

A TERMOSZFÉRA-IONOSZFÉRA-MAGNETOSZFÉRA KÖLCSÖNHATÁ-
SÁNAK VIZSGÁLATA AZ NPSE /SEMLEGES LÉGKÖRI GEOMÁG-
NESES UTÓHATÁS/ SEGÍTSÉGÉVEL

Illés Erzsébet¹, Almár Iván¹, Bencze Pál², Horváth András¹

¹MTA Csillagászati Kutató Intézete, Budapest

²MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézete, Sopron

Összefoglalás

Mesterséges holdak fékeződése alapján korábban már kimutattuk [1, 2], hogy geomágneses viharokat követően a semleges légkörben is fellép geomágneses utóhatás /NPSE Neutral Post-Storm Effect/. Ez, a felső légköri modellekhez viszonyítva néhány százalékos sűrűség-többlet geomágneses viharok után általában 8-10 napig tart, maximumát pedig a 4-6 napon éri el. Ha azonban a geomágneses viharral kapcsolatban ionoszférikus utóhatás is jelentkezik, akkor közepes földrajzi szélességeken és az esti órákban nagyobb ennek a semleges légköri geomágneses utóhatásnak az időtartama.

Jellegzetességei alapján arra gondolhatunk, hogy az NPSE az egyenlítői gyűrűáramot alkotó részecskéknek töltéscsere reakciók és hullám-részecske kölcsönhatás következtében létrejövő kiszóródásával lehet kapcsolatban.

A felhasznált adatok

Adatbázisunk 60 mesterséges holdja közül kiválogattuk azokat, amelyeknek pályája megfelelő excentricitású / $0,05 < e < 0,20$ /. Ezeknek mintegy 16.000 fékeződési adatát használtuk fel az 1965 és 1972 közötti időszakból, amelyeket részben az előrejelző központok közleményeiből vettünk, részben saját PERLO [3] programunkkal határoztunk meg. Az

idő szerinti felbontás néha elérte a két napot is, általában azonban csak 3-5 nap között mozgott és ahogy ez fékeződési adatoknál lenni szokott az eloszlása az egyes időszakokban nem volt egyenletes. Nem használtunk fel olyan időszakokat, amelyeknél legalább 5-10 napos felbontás nem volt biztosítható.

Az alkalmazott módszer

Mindenegyed mesterséges hold adataiból külön-külön meghatároztuk az u.n. f görbéket, amelyek a mért és a modell-sűrűségértékek hányadosának

$$f = \frac{\rho_{\text{obs}}}{\rho_{\text{modell}}}$$

változását mutatják Vizsgálatainkban a CIRA-72 félempirikus felső légköri modellt használtuk, amely fékeződési adatokkal való összehasonlítás szempontjából máig is a legjobb modell [4].

Miután az egyes mesterséges holdak adataival kapott görbék a különböző időbeli felbontás és az egyenletlen adateloszlás miatt a vizsgált változást kielégítően nem adják vissza, a jel/zaj viszony javítására a szuperponált epochák módszerét /SZEM/ alkalmaztuk. Előtte azonban az 50 napnál nagyobb periódusu tagokat mindenegyed mesterséges hold f adatsoraiból kiszűrtük és a jel/zaj viszony további javítása érdekében az adott mesterséges hold összes f értékét azok átlagával (\bar{f}) elosztva a hatáskeresztmetszet nem megfelelő ismeretéből adódó hibát is kiküszöböltük.

A SZEM módszernél vonatkoztatási napnak a Dst minimumok napjait választottuk. A 7 év alatt 109 olyan geomágneses vihar fordult elő, amikor a Dst minimum értéke -40γ -nál nagyobb volt. Ezeket az eseményeket együtt is és külön-

féle szempontok szerint csoportosítva is elemeztük.

