

ILLÉS ERZSÉBET

MTA Csillagászati Kutatóintézete

A SEMLEGES LÉGKÖRI HULLÁMMEZŐ VÁLTOZÁSÁNAK VIZSGÁLATA A SAN MARCO V HOLD MÉRÉSEI ALAPJÁN

Az e cikkben foglalt kutatások előzményeit a XX. Ionoszféra Magnetoszféra Szeminárium anyagáról megjelent kötetben ismertettem (Illés, 1995). Ott arról számoltam be, hogy a semleges felsőlégköri sűrűséget (ρ) adó modellek javítása során gyakorlatilag "fehér zajként" megmaradt maradékértékeket a légkörben jelenlévő hullámnak tulajdonítva – és a hullámok amplitúdójának mérőszámaként a maradékok szórását használva – a különböző paraméterek függvényében tanulmányozható az amplitúdó változása. Azokhoz a vizsgálatokhoz képest két irányban léptünk előre a kutatással egyrészt módszertani, másrészt adatbázis vonatkozásban.

A módszertani változtatás azért vált szükségessé, mert az eredmények szignifikanciáját is vizsgálni szeretnénk volna. A hullámamplitúdó jellemzésére ezért egy bizonyos időszak (pl. 3 óra) alatti átlagos eltérést (δ) vezettük be, amelyet a következőképpen definiáltunk:

$$\delta = \frac{\sum |\overline{\ln f} - \ln f|}{n} \quad \text{ahol } f = (\rho^{\text{mért}} / \rho^{\text{modell}})$$

n pedig az átlagolási időszakban végrehajtott mérések száma. A logaritmusra azért volt szükség, hogy a modellenél nagyobb és kisebb mért sűrűségértékek azonos hatással legyenek az átlagos eltérésre. A δ szórása (σ_δ) a szokásos módon számolható. A δ ilyen definíciója mellett az átlagos eltérés nem tartalmazza az esetleg még megmaradt modellhibákat, illetve az átlagérték nem modellezhető változásait, amelyek valamilyen ok (például a modellen indexként használt paraméterek időnként nem megfelelő volta) miatt időben vagy térben lokálisan lépnek fel.

Az *adatok* vonatkozásában a CACTUS akcelerométeres mérések mellett a vizsgálatokat kiterjesztettük az olasz San Marco V hold DBI akcelerométerének méréseire is.

A megfigyelési adatok jellemzői a következők:

	CACTUS	San Marco V
Megfigyelés ideje	1975-79 (1304 nap)	1988 ápr – dec. (230 nap)
mérések helye (magasság)	220-700 km	130-600 km
összes mérés száma	1 101 564	570 257
a hold inklinációja	30°	3°
naptevékenység	alacsony és növekvő	emelkedő
geomágneses zavarok ($A_p > 80$) száma	10	2

A CACTUS és a San Marco eredmények összevetéséhez a CACTUSnak csak az 5° szélesség alatt végrehajtott méréseit használtuk. Földrajzi szélességi függést ennek következtében nem vizsgálhattunk, de a forgás- és mágneses tengely 10°-os hajlása miatt

a mérések 15° mágneses szélességig szétszóródnak, tehát egy keskeny szélességi intervallumban vizsgálni lehetett a mágneses szélességtől való függést is.

A hullámtevékenységet két módszerrel, statisztikailag és esettanulmányokon keresztül vizsgáltuk. Az utóbbihoz a nemzetközi CIRA'86 (=MSIS'86) felsőlégköri modellt használtuk, míg a statisztikai vizsgálatokhoz a dMSIS modellt (Illés-Almár et al., 1996), vagyis az általunk javított MSIS'86 modellt, ahol a javított geomágneses tényező Dst függést tartalmaz. Ezzel a dMSIS modell figyelembe veszi azt, hogy a magnetoszféra viharokkal kapcsolatban nemcsak az aurora övezetben lép fel fűtés, amit a nemzetközi modell a k_p indexszel 6 órás késést figyelembevéve ír le, hanem létezik egy egyenlítői fűtés is, amit mi a Dst indexszel 2 órás késést figyelembevéve írtunk le.

Statisztikai feldolgozás a dMSIS modell maradékaira

Az eredményeket az 1-8 ábrákon mutatom be. A görbéket metsző függőleges vonalak az egyes pontok hibáit jelzik, és $2\sigma_8$ hosszúságúak.

Az eredmények összefoglalva a következők:

A hullámamplitúdó a magassággal kezdetben csökken, majd nő mindkét megfigyelési anyag alapján (1., 2., 3., 4. ábrák). Mágneses szélességtől 15° -ig nem találtunk függést (1. ábra), bár az élete végére kisebb magasságokig lejutó San Marco V hold mérései által 250 km alatt jelzett lokális maximumok nagyobb mágneses szélesség felé magasabbak, és kisebb magasságok felé tolódnak el. A két megfigyelési anyag megfelelő görbéit egymáshoz viszonyítva (2. ábra) 230-350 km között azonos hullámamplitúdót látunk, ami azt jelzi, hogy ezen magasságintervallumban stabil lehet a hullámozgás. A nagyobb magasságokon ellenben 1988-ban a San Marco V mérés idején sokkal nagyobb hullámamplitúdót kaptunk minden mágneses szélességen.

Az amplitúdó függését a vihar szintjétől a 3. ábra mutatja. A viharos és nyugodt napokat a Dst görbe alapján válogattuk ki. Viharos napok a CACTUS esetén csak a gyors viharokra terjedtek ki, de a San Marconál kevés, mindössze 2 db gyors vihar volt, ezért ott hozzávettük a lassú kezdetű viharokat is. Így a San Marco anyag nem túl jól mintavételezi a viharokat. Ezért inkább a CACTUS alapján mondhatjuk azt ki, hogy 350-550 km között az amplitúdó zavart időszakban nagyobb, ezzel szemben nagy magasságban a hullámozgás amplitúdója nyugodt időben nagyobb, amit mindkét megfigyelési anyag jelez. A két anyag megfelelő görbéit nyugodt és zavart időben is egymáshoz viszonyítva (4. ábra) nagy magasságban 1988-ban ismét nagyobb volt a hullámamplitúdó, mint 1975-79-ben. Ezt talán a hullámtevékenységnek a naptevékenység változása miatt bekövetkező időbeli változásával lehet magyarázni.

A hullámamplitúdó helyi idő függését mutatja be az 5. ábra különböző magassági intervallumokban. 270 km magasság felett mindkét megfigyelési anyag nappal alacsonyabb hullámamplitúdót mutat, mint éjszaka, amit Bencze Pál azzal magyaráz, hogy nappal a plazmamozgás és a gravitációs hullámok fázissebessége ellentétes, míg éjszaka azonos irányú.

A 6., 7. és 8. ábrán az átlagos eltérésekre illesztett felületeket látjuk a magasság és a helyi idő függvényében. Az illesztéshez a 24 óra méréseit kétszer helyeztük egymás mellé, hogy az éjszakai viselkedést ne torzítsák el a nem megfelelő peremfeltételek. A felületek

nagy vonalakban hasonlóak. Mindkét megfigyelési anyag mutatja az éjszakai gerincet, és 250 km alatt különösen a San Marco V zavart időszakban történt mérései jól mutatják a felület megredőződését minden helyi időnél.

Esettanulmányok a San Marco V mérések alapján

A 9. ábrán az MSIS modell maradékai vannak felrajzolva a magasság függvényében az összes San Marco mérésre. Egyrészt látható, hogy az MSIS modell 270 km alatt és 550 km felett javításra szorul. Másrészt látható az is, hogy a variancia a magassággal nő. Az egyik vonulás méréseinek maradékai elkülönülve a többi vonulásától nyilvánvalóvá teszik, hogy a nagy "szórást" valóban sűrűségi hullámok hozzák létre. Ez adta az ötletet az esettanulmányoszerű vizsgálatok kezdeményezéséhez, miután a San Marco V mérések olyan sűrűn követik egymást, hogy a hullámok valóban kirajzolódnak. A 10. ábra néhány vonulás mérését mutatja külön-külön. Látható, hogy a hullámzás amplitúdója nő a magassággal, de gyakran nem egyenletesen, és az ugrásszerű amplitúdónövekedés nem mindig ugyanazon a magasságon következik be. A jelenség tanulmányozására további vizsgálatokat kezdtünk.

