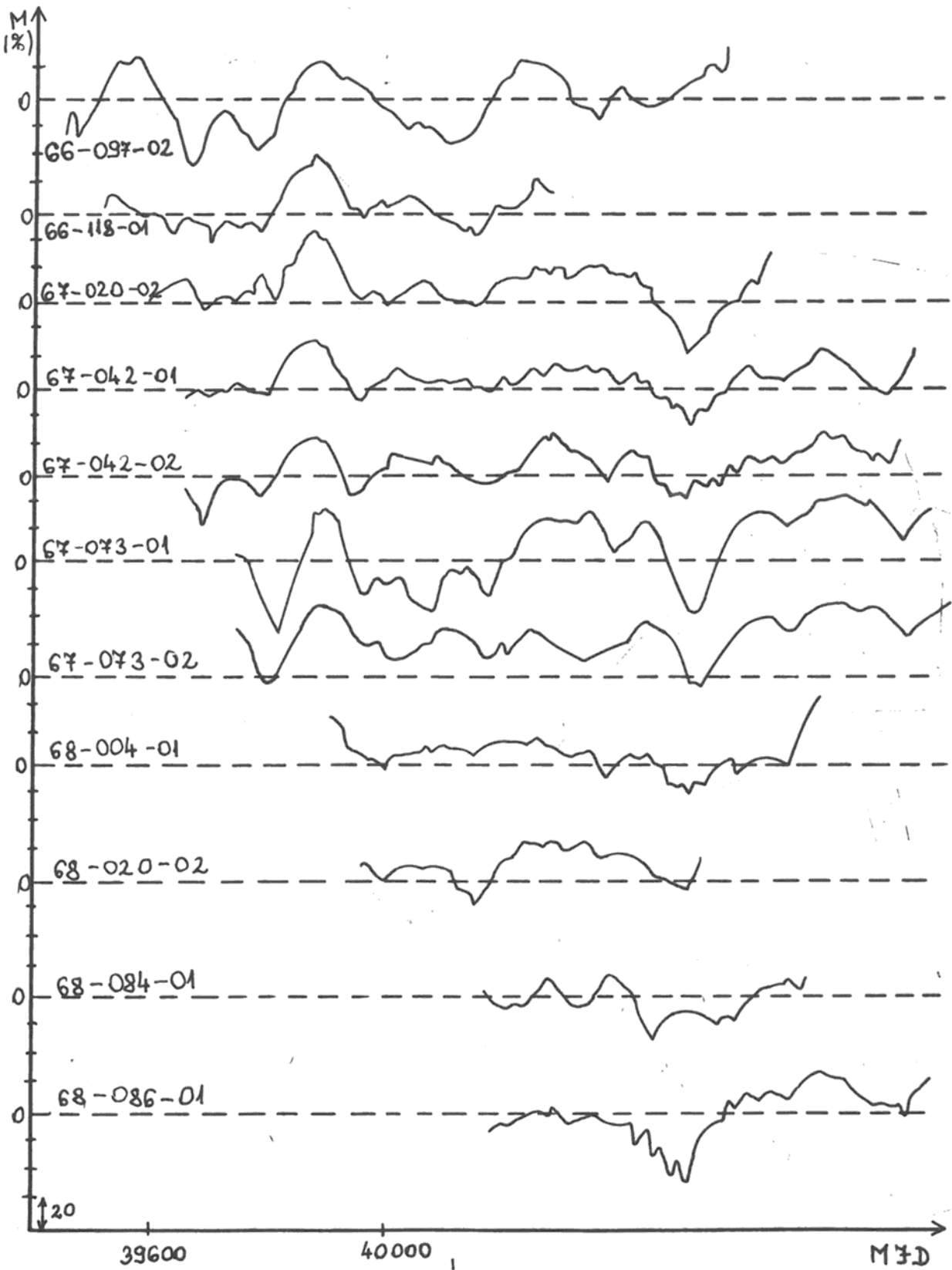
$$L \sim \frac{1}{\dot{T}} \quad \text{és} \quad \dot{T} \sim \rho \quad \text{miatt} \quad L \sim \frac{1}{\rho}$$

ezért a

$$\dot{T}' = \dot{T} / \Delta \rho \quad \text{CIRA}$$

korrekciót végeztem el \dot{T} megfigyelt értékén.

A számításokat az így módosított \dot{T} értékekkel is elvégezve a 4.6. ábrán bemutatott $M'(\tau)$ görbéket kaptam.



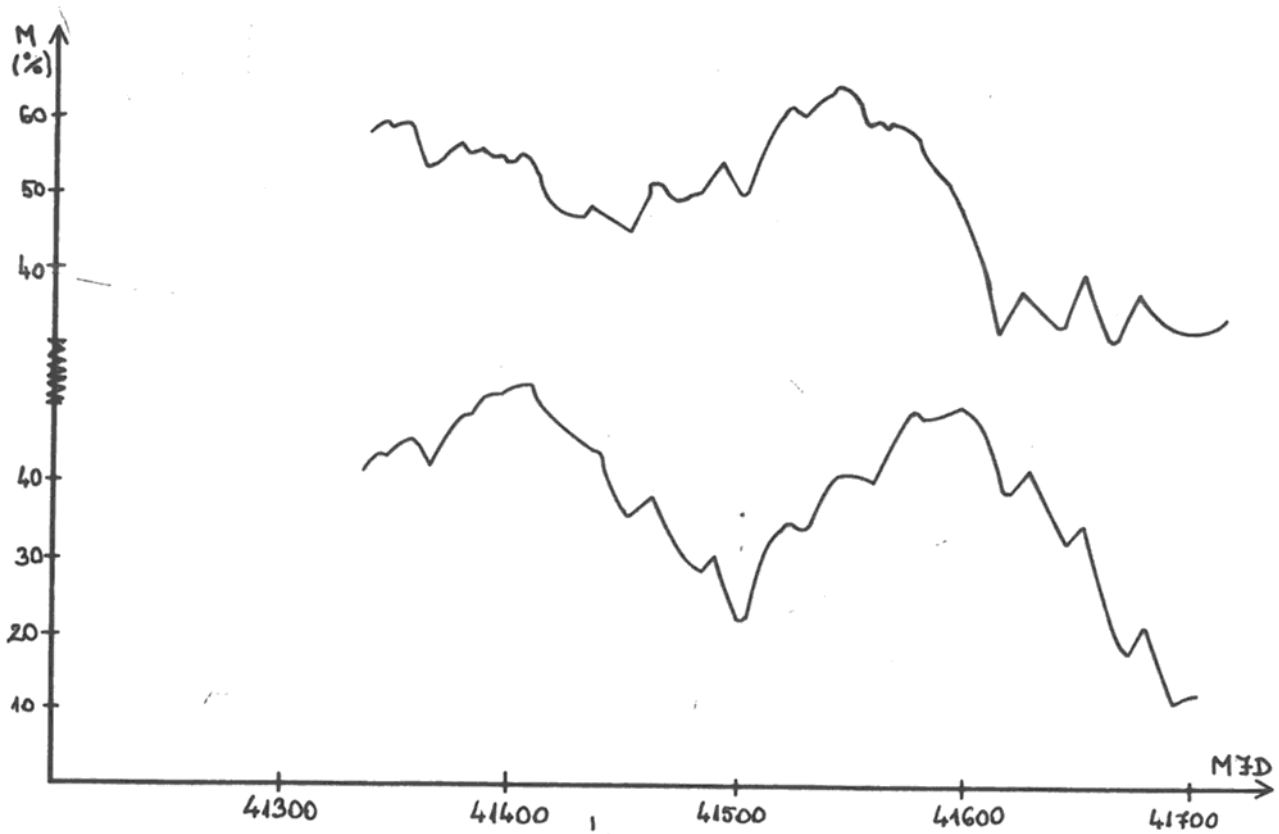
4.6. ABRA

A korrekció alkalmazása következtében az átlagos hiba kisebb lett. Maximumok jelentkeznek az 1968. januári sűrűségminimumok helyén, mivel ezek az eredeti $M(t)$ görbéken nem, vagy alig jelentkeztek. Így a számítások során az effektust itt túlkorrigáltuk. Hasonló jelenség látható az 1969. X.-i sűrűségminimumkor is. Ezekről eltekintve azonban a görbék ingadozása és az átlagos hiba kisebb lett.

Az $M'(t)$ görbét is korrelátattam a 4.5. ábrán szereplő $\rho(t)$ -vel, a kapott r_2 korrelációs együtthatót a 13. táblázat tartalmazza. Látható, hogy a korreláció minden holdnál megszűnt, $r_2 < r(n)$. Az alkalmazott korrekció tehát a féléves effektust jól kiszűri, az átlagos hibát lecsökkenti, annak ellenére, hogy kiugróan magas M -ek továbbra is előfordulnak. A korrekció helyességét egy másik időintervallumra /MJD=41300...41700/ is ellenőriztem a 4.4. fejezetben szereplő 71-109-01 hold segítségével. Erre kiszámítottam $M(t)$ -t a féléves korrekció alkalmazása nélkül, valamint $M'(t)$ -t a korrekció alkalmazásával. /Utóbbi megegyezik a 4.10. ábra görbéjével/. A 4.7. ábrán együtt mutatom be a két görbét. A korrekció hatása itt a sűrűbb epochák és pontosabb adatok miatt még jobb mint a 4.4. és 4.6. ábrák esetén.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy sikerült kimutatni, hogy a féléves sűrűségváltozás jelentős, periodikus hibát okoz az élettartamszámításban. Ez a hiba kiküszöbölhető, ha a számításokat az évnek azon részeiben végez-

zük, amikor a 4.4. ábra szerint a hiba kicsi. Ezek a kedvező intervallumok az őszi-téli hónapokra esnek. Általában jó eredményre vezet az is, ha a féléves effektust valamilyen légköri modellből származó formulával korrekcióba vesszük.



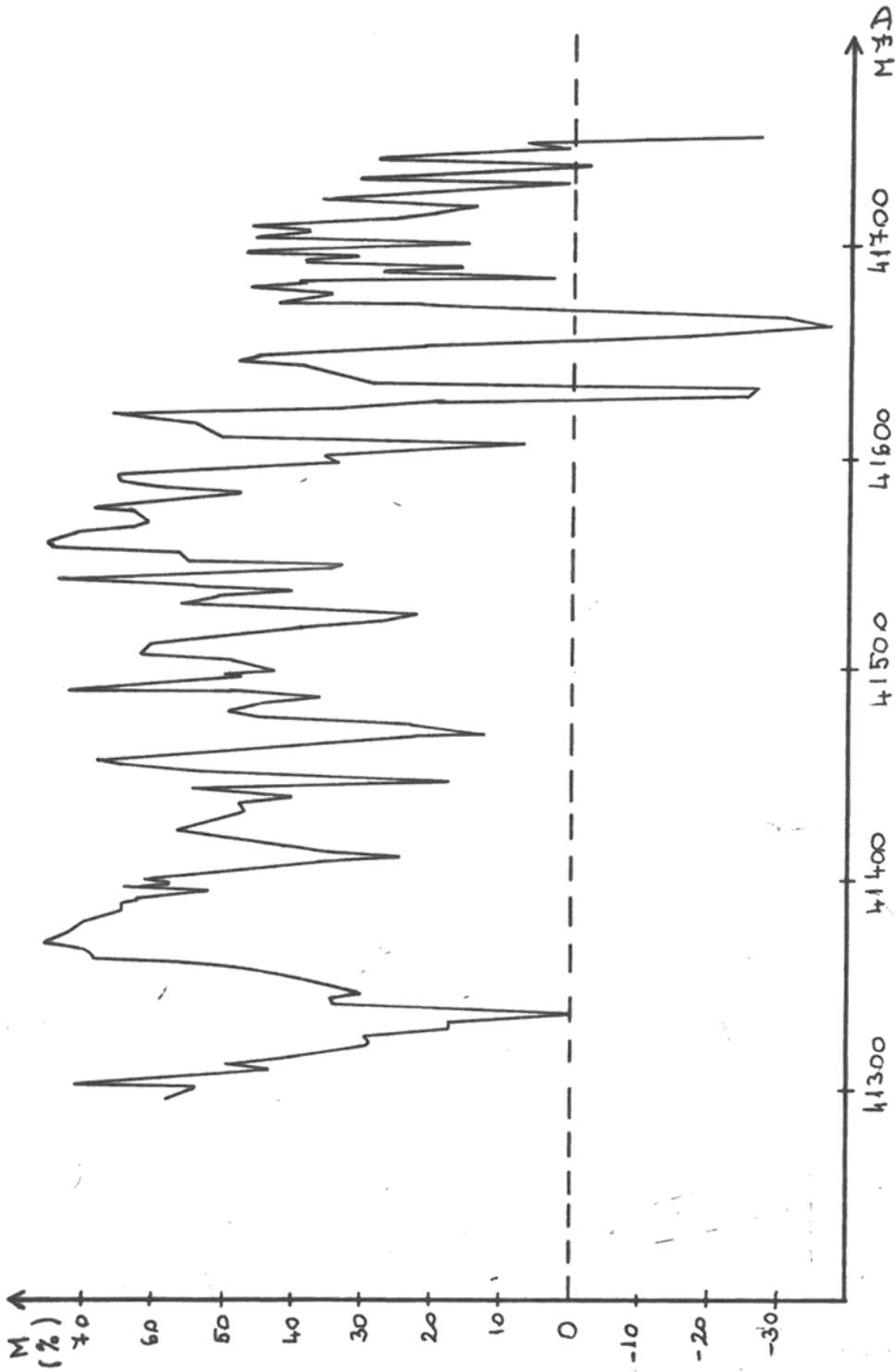
4.7. ABRA

4.4. A 27 napos változás

A 27 napos változás kimutatását a 71-109-01 /Ariel 4/ hold pályaadatái segítségével végeztem el. A holdat 1971. XII. 11.-én lőtték fel, 1978. XII. 12.-én semmisült meg. Nagypontosságú pályaelemek és fékeződési adatok M_2 az 1971. XII.-1973. III. időszakra álltak rendelkezésemre. Az epochák 3 naponként követték egymást, ez tette lehetővé a 27 napos változás kimutatását. Hasonló számításokkal megpróbálkoztam más holdakra is, azokra azonban az epochák közötti nagyobb és nem azonos időtartam miatt nem kaptam értékelhető eredményeket. A kapott eredmények nem mondanak ellent az e fejezetben leírtaknak, azonban belőlük újabb következtetések nem vonhatók le.