Az események szétválasztása geofizikai paraméterek szerint

A SZEM módszert mind az összes eseményre/109 db; az ábrán case 1 jelöli/, mind az események bizonyos részhal-mazainál, amelyeket a Dst-től különböző geofizikai paramé-terek /Ap, MIA=mean ionospheric absorption, HSPS = high speed plasma stream, SSC = storm sudden commencement, C_{DR} = galactic cosmic ray count rate measured at Deep River/viselkedése alapján csoportosítottunk, is alkakmaztuk. A legérdekesebbnek a következő csoportok bizonyultak:

Case 2: azok az események, amikor a Dst minimumnak megfelelő Ap maximum 20-nál kisebb volt /-Ap-vel jelöltük az ábrán; 109 közül 26 ilyen eset volt/;

Case 3: azok az események, amikor a Dst minimumnak megfelelő Ap maximum 40-nél nagyobb volt /+Ap-vel jelöltük az ábrán; 61 ilyen eset volt/;

Case 4: azok az események, amikor az +Ap esemény iono-szférikus utóhatással is párosult /+Ap, +MIA-val jelöltük; 33 ilyen eset volt/;

Case 5: azok az események, amikor az +Ap eseményt nem kísérte ionoszférikus utóhatás /+Ap, -MIA-val jelöltük; 20 ilyen eset volt/;

A sűrűségadatok csoportosítása a fékeződés helye szerint

Az összes sűrűségadatot felhasználva mindenegy esemény csoportra megszerkesztettük a SZEM görbét /az 1. ábrán unseparated jelölés jelzi/, majd a sűrűségadatokat a fékeződés helye szerint rendezve, minden új csoporton be-lül külön-külön is megrajzoltuk a SZEM görbét a korábbi

elkülönítéssel kapott eseménycsoportokra. A Dst minimum vonatkoztatási nappal mintegy 320 SZEM görbét állítottunk elő az MTA SZTAKI CDC-3300-as gépén.

A földrajzi szélesség szerint 3, egyenlítői ($|\varphi| < 30^\circ$), közepes ($30^\circ < |\varphi| < 60^\circ$) és poláris ($|\varphi| > 60^\circ$) csoportot, napszak szerint pedig 4, nappali ($10^h < LST < 14^h$), esti ($18^h < LST < 22^h$), éjszakai ($22^h < LST < 2^h$), valamint reggeli ($4^h < LST < 8^h$) csoportot képeztünk.

A sűrűségadatok csoportosítását mind csak az egyik koordináta /földrajzi szélesség, vagy napszak/, mind mindkét koordináta /földrajzi szélesség és napszak/ szerint is elvégeztük.

Eredmények

Minden SZEM görbén a vonatkoztatási nap körül egy minimum látszik, amely a nem megfelelő időbeli felbontás következtében áll elő. Ugyanis e miatt a mért sűrűséggörbék nem jelzik azt a csúcst, amely a modell görbéken a megfelelő időbeli felbontás következtében megjelenik.

A legfontosabb eredményeket a két ábra szemlélteti, ahol a mért sűrűségeknek a modellértékektől való eltérései láthatók a geomágneses vihar napjától számított idő /napok/ függvényében. Jó modell esetén egy állandó érték körüli szórással várható.

Az első ábra első oszlopában a case 1-re vonatkozó SZEM görbék láthatók. Alul néhány geofizikai paraméter SZEM görbét rajzoltunk fel ugyanarra az eseménycsoportra, felettük bontás nélkül az összes sűrűségadatra vonatkozó SZEM görbe látható, majd a négy napszaknak és legfelül a három szélességi tartománynak megfelelő átlaggörbék láthatók. A következő két oszlopban az első oszlop eseményeit két csoportra bontottuk annak megfelelően, hogy a Dst minimummal együtt Ap-ben nem volt /-Ap/, vagy ott is volt maximum /+Ap/. Az

NPSE az 5. nap körüli maximum formájában mindig feltűnik. Az összes esetre vonatkozó görbén látszik, hogy az NPSE időtartama case-3-ban nagyobb, mint case-2 esetén. A csoportosítás szerinti görbéken azonban az is látszik, hogy a nagyobb időtartam case-3-nál is csak közepes földrajzi szélességen /ha a φ szerinti bontást nézzük/, illetve csak az esti órákban /ha a napszak szerinti csoportosítást nézzük/ jelentkezik.