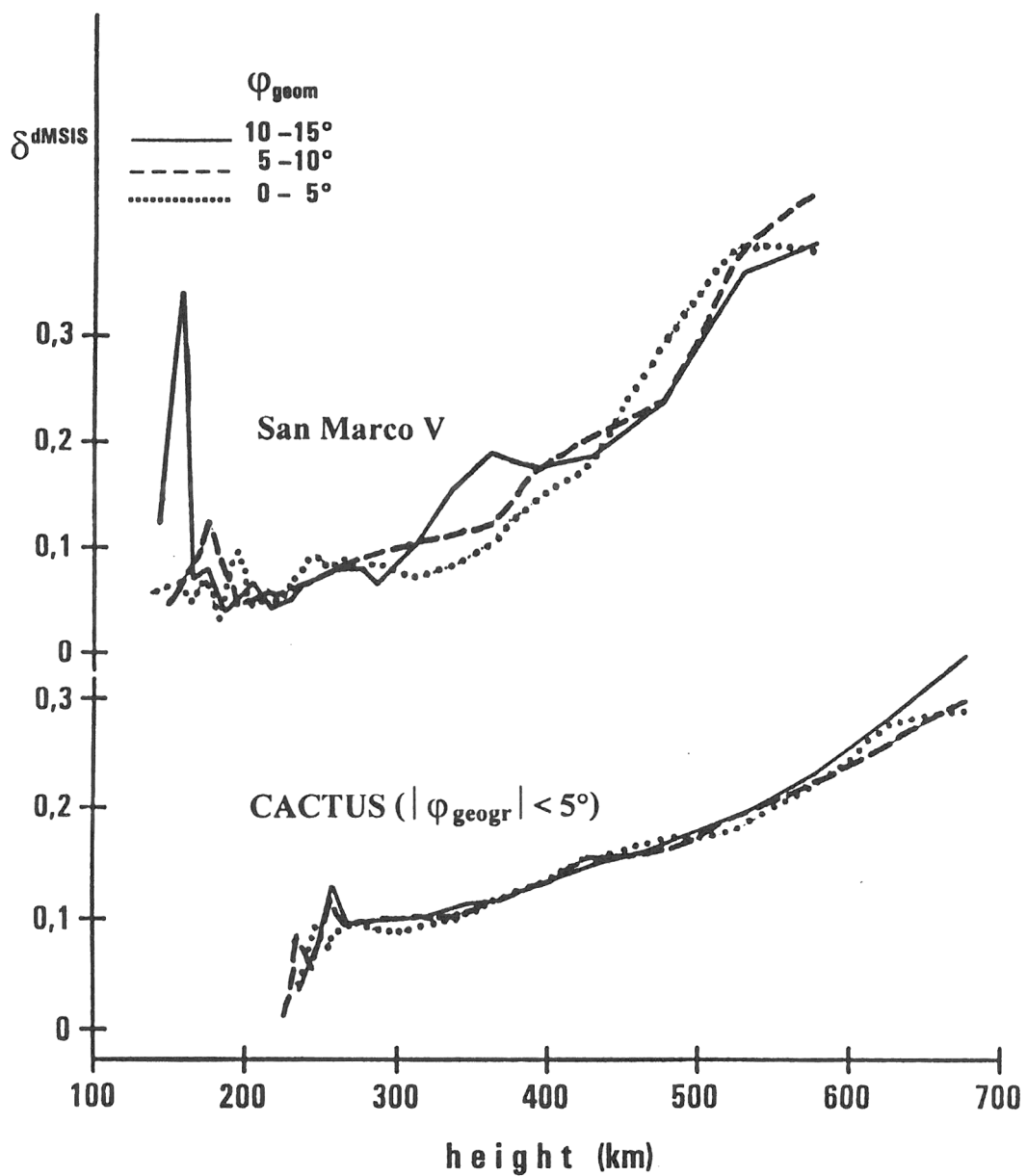
Bár a hullámamplitúdó általában 450 km felett nő meg, és azután már nagy is marad, azonban olyan eseteket is találtunk, amikor viszonylag kis magasságokon egy-egy lokálisan nagyobb amplitúdójú helyen haladt át a hold (a 11. ábrán például 400 és 300 km között). Az ilyen események tanulmányozása esetleg az "aero-szeizmológiai" vizsgálatok lehetőségét is felcsillanthatja, tehát érdemes a jelenséget tovább vizsgálni.

Az esettanulmányok még egy fajta érdekes jelenség felfedezéséhez is elvezettek. Időnként nagyon hirtelen és rövid ideig (10-20 sec karakterisztikus ideig) tartó sűrűségcsökkenések lépnek fel néha csak egyedül (12. ábra), néha azonban egymás után többször is (13. ábra). Úgy gondolom, hogy ezek a hold egy-egy plazmabuborékon való áthaladásával hozhatók kapcsolatba. (Bencze Pál 10 sec nagyságrendűnek becsülte a holdnak egy-egy buborékon való áthaladási idejét.) A hipotézist alátámasztja még az ilyen események helyi idő szerinti eloszlása is (14. ábra), amely nagyon hasonló a plazmabuborékok fellépésének helyi idő szerinti eloszlásához. Ha a hipotézis igaznak bizonyul, az azért lenne nagyon érdekes, mert eszerint az ionfékeződésen keresztül a semleges légkör sűrűsége is érezné egy-egy plazmabuborék csökkent elektronsűrűségű helyét. G. Laneve leellenőrizte, hogy a mérések redukciója nem okozhatja a sűrűségcsökkenéseket. Ennek a jelenségnek a vizsgálatát is érdemes tehát folytatni.

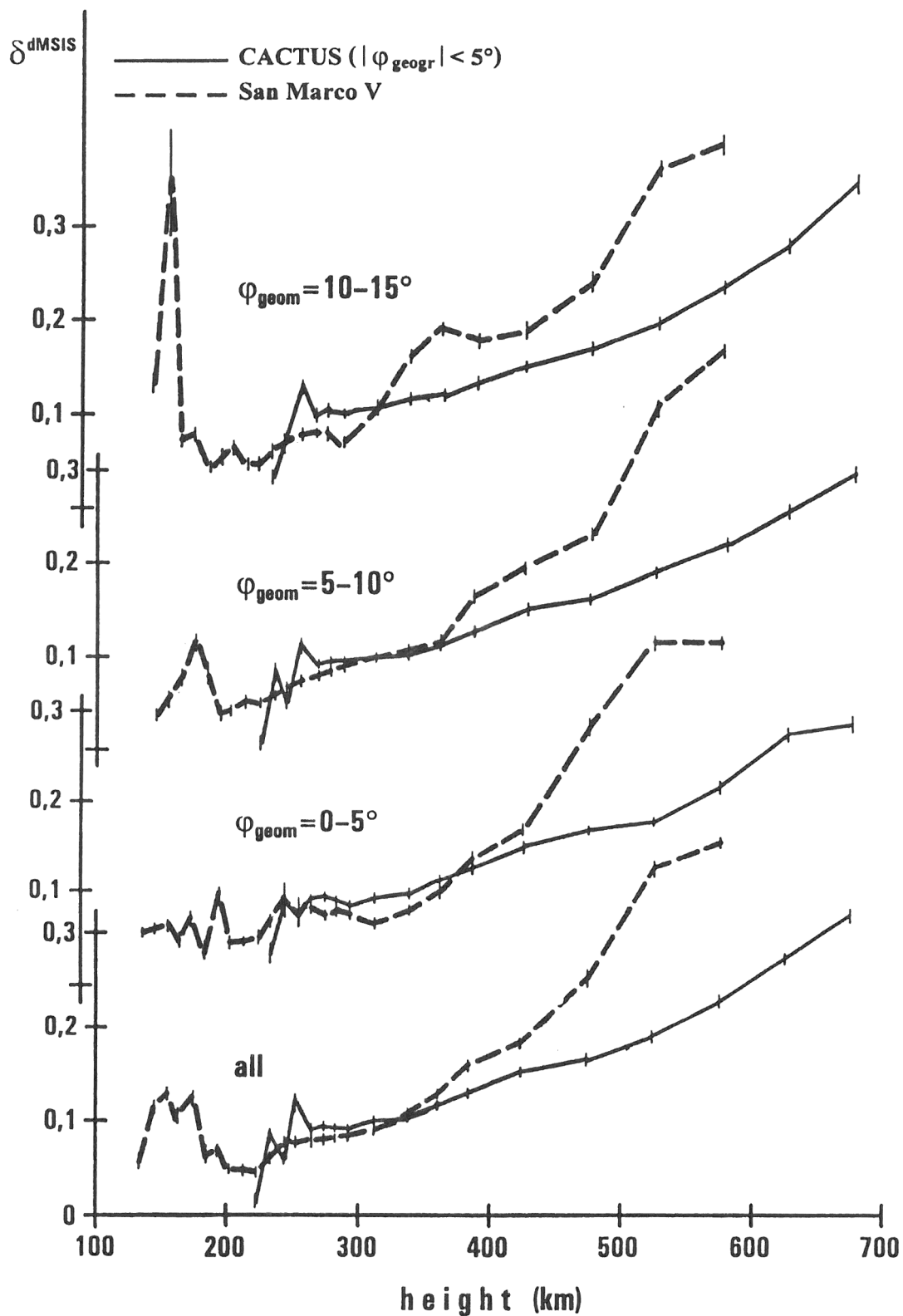
Köszönetemet szeretném kifejezni Almár Ivánnak, Bencze Pálnak, Nuspl Jánosnak, R. Raghavaraonak és G. Lanevenek a hasznos diszkusszióikért, Nagy Máriának a számítógépi futtatásokért és Decsy Pálnak a rajzok és a kézirat formába öntéséért.