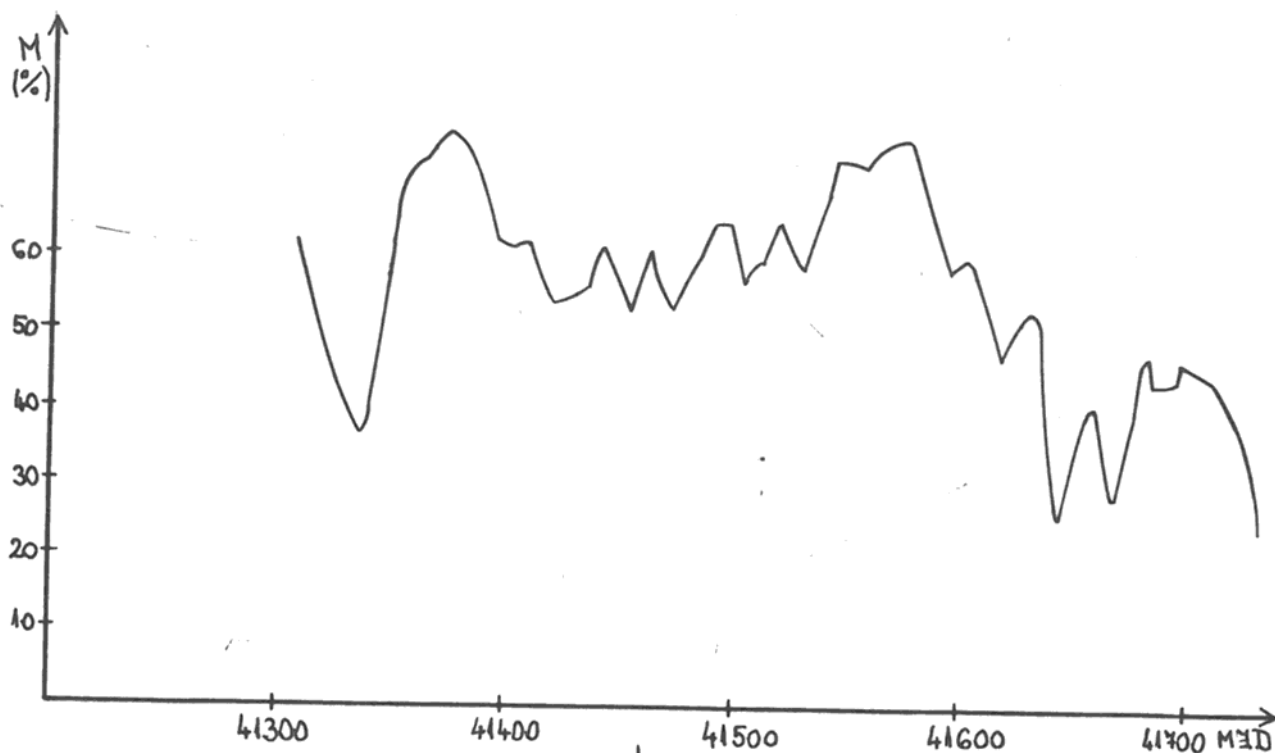
Számításaim során a 4.1. pontban mondottak szerint az M relativ hibát határoztam meg. A féléves változást a 4.3. pont eredményei szerint CIRA-72 alapján vettem figyelembe.

Az egyes epochákhoz tartozó élettartamok relativ hibáját a 4.8. ábrán mutatom be. Az M értékek általában pozitívok /vagyis rövidebbnek számítjuk a hold élettartamát a valóságosnál/ és szórásuk igen nagy. Az $MJD = 41340 \dots 41490$ intervallum 50 pontjára például $\bar{M}=48\%$, szórása pedig $\sigma=15.6\%$. A szisztematikus kb. 50 %-os eltérés magyarázatával később foglalkozom. Az értékek nagy ingadozása 27 napos változásra utal, ennek léte és a periódus valóban 27 napos volta az ábra alapján nem szembetűnő.

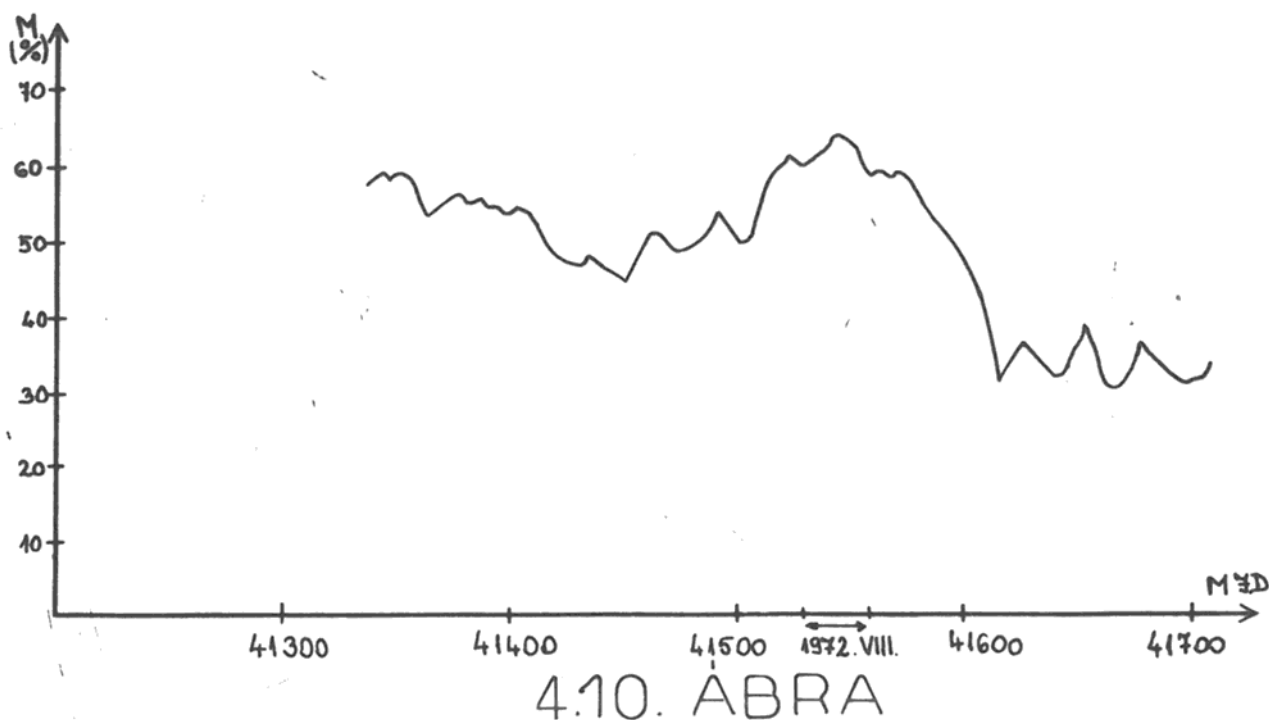


4.8. ÁBRA

Ezért a feltételezett 27 napos periódust kiszűrendő, 27 napos csúszó közepelést alkalmaztam. A közepelést a bemenő adatokon végeztem. Egy 27 napos időintervallumon rendelkezésre álló epochákhoz tartozó pályaelemek átlagos értékét az egyes epochák átlagához rendeltem hozzá. Az így kapott adatokkal ismét elvégeztem az élettartam meghatározását a fenti módon. Az így kapott relatív hibák a 4.9. ábrán láthatók.



4.9. ABRA



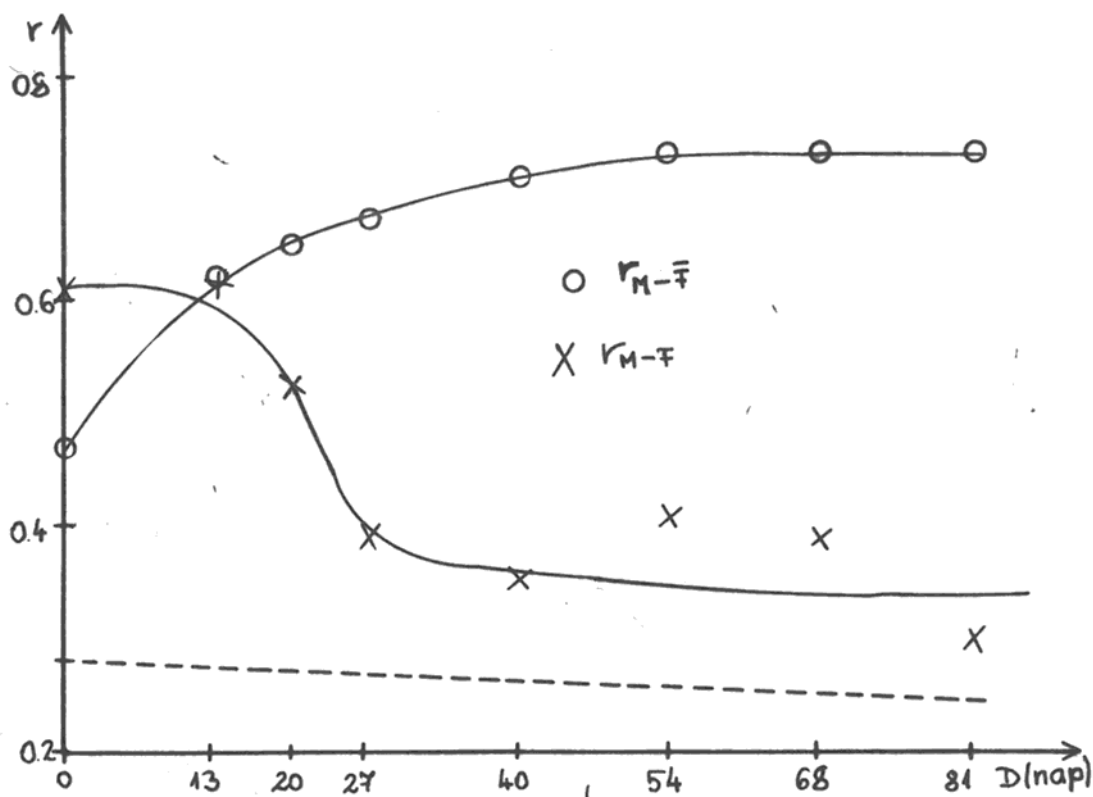
A számításokat több különböző hosszúságú időszakra vett csúszó közepeléssel is elvégeztem. Ezek közül a 4.10. ábrán a 81 napos átlagolással kapott eredményeket mutatom be. A 4.8., 4.9. és 4.10. ábrákat összehasonlítva megállapítható, hogy minél hosszabb időtartamra átlagolunk, annál simább lesz a görbe, a kezdeti nagy ingadozásokat viszont már a 27 napos átlagolás is csaknem teljesen eltünteti. 81 napos átlagolás esetén pl. $\bar{M} = 51.5 \%$, hasonló a közepelés nélkül kapott értékhez, szórása viszont $\sigma = 4,2$ -re csökkent.

A 4.10. ábrán látható, hogy a relatív hiba csökkenő tendenciát mutat, az MJD = 41600...41700 intervallumra már $\bar{M} = 34,7 \%$ $\sigma = 4,3$ szórással. Ez a csökkenés egy-

részt azzal magyarázható, hogy a hátralévő élettartam csökkenésével nem csak L_0-L , hanem a relatív hiba is csökken, másrészt pedig a 11 éves effektus hatásával. 4.2-ben mondottak szerint ugyan a 11 éves effektust a számítás során jól vesszük figyelembe, azonban az ott végzett számítások során \dot{T} -ot a pályaelemek és a légköri modell alapján határoztam meg, a 71-109-01 esetében viszont a megfigyelt \dot{T} értékkel számoltam. Ellenőrzésképpen kiszámítottam 71-109-01-re \dot{T} -ot a légköri modellből. Ez 1971.XII.-re a megfigyelt \dot{T} -nál 2.5-3.0-szor nagyobb volt, ennek megfelelően $M = -10\% \dots -20\%$ relatív hibák adódtak. Így a ténylegesnél hosszabb élettartamokat számítottam, ami az 1971-72-es légköri állapot alapján reális. A vártnál erősebb 1979-es naptevékenységi maximum okozta a hold előzetesen számítottnál korábbi leesését. A 27 napos változásnak az élettartam relatív hibájában való megjelenését korrelációs számításal is igazoltam. Több különböző $D=0 \dots 81$ nap hosszúságú időszakokra elvégezve a csúszó közepelést, a kapott relatív hibákat korreláltattam a naptevékenység 27 napos változását jellemző F , valamint a 11 éves változást jellemző \bar{F} indexszel. Az eredményeket a 14. táblázatban és a 4.11. ábrán mutatom be.

14. táblázat

D	0	13	20	27	40	54	68	81
r_{M-F}	0.61	0.62	0.52	0.39	0.35	0.40	0.39	0.30
$r_{M-\bar{F}}$	0.46	0.62	0.65	0.68	0.71	0.76	0.76	0.76



4.11. ÁBRA

A korrelációs számítás 120...150 pontból végeztem. Mindkét görbe mindvégig az ábrán szaggatott vonallal jelzett szignifikanciaszint fölött marad, jellegük azonban

eltérő. \bar{F} -gal a korreláció egyre javul, ahogy az átlagolás a rövid periódusú zavarokat kiiktatja. Az \bar{F} -gal mutatott jó korreláció M 11 éves periódusára utal, azonban a vizsgált időszak rövideége /1 év/ miatt ez nem tekinthető bizonyítéknak. F-fel a korreláció D = 0 nap jobb mint az \bar{F} -gal való korreláció. D = 13 napnál r még ugyanakkora, majd D = 13...27 nap közt lényegesen lecsökken, és később is ezen a szinten marad.