A 2. ábrán az első oszlopban ugyanazokat az adatokat, mint az 1. ábra 3. oszlopában mindkét koordináta szerinti csoportosításban látjuk. Ez azt mutatja, hogy a tartósabb utóhatás csak az esti órákra vonatkozó görbéken jelentkezik, közepes földrajzi szélességen 18 napig is eltart, míg az egyenlitői, esti órákra vonatkozó görbén kb. 15 napig. A case 3 eseményeit két csoportra osztottuk aszerint, hogy a Dst minimumon és az Ap maximumon kívül volt-e ionoszférikus utóhatás is /+MIA/, vagy nem /-MIA/. Az eredményeket a 2. ábra 2. és 3. oszlopában tüntettük fel. Látható, hogy hosszan tartó utóhatás az esti órákban csak akkor fordul elő, ha ionoszférikus utóhatás is volt.

Az eredmények értelmezése

Figyelembe véve, hogy a NPSE-t létrehozó energiaforrásnak nem kell feltétlenül a geomágneses vihar megszűnési fázisára korlátozódni, a NPSE jellemzői - a semleges utóhatás geomágneses viharhoz viszonyított késése, a magasságtartomány, ahol észlelhető /200-400 km/, a napszak /vagyis az esti órák/, amelyben a nagyobb időtartamu NPSE-t találtuk - energiaforrásként az egyenlitői gyűrűáramot alkotó részecskéket valószínűsítik. Az ionok kiszóródása a veszteségi folyamatoktól, vagyis a töltéscsere reakciótól és a hullám-részecske kölcsönhatástól függ. Ugyanis mérések azt mutatják, hogy a gyűrűáram erőssége és összetétele a geomágneses tevékenységgel változik. A legnagyobb gyakori-

sággal előforduló részecskeenergiákat /1-300 keV/e/ tekintve az összetétel a geomágneses vihar /főfázis/ idején pl. 3-tól 8-ig terjedő L értékeknél kb. 58 % H^+ , 39 % O^+ , 1 % O^{++} , 2 % He^+ és 0,5 % He^{++} [5]. O^+ koncentrációja csökken, H^+ koncentrációja növekvő L értékkel növekszik. Geomágnesesen nyugodt időszakban a gyűrűáram 91 % H^+ -ből, 5 % O^+ -ből, 3 % He^+ -ből és 1,5 % He^{++} -ből áll [5].

Kis földrajzi szélességeken az NPSE a geomágneses vihar korai megszűnési fázisában jelenik meg. Más megfigyelések szerint ezeken a szélességeken a részecskék kiszóródásáért a töltéscsere reakció lehet a felelős. Ami a protonokat illeti, a nagy energiájú protonoknak a



töltéscsere reakcióval szemben elég nagy az élettartama ahhoz, hogy a megfigyelt, tartós hatást létrehozzák, azonban rugalmas ütközések útján az adott magasságtartományban nem tudnak elég energiát leadni [6]. Ugyanakkor a kis energiájú protonoknak a töltéscsere reakcióval szemben kicsi az élettartama [7]. Az oxigén ionok a legújabb vizsgálatok szerint, ha energiájuk 20 keV-nél nagyobb, a gyűrűáramból rövid idő alatt /~1 nap/ eltűnnek, azonban a kisebb energiájú oxigén ionokkal más a helyzet [8]. Mivel a kis energiájú /<10 keV/ O^+ ionoknak az élettartama



töltéscsere reakcióval szemben elég nagy és a geomágneses tevékenységtől való legnagyobb függést ezek az ionok mutatják, energiaforrásként ezek is számításba jöhetnek.