Irodalom

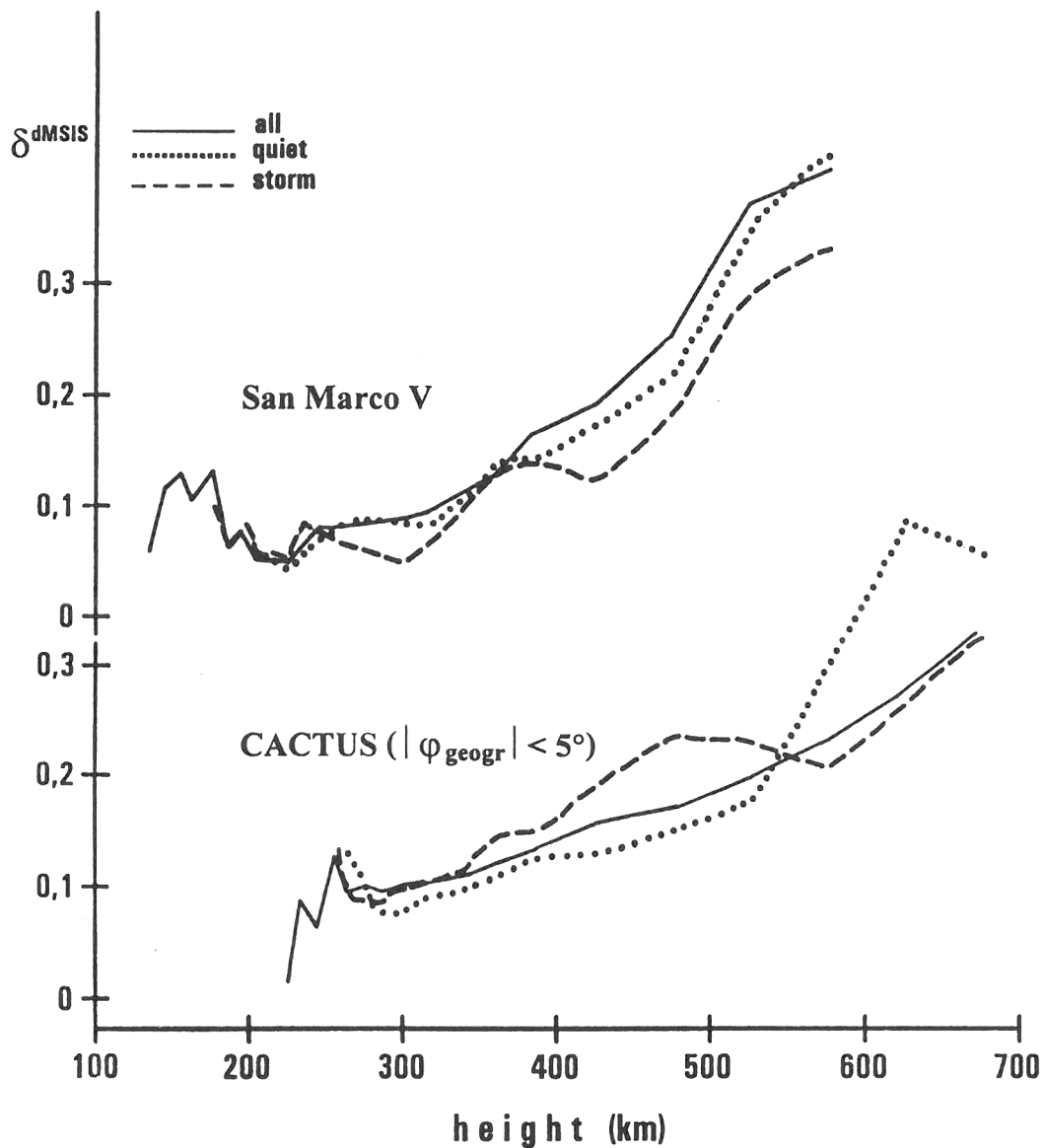
- Arduini, C., L. Broglio, U. Ponzi, G. Laneve, S. Marco V wavelike phenomena detected by the DBI instrument, Paper C.5-M.3.11, XXIX COSPAR, Washington, D.C., 1992.
Illés Erzsébet, Hullámok létre utaló változások a semleges felsőlégkör sűrűségében, Ionoszféra Magnetoszféra Fizika XX/II, pp. 100-107, MANT, 1995.
Illés-Almár, E., I. Almár, P. Bencze, CIRA'86 supplemented by a Dst dependent term to improve the modelling of the geomagnetic effect in the equatorial region, Paper D0.7-0023, XXXI. COSPAR, Birmingham, 1996.