Megállapítható tehát, hogy D \geq 27 nap esetén r=0.3...0.4 közötti értékű. Ezt az értéket $D_0 = 27 \pm 3$ nap körül éri el. A számítás hibája természetesen nem lehet kisebb az epochák közti távolságnál. A D_0 -ra így kapott érték bizonyítja, hogy itt valóban a 27 napos effektusnak a tükröződését látjuk.

A számítást elvégeztem a féléves effektus figyelembevétel nélkül is. Ekkor az r - D görbék menete hasonló volt ugyan a 4.11. ábrán bemutatotthoz, azonban r értéke mindenütt kisebb volt, r_{M-F} esetén a szignifikanciaszint alá is süllyedt.

A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy az eredeti King-Hele féle számítási módszer nagy hibát okozhat. Ezért, ha mód van rá, célszerű legalább 27 napos közepelést alkalmazni. Ezen kívül megfigyelt \dot{T} használatakor az esetleges irreguláris sűrűségváltozások miatt fellépő kiugró \dot{T} értékek kiszűrése érdekében célszerű a légköri modellekből és a pályaelemekből számított \dot{T} -tal összehasonlítani a megfigyelt értékeket.

Végül megemlítem, hogy a 4.10. ábrán az MJD=41500...41600 /1972.VII.-IX./ időszakban minden korrekció elvégzése után is megmarad az M_t görbén egy jelentékeny helyi maximum. Ennek oka minden bizonnyal az 1972.VIII.-i igen erős naptevékenység. A mesterséges holdak élettartamát nem csak az eddig tárgyalt periódikus légköri változások befolyásolják, hanem jelentősen megváltoztatják az irreguláris sűrűségváltozások is. Ez megnehezíti az élettartam pontos kiszámítását. Hasonló, csak kisebb hatása lehet a geomágneses effektusnak is, ennek az élettartamra kifejtett hatását azonban csak jobb időbeli felbontású pályaelemek alapján lehetne vizsgálni.

5. Összefoglalás

Dolgozatomban a mesterséges holdak élettartamát meghatározó légköri hatásokat vizsgáltam, különös tekintettel a felső légkör periodikus változásaira.

A 3.3. fejezetben leírt formulák segítségével meghatároztam, hogyan függ az élettartam az egyes pályaelemek-től és légköri paraméterektől. A várakozásnak megfelelően az excentricitás és a perigeummagasság a legmeghatározóbb. Így ezek pontos ismerete a legfontosabb a későbbiekben elvégzett számítások szempontjából. Kisebb jelentőségű az exoszférikus hőmérséklet, a sűrűség és a skálamagasság pontos ismerete, míg ω és i szerepe kicsiny. Az így kapott eredményeket összehasonlítottam több száz, már leesett műhold megfigyelt élettartamával. Az egyezés az elmélet és a megfigyelés közt igen jó. Kiderül azonban, hogy igen nagy a műhold alak tényezőjének, \mathcal{J} -nak a szerepe. Sajnos a felhasznált adatok közül éppen \mathcal{J} az egyik legbizonytalanabb. A műhold tömegét, főként rakéta-fokozatok esetében, nem ismerjük kellő pontossággal. Az S hatáskeresztmetszet csak geometriailag egyszerű és szabályos alakú holdakra adható meg a rendelkezésre álló formulákkal. Az ettől való, és szinte mindig meglévő eltérések, pl. napelemtáblák, antennák, más kiálló alkatrészek jelenléte S értékét jelentősen befolyásolhatják. Végül pedig a C_D közegellenállási együtt-

hatóra csak egy valószínű, közelítő értéket tudtam használni. C_D pontos értéke ugyanis, kismértékben bár, de függ a hold pontos alakjától, a légkör állapotáról a keringés magasságában, a légkör részecskéi és a műhold közti feltételezett ütközési mechanizmustól, de még a hold külső felületének minőségétől is. Ez a nagy bizonytalanság indokolja azt, hogy legtöbb esetben \mathcal{C} -t nem közvetlenül, hanem a hold megfigyelt fékeződése alapján szokás meghatározni.

A 3.5. fejezetben kapott eredmények még teljesen azonos típusú műholdak esetén is jelentős szórást mutatnak, ami egyrészt alátámasztja \mathcal{C} bizonytalanságát, másrészt utal a figyelembe nem vett rövid periódusú, valamint irreguláris légsűrűségváltozások hatására.

A 4. fejezetben kimutatom a 11 éves, a féléves és a 27 napos sűrűségváltozás hatását. Megállapítottam, hogy a 11 éves változást a felhasznált formulák jól veszik figyelembe, az élettartam kiszámításánál nem lép fel 11 éves periódusú hiba. A 11 évnél lényegesen rövidebb élettartamú azonos pályán keringő holdak megfigyelt élettartama azonban igen jól korrelált a naptevékenység 11 éves periódusú komponensét jellemző \bar{F} indexszel. A számított élettartam relativ hibája ilyen korrelációt nem mutatott.

Ezzel szemben több hold esetében megfelelően hosszú időtartamra rendelkezésre álló pályaelemsorok relativ hibája féléves illetve 27 napos periódusú változást mu-

tatott, melynek oka a hasonló periódusú légköri sűrűségváltozás hatása. Mindkét hibát sikerült kiküszöbölni. Előbbit a féléves sűrűségváltozás légköri modell alapján történő figyelembevételével, utóbbit pedig a kiinduló pályaelemeken alkalmazott legalább 27 napos csúszó közepeléssel. Megállapítható volt, hogy megfigyelt fékeződési adatok alapján végzett számítások eredményét is célszerű összehasonlítani modellekből kapott fékeződési értékekkel a kiugró adatok kiszűrése érdekében.

A kapott eredmények alapján tehát levonható a következő, hogy a műholdak fékeződésén alapuló King-Hele féle élettartamszámítási módszer alapján véve jó eredményeket ad, de egyes periodikus légköri változások hatását nem veszi kellőképp figyelembe. Ezért a módszer javítható, ha egyrészt a féléves effektusra vonatkozó 4.3.-ban leírt korrekciót valamilyen légköri modell alapján elvégezzük másrészt, ha legalább 27 napos időszakokra vonatkozó átlagos pályaelemek illetve fékeződési adatok alapján végezzük a számításokat.

6. Köszönetnyilvánítás

Itt köszönöm meg dr. Ill Mártonnak, témavezetőmnek, hogy olyan témát jelölt ki számomra, melyben sikerült eredményeket elérnem. Ugyancsak megköszönöm munkám irányítását, hasznos tanácsait és értékes észrevételeit, melyekkel több éven keresztül segített.

7. Irodalom

1. Almár I.: A felsőlégköri geomágneses effektus összintenzitásának vizsgálata, Doktori értekezés, Budapest, 1979.
2. Both E.: On the determination of upper atmospheric wind velocities, Nabljugyenyija ISzZ Vol. 16. /1977/
3. Both E.: On the computation of satellite lifetimes, Nabljugyenyija ISzZ Vol. 18. /1978/
4. Both E.: Effect of atmospheric variations on satellite lifetimes /sajtó alatt/ /1980/
5. CIRA-72 /Cospar International Reference Atmosphere 1972/ Berlin Akademie-Verlag /1972/
6. Clark, P. S.: Cosmos flights at 71° , Spaceflight, Vol.22, No. 4, pp. 174-177 /1980/
7. Cook, G. E.: Satellite drag coefficients, Planetary and Space Science Vol. 13. No. 10. pp. 929-946 /1965/
8. Érdi B.: Égi mechanika III., Egyetemi jegyzet, Budapest, 1973.
9. Gooding, R. H.: The orbit of Ariel-4 /1971-109A/, RAE Technical Report 75064 /1975/
10. Illés E.: A Föld-típusú bolygók légköre, Csillagászati Évkönyv 1978.
11. Jacchia, L. G.: Thermospheric temperature, density and composition: new models, SAO Spec.Rep.375.
12. King-Hele, D. G.: Theory of satellite orbits in an atmosphere, London, Butterworths /1964/
13. King-Hele, D. G.: Methods for predicting satellite orbital lifetimes, RAE Techn.Rep.77111/1977/
14. Kohler, P.: Determination des durees de vie de satellites artificiels en orbite terrestre G.R.G.S. - Meudon, Note Technique Nr.3./1974/

15. NORAD pályaelemek 1966-72
16. Slough pályaelemek /1966-1975/
17. Table of Earth satellites, R.A.E. Farnborough, Hants.
 - Vol. 1.: 1957 to 1968 /1978/
 - Vol. 2.: 1969 to 1973 /1979/
 - Vol. 3.: 1974 to 1978 /1980/
18. Walker, D. M. C.: Cosmos 462 /1971-106A/: Orbit determination and analysis, Phil. Trans of Roy.Soc. of London, Vol. 292. No. 1396, pp. 473-512. /1979/

EELETTARTAM KEEPLETEK DESSZEHASZNALITASA

EXOSZFERIKUS HOEMEERSEEKLET= 1J00. K FOK PERIGEUMMAGASSAAG= 350. KM DELTA= 0.02 M2/KG
 INKLINACIO= 90.0 FOK SKAALAMAGASSAAG= 53.75 KM SUERUESEEG= 0.9099E-11 KG/KOEBMEETER