Kis földrajzi szélességeken a kiszóródó részecskék vagy közvetlenül, vagy közvetve kerülhetnek kölcsönhatásba a felső légkörrel. Közvetlen kölcsönhatásba azok a ki-

szóródó semleges atomok léphetnek, amelyek a gyűrűáramionok és a geokorona hidrogénje közötti töltéscsere reakció következtében jönnek létre. A töltéscsere reakció helyétől függően különböző irányba tartó semleges atomok közül a Föld felé irányuló fluxus a mágneses irány-szögeloszlás geometriájának megfelelően a geomágneses egyenlítőtől északra és délre 30° -on belül csapódik be [9]. A 10 keV-nél kisebb energiájú oxigén atomok, amelyek elég nagy élettartammal rendelkeznek ahhoz, hogy utóhatást okozzanak, a 200-600 km magasságtartományban termalizálódnak ionizálva és gerjesztve a környező atomokat. Ez a folyamat okozza a felső légkör melegedését [10]. A közvetett kölcsönhatás annak a kettős töltéscsereének az eredménye lehet, amelyet Moritz [11] javasolt és amelyet Mizera és Blake [12], illetve Scholer [13] igazolt. Moritz szerint a nagy energiájú semleges atomok, amelyek az egyenlítői gyűrűáramionjai és a geokorona semleges hidrogénje közötti töltéscsere reakció révén keletkeznek és így a mágneses tér befolyása nélkül mozogva a felső légkörbe juthatnak, újra ionizálódhatnak. Így kis szélességeken, kisebb magasságokban ideiglenesen befogódnak. Fluxusuk a beeső nagy energiájú semleges részecskék fluxusától függ.

Feltevésünket a Lyman α emisszióval kapcsolatos megfigyelések is megerősítik [14, 15]. A geomágneses viharok megszűnési fázisában, kis szélességeken mért Lyman α emisszió ugyanis arra enged következtetni, hogy a sugárzást a 10-300 keV energiatartományba eső protonok kiszóródása okozhatja, amelyet Moritz [11], illetve Mizera és Blake [12] észlelt. Mivel az aszimmetrikus egyenlítői gyűrűáram az esti szektorban koncentrálódik, az a tény, hogy a NPSE ebben az időszakban a leghatározottabb, szintén az effektus gyűrűáram eredetét látszik igazolni.

Mint ismeretes, a legtöbb esetben az energiabetáplálást a felső légkörbe az ionizált komponens is jelzi.

Ezért az utóhatásnak megfelelő időszakban az ionizált komponens változásait is tanulmányoztuk. Az f_oF_2 és $h'F$ ionoszféraparaméterek havi órás mediánjaitól való eltérések kis szélességeken azt mutatják, hogy míg f_oF_2 , vagyis az elektronsűrűség lényegében nem változik, $h'F$ csökken, vagyis a rekombináció növekszik. Ez viszont azt jelenti, hogy az ionizáció erősségének ebben az időszakban növekedni kell ahhoz, hogy a változatlan elektronsűrűséget fenntartsa. Korábban Rowe [16], Goldberg [17], Kelley et al. [18] számoltak be az E tartományban kis szélességeken geomágneses háborgásokkal kapcsolatos megnövekedett ionizációról /közbenső réteg képződése/.

Az NPSE időtartama eredményeink szerint közepes földrajzi szélességeken nagyobb, mint kis szélességeken, - ez különösen akkor nyilvánvaló, ha ionoszférikus utóhatás is volt. Más megfigyelések azt mutatják, hogy geomágneses viharok késői megszűnési fázisában a plazmaszférán belül plazmahullámok /periódikus szerkezetű Pc-1 típusu pulzációk/ is halmozottan fordulnak elő [19, 20, 21]. Így közepes földrajzi szélességeken a NPSE létrehozásához a hullámrészecske kölcsönhatás is hozzájárulhat, ha a plazmahullámok az ion-ciklotron instabilitás útján a befogott részecskéktől energiát nyernek. Elméleti megfontolások ugyanis azt mutatják, hogy a stabil módon befogott részecskék fluxusa csökken, ha a környező hideg plazma sűrűsége nő [22]. Ilyen helyzet jön létre akkor, amikor a geomágneses vihar megszűnési fázisában a plazmaszféra feltöltődése miatt a plazmapauza kifelé, az egyenlítői gyűrűáram irányába tolódik el. Az ion-ciklotron instabilitást a gyűrűáramnak a plazmaszféra növekvő sűrűségű hideg plazmájával való találkozása hozza létre. Ami az NPSE helyi időtől való függését illeti, eredményeink kö-

