

Az MTA Széchenyi István Geofizikai Obszervatóriumba telepített DPS-4D ionoszonda bemutatása



Barta Veronika

**Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Geodéziai
és Geofizikai Intézet**

2019. 11. 09.

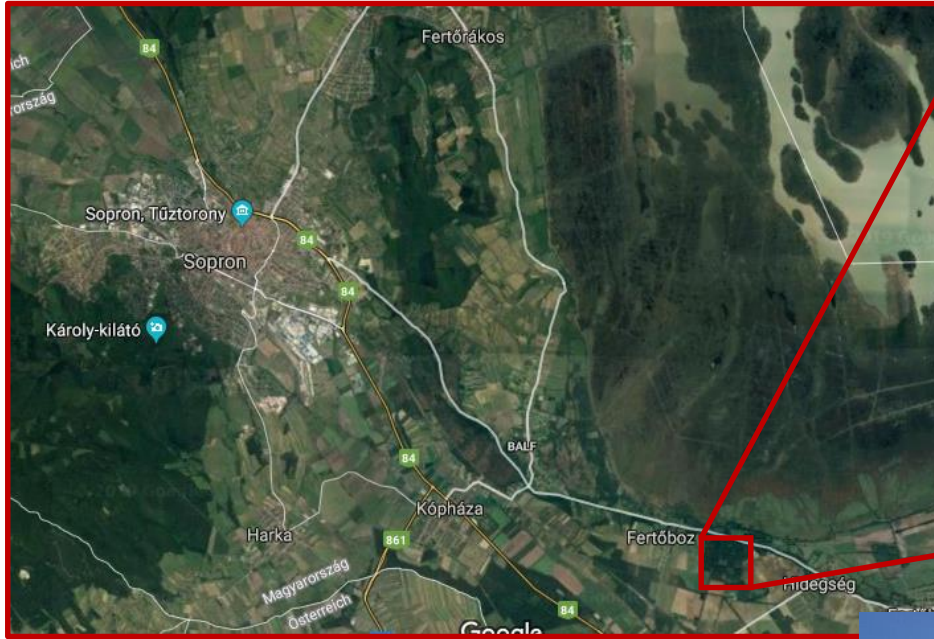
DPS4D digiszonda (ionoszféra radar)

Digiszonda telepítése és üzembe helyezése az MTA CSFK Konkoly Obszervatórium GINOP-2.3.2-15 „Kozmikus hatások és kockázatok” projektjének keretében:

- Lowell Digisonde International, (University of Massachusetts Lowell)
- Csatlakozás a legnagyobb ionoszférikus radarhálózathoz (Global Ionospheric Radio Observatory - GIRO)

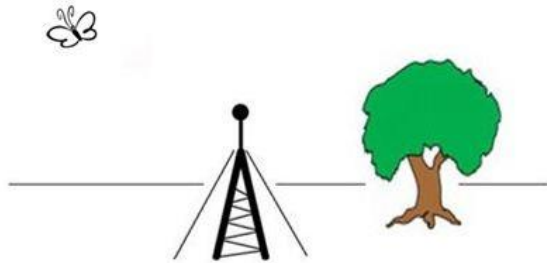


Az MTA Széchenyi István Geofizikai Observatórium



Ionosféra szondázás

Ionosphere



Mérés lényege: az ionosféra egyes rétegeinek elektronsűrűsége a magasság függvényében