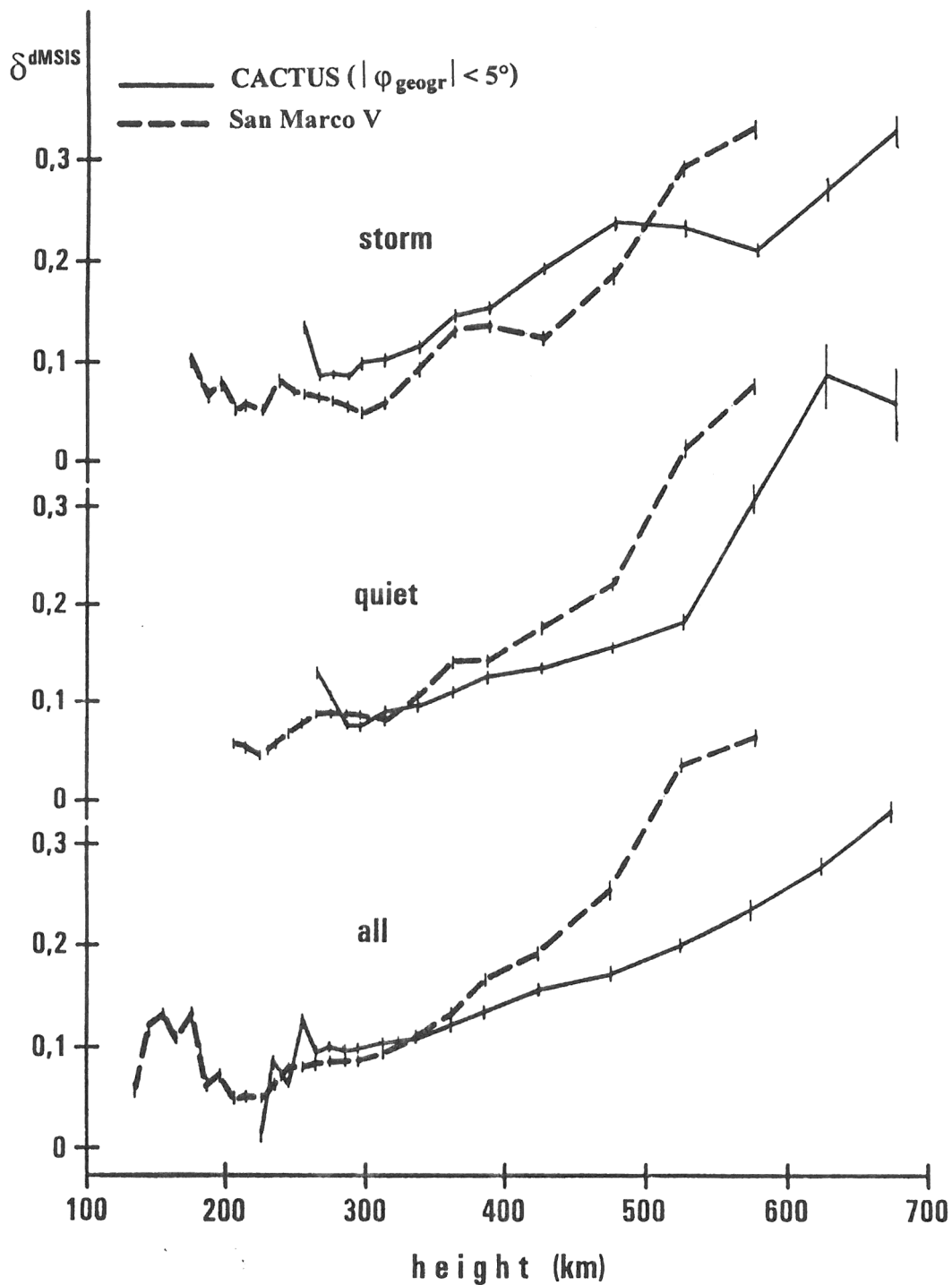
1. ábra: A hullámamplitúdó jellemzésére használt átlagos eltérés (δ) a magasság függvényében három geomágneses szélességintervallumban a kétféle megfigyelési anyagra. 15° alatt nem látszik függés a geomágneses szélességtől.



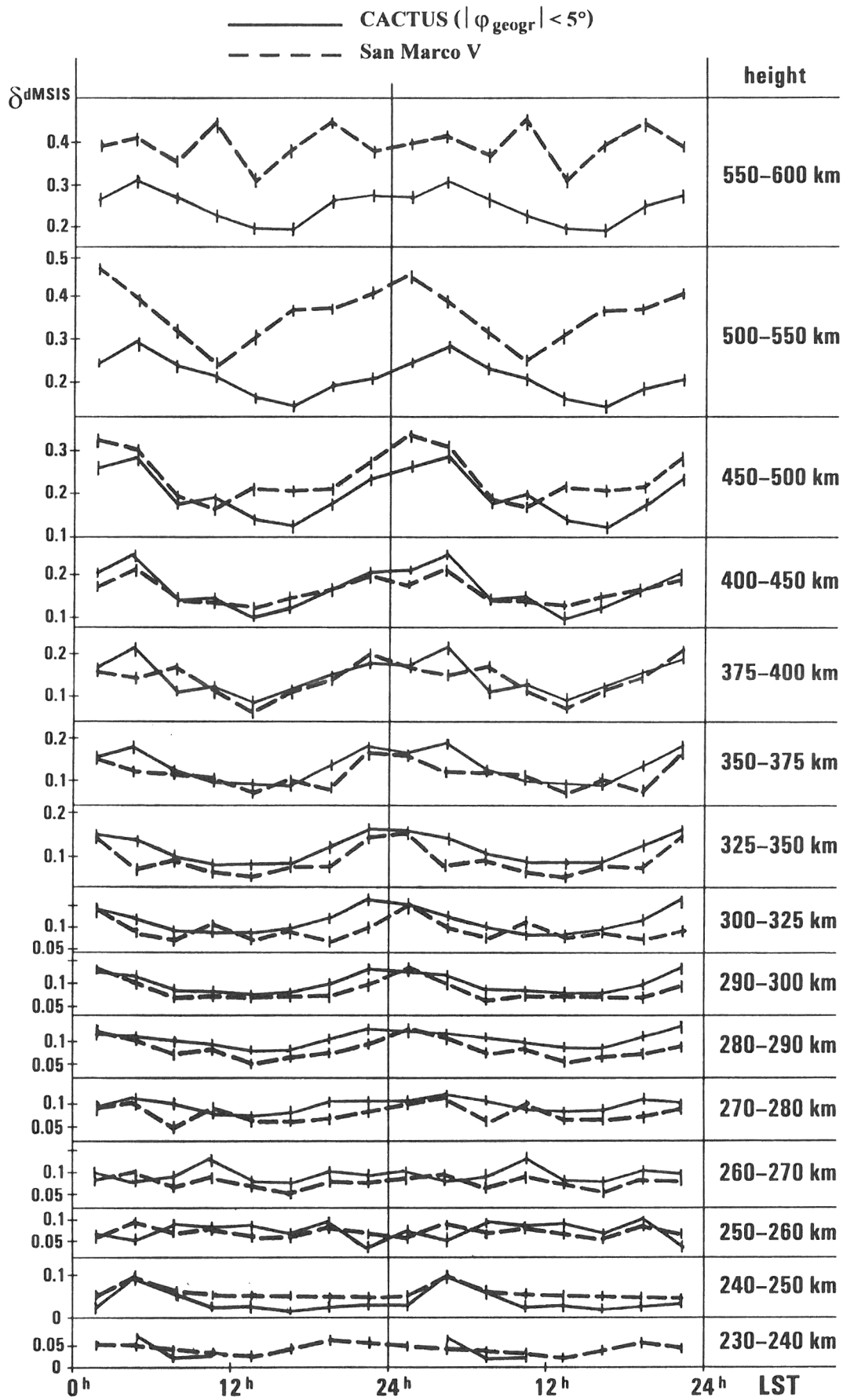
2. ábra: Ugyanaz, mint a 1. ábrán, csak a kétféle megfigyelési anyag megfelelő görbéi egymással vannak összehasonlítva. Látható, hogy 400 km felett 1988-ban (San Marco V) nagyobb volt a hullámmplitúdó, mint 1975-79-ben (CACTUS).



3. ábra: A hullámamplitúdó jellemzésére használt átlagos eltérés (δ) különböző viharszintekre a kétféle megfigyelési anyagra. Látható, hogy nagy magasságban, nyugalomban nagyobb a hullámamplitúdó, mint zavart napokon. (A megfigyelt esetek többsége nem tartozik sem a nyugodt sem a zavart napokhoz.)