zepes földrajzi szélességeken arra engednek következtetni, hogy ilyen találkozás a plazmaszférának az esti szektorban mutatkozó kidudorodásánál intenzivebb kiszóródást eredményez, megjegyezve, hogy a vihar megszünési fázisa idején az aszimmetrikus gyürüáram is az esti szektorban koncentrállódik. Ugyancsak a hullám-részecske kölcsönhatás működésének bizonyítéka lehet az a körülmény is, hogy a nagyobb időtartamu NPSE nem szabályosan visszatérő jelenség. Így végeredményben megállapítható, hogy az általunk kimutatott és a modellekben eddig figyelembe nem vett termoszférikus sűrűség-többlet a geomágneses vihar energiájának tartós, elhuzódó disszipációjától származhat.

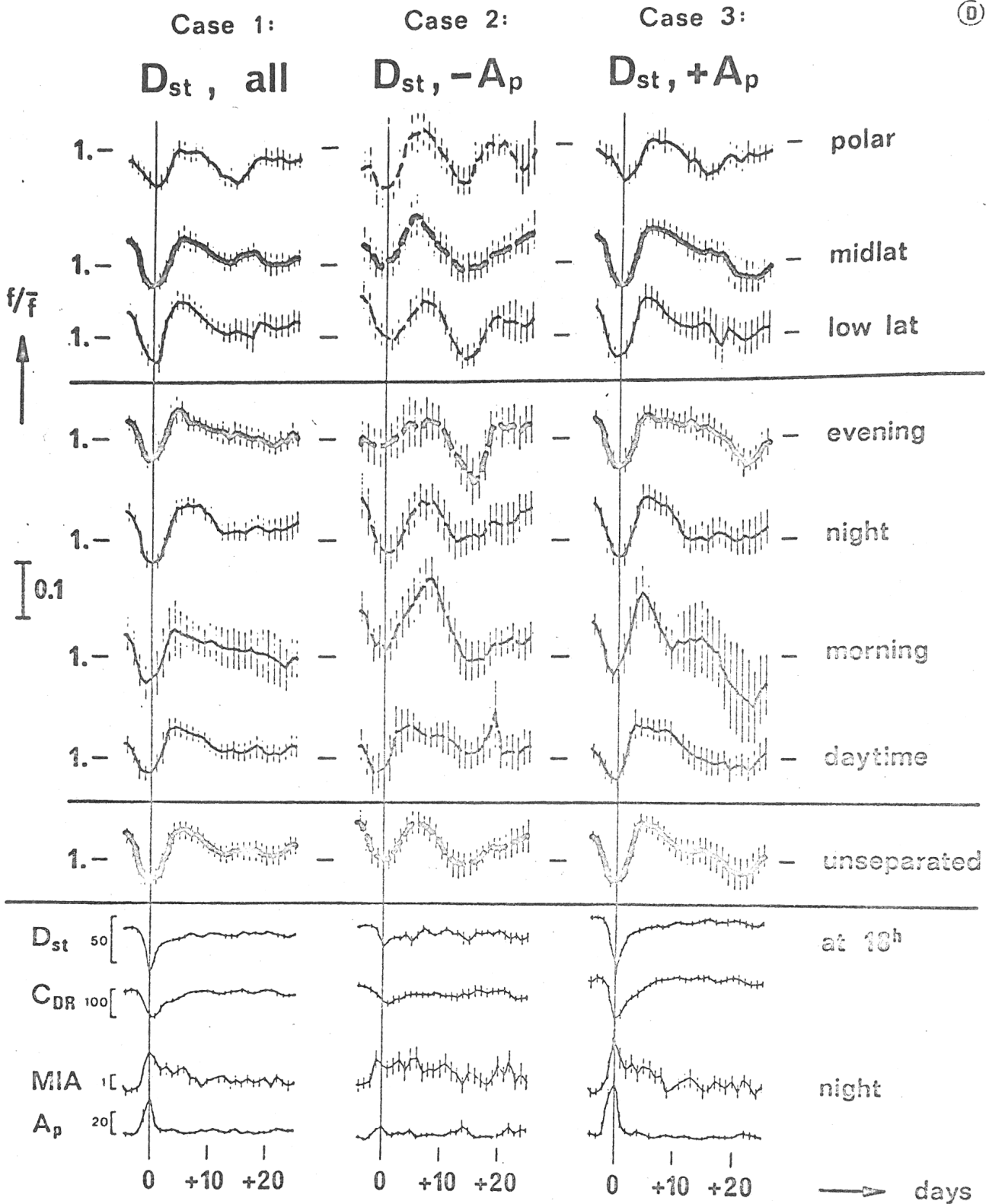
A kutatáshoz felhasznált mesterséges holdak