EXC.	A	T	TPONT	Z	I0(Z)	I1(Z)	3.6 FORMULA	3.7 SZERINTI	3.8 EELETTARTAM	3.9 (NAP)
0.0000	6728.2	91.54	-0.1362E-01	0.00	0.1000E+01	0.0000E+00	2.00	2.00	0.00	78.91
0.0001	6728.8	91.55	-0.1345E-01	0.01	0.1000E+01	0.6259E-02	81.86	82.10	98786.64	79.89
0.0002	6729.5	91.57	-0.1329E-01	0.03	0.1000E+01	0.1252E-01	82.88	83.11	25323.71	80.88
0.0003	6730.2	91.58	-0.1313E-01	0.04	0.1000E+01	0.1879E-01	83.91	84.14	11543.21	81.88
0.0004	6730.8	91.59	-0.1297E-01	0.05	0.1001E+01	0.2505E-01	84.95	85.17	6660.87	82.88
0.0005	6731.5	91.61	-0.1282E-01	0.06	0.1001E+01	0.3132E-01	86.00	86.22	4374.21	83.89
0.0006	6732.2	91.62	-0.1266E-01	0.08	0.1001E+01	0.3760E-01	87.05	87.27	3117.72	84.90
0.0007	6732.9	91.63	-0.1251E-01	0.09	0.1002E+01	0.4388E-01	88.12	88.33	2351.59	85.92
0.0008	6733.5	91.65	-0.1237E-01	0.10	0.1003E+01	0.5017E-01	89.20	89.40	1848.92	86.94
0.0009	6734.2	91.66	-0.1222E-01	0.11	0.1003E+01	0.5647E-01	90.28	90.48	1500.65	87.97
0.0010	6734.9	91.68	-0.1208E-01	0.13	0.1004E+01	0.6277E-01	91.37	91.57	1248.99	89.00
0.0020	6741.6	91.81	-0.1081E-01	0.25	0.1016E+01	0.1264E+00	102.80	102.95	416.72	99.52
0.0030	6748.4	91.95	-0.9756E-02	0.38	0.1036E+01	0.1917E+00	115.14	115.23	254.38	110.34
0.0040	6755.2	92.09	-0.8877E-02	0.50	0.1064E+01	0.2594E+00	128.39	128.41	200.39	121.33
0.0050	6762.0	92.23	-0.8140E-02	0.63	0.1101E+01	0.3303E+00	142.55	142.49	180.95	132.38
0.0060	6768.8	92.37	-0.7521E-02	0.76	0.1148E+01	0.4054E+00	157.61	157.46	176.78	143.35
0.0070	6775.6	92.51	-0.6997E-02	0.88	0.1204E+01	0.4856E+00	173.57	173.32	180.87	154.15
0.0080	6782.4	92.65	-0.6552E-02	1.01	0.1271E+01	0.5718E+00	190.40	190.05	190.10	164.70
0.0090	6789.3	92.79	-0.6172E-02	1.14	0.1350E+01	0.6653E+00	208.09	207.64	202.89	174.94
0.0100	6796.1	92.93	-0.5845E-02	1.26	0.1441E+01	0.7672E+00	226.64	226.18	218.30	184.81
0.0110	6803.0	93.07	-0.5563E-02	1.39	0.1547E+01	0.8790E+00	246.02	245.36	235.76	194.30
0.0120	6809.9	93.21	-0.5317E-02	1.52	0.1667E+01	0.1002E+01	266.21	265.46	254.88	203.38
0.0130	6816.8	93.35	-0.5102E-02	1.65	0.1804E+01	0.1138E+01	287.20	286.36	275.40	212.06
0.0140	6823.7	93.49	-0.4913E-02	1.78	0.1960E+01	0.1289E+01	308.97	308.04	297.12	220.35
0.0150	6830.6	93.64	-0.4745E-02	1.91	0.2137E+01	0.1457E+01	331.49	330.50	319.88	228.25
0.0160	6837.6	93.78	-0.4595E-02	2.04	0.2337E+01	0.1644E+01	354.75	353.71	343.57	235.79
0.0170	6844.5	93.92	-0.4462E-02	2.16	0.2563E+01	0.1853E+01	378.72	377.66	368.12	242.99
0.0180	6851.5	94.07	-0.4341E-02	2.29	0.2818E+01	0.2087E+01	403.38	402.33	393.43	249.87
0.0190	6858.5	94.21	-0.4232E-02	2.42	0.3106E+01	0.2350E+01	428.71	427.69	419.47	256.45
0.0200	6865.5	94.35	-0.4132E-02	2.55	0.3431E+01	0.2644E+01	454.68	453.74	446.19	262.76
0.0250	6900.7	95.08	-0.3743E-02	3.21	0.5793E+01	0.4775E+01	593.44	593.64	588.95	290.84
0.0300	6936.2	95.82	-0.3469E-02	3.87	0.1012E+02	0.8685E+01	745.14	748.26	745.40	314.59
0.0350	6972.2	96.56	-0.3263E-02	4.54	0.1811E+02	0.1596E+02	907.44	916.13	914.30	335.30
0.0400	7008.5	97.32	-0.3101E-02	5.22	0.3304E+02	0.2968E+02	1078.33	1096.13	1094.87	353.75
0.0450	7045.2	98.08	-0.2969E-02	5.90	0.6128E+02	0.5581E+02	1255.98	1287.45	1286.52	370.42
0.0500	7082.3	98.86	-0.2860E-02	6.59	0.1153E+03	0.1061E+03	1438.70	1489.50	1488.74	385.62
0.0550	7119.7	99.65	-0.2767E-02	7.29	0.2196E+03	0.2040E+03	1624.83	1701.77	1701.12	399.58
0.0600	7157.6	100.44	-0.2688E-02	7.99	0.4235E+03	0.3961E+03	1812.76	1923.89	1923.30	412.46
0.0650	7195.9	101.25	-0.2619E-02	8.70	0.8260E+03	0.7770E+03	2000.84	2155.54	2154.97	424.40
0.0700	7234.6	102.07	-0.2559E-02	9.42	0.1628E+04	0.1539E+04	2187.41	2396.43	2395.87	435.50
0.0750	7273.7	102.89	-0.2507E-02	10.15	0.3244E+04	0.3080E+04	2370.78	2646.33	2645.77	445.84
0.0800	7313.2	103.73	-0.2460E-02	10.88	0.6530E+04	0.6223E+04	2549.24	2905.04	2904.47	455.49
0.0850	7353.2	104.59	-0.2419E-02	11.63	0.1328E+05	0.1269E+05	2721.01	3172.38	3171.79	464.52
0.0900	7393.6	105.45	-0.2382E-02	12.38	0.2727E+05	0.2614E+05	2884.28	3448.20	3447.59	472.98
0.0950	7434.4	106.32	-0.2349E-02	13.14	0.5656E+05	0.5436E+05	3037.19	3732.37	3731.72	480.91
0.1000	7475.7	107.21	-0.2320E-02	13.91	0.1185E+06	0.1141E+06	3177.82	4024.78	4024.09	488.35
0.1100	7559.7	109.02	-0.2270E-02	15.47	0.5355E+06	0.5179E+06	3414.31	4633.88	4633.10	501.90
0.1200	7645.6	110.89	-0.2230E-02	17.07	0.2519E+07	0.2444E+07	3577.29	5274.86	5273.98	513.87
0.1300	7733.5	112.80	-0.2197E-02	18.70	0.1233E+08	0.1200E+08	3649.31	5947.24	5946.25	524.44
0.1400	7823.4	114.78	-0.2171E-02	20.38	0.6293E+08	0.6136E+08	3611.83	6650.68	6649.56	533.79
0.1500	7915.5	116.81	-0.2151E-02	22.09	0.3348E+09	0.3271E+09	3445.18	7385.00	7383.74	542.03
0.1600	8009.7	118.90	-0.2135E-02	23.84	0.1859E+10	0.1820E+10	3128.45	8150.09	8148.69	549.28
0.1700	8106.2	121.06	-0.2123E-02	25.64	0.1079E+11	0.1058E+11	2639.40	8945.97	8944.41	555.64
0.1800	8205.1	123.28	-0.2115E-02	27.48	0.6557E+11	0.6437E+11	1954.37	9772.75	9771.02	561.19
0.1900	8306.4	125.57	-0.2110E-02	29.36	0.4175E+12	0.4113E+12	1048.16	10630.62	10628.70	566.00
0.2000	8410.2	127.93	-0.2108E-02	31.29	0.2790E+13	0.2745E+13	-106.10	11519.83	11517.73	570.14
0.2100	8516.7	130.37	-0.2108E-02	33.27	0.1961E+14	0.1931E+14	-1537.05	12440.76	12438.46	573.67
0.2200	8625.8	132.88	-0.2111E-02	35.31	0.1451E+15	0.1430E+15	-3275.26	13393.81	13391.30	576.63
0.2300	8737.9	135.48	-0.2115E-02	37.39	0.1133E+16	0.1118E+16	-5353.41	14379.49	14376.77	579.07
0.2400	8852.8	138.16	-0.2122E-02	39.53	0.9355E+16	0.9236E+16	-7806.46	15398.38	15395.43	581.03

AZ EELETTARTAM EXCENTRICITAASTOOL EES PERIGEUMMAGASSAAG TOOL VAL OOFUEGG EESE

EXOISZFEERIKUS HOEMEERSEEKLET = 800. K FOK DELTA= 0.02 M2/KG INKLINACIO= 90.0 FOK

EXC.	TPONT	Z	HP=	150.	200.	250.	300.	350.	400.	450. KM
0.0000	-0.7099E-03	0.00	0.08	1.95	11.59	47.04	159.43	490.69	1427.60	
0.0001	-0.7002E-03	0.01	0.19	2.29	12.47	49.12	164.30	502.80	1459.15	
0.0002	-0.6908E-03	0.03	0.20	2.35	12.69	49.90	166.73	509.94	1479.14	
0.0003	-0.6815E-03	0.04	0.20	2.40	12.92	50.69	169.19	517.15	1499.32	
0.0004	-0.6725E-03	0.06	0.21	2.45	13.15	51.48	171.68	524.43	1519.70	
0.0005	-0.6637E-03	0.07	0.22	2.51	13.39	52.29	174.19	531.78	1540.26	
0.0006	-0.6550E-03	0.08	0.23	2.56	13.62	53.10	176.72	539.20	1561.02	
0.0007	-0.6465E-03	0.10	0.24	2.62	13.86	53.92	179.28	546.70	1581.96	
0.0008	-0.6382E-03	0.11	0.24	2.67	14.10	54.75	181.86	554.26	1603.10	
0.0009	-0.6301E-03	0.12	0.25	2.73	14.34	55.59	184.47	561.89	1624.43	
0.0010	-0.6221E-03	0.14	0.26	2.79	14.59	56.44	187.10	569.60	1645.95	
0.0020	-0.5510E-03	0.28	0.35	3.41	17.21	65.38	214.81	650.53	1871.72	
0.0030	-0.4932E-03	0.42	0.46	4.11	20.09	75.17	245.02	738.54	2116.74	
0.0040	-0.4458E-03	0.56	0.57	4.87	23.23	85.79	277.71	833.60	2380.95	
0.0050	-0.4068E-03	0.69	0.69	5.70	26.63	97.24	312.84	935.63	2664.20	
0.0060	-0.3746E-03	0.83	0.83	6.59	30.28	109.48	350.39	1044.55	2966.27	
0.0070	-0.3477E-03	0.97	0.97	7.54	34.17	122.51	390.30	1160.23	3286.89	
0.0080	-0.3251E-03	1.12	1.12	8.55	38.29	136.32	432.52	1282.56	3625.76	
0.0090	-0.3061E-03	1.26	1.28	9.61	42.64	150.87	477.02	1411.42	3982.55	
0.0100	-0.2899E-03	1.40	1.45	10.74	47.21	166.15	523.74	1546.67	4356.92	
0.0110	-0.2759E-03	1.54	1.63	11.91	51.99	182.15	572.63	1688.17	4748.53	
0.0120	-0.2639E-03	1.68	1.81	13.13	56.99	198.85	623.64	1835.79	5157.00	
0.0130	-0.2535E-03	1.82	2.00	14.41	62.18	216.22	676.72	1989.37	5581.96	
0.0140	-0.2443E-03	1.96	2.20	15.73	67.57	234.25	731.80	2148.77	6023.01	
0.0150	-0.2362E-03	2.11	2.40	17.09	73.15	252.92	788.84	2313.84	6479.75	
0.0160	-0.2290E-03	2.25	2.61	18.50	78.91	272.20	847.78	2484.42	6951.77	
0.0170	-0.2226E-03	2.39	2.83	19.95	84.85	292.08	908.57	2660.36	7438.66	
0.0180	-0.2168E-03	2.53	3.05	21.43	90.96	312.54	971.14	2841.51	7940.03	
0.0190	-0.2115E-03	2.68	3.28	22.96	97.23	333.57	1035.45	3027.72	8455.46	
0.0200	-0.2067E-03	2.82	3.51	24.53	103.65	355.14	1101.45	3218.85	8984.59	
0.0250	-0.1878E-03	3.55	4.75	32.88	138.04	470.64	1455.16	4243.70	11823.04	
0.0300	-0.1745E-03	4.28	6.11	42.06	175.85	597.82	1844.98	5373.90	14955.09	
0.0350	-0.1643E-03	5.01	7.58	51.93	216.77	735.57	2267.39	6599.03	18351.35	
0.0400	-0.1563E-03	5.76	9.17	62.62	260.60	883.10	2719.91	7911.68	21990.85	
0.0450	-0.1497E-03	6.52	10.85	73.92	307.17	1039.85	3200.70	9306.45	25858.27	
0.0500	-0.1442E-03	7.28	12.64	85.87	356.35	1205.37	3708.39	10779.19	29941.93	
0.0550	-0.1396E-03	8.05	14.52	98.43	408.04	1379.30	4241.82	12326.59	34232.51	
0.0600	-0.1356E-03	8.83	16.49	111.53	462.15	1561.34	4800.08	13945.92	38722.39	
0.0650	-0.1322E-03	9.61	18.55	125.31	518.60	1751.23	5382.38	15634.90	43405.17	
0.0700	-0.1292E-03	10.41	20.69	139.60	577.35	1948.77	5988.06	17391.57	48275.42	
0.0750	-0.1265E-03	11.21	22.93	154.44	638.31	2153.76	6616.52	19214.26	53328.46	
0.0800	-0.1242E-03	12.02	25.24	169.82	701.47	2366.05	7267.29	21101.51	58560.25	
0.0850	-0.1221E-03	12.84	27.64	185.72	766.76	2585.50	7939.93	23052.07	63967.28	
0.0900	-0.1203E-03	13.67	30.12	202.14	834.16	2811.97	8634.06	25064.84	69546.51	
0.0950	-0.1186E-03	14.51	32.68	219.03	903.63	3045.37	9349.35	27138.87	75295.28	
0.1000	-0.1171E-03	15.36	35.32	236.52	975.15	3285.61	10085.52	29273.31	81211.25	
0.1100	-0.1146E-03	17.09	40.83	272.90	1124.24	3786.29	11619.55	33720.68	93537.04	
0.1200	-0.1126E-03	18.85	46.66	311.25	1281.29	4313.48	13234.53	38402.27	106510.88	
0.1300	-0.1109E-03	20.66	52.80	351.55	1446.18	4866.83	14929.33	43314.73	120123.32	
0.1400	-0.1096E-03	22.51	59.24	393.77	1618.86	5446.08	16703.17	48455.77	134367.96	
0.1500	-0.1086E-03	24.40	65.99	437.92	1799.27	6051.09	18555.59	53824.02	149240.94	
0.1600	-0.1078E-03	26.34	73.05	484.00	1987.41	6681.82	20486.43	59418.96	164740.70	
0.1700	-0.1072E-03	28.32	80.42	532.00	2183.31	7338.31	22495.76	65240.78	180867.70	
0.1800	-0.1068E-03	30.35	88.11	581.95	2386.98	8020.65	24583.90	71290.36	197624.28	
0.1900	-0.1065E-03	32.43	96.11	633.85	2598.49	8729.04	26751.38	77569.21	215014.53	
0.2000	-0.1064E-03	34.57	104.44	687.73	2817.93	9463.71	28998.95	84079.43	233044.16	
0.2100	-0.1064E-03	36.75	113.09	743.62	3045.39	10225.00	31327.53	90823.67	251720.50	
0.2200	-0.1065E-03	39.00	122.07	801.54	3280.97	11013.26	33738.26	97805.18	271052.39	
0.2300	-0.1067E-03	41.30	131.40	861.54	3524.83	11828.94	36232.44	105027.73	291050.18	
0.2400	-0.1070E-03	43.66	141.07	923.65	3777.12	12672.54	38811.60	112495.63	311725.75	