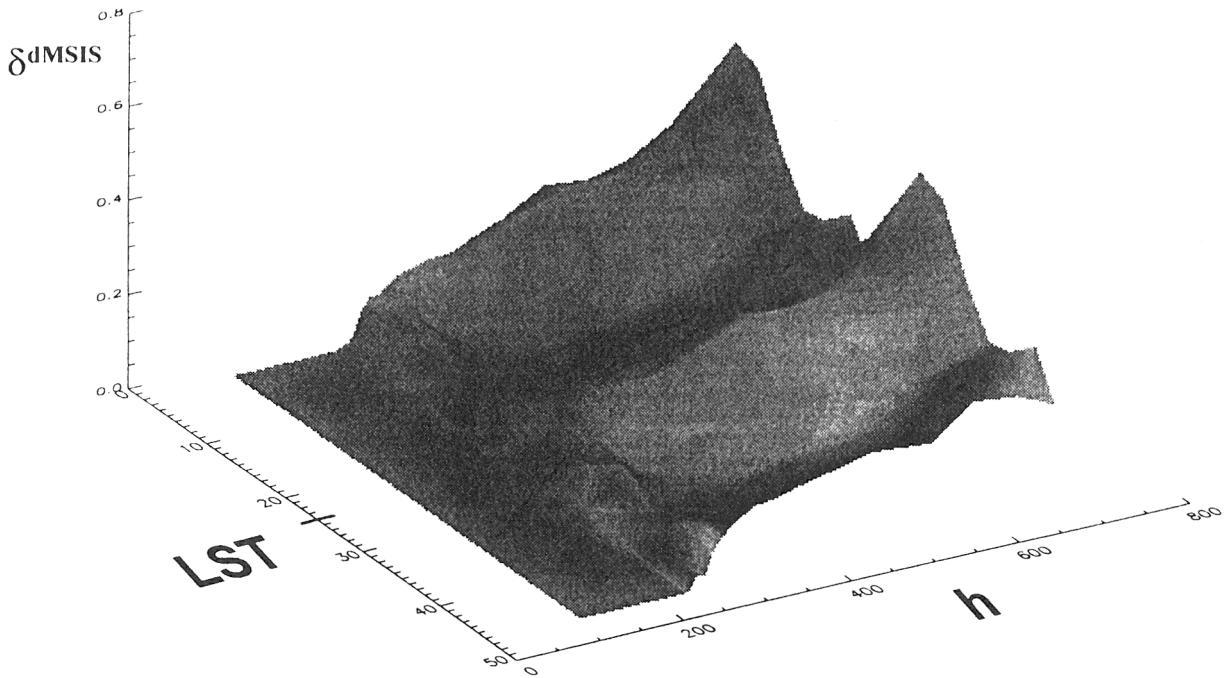


4. ábra: Ugyanaz, mint a 3. ábrán, csak a kétféle megfigyelési anyag megfelelő görbéi egymással vannak összehasonlítva. Itt is, mint a 2. ábrán, látható, hogy 1988-ban nagyobb volt a hullámamplitúdó.

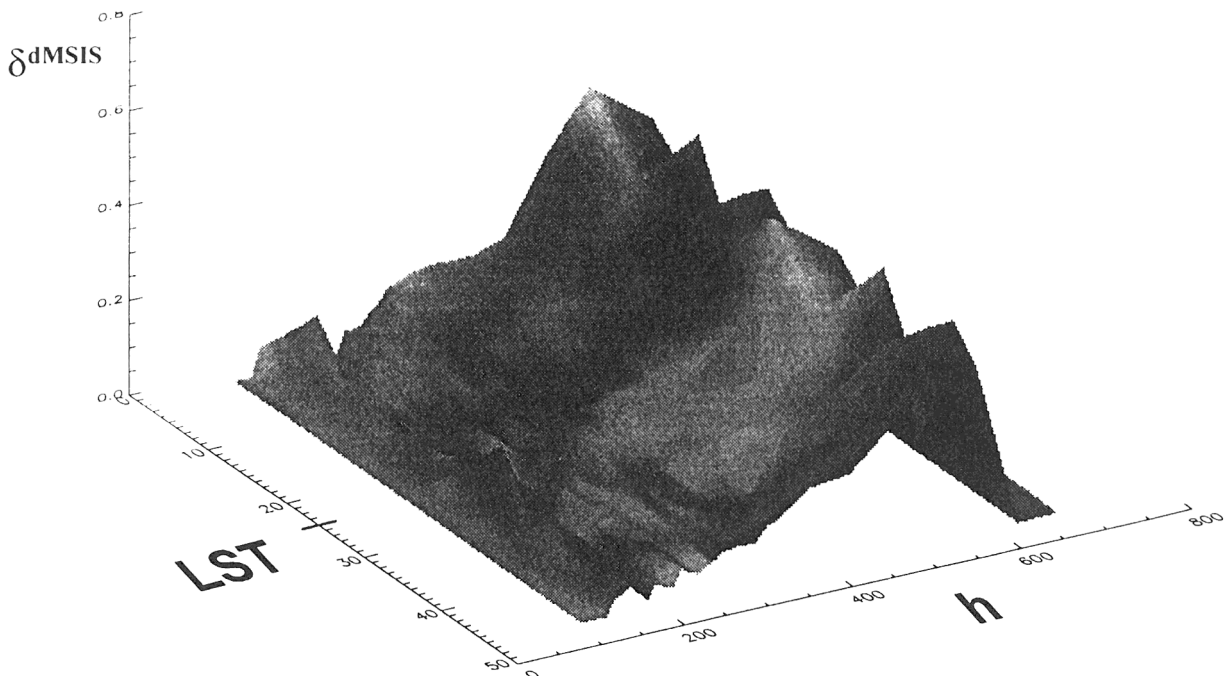


5. ábra: A hullámamplitúdó jellemzésére használt átlagos eltérés (δ) a helyi idő függvényében különböző magassági intervallumokban a kétféle megfigyelési anyagra. Látható, hogy 270 km felett éjszaka nagyobb a hullámamplitúdó, mint nappal.

CACTUS ($|\varphi_{\text{geogr}}| < 5^\circ$) ***unseparated***



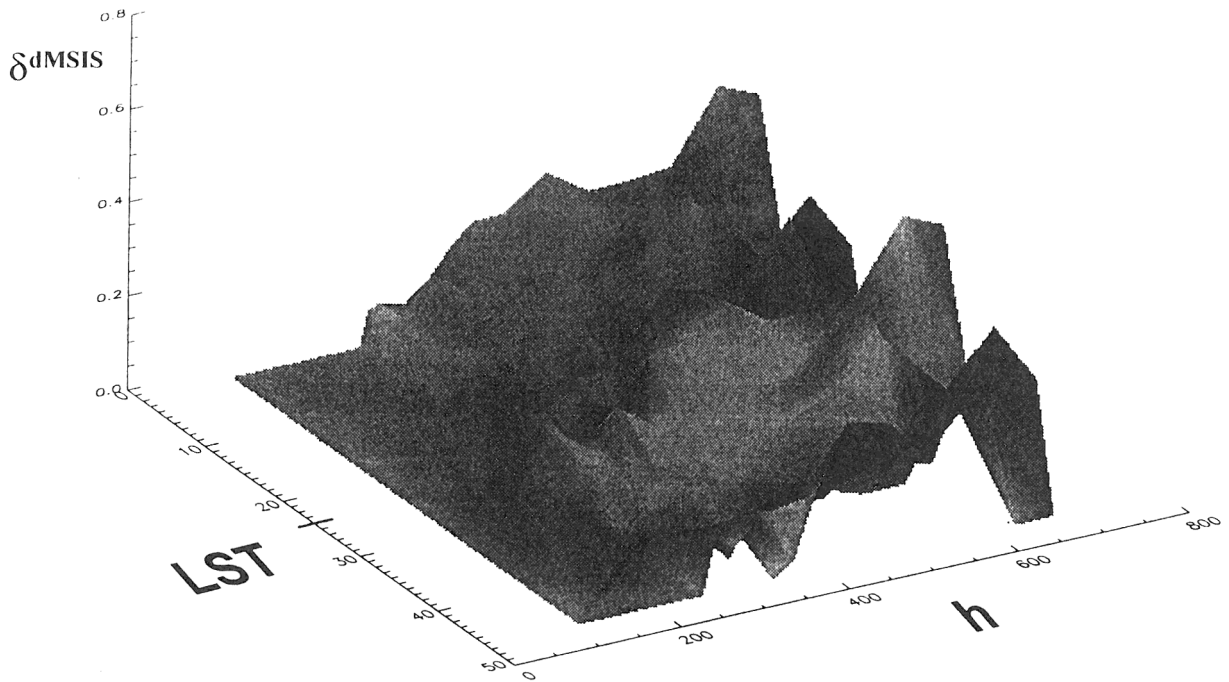
San Marco V ***unseparated***



6. ábra: Az átlagos eltérésekre illesztett felületek a helyi idő és a magasság függvényében a kétféle megfigyelési anyagra. A 0-24 óra méréseit kétszer egymás mellé téve végeztük a felület illesztését, hogy a nem megfelelő peremfeltételek ne torzítsák az éjszakai viselkedést. Jól látszik az éjszakai gerinc, és a San Marco V anyagnál a felület megredőződése 250 km alatt minden helyi időnél.