A mesterséges hold neve	e	ι	fékeződés helyének közelitő magassága km	a levezetett fékeződési adatok száma /naponta egy adat/
69110A	0,05	48°	220	96
7004B	0,09	82°	220	64
6506A	0,05	49°	230	187
6595B	0,10	48°	230	312
6595A	0,10	48°	240	291
6552A	0,06	49°	250	333
7097A	0,10	74°	265	354
7097B	0,10	74°	265	391
6511A	0,10	56°	290	176
6511B	0,10	56°	290	144
6644A	0,15	65°	290	1807
7118B	0,10	70°	305	424
6445B	0,16	96°	310	1765
6415A	0,05	52°	320	143
7017B	0,08	5°	325	111
7017A	0,08	5°	330	341
58 ALFA	0,10	33°	360	1490
6343A	0,07	59°	370	3299
6215B	0,05	54°	425	1759
6014A	0,12	50°	445	2856
20 db mesterséges hold			Összesen:	16343

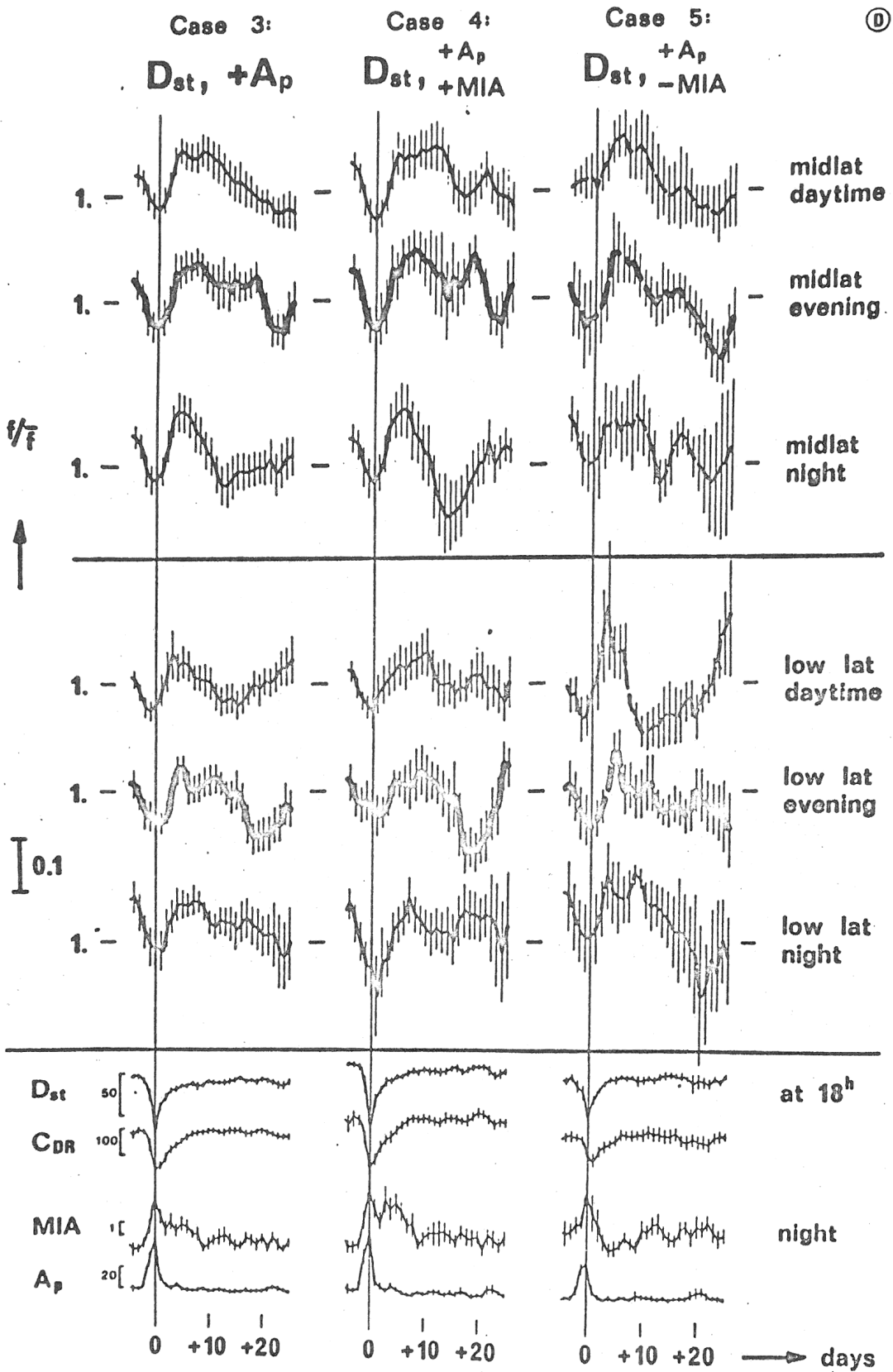
Irodalom

1. E. Illés-Almár, P. Bencze and F. Márcz, Nabl. ISZ, 23, 333 /1984/
2. Illés E. Ionoszféra és Magnetoszféra Fizika XII., 54 /1985/
3. A. Horváth and E. Illés-Almár, Nabl. ISZ, 9, 277 /1970/
4. E. M. Gaposchkin, Paper P. 1.1.4 presented at the XXVI GOSPAR meeting, Toulouse, 1986
5. G. Gloeckler, B. Wilken, W. Stüdemann, F. M. Ipavich, D. Hovestadt, D.C. Hamilton and G. Kremser, Geophys. Res. Letters, 12, 325 /1985/
6. R. Eather and K. M. Burrows, Aust. J. Phys., 19, 309 /1966/