AZ EELTARTAM EXCENTRICITAAS TOOL EES PERIGEUMMAGASSAAS TOOL VAL OOFUEG EESE
 =====

EXOSZFEFRIKUS HOEMEERSEEKLET= 120J. K FOK DELTA= 0.02 M2/KG INKLINACIO= 90.0 FOK

EXC.	TPONT	Z	HP= 150.	200.	250.	300.	350.	400.	450. KM
0.0000	-0.5457E-02	0.00	0.06	1.29	6.04	19.19	50.31	118.21	258.92
0.0001	-0.5404E-02	0.01	0.16	1.61	6.81	20.71	53.01	122.83	266.85
0.0002	-0.5353E-02	0.02	0.17	1.64	6.91	20.96	53.59	124.08	269.44
0.0003	-0.5301E-02	0.03	0.17	1.67	7.00	21.21	54.16	125.33	272.04
0.0004	-0.5251E-02	0.04	0.18	1.70	7.10	21.46	54.75	126.59	274.67
0.0005	-0.5202E-02	0.05	0.18	1.73	7.20	21.71	55.33	127.86	277.31
0.0006	-0.5153E-02	0.06	0.19	1.76	7.30	21.97	55.92	129.14	279.97
0.0007	-0.5105E-02	0.07	0.20	1.79	7.40	22.22	56.52	130.43	282.64
0.0008	-0.5057E-02	0.08	0.20	1.83	7.50	22.48	57.12	131.73	285.34
0.0009	-0.5011E-02	0.09	0.21	1.86	7.61	22.75	57.72	133.04	288.05
0.0010	-0.4965E-02	0.10	0.22	1.89	7.71	23.01	58.33	134.36	290.79
0.0020	-0.4540E-02	0.20	0.29	2.24	8.80	25.77	64.66	148.02	319.11
0.0030	-0.4174E-02	0.30	0.37	2.63	9.98	28.74	71.44	162.62	349.27
0.0040	-0.3856E-02	0.39	0.46	3.06	11.25	31.93	78.67	178.14	381.30
0.0050	-0.3581E-02	0.49	0.55	3.52	12.62	35.33	86.36	194.59	415.20
0.0060	-0.3341E-02	0.59	0.65	4.01	14.08	38.94	94.50	211.99	450.98
0.0070	-0.3132E-02	0.69	0.76	4.54	15.63	42.76	103.10	230.31	488.63
0.0080	-0.2949E-02	0.79	0.88	5.09	17.27	46.79	112.14	249.56	528.15
0.0090	-0.2788E-02	0.89	1.01	5.68	19.00	51.02	121.63	269.74	569.52
0.0100	-0.2646E-02	0.99	1.14	6.30	20.81	55.46	131.56	290.83	612.75
0.0110	-0.2521E-02	1.09	1.27	6.95	22.71	60.09	141.92	312.83	657.81
0.0120	-0.2410E-02	1.19	1.42	7.62	24.69	64.92	152.71	335.73	704.68
0.0130	-0.2312E-02	1.29	1.56	8.33	26.75	69.95	163.93	359.51	753.35
0.0140	-0.2224E-02	1.39	1.72	9.06	28.88	75.16	175.56	384.17	803.79
0.0150	-0.2145E-02	1.50	1.87	9.81	31.10	80.56	187.60	409.69	855.98
0.0160	-0.2074E-02	1.60	2.04	10.59	33.38	86.14	200.04	436.05	909.89
0.0170	-0.2009E-02	1.70	2.20	11.39	35.74	91.89	212.88	463.24	965.49
0.0180	-0.1951E-02	1.80	2.37	12.22	38.17	97.82	226.11	491.26	1022.77
0.0190	-0.1898E-02	1.90	2.55	13.07	40.67	103.92	239.71	520.08	1081.68
0.0200	-0.1850E-02	2.00	2.73	13.94	43.23	110.18	253.68	549.68	1142.21
0.0250	-0.1662E-02	2.52	3.69	18.58	56.97	143.82	328.83	708.95	1467.91
0.0300	-0.1531E-02	3.04	4.74	23.69	72.12	181.03	412.08	885.59	1829.36
0.0350	-0.1434E-02	3.56	5.88	29.22	88.55	221.45	502.63	1077.90	2223.16
0.0400	-0.1360E-02	4.09	7.11	35.14	106.15	264.79	599.85	1284.54	2646.51
0.0450	-0.1299E-02	4.63	8.41	41.43	124.86	310.88	703.26	1504.43	3097.20
0.0500	-0.1250E-02	5.17	9.79	48.07	144.61	359.54	812.50	1736.79	3573.54
0.0550	-0.1208E-02	5.72	11.24	55.05	165.36	410.67	927.29	1980.98	4074.21
0.0600	-0.1173E-02	6.27	12.76	62.36	187.07	464.18	1047.40	2236.52	4598.16
0.0650	-0.1142E-02	6.83	14.35	69.99	209.72	519.97	1172.65	2502.98	5144.54
0.0700	-0.1116E-02	7.39	16.01	77.93	233.28	577.99	1302.89	2780.05	5712.66
0.0750	-0.1092E-02	7.96	17.73	86.17	257.72	638.18	1437.99	3067.44	6301.91
0.0800	-0.1072E-02	8.54	19.51	94.70	283.03	700.49	1577.82	3364.89	6911.81
0.0850	-0.1054E-02	9.12	21.36	103.53	309.18	764.87	1722.30	3672.22	7541.91
0.0900	-0.1038E-02	9.71	23.27	112.63	336.17	831.29	1871.35	3989.22	8191.83
0.0950	-0.1023E-02	10.31	25.25	122.02	363.98	899.72	2024.88	4315.75	8861.26
0.1000	-0.1010E-02	10.91	27.28	131.69	392.60	970.13	2182.83	4651.67	9549.90
0.1100	-0.9883E-03	12.14	31.53	151.85	452.24	1116.80	2511.79	5351.19	10983.87
0.1200	-0.9707E-03	13.39	36.01	173.08	515.01	1271.12	2857.87	6087.02	12492.11
0.1300	-0.9566E-03	14.67	40.74	195.37	580.88	1433.00	3220.80	6858.57	14073.46
0.1400	-0.9453E-03	15.99	45.69	218.72	649.81	1602.34	3600.39	7665.44	15727.07
0.1500	-0.9364E-03	17.33	50.88	243.12	721.78	1779.09	3996.52	8507.38	17452.40
0.1600	-0.9296E-03	18.71	56.31	268.57	796.80	1963.25	4409.15	9384.26	19249.20
0.1700	-0.9246E-03	20.11	61.97	295.07	874.85	2154.80	4838.26	10296.08	21117.43
0.1800	-0.9212E-03	21.56	67.88	322.62	955.96	2353.77	5283.92	11242.92	23057.29
0.1900	-0.9191E-03	23.04	74.02	351.24	1040.14	2560.20	5746.21	12224.99	25069.15
0.2000	-0.9182E-03	24.55	80.41	380.93	1127.42	2774.17	6225.27	13242.57	27153.60
0.2100	-0.9185E-03	26.10	87.05	411.71	1217.83	2995.75	6721.28	14296.03	29311.39
0.2200	-0.9198E-03	27.70	93.93	443.59	1311.43	3225.05	7234.46	15385.85	31543.48
0.2300	-0.9220E-03	29.33	101.08	476.60	1408.25	3462.18	7765.08	16512.56	33850.96
0.2400	-0.9251E-03	31.01	108.49	510.75	1508.36	3707.28	8313.44	17676.79	36235.13

AZ EELETTARTAM EXCENTRICITAA STOOL EES PERIGEUMMAGASSAAGTOOL VALOOFUEGGESE
 =====

EXOSZFEERIKUS HOEMEERSEEKLET= 1000 . K FOK

DELTA= 0.02 M2/KG

INKLINACIO= 90.0 FOK

EXC.	TPONT	Z	HP= 150.	200.	250.	300.	350.	400.	450. KM
0.0000	-0.2425E-02	0.00	0.07	1.51	7.77	27.23	78.91	206.00	502.89
0.0001	-0.2397E-02	0.01	0.17	1.83	8.56	28.87	82.10	212.20	515.34
0.0002	-0.2371E-02	0.02	0.18	1.87	8.69	29.26	83.11	214.69	521.18
0.0003	-0.2344E-02	0.03	0.19	1.91	8.83	29.66	84.14	217.21	527.06
0.0004	-0.2318E-02	0.05	0.19	1.95	8.96	30.06	85.17	219.74	532.99
0.0005	-0.2293E-02	0.06	0.20	1.99	9.10	30.46	86.22	222.29	538.97
0.0006	-0.2268E-02	0.07	0.20	2.03	9.24	30.86	87.27	224.87	544.99
0.0007	-0.2243E-02	0.08	0.21	2.07	9.38	31.27	88.33	227.46	551.06
0.0008	-0.2219E-02	0.09	0.22	2.11	9.53	31.69	89.40	230.08	557.18
0.0009	-0.2196E-02	0.10	0.23	2.15	9.67	32.10	90.48	232.71	563.34
0.0010	-0.2172E-02	0.11	0.23	2.19	9.82	32.52	91.57	235.37	569.55
0.0020	-0.1960E-02	0.23	0.31	2.63	11.36	36.93	102.95	263.10	634.28
0.0030	-0.1781E-02	0.34	0.40	3.11	13.04	41.71	115.23	292.93	703.78
0.0040	-0.1630E-02	0.46	0.50	3.65	14.86	46.86	128.41	324.87	778.09
0.0050	-0.1502E-02	0.58	0.60	4.23	16.83	52.38	142.49	358.93	857.20
0.0060	-0.1392E-02	0.69	0.72	4.85	18.93	58.26	157.46	395.08	941.10
0.0070	-0.1299E-02	0.81	0.84	5.51	21.17	64.51	173.32	433.33	1029.76
0.0080	-0.1218E-02	0.92	0.97	6.22	23.54	71.10	190.05	473.64	1123.14
0.0090	-0.1149E-02	1.04	1.11	6.96	26.04	78.05	207.64	515.99	1221.20
0.0100	-0.1088E-02	1.16	1.25	7.74	28.66	85.34	226.08	560.36	1323.88
0.0110	-0.1036E-02	1.27	1.40	8.56	31.41	92.96	245.36	606.71	1431.11
0.0120	-0.9899E-03	1.39	1.56	9.41	34.27	100.91	265.46	655.02	1542.83
0.0130	-0.9494E-03	1.51	1.72	10.30	37.26	109.18	286.36	705.25	1658.96
0.0140	-0.9136E-03	1.63	1.89	11.22	40.35	117.76	308.04	757.36	1779.44
0.0150	-0.8818E-03	1.74	2.07	12.17	43.55	126.65	330.50	811.32	1904.17
0.0160	-0.8533E-03	1.86	2.25	13.16	46.86	135.84	353.71	867.08	2033.08
0.0170	-0.8278E-03	1.98	2.43	14.17	50.28	145.32	377.66	924.62	2166.08
0.0180	-0.8047E-03	2.10	2.62	15.21	53.79	155.08	402.33	983.88	2303.08
0.0190	-0.7839E-03	2.22	2.81	16.28	57.40	165.11	427.69	1044.84	2444.00
0.0200	-0.7649E-03	2.34	3.01	17.37	61.10	175.41	453.74	1107.44	2588.74
0.0250	-0.6906E-03	2.94	4.08	23.22	80.94	230.67	593.64	1443.86	3366.79
0.0300	-0.6388E-03	3.54	5.24	29.64	102.78	291.66	748.26	1816.05	4228.13
0.0350	-0.6001E-03	4.15	6.51	36.60	126.44	357.80	916.13	2220.40	5164.35
0.0400	-0.5698E-03	4.77	7.86	44.05	151.78	428.68	1096.13	2654.16	6169.04
0.0450	-0.5453E-03	5.39	9.30	51.96	178.70	504.01	1287.45	3115.33	7237.40
0.0500	-0.5250E-03	6.03	10.83	60.32	207.13	583.54	1489.50	3602.38	8365.81
0.0550	-0.5078E-03	6.66	12.44	69.11	237.00	667.11	1701.77	4114.11	9551.45
0.0600	-0.4932E-03	7.31	14.12	78.31	268.26	754.56	1923.89	4649.57	10792.06
0.0650	-0.4805E-03	7.96	15.89	87.91	300.88	845.76	2155.54	5207.95	12085.78
0.0700	-0.4694E-03	8.62	17.72	97.91	334.80	940.61	2396.43	5788.60	13431.04
0.0750	-0.4597E-03	9.28	19.63	108.28	370.01	1039.02	2646.33	6390.94	14826.51
0.0800	-0.4512E-03	9.96	21.61	119.03	406.47	1140.91	2905.04	7014.48	16271.03
0.0850	-0.4436E-03	10.64	23.66	130.14	444.15	1246.21	3172.38	7658.78	17763.60
0.0900	-0.4368E-03	11.32	25.78	141.62	483.05	1354.87	3448.20	8323.48	19303.37
0.0950	-0.4308E-03	12.02	27.97	153.45	523.13	1466.82	3732.37	9008.26	20889.58
0.1000	-0.4254E-03	12.72	30.22	165.63	564.38	1582.03	4024.78	9712.83	22521.56
0.1100	-0.4162E-03	14.15	34.93	191.03	650.36	1822.06	4633.88	11180.38	25920.66
0.1200	-0.4088E-03	15.61	39.91	217.80	740.89	2074.70	5274.36	12724.55	29496.94
0.1300	-0.4029E-03	17.11	45.14	245.91	835.90	2339.76	5947.24	14344.18	33247.68
0.1400	-0.3981E-03	18.64	50.64	275.37	935.37	2617.13	6650.68	16038.45	37171.00
0.1500	-0.3944E-03	20.20	56.40	306.15	1039.25	2906.73	7385.00	17806.86	41265.71
0.1600	-0.3915E-03	21.81	62.43	338.26	1147.54	3208.53	8150.09	19649.20	45531.27
0.1700	-0.3894E-03	23.45	68.71	371.70	1260.26	3522.52	8945.97	21565.47	49967.69
0.1800	-0.3879E-03	25.13	75.27	406.49	1377.41	3848.77	9772.75	23555.91	54575.50
0.1900	-0.3870E-03	26.86	82.09	442.63	1499.02	4187.34	10630.62	25620.96	59355.71
0.2000	-0.3866E-03	28.62	89.18	480.13	1625.15	4538.36	11519.83	27761.27	64309.77
0.2100	-0.3867E-03	30.43	96.55	519.02	1755.84	4901.95	12440.76	29977.66	69439.57
0.2200	-0.3872E-03	32.29	104.20	559.33	1891.16	5278.30	13393.81	32271.13	74747.43
0.2300	-0.3881E-03	34.20	112.14	601.02	2031.19	5667.60	14379.49	34642.87	80236.07
0.2400	-0.3893E-03	36.15	120.38	644.19	2176.00	6070.09	15398.38	37094.26	85908.64

```

LN 0001      PROGRAM LIFE11
LN 0002      DIMENSION JF(650),JH(8,80),IR(16,40)
LN 0003      DIMENSION DAT(100),OL(100),SZ1(100),SZ2(100)
LN 0004      DIMENSION F(6,100),R(6,4),O_M(100),X(100),D ATV(100)
LN 0005      INTEGER Y1,Y2,Y3
LN 0006      PI=4.*ATAN(1.)
LN 0007      FR=ATAN(1.)/45.
LN 0008      READ(60,2) (JF(I),I=1,648)
LN 0009      2  FORMAT(40(16I5,/),8I5)
LN 0010      READ(60,9) ((JH(IA,IB),IB=1,10),IA=1,8)
LN 0011      9  FORMAT(7(10I5,/),10I5)
LN 0012      READ(60,4) ((JH(IA,IB),IB=11,80),IA=1,8)
LN 0013      4  FORMAT(34(16I5,/),16I5)
LN 0014      DO 24 I=1,15
LN 0015      READ(60,7) (IR(I,J),J=1,10)
LN 0016      7  FORMAT(10I5)
LN 0017      24 CONTINUE
LN 0018      DO 25 I=1,15
LN 0019      READ(60,5) IT,IZ,(IR(I,J),J=11,40)
LN 0020      5  FORMAT(16I5/16I5)
LN 0021      25 CONTINUE
LN 0022      I=0
LN 0023      1  READ(60,6) Y1,M1,D1,Y2,M2,D2,KOD,MM,EL,ATM,Y3,M3,D3,PH,T,
LN 0024      XJA,JHP,JE,KOM,NEV
LN 0025      6  FORMAT(2I2,F5.2,2I2,F5.2,I1,I5,2F5.2,2I2,F5.2,2F6.2,I5,
LN 0026      X I3,I4,I3,I7)
LN 0027      IF(M1.EQ.99) GO TO 999
LN 0028      IF(Y1.EQ.99) GO TO 99
LN 0029      I=I+1
LN 0030      CALL JULIAAN (Y1,M1,D1,DAT1)
LN 0031      CALL JULIAAN (Y2,M2,D2,DAT2)
LN 0032      CALL JULIAAN (Y3,M3,D3,DAT3)
LN 0033      A=FLCAT(JA)
LN 0034      FP=FLOAT(JHP)
LN 0035      E=FLOAT(JE)/10000.
LN 0036      T=1.6586672E-4*SQRT(A**3)
LN 0037      97  FORMAT(1H1,3X,3HOLM,3X,6HEPOCH,3X,6HLEES,10X,
LN 0038      X 12HF A T L A G,16X,1HF/)
LN 0039      DAT4=(DAT3+DAT2)/2.
LN 0040      CALL SKALA (CAT4,HP,JF,JH,H,TEX,F(12,I),F(5,I))
LN 0041      CALL SKALA (DAT2,HP,JF,JH,H,TEX,F(3,I),F(6,I))
LN 0042      CALL SKALA (DAT3,HP,JF,JH,H,TEX,F(1,I),F(4,I))
LN 0043      OLM(I)=DAT2-DAT3
LN 0044      98  FORMAT(2X,F6.2,2F9.1,3X,3F8.2,3X,3F7.1)
LN 0045      IF(KOD.LT.5.OR.KOD.GT.8) GO TO 11
LN 0046      S=ATM**2*PI/4.
LN 0047      GO TO 12
LN 0048      11 IF(KOD.EQ.0) GO TO 1
LN 0049      IF((EL/ATM).LT.2..AND.(KOD.EQ.1.OR.KOD.EQ.2)) KOD=KOD+2
LN 0050      S=EL*ATM*(0.818+0.25*ATM/EL)
LN 0051      12 CONTINUE
LN 0052      CD=2.2