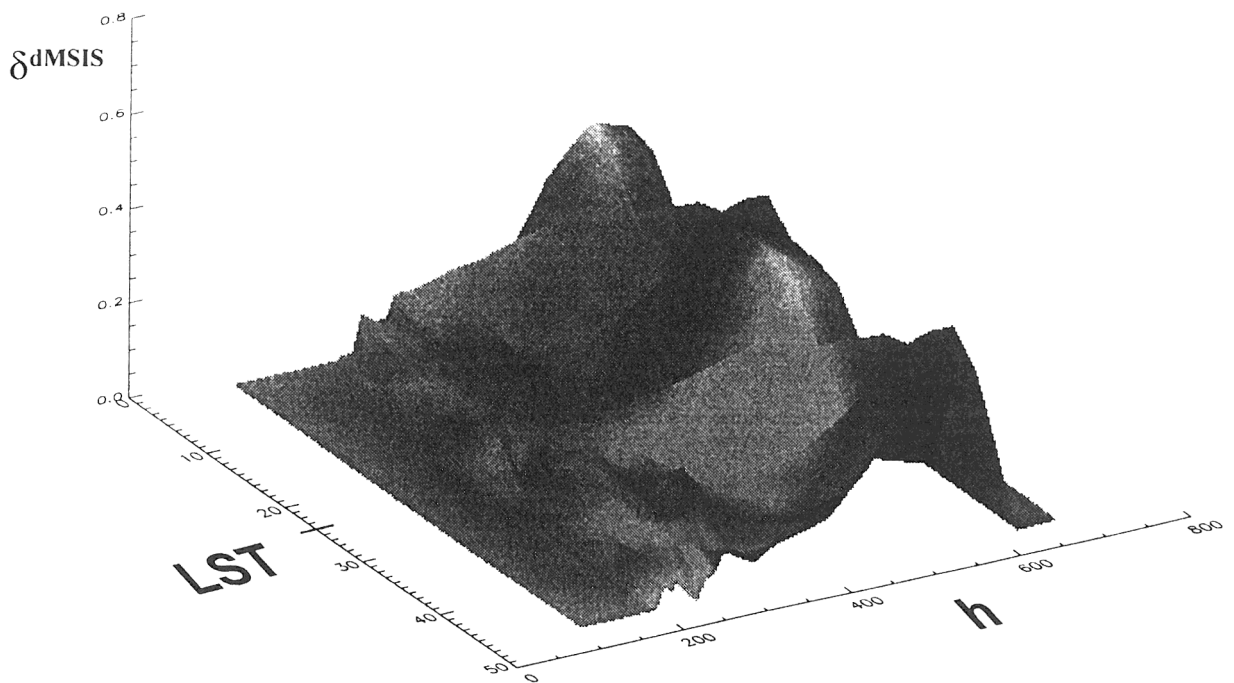
CACTUS ($|\varphi_{\text{geogr}}| < 5^\circ$)

quiet



San Marco V

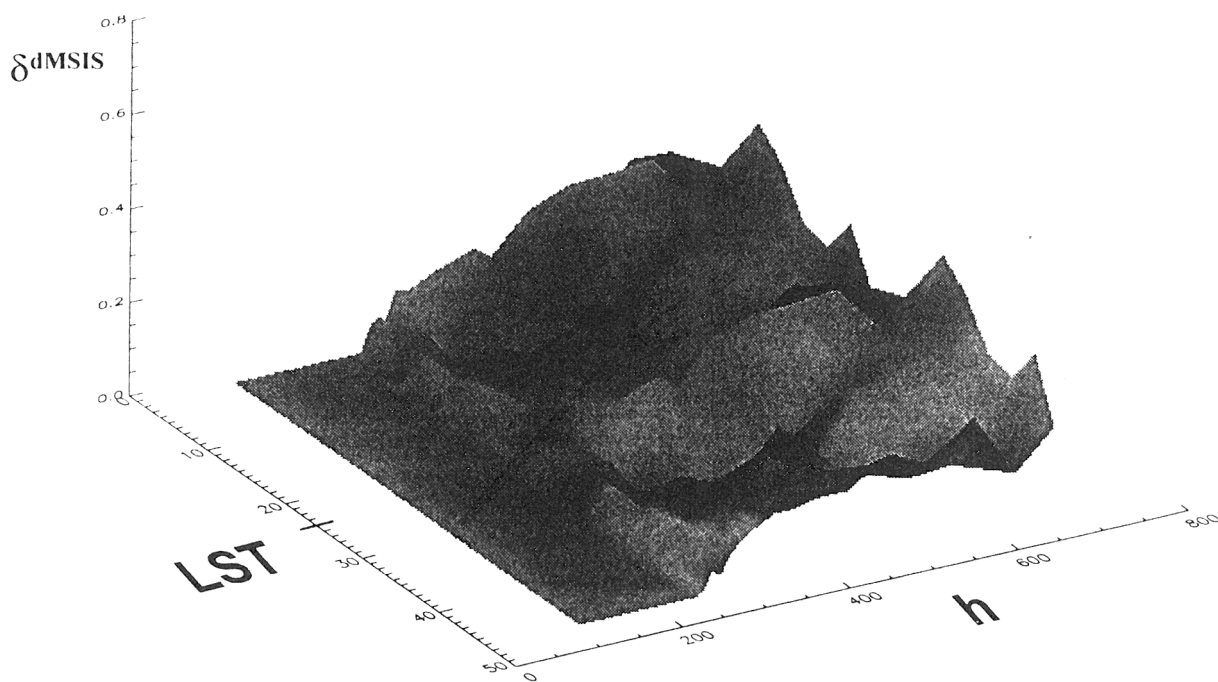
quiet



7. ábra: Ugyanaz, mint a 6. ábra, csak a nyugodt napokon végrehajtott mérésekre.

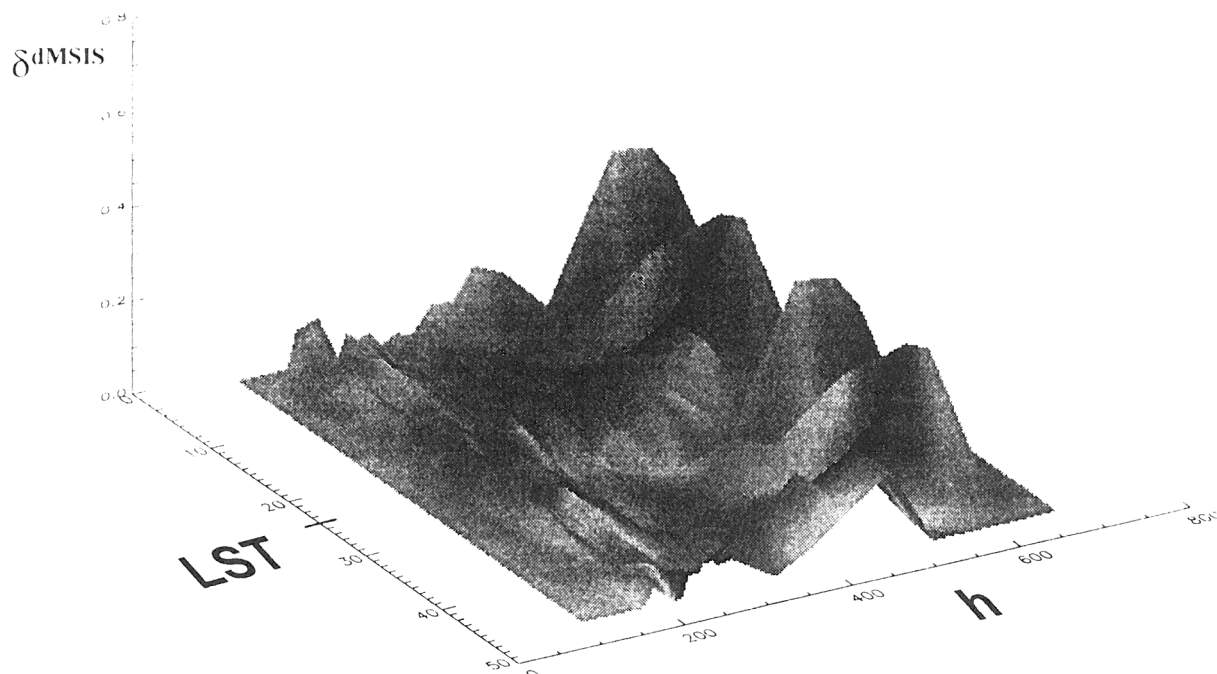
CACTUS ($|\varphi_{\text{geogr}}| < 5^\circ$)