7. P.H. Smith, N.K. Bewtra and R. A. Hoffman, J. Geophys. Res., 86, 3470 /1981/
8. S.M. Krimigis, G. Gloeckler, R. W. McEntire, T. A. Potemra, F. L. Scarf and E. G. Shelley, Geophys. Res. Letters, 12, 329 /1985/
9. G. W. Pröller, Planet. Space Sci., 21, 1681 /1973/
10. M. Torr and D.G. Torr, Geophys. Res. Letters, 6, 700 /1979/
11. J. Moritz, Z. Geophys., 38, 701 /1972/
12. P.F. Mizera and J. B. Blake, J. Geophys. Res., 78, 1058 /1973/
13. M. Scholer, D. Hovestadt and G. Morfill, J. Geophys. Res., 80, 80 /1975/
14. G. E. Thomas, J. Geophys. Res., 85, 6055 /1980/
15. S. Cazes and C. Emerich, J. Geophys. Res., 85, 6049 /1980/
16. J. F. Rowe, Radio Sci., 9, 175 /1974/
17. R. A. Goldberg, J. Geophys. Res., 79, 5299 /1974/
18. M. C. Kelley, W. E. Schwartz, Y. Tayan and R. Torbert, J. atmos. terr. Phys., 39, 1263 /1977/
19. R. C. Wentworth, J. Geophys. Res., 69, 2291 /1964/
20. R. R. Heacock and M. Kivinen, J. Geophys. Res., 77, 6746 /1972/
21. W.W.L. Taylor and L.R. Lyons, J. Geophys. Res., 81, 6177 /1976/
22. J.M. Cornwall, F.V. Coroniti and R.M. Thorne, J. Geophys. Res., 75, 4699 /1970/

Ⓣ



1. ábra



2. ábra