```

```

LN 0053      G=(1.-((HP+6378.15)**1.5*1.152E-7*1.1*COS(PH*FR)))**2
LN 0054      DEL=G*CD*S/FLOAT(MM)
LN 0055      CALL TPCNT(IR,HP,TEX,DEL,H,E,A,PH,KOM,TP,RO)
LN 0056      C
LN 0057      FI=(DAT3-36204.)/365.2422
LN 0058      TAU=FI+0.09544*((J.5+0.5*SIN(2*PI*FI+6.035))**1.65-0.5)
LN 0059      GT=(0.02835+0.3817*(1+0.4671*SIN(2*PI*TAU+4.137)))*
LN 0060      X SIN(4*PI*TAU+4.259)
LN 0061      FZ=(5.876*1.E-7*HP**2.331+0.06328)*EXP(-2.858*1.E-3*HP)
LN 0062      DRO=10**(FZ*GT)
LN 0063      TP1=TP
LN 0064      TP2=TP1/DRO
LN 0065      C
LN 0066      N0=0
LN 0067      N1=1
LN 0068      Z=A*E/H
LN 0069      CALL BESI(Z,N1,XX,IER1)
LN 0070      B1=XX
LN 0071      CALL BESI(Z,N0,B0,IER0)
LN 0072      IF((IER0*IER1).GT.0) PRINT 200,NEV,Z,IER0,IER1
LN 0073      200 FORMAT(2X,I7,F6.1,2X,=BESSEL FV. HIBAAS;=,2I3)
LN 0074      C1=-3.*E*T/4./TP1
LN 0075      C2=-3.*E*T/4./TP2
LN 0076      ELX=B0/B1*(1+2.*E*B1/B0-5.*E/6.+5*E*E/16+7*H/8/A)
LN 0077      CLM1=C1*ELX
LN 0078      CLM2=C2*ELX
LN 0079      ETA=1.-EXP((140.-HP)/H)
LN 0080      IF(E.LT.1.E-6) CLM1=-3./2.*T/TP1*H*ETA/A
LN 0081      IF(E.LT.1.E-6) CLM2=-3./2.*T/TP2*H*ETA/A
LN 0082      OL(I)=DAT2-DAT1
LN 0083      OLM(I)=CLM(I)-CLM1
LN 0084      SZ1(I)=100.*(OLM(I)/OLM(I))
LN 0085      DAT(I)=DAT3
LN 0086      DATV(I)=DAT2
LN 0087      OLM2=OLM(I)-CLM2
LN 0088      SZ2(I)=100.*(OLM2/OLM(I))
LN 0089      IF(I.EQ.1) PRINT 30
LN 0090      30 FORMAT(1H1,10X,=11 EEVES EFFEKTUS KOZMOSZ HOLDAK=,
LN 0091      X = EELETTARTAMA ALAPJAAN=
LN 0092      Y //40X,=FEELVEVES EFFEKTUS NEELKUEL=,10X,=FEELVEVES EFFEKTUSSAL=/
LN 0093      X8X,=NEV=,5X,=DAT3=,7X,=OL=,7X,=OLM=,2(14X,=CLM=,7X,=O-C=,7X,1HX))
LN 0094      PRINT 31,NEV,DAT(I),OL(I),OLM(I),CLM1,OC1,SZ1(I),CLM2,OC2,SZ2(I)
LN 0095      31 FORMAT(5X,I7,3F10.2,2(5X,3F10.2))
LN 0096      GO TO 1
LN 0097      99 CONTINUE
LN 0098      PRINT 97
LN 0099      PRINT 98,(OLM(J),DAT(J),DATV(J),(F(K,J),K=1,6),J=1,I)
LN 0100      DO 90 K=1,6
LN 0101      DO 91 J=1,100
LN 0102      91 X(J)=F(K,J)
LN 0103      CALL KORREL(I,OL,X,R(K,1))
LN 0104      CALL KORREL(I,OLM,X,R(K,2))

```

```
LN 0105      CALL KORREL (I,SZ1,X,R(K,3))
LN 0106      90  CALL KORREL (I,SZ2,X,R(K,4))
LN 0107      PRINT 92
LN 0108      92  FORMAT (/ //10X,#KORRELACIOS EGYUTTHATOK=#/)
LN 0109      PRINT 93,R
LN 0110      93  FORMAT (4(2(5X,3F10.5)/))
LN 0111      C   KIRAJZOLTATAAS
LN 0112      C
LN 0113      CALL DATUM (DAT (I),NY1,NM1,DN1)
LN 0114      CALL DATUM (DAT (I),NYI,NMI,DNI)
LN 0115      PRINT 33,I,NY1,NM1,DN1,NYI,NMI,DNI
LN 0116      PRINT 34
LN 0117      CALL PRINT5 (I,DAT,OL)
LN 0118      PRINT 33,I,NY1,NM1,DN1,NYI,NMI,DNI
LN 0119      PRINT 35
LN 0120      CALL PRINT5 (I,DAT,SZ1)
LN 0121      PRINT 33,I,NY1,NM1,DN1,NYI,NMI,DNI
LN 0122      PRINT 36
LN 0123      CALL PRINT5 (I,DAT,SZ2)
LN 0124      33  FORMAT (1H1,10X,I3,# HOLD#,5X,#EPOCHAAK 19#,2(I2,1H.),F4.1,
LN 0125      X #-TOOL 19#,2(I2,1H.),F4.1,#-IG#)
LN 0126      34  FORMAT (/10X,#MEGFIGYELT TELJES ELETARTAM#/)
LN 0127      35  FORMAT (/10X,#C-C(%) FEELEEVES EFFEKTUS NEELKUEL#/)
LN 0128      36  FORMAT (/10X,#C-C(%) FEELEEVES EFFEKTUSSAL#/)
LN 0129      DO 32 I=1,100
LN 0130      OL (I)=0.
LN 0131      SZ1 (I)=0.
LN 0132      SZ2 (I)=0.
LN 0133      32  DAT (I)=0.
LN 0134      I=0
LN 0135      GO TO 1
LN 0136      999 CONTINUE
LN 0137      END
```

USASI FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR LIFE11

NO ERRORS


```

LN 0001      PROGRAM LIFE4A
LN 0002      INTEGER X1,X2,Y1,Y2,EV,Z,EX
LN 0003      DIMENSION X(200),Y(200),XS(200),YS(200)
LN 0004      REAL NP,INK,NAP,N
LN 0005      DIMENSION JF(650),JH(8,80)
LN 0006      DIMENSION PNP(200),PN(200),POM(200),PINK(200),PDAT3(200),PE(200)
LN 0007      READ(60,1) (JF(I),I=1,648)
LN 0008      1 FORMAT(40(16I5,/),8I5)
LN 0009      READ(60,2) ((JH(IA,IB),IB=1,10),IA=1,8)
LN 0010      2 FORMAT(7(10I5,/),10I5)
LN 0011      READ(60,3) ((JH(IA,IB),IB=11,80),IA=1,8)
LN 0012      3 FORMAT(34(16I5,/),16I5)
LN 0013      7 READ(60,4) NEV,Y1,Y2,Y3,X1,X2,X3,KOD
LN 0014      4 FORMAT(I7,2I2,F5,2,2I2,F5,2,I1)
LN 0015      IF(NEV.GT,8000000) GO TO 99
LN 0016      CALL JULIAAN (Y1,Y2,Y3,DAT1)
LN 0017      DAT2=0.0
LN 0018      IF(X1.NE.0) CALL JULIAAN (X1,X2,X3,DAT2)
LN 0019      CL=0.0
LN 0020      IF(X1.NE.0) OL=DAT2-DAT1
LN 0021      IF(X1.EQ.0) OL=0.0
LN 0022      OLY=OL/365.25
LN 0023      WRITE(61,5) NEV,Y1,Y2,Y3,DAT1,X1,X2,X3,DAT2,OL,OLY
LN 0024      5 FORMAT(1H1,/,50X,I7,/,10X, #FELLOVES: #,2I4,F6.1,F8.1,20X,
LN 0025      X #LEESETT: #,2I4,F6.1,F8.1,/,15X, #ESZLELT TELJES ELETTARTAM: #,
LN 0026      X F9.1, # NAP, #, F8.2, # EEV, #, /)
LN 0027      WRITE(61,10)
LN 0028      10 FORMAT(/,2X, #EPOCHA #, 4X, #POLG, #, 6X, #PERIG #, 5X, #EXC #,
LN 0029      X 3X, #INKL #, 5X, #TPONT #, 3X, #NAP-HATRALEVO-EV #, 2X,
LN 0030      X #NAP-TELJES-EV #, 6X, #0-C #, 5X, #% #, 5X, #JUL. ES POLG. HALAAL #, /)
LN 0031      I=0
LN 0032      K1=0
LN 0033      IF (KOD.EQ.2) GO TO 18
LN 0034      DO 11 K=1,200
LN 0035      READ(60,6) EV,NAP,PN(K),PNP(K),EX,POM(K),PINK(K)
LN 0036      IF(EV.EQ.99) GO TO 12
LN 0037      K1=K1+1
LN 0038      C KOD=1 : REFGI SLOUGHI, KOD=0 : UJ SLOUGHI
LN 0039      IF(KOD.EQ.1) PN(K)=1/PN(K)
LN 0040      IF(KOD.EQ.1) PNP(K)=PNP(K)*(-200.)
LN 0041      PE(K)=FLOAT(EX)/1000000.
LN 0042      6 FORMAT(I2,F6.2,1X,F11.8,1X,F12.9,1X,16,1X,F8.4,1X,F7.4)
LN 0043      Z=0
LN 0044      CALL JULIAAN (EV,Z,NAP,PDAT3(K))
LN 0045      11 CONTINUE
LN 0046      GO TO 12
LN 0047      18 DO 19 K=1,200
LN 0048      READ(60,8) PDAT3(K),NRP,PN(K),M2,NRG,Cp,CG
LN 0049      8 FORMAT(F11.6,I6,F9.6,I4,I6,F8.2,F7.2)
LN 0050      IF(PDAT3(K).LT.0.) GO TO 12
LN 0051      K1=K1+1
LN 0052      PDAT3(K)=PDAT3(K)+30000.