storm

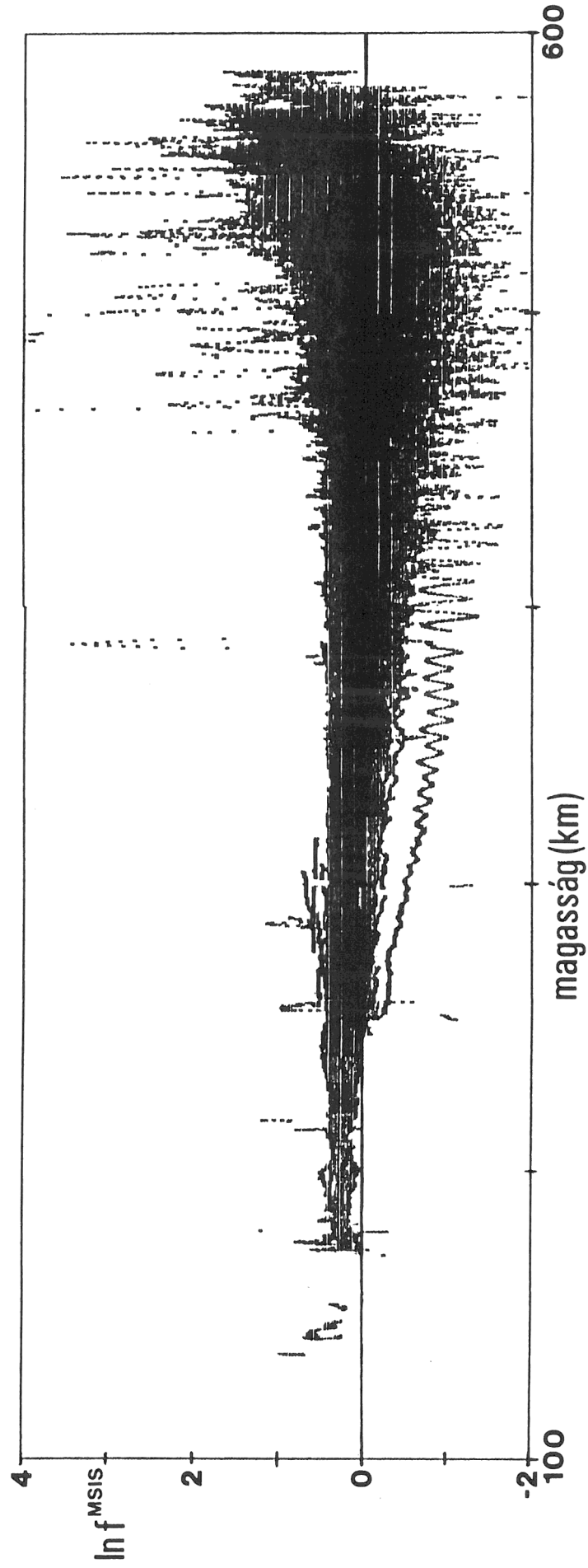


San Marco V

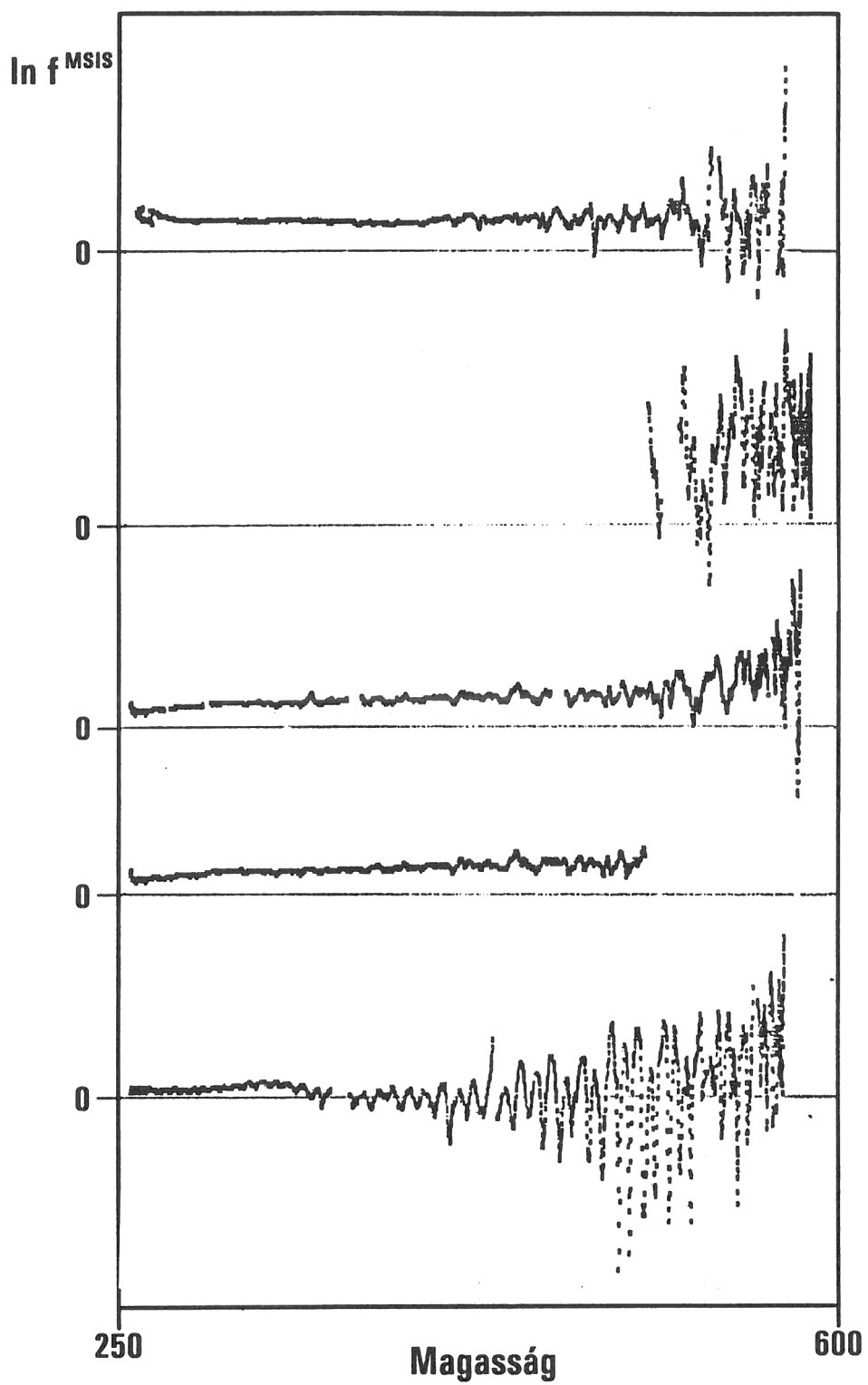
storm



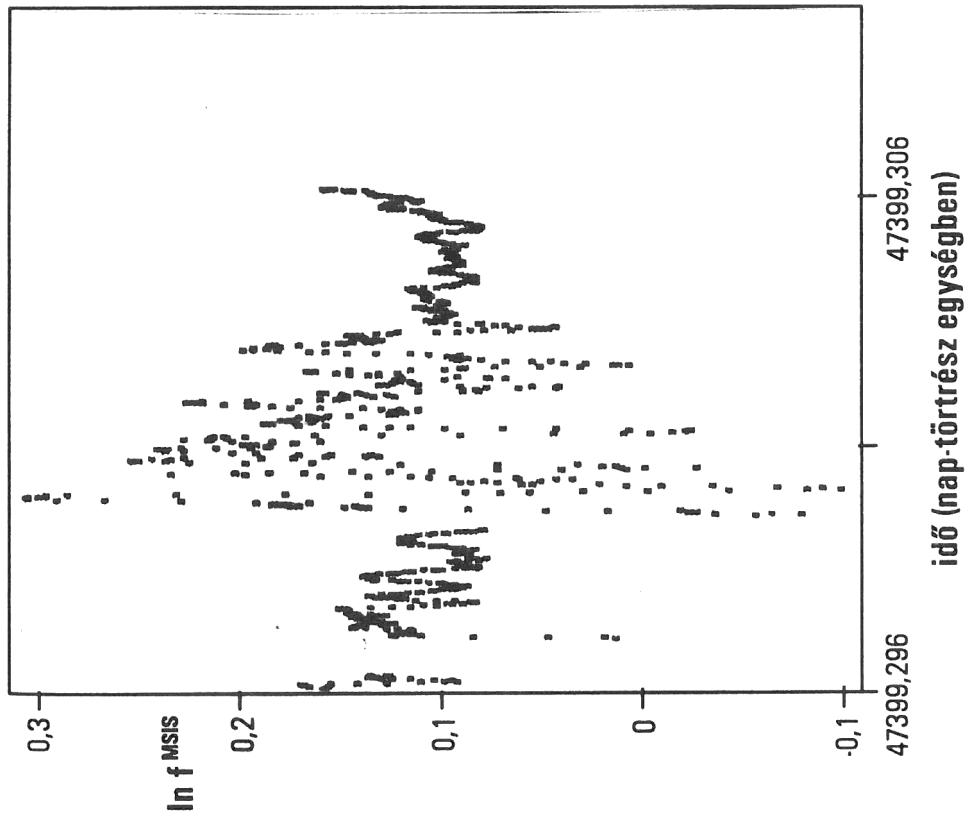
8. ábra: Ugyanaz, mint a 6. ábra, csak a zavart napokon végrehajtott mérésekre.



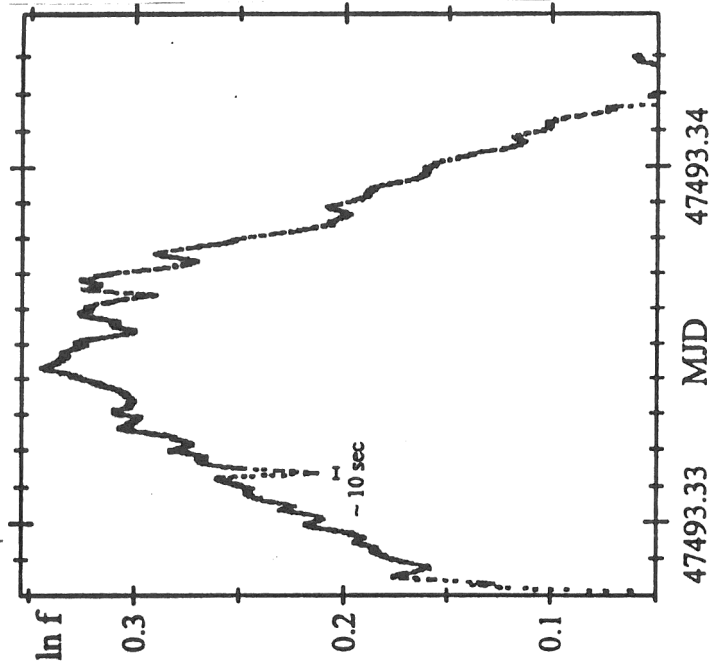
9. ábra: Az MSIS modell maradékai az összes San Marco V mérésre a magasság függvényében.



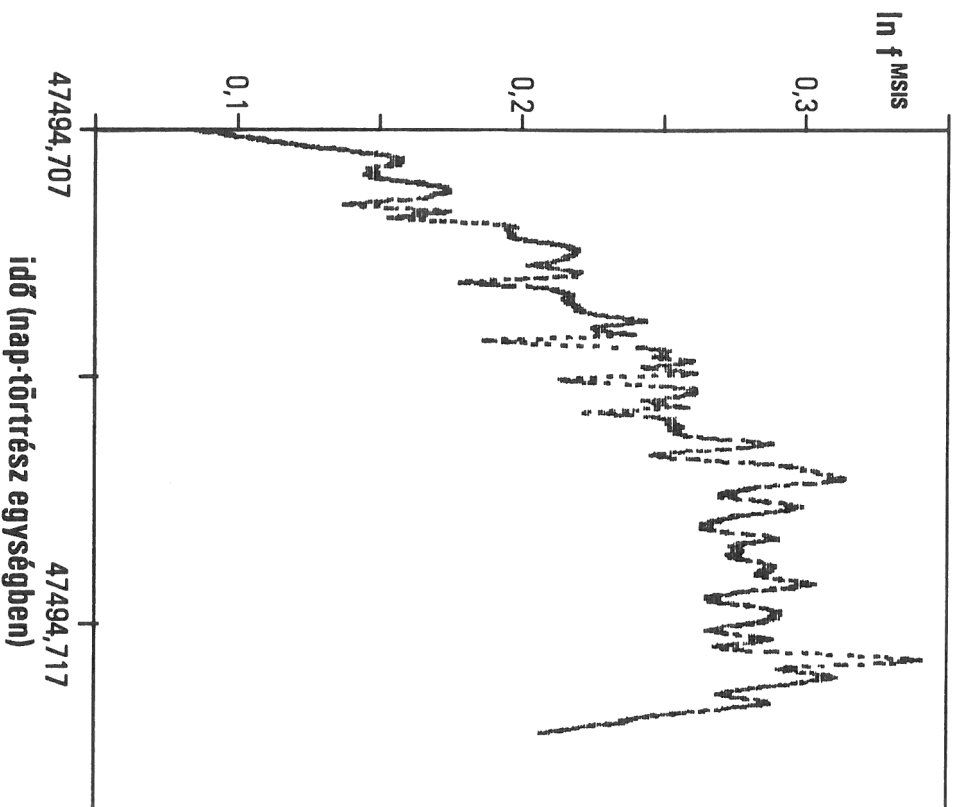
10. ábra: A San Marco V hold néhány vonulásán végrehajtott mérésre az MSIS modell maradékai mint a magasság függvényei.



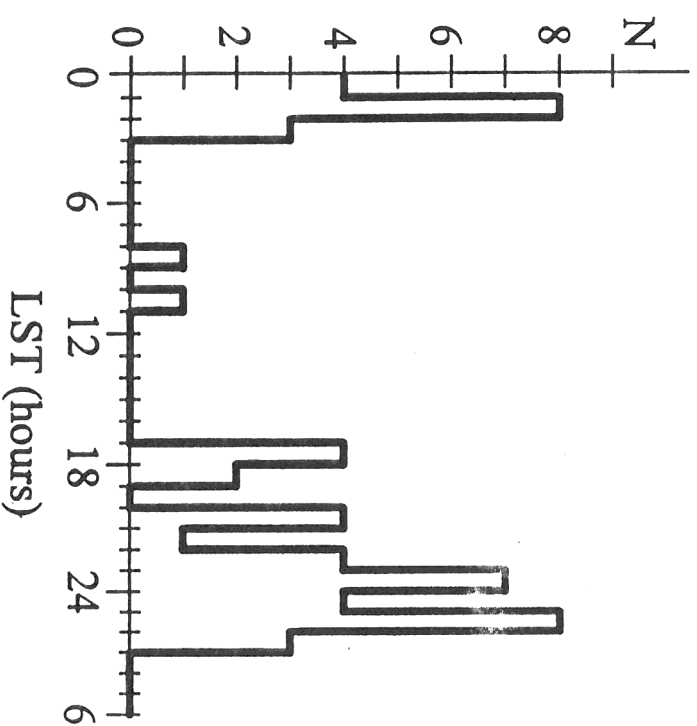
11. ábra: A San Marco V hold 400 km-ről 300 km felé haladva egy lokálisan nagyobb hullámamplitúdójú helyen haladt át.



12. ábra: A San Marco V hold plazmabuborékon való áthaladását jelezheti a hirtelen sűrűsögsökkenés az MSIS modell maradékait bemutató ábrán.



13. ábra: Egymás után több plazmabuborékon való áthaladást jelezhet a gyors, mély sűrűségcsökkenések sorozata.



14. ábra: 39 plazmabuborék-gyanús esemény fellépésének eloszlása a helyi idő függvényében. A hisztogram nagyon hasonlít a plazmabuborékok fellépésének helyi idő szerinti eloszlásához.