```

```

LN 0053      IF(PDAT3(K),LE,36000.) PDAT3(K)=PDAT3(K)+10000.
LN 0054      POM(K)=(NRP*1.E-6+0.25)*360.
LN 0055      PNP(K)=M2*1.E-6
LN 0056      PE(K)=CG/CP
LN 0057      PINK(K)=NRG*3.6E-4
LN 0058      19 CONTINUE
LN 0059      12 CONTINUE
LN 0060      C
LN 0061      C BEOLVASAS ES ADATATALAKITAS VEGF.SZAMITAS KE7DETE.
LN 0062      C
LN 0063      KER=0
LN 0064      DO 13 I=1,K1
LN 0065      DAT3=0
LN 0066      K=0
LN 0067      N=0
LN 0068      NP=0
LN 0069      OM=0
LN 0070      INK=0
LN 0071      E=0
LN 0072      I10=I+10
LN 0073      IF (I10.GT.200) GO TO 17
LN 0074      DO 14 J=1,I10
LN 0075      K=K+1
LN 0076      IF(PN(J).LT.0.1) GO TO 17
LN 0077      DAT3=DAT3+PDAT3(J)
LN 0078      N=N+PN(J)
LN 0079      NP=NP+PNP(J)
LN 0080      OM=OM+POM(J)
LN 0081      INK=INK+PINK(J)
LN 0082      E=E+PE(J)
LN 0083      PP=54.
LN 0084      IF((PDAT3(J)-PDAT3(I)).GT.PP) GO TO 15
LN 0085      14 CONTINUE
LN 0086      15 DAT3=DAT3/K
LN 0087      N=N/K
LN 0088      NP=NP/K
LN 0089      OM=OM/K
LN 0090      INK=INK/K
LN 0091      E=E/K
LN 0092      KER=KER+1
LN 0093      A=(2.9755428E+15/(6.283185308*N)**2)**(1./3.)
LN 0094      FSZ=SIN(INK*3.141592654/180)*SIN(OM*3.141592654/180)
LN 0095      RV=6378.14*(1-0.00335*FSZ**2)
LN 0096      HP=A*(1-E)-RV
LN 0097      T=1440./N
LN 0098      TP=-2880.*NP/N**2
LN 0099      CALL SKALA (DAT3,HP,JF,JH,H)
LN 0100      C
LN 0101      C A FEELEEVES EFFEKTUSRA MODULALJUK TPONTOT
LN 0102      C
LN 0103      PT=3.141592654
LN 0104      FI=(DAT3-36204.)/365.2422

```



```

LN 0105      TAU=FI+0.09544*((0.5+0.5*SIN(2*PI*FI+6.035))**1.65-0.5)
LN 0106      GT=0.02835+0.3817*(1+0.4671*SIN(2*PI*TAU+4.137))*
LN 0107      X SIN(4*PI*TAU+4.259)
LN 0108      FZ=(5.876*1.E-7*HP**2.331+0.06328)*EXP(-2.868*1.E-3*HP)
LN 0109      DR0=1)**(F7*GT)
LN 0110      TP=TP/DRU
LN 0111      CONTINUE
LN 0112      C
LN 0113      CLM=(-E*T*3/(TP**4))*(1+7*E/6+5*E**2/16+(H/
LN 0114      X (2*A*E))*(1+11*E/12+3*H/(4*A*E)+3
LN 0115      X *(H/(2*A*F))**2))
LN 0116      C
LN 0117      C KIS EXCENTRICITAASOKRA BESSEL FV-EKKEL SZAAMOLUNK.
LN 0118      C
LN 0119      ZZ=A*E/H
LN 0120      IF(ZZ.GT.3.) GO TO 21
LN 0121      NR=0
LN 0122      CALL BESI(7Z,NR,BI0,IER0)
LN 0123      NR=1
LN 0124      CALL BESI(7Z,NR,BI1,IER1)
LN 0125      IF((IER0*IER1).GT.0) WRITE(61,22) IER0,IER1
LN 0126      22 FORMAT(10X,'#BESSEL FV. HIBAKODJA: IER0=#,I2,
LN 0127      X 5X,'#IER1=#,I2)
LN 0128      CLM=(-E*T*3.*BI0/(TP**4.*BI1))*(1+2.*E*BI1/BI0-
LN 0129      X 9.*E*ZZ/40.)
LN 0130      21 CONTINUE
LN 0131      C
LN 0132      CL=DAT3-DAT1+CLM
LN 0133      CLMY=CLM/365.25
LN 0134      CLY=CL/365.25
LN 0135      OLM=0.0
LN 0136      IF(X1.NE.0) OLM=DAT2-DAT3
LN 0137      OC=OL-CL
LN 0138      IF(X1.EQ.0) OC=1.E+6
LN 0139      HAL=DAT3+CLM
LN 0140      CALL DATUM (HAL,IY,IM,HD)
LN 0141      SZ=100.*ABS(OC/(DAT2-DAT3))
LN 0142      CALL DATUM(DAT3,NY,NM,DN)
LN 0143      X(I)=DAT3
LN 0144      Y(I)=SIGN(SZ,OC)
LN 0145      WRITE(61,9) DAT3,NY,NM,DN,HP,E,INK,TP,CLM,CLMY,CL,CLY,OC,SZ,
LN 0146      X HAL,IY,IM,HD
LN 0147      9 FORMAT(1X,F9.2,2I3,F6.2,F9.2,F8.3,F6.2,F12.4,F10.2,F7.2,
LN 0148      X F10.2,F7.2,F8.2,F7.2,F9.2,1X,2I3,F6.2,/)
LN 0149      17 CONTINUE
LN 0150      13 CONTINUE
LN 0151      IF(KER.LE.15) GO TO 25
LN 0152      XS(1)=AINT(X(1)/10.)*10.+10.
LN 0153      DO 30 I=2,200
LN 0154      XS(I)=XS(I-1)+10
LN 0155      IF (XS(I).GT.X(KER)) GO TO 31
LN 0156      30 CONTINUE

```

```
LN 0157      31 KERS=I-1
LN 0158        J=1
LN 0159        DO 32 I=1,KERS
LN 0160      33 CONTINUE
LN 0161        IF(X(J+1).GE.XS(I)) GO TO 34
LN 0162        J=J+1
LN 0163        GO TO 33
LN 0164      34 YS(I)=(Y(J+1)-Y(J))*(XS(I)-X(J))/(X(J+1)-X(J))+Y(J)
LN 0165      32 CONTINUE
LN 0166        DO 36 I=1,KERS
LN 0167      36 PRINT 35, XS(I),YS(I)
LN 0168      35 FORMAT (10X,2F10,2)
LN 0169        DX=X(KER)-X(1)
LN 0170        PRINT 23,NFV,DX
LN 0171      23 FORMAT(1H1,10X,17,5X,*(0-C)/0 AZ IDO FUGGVENYEBEN#,
LN 0172        X 15X, #A MEZO SZELÉSSEGE: #,F8,1)
LN 0173        CALL PRINTF(KER,X,Y)
LN 0174        DX=XS(KERS)-XS(1)
LN 0175        PRINT 23,NFV,DX
LN 0176        CALL PRINTF (KERS,XS,YS)
LN 0177      25 CONTINUE
LN 0178        DO 20 J=1,200
LN 0179        X(J)=0.
LN 0180        Y(J)=0.
LN 0181        XS(J)=0
LN 0182        YS(J)=0
LN 0183        PNP(J)=0.
LN 0184        PN(J)=0.
LN 0185        PINK(J)=0.
LN 0186        PDAT3(J)=0.
LN 0187        PE(J)=0.
LN 0188      20 POM(J)=0.
LN 0189      99 GO TO 7
LN 0190      CONTINUE
LN 0191        WRITE(61,16)
LN 0192      16 FORMAT(2X, #EZ VOLT AZ UTOLSÓO HOLD #)
LN 0193      END
```

USASI FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR LIFE4A

NO ERRORS

```

LN 0001      PROGRAM LIFE3
LN 0002      DIMENSION PA(200),PHP(200),PMJD(200),PINK(200),PM1(200),PM2(200)
LN 0003      DIMENSION X(200),Y(200),FA(200),FP(200)
LN 0004      INTEGER PEX(200)
LN 0005      INTEGER Y1,Y2,EX
LN 0006      REAL MJD,INK,M1,M2
LN 0007      DIMENSION JF(650),JH(8,80)
LN 0008      READ(60,2) (JF(I),I=1,648)
LN 0009      2  FORMAT(40(16I5,/),8I5)
LN 0010      READ(60,7) ((JH(IA,IB),IB=1,10),IA=1,8)
LN 0011      7  FORMAT(7(10I5,/),10I5)
LN 0012      READ(60,4) ((JH(IA,IB),IB=11,80),IA=1,8)
LN 0013      4  FORMAT(34(16I5,/),16I5)
LN 0014      1  READ(60,3) NEV,Y1,MA,D1,Y2,MB,D2,KOD
LN 0015      3  FORMAT(I7,2(2I2,F5.2),I1)
LN 0016      IF(NEV.GT.8000000) GO TO 99
LN 0017      CALL JULIAAN (Y1,MA,D1,DAT1)
LN 0018      DAT2=0.0
LN 0019      IF(Y2.NE.0) CALL JULIAAN (Y2,MB,D2,DAT2)
LN 0020      CL=0.0
LN 0021      IF(Y2.NE.0) CL=DAT2-DAT1
LN 0022      IF(Y2.EQ.0) OL=0.0
LN 0023      OLY=OL/365.25
LN 0024      WRITE(61,10) NEV,Y1,MA,D1,DAT1,Y2,MB,D2,DAT2,OL,OLY
LN 0025      10  FORMAT(1H1,/,50X,I7,/,10X, #FELLOVES: #,2I4,F6.1,
LN 0026      X F8.1,2(X, #LEESETT: #,2I4,F6.1,F8.1,/,15X,
LN 0027      X #ESZLELT TELJES ELETARTAM: #,F9.1, # NAP, #,F8.2, # EEV. #,/,/,
LN 0028      X 5X, #EPOCHAZ, 5X, #POLG. #, 5X, #PERIG #, 5X, #EXC #, 3X,
LN 0029      X #INKL #, 10X, #TPONT #, 3X,
LN 0030      X #SZ.-HAATRALEVO-ESZL SZ.TELJES 0-C % #,
LN 0031      X #JUL. ES POLG. HALAAL #,/)
LN 0032      IF(KOD) 20,20,22
LN 0033      20  DO 24 K=1,300
LN 0034      READ(60,9) PMJD(K),PA(K),PEX(K),PHP(K),PINK(K),PM1(K),PM2(K)
LN 0035      IF(PMJD(K).GT.90000.) GO TO 21
LN 0036      24  CONTINUE
LN 0037      2 2  DO 25 K=1,300
LN 0038      READ(60,23) PMJD(K),PA(K),PEX(K),PINK(K),OM,PM1(K),PM2(K)
LN 0039      23  FORMAT (F8.2,1X,F8.3,1X,I5,F7.3,1X,F7.3,F8.3,1X,F7.4)
LN 0040      PEX(K)=10*PEX(K)
LN 0041      IF(KOD.EC.2) PM2(K)=PM2(K)/2.
LN 0042      FSZ=SIN(PINK(K)*(3.1415926/180))*SIN(OM*(3.1415926/180))
LN 0043      RV=6378.140*(1.-0.00335*FSZ**2)
LN 0044      PHP(K)=PA(K)*(1-PEX(K)/1000000.)-RV
LN 0045      IF(PMJD(K).GT.90000.) GO TO 21
LN 0046      25  CONTINUE
LN 0047      21  CONTINUE
LN 0048      K1=K-1
LN 0049      9  FORMAT(F8.2,1X,F9.4,I6,F6.2,F8.4,F9.4,F7.4)
LN 0050      C
LN 0051      C  EECVLVASAS VEGE SZAMOLAS KEZDETE.
LN 0052      KER=0

```

```

LN 0053      DO 26 I=1,K1
LN 0054      MJD=0
LN 0055      K=0
LN 0056      A=0
LN 0057      EX=0
LN 0058      HP=0
LN 0059      INK=0
LN 0060      M1=0
LN 0061      M2=0
LN 0062      I10=I+40
LN 0063      PP=-1.
LN 0064      DO 27 J=I,I10
LN 0065      J1=J+1
LN 0066      IF((PMJD(J1)-PMJD(J)).GT.100..AND.(PMJD(J)-PMJD(I)).LE.
LN 0067      X PP) GO TO 26
LN 0068      K=K+1
LN 0069      MJD=MJD+PMJD(J)
LN 0070      A=A+PA(J)
LN 0071      EX=EX+PEX(J)
LN 0072      HP=HP+PP(J)
LN 0073      INK=INK+PINK(J)
LN 0074      M1=M1+PM1(J)
LN 0075      M2=M2+PM2(J)
LN 0076      IF((PMJD(J)-PMJD(I)).GT.PP) GO TO 28
LN 0077      27 CONTINUE
LN 0078      28 MJD=MJD/K
LN 0079      A=A/K
LN 0080      EX=EX/K
LN 0081      HP=HP/K
LN 0082      INK=INK/K
LN 0083      M1=M1/K
LN 0084      M2=M2/K
LN 0085      KER=KER+1
LN 0086      E=EX/1000000.
LN 0087      CALL SKALA (MJD,HP,JF,JH,H,TEX,FA(KER),FP(KER))
LN 0088      T=518400./M1
LN 0089      TP=(-1036800.)*M2/(M1**2)
LN 0090      C
LN 0091      C A FEELEEVES EFFFEKTUSRA MODULAALJUK A TPONTOT.
LN 0092      PI=3.141592654
LN 0093      FI=(MJD-36204.)/365.2422
LN 0094      TAU=FI+0.09544*((0.5+0.5*SIN(2*PI*FI+6.031))**1.65-0.5)
LN 0095      GT=0.02835+0.3817*(1+0.4671*SIN(2*PI*TAU+4.137))*
LN 0096      X SIN(4*PI*TAU+4.259)
LN 0097      FZ=(5.876*1.E-7*HP**2.331+0.06328)*EXP(-2.868*1.E-3*HP)
LN 0098      DRO=10**(FZ*GT)
LN 0099      TP=TP/DRO
LN 0100      C
LN 0101      CLM=(-E*T*3/(TP*4))*(1+7*E/6+5*E**2/16+(H/(2*A*E))*(1+11*
LN 0102      X E/12+3*H/(4*A*E)+3*(H/(2*A*E))**2))
LN 0103      C
LN 0104      C KIS EXCENTRICITAASOKRA BESSEL FV-EKKEL SZAAMCLUNK.

```

```

LN 0105      ZZ=A*E/H
LN 0106      IF(ZZ.GT.3.) GO TO 121
LN 0107      NB=0
LN 0108      CALL BESI(ZZ,NB,BI0,IER0)
LN 0109      NB=1
LN 0110      CALL BESI(ZZ,NB,BI1,IER1)
LN 0111      IF((IER0*IER1).GT.0) WRITE(61,122) IER0,IER1
LN 0112      122 FORMAT(10X, # BESSEL FV. HIBAKODJA: IER0=#, I2,
LN 0113      X 5X, # IER1=#, I2)
LN 0114      CLM=(-E*T*3.*BI0/(TP*4.*BI1))*(1+2.*E*BI1/BI0-9.
LN 0115      X *E*ZZ/40.)
LN 0116      1:21 CONTINUE
LN 0117      C
LN 0118      CL=MJD-DAT1+CLM
LN 0119      OLM=0.0
LN 0120      IF(Y2.NE.0) OLM=DAT2-MJD
LN 0121      OC=OL-CL
LN 0122      IF(Y2.EQ.0) OC=1.E+6
LN 0123      HAL=MJD+CLM
LN 0124      SZ=100.*ABS(OC/OLM)
LN 0125      CALL DATUM (MJD,MY,MM,DM)
LN 0126      CALL DATUM (HAL,IY,IM,HD)
LN 0127      X(KER)=MJD
LN 0128      Y(KER)=SIGN(SZ,OC)
LN 0129      WRITE(61,11) MJD,MY,MM,DM,HP,E,INK,TP,CLM,OLM,CL,OC,
LN 0130      XSZ,HAL,IY,IM,HD
LN 0131      11 FORMAT(2X,F9.2,2I3,F5.1,F9.1,F9.4,F6.2,E17.6,3F9.1,2X,F7.1,
LN 0132      X 1X,F5.1,F8.1,1X,2I3,F5.1,/)
LN 0133      2:6 CONTINUE
LN 0134      CALL KORREL(KER,Y,FA,R1)
LN 0135      CALL KORREL(KER,Y,FP,R2)
LN 0136      PRINT 90,KER,R1,R2
LN 0137      90 FORMAT(//5X, # KORRELACIOJA #, I4, # PONTBOL #//
LN 0138      X #F ATLAGGAL=#,F10.5,10X, # F-FEL=#,F10.5)
LN 0139      PRINT 123,NEV
LN 0140      1:23 FORMAT(1H1,10X,I7,5X, # (O-C)/O AZ IDO FUGGVENYEBEN#)
LN 0141      CALL PRINT5(KER,X,Y)
LN 0142      DO 30 I=1,300
LN 0143      X(I)=0.
LN 0144      Y(I)=0.
LN 0145      FA(I)=0.
LN 0146      FP(I)=0.
LN 0147      PA(I)=0.
LN 0148      PHP(I)=0.
LN 0149      PMJD(I)=0.
LN 0150      PINK(I)=0.
LN 0151      PM1(I)=0.
LN 0152      30 PM2(I)=0.
LN 0153      GO TO 1
LN 0154      99 CONTINUE
LN 0155      END

```

```
LN 0001      SUBROUTINE SKALA(MJD,MAG,JF,JH,H,T,F,FP)
LN 0002      DIMENSION IF(650),JH(8,80),JFP(127)
LN 0003      REAL MAG,MJD
LN 0004      J=IFIX(MJD)/10-3632
LN 0005      F=(FLOAT(JF(J))+FLOAT(JF(J+1))-JF(J))*
LN 0006      X (MJD/10.-AINT(MJD/10.))/100.
LN 0007      REWIND 50
LN 0008      N=(IFIX(MJD)-36000)/127+1
LN 0009      READ(50/N) JFP
LN 0010      K=IFIX(MJD)-36000-(N-1)*127+1
LN 0011      T=5.48*F**0.8+101.8*JFP(K)**0.4
LN 0012      FP=FLOAT(JFP(K))
LN 0013      J1=IFIX(T/100.)-6
LN 0014      T1=100.*FLOAT(IFIX(T/100.))
LN 0015      T2=T1+100
LN 0016      IF(MAG.GE.200.) GO TO 14
LN 0017      J2=IFIX(MAG-125)/5
LN 0018      Z1=5.*IFIX(MAG/5.)
LN 0019      Z2=Z1+5.
LN 0020      GO TO 13
LN 0021      14 IF(MAG.GE.400.) GO TO 15
LN 0022      J2=14+IFIX(MAG-190.)/10
LN 0023      Z1=10.*IFIX(MAG/10.)
LN 0024      Z2=Z1+10.
LN 0025      GO TO 13
LN 0026      15 IF(MAG.GE.1000.) GO TO 16
LN 0027      J2=34+IFIX(MAG-380.)/20
LN 0028      Z1=20.*IFIX(MAG/20.)
LN 0029      Z2=Z1+20.
LN 0030      GO TO 13
LN 0031      16 IF(MAG.GE.1500.) GO TO 17
LN 0032      J2=64+IFIX(MAG-950.)/50
LN 0033      Z1=50.*IFIX(MAG/50.)
LN 0034      Z2=Z1+50
LN 0035      GO TO 13
LN 0036      17 J2=74+IFIX(MAG-1400.)/100
LN 0037      Z1=100.*IFIX(MAG/100.)
LN 0038      Z2=Z1+100.
LN 0039      13 R11=FLOAT(JH(J1,J2))/100.
LN 0040      R12=FLOAT(JH(J1,J2+1))/100.
LN 0041      R21=FLOAT(JH(J1+1,J2))/100.
LN 0042      R22=FLOAT(JH(J1+1,J2+1))/100.
LN 0043      H=DINTER(Z1,Z2,T1,T2,R11,R12,R21,R22,T,MAG)
LN 0044      RETURN
LN 0045      END
```

USASI FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR SKALA

NO ERRORS

```

LN 0001      SUBROUTINE TPONT (IR,HP,T,DEL,H,E,A,PH,KOM,TP,RO)
LN 0002      DIMENSION IR(16,40)
LN 0003      DATA N0,N1,N2,N3,N4 / 0,1,2,3,4 /
LN 0004      PI=4.*ATAN(1.)
LN 0005      IZO=INT(HP)
LN 0006      K1=INT(T-700.)/50+1
LN 0007      N1=K1+1
LN 0008      IF(IZO.GE.200) GO TO 3
LN 0009      K2=(IZO-130)/5+1
LN 0010      Z1=5*FLOAT(IZO/5)
LN 0011      Z2=Z1+5
LN 0012      GO TO 4
LN 0013      3 IF(IZO.GE.400) GO TO 5
LN 0014      K2=(IZO-200)/10+15
LN 0015      Z1=10*FLOAT(IZO/10)
LN 0016      Z2=Z1+10
LN 0017      GO TO 4
LN 0018      5 IF(IZO.GT.500) GO TO 4
LN 0019      K2=(IZO-400)/20+35
LN 0020      Z1=20*FLOAT(IZO/20)
LN 0021      Z2=Z1+20
LN 0022      4 CONTINUE
LN 0023      N2=K2+1
LN 0024      R11=FLOAT(IR(K1,K2))
LN 0025      R12=FLOAT(IR(K1,N2))
LN 0026      R21=FLOAT(IR(N1,K2))
LN 0027      R22=FLOAT(IR(N1,N2))
LN 0028      T1=FLOAT(IFIX(T)/5.)*50.
LN 0029      T2=T1+50
LN 0030      RO=DINTER(Z1,Z2,T1,T2,R11,R12,R21,R22,T,Z)
LN 0031      RO=(RO/1000.)*(-1.)
LN 0032      RO=10*RO
LN 0033      EPS=0.00335
LN 0034      OM=FLOAT(KOM)
LN 0035      Z=A*E/H
LN 0036      CALL BESI(Z,N0,B0,IER0)
LN 0037      CALL BESI(Z,N1,B1,IER1)
LN 0038      CALL BESI(Z,N2,B2,IER2)
LN 0039      CALL BESI(Z,N3,B3,IER3)
LN 0040      CALL BESI(Z,N4,B4,IER4)
LN 0041      IF((IER0*IER1*IER2*IER3*IER4).NE.0) PRINT 31,IER0,IER1,
LN 0042      X IER2,IER3,IER4
LN 0043      31 FORMAT(2X,'# BESSEL FV. F1BAKODJA: #,5 I3)
LN 0044      C=EPS/2./H*(SIN(PH*PI/180.))**2*(HP+6378.155)
LN 0045      CS=EXP(Z*C*COS(OM*PI/90.))
LN 0046      CN=B0+2.*E*B1+3.*E*E/4.*(B0+B2)+E**3/4.*(3*B1+B3)
LN 0047      X +C*(B2+2.*E*B3)*COS(OM*PI/90.)+C*C/4.*(B0+B4*COS
LN 0048      X (OM*PI/45.))
LN 0049      CC=RO*3.*PI*A*DEL*(-1.)
LN 0050      TP=CC*CN/CS*1000.*1440.
LN 0051      RETURN
LN 0052      END

```

```

LN 0001      PROGRAM LIFE5
LN 0002      REAL L2
LN 0003      DIMENSION EL (10)
LN 0004      DIMENSION JF (650), JH (8,80), IR (16,40)
LN 0005      READ (60,2) (JF(I), I=1,648)
LN 0006      2  FORMAT (40 (16I5,/), 8I5)
LN 0007      READ (60,9) ((JH(IA,IB), IB=1,10), IA=1,8)
LN 0008      9  FORMAT (7 (10I5,/), 1I5)
LN 0009      READ (60,4) ((JH(IA,IB), IB=11,80), IA=1,8)
LN 0010      4  FORMAT (34 (16I5,/), 16I5)
LN 0011      DO 24 I=1,15
LN 0012      READ (60,7) (IR(I, J), J=1,10)
LN 0013      7  FORMAT (10I5)
LN 0014      24 CONTINUE
LN 0015      DO 25 I=1,15
LN 0016      READ (60,5) IT, IZ, (IR(I, J), J=11,40)
LN 0017      5  FORMAT (16I5/16I5)
LN 0018      25 CONTINUE
LN 0019      DO 11 IH=1,2
LN 0020      HP=150.
LN 0021      DEL=0.02
LN 0022      DO 11 I1=1,3
LN 0023      TEX=600.+I1*200.
LN 0024      CALL SKALA (HP, JF, JH, H, TEX)
LN 0025      HY=H
LN 0026      DO 1 IE=1,60
LN 0027      DO 13 IP=1,7
LN 0028      HP=FLOAT(IP+2)*50.
LN 0029      PH=90.
LN 0030      KOM=0
LN 0031      E=0.
LN 0032      CALL SKALA (HP, JF, JH, H, TEX)
LN 0033      CALL TPONT (IR, HP, TEX, DEL, H, E, A, PH, KOM, TP, RO)
LN 0034      IF ((IP*IE).EQ.1) PRINT 12, TEX, DEL, PH
LN 0035      12 FORMAT (1H1, 21X, #AZ EELETTARTAM EXCENTRICITAASTOOL EES #
LN 0036      X , #PERIGEUMMAGASSAAGTOOL VALOOFUE CGEESE #/22X, 75 (1H=) //
LN 0037      X 16X, #EXOSZFEERIKUS HOEMEERSEKLET=#, F6.0, # K FOK#,
LN 0038      X 5X, #DELTA=#, F5.2, # M2/KG#, 5X, #INKLINACIO=#, F5.1, # FOK# //
LN 0039      X 4X, #EXC.#, 5X, #TPONT#, 8X, 1H Z, 5X, # TP=#, 2X, 4H150.,
LN 0040      X 9X, 4H200., 9X, 4H250., 9X, 4H300., 9X, 4H350., 9X, 4H400.,
LN 0041      X 9X, 7H450. KM/)
LN 0042      IF (IE.LE.11) E=FLOAT(IE-1)*0.0001
LN 0043      IF (IE.GE.12.AND.IE.LE.30) E=FLOAT(IE-10)*0.001
LN 0044      IF (IE.GE.31.AND.IE.LE.46) E=FLOAT(IE-26)*0.005
LN 0045      IF (IE.GE.47) E=FLOAT(IE-36)*0.01
LN 0046      FR=ATAN(1.)/45.
LN 0047      EPS=0.0(335
LN 0048      SFI=SIN(PH*FR)*SIN(FLOAT(KOM)*FR)
LN 0049      A=(HP+6378.155*(1.-SFI*SFI*EPS))/(1.-E)
LN 0050      T=1.6586672E-4*SQRT(A**3)
LN 0051      CALL TPONT (IR, HP, TEX, DEL, H, E, A, PH, KOM, TP, RO)
LN 0052      Z=A*E/H

```



```
LN 0053      NO=0
LN 0054      N1=1
LN 0055      CALL BESI(Z,NO,B0,IER0)
LN 0056      CALL BESI(Z,N1,B1,IER1)
LN 0057      3 FORMAT(2X,'#EESSEL FV. HIBAKODJA: ',2I2,F10.3)
LN 0058      IF((IER0*IER1).GT.0) PRINT 3,IER0,IER1,Z
LN 0059      C=-3.*E*T/4./TP
LN 0060      L2=C*B0/B1*(1+2.*E*B1/B0-5.*E/6.+5.*E*E/16+7.*H/8./A)
LN 0061      ETA=1.-EXP((140.-HP)/H)
LN 0062      IF(E.LT.1.E-6) L2=-3./2.*T/TP*H*ETA/A
LN 0063      13 EL(IP)=L2
LN 0064      1 PRINT 15,E,TP,Z,(EL(I),I=1,7)
LN 0065      11 CONTINUE
LN 0066      15 FORMAT(2X,F6.4,E13.4,F7.2,7F13.2)
LN 0067      END
```

USASI FORTRAN DIAGNOSTIC RESULTS FOR LIF5

NO ERRORS