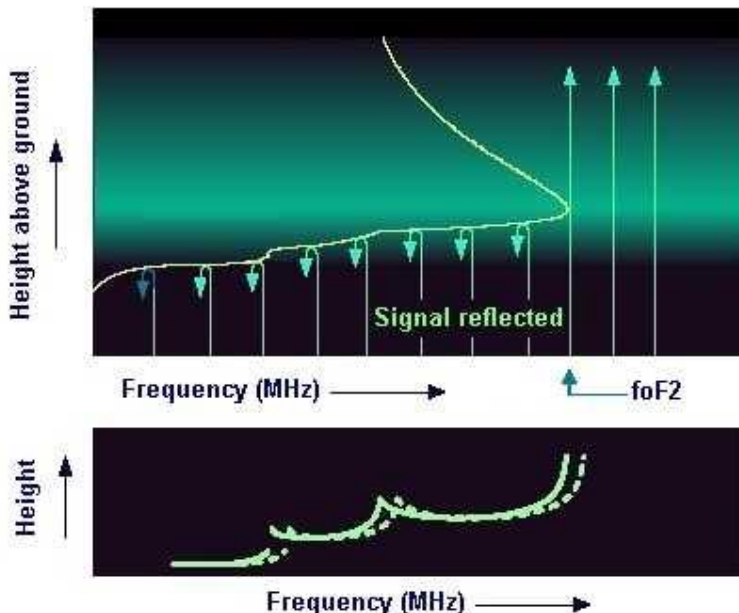
Módszer:

- Rövid idejű rádió impulzusok kibocsátása 1 és 16 MHz között

- Visszaverődés: $\omega_{pl} = \omega_{EM}$

$$\omega_{pe} = \sqrt{\frac{4\pi n_e e^2}{m^*}}$$

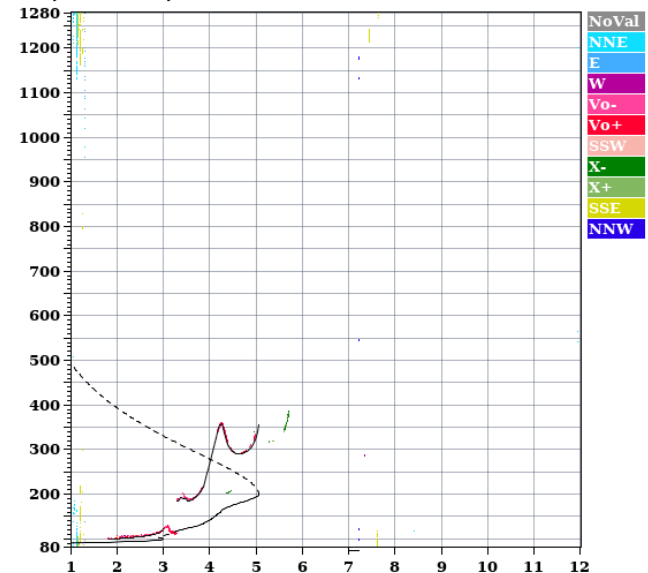
- Ionogram: $\omega_{pl}(n_e)$ a magasság (h) függvényében
- Rétegek: csúcs plazmafrekvenciája, magassága



Lowell
DIGISONDE

Statio YYYY DAY DDD HHMMSS P1 FFS S AXN PPS IGA PS
Sopron 2019 Apr17 107 114510 RSF 1 713 100 03+ 25

foF2	5.063
foF1	4.26
foF1p	4.27
foE	3.01
foEp	3.13
fxI	5.75
foEs	3.28
fmin	1.83
MUF(D)	17.63
M(D)	3.49
D	N/A
h'F	185.0
h'F2	290.0
h'E	99.2
h'Es	110.0
hmF2	198.1
hmF1	164.0
hmE	99.7
yF2	40.3
yF1	68.4
yE	9.5
B0	79.7
B1	1.37
C-level	11
Auto:	
Artist5	
500200	



D 100 200 400 600 800 1000 1500 3000 [km]
MUF 5.7 5.7 6.0 6.5 7.1 8.0 10.7 17.6 [MHz]
sol148_2019107114510.rsrf / 440fx512h 25 kHz 2.5 km / DPS-4D S0148 147 / 47.6 N 16.7 E Ion2Png 1.3.20

Ionogram

- **Paraméterek:** rétegek kritikus frekvenciája és látszólagos magassága:
 - a virtuális magasságok karakterisztikus értékeinek jelölése: **$h'E$, $h'Es$, $h'F$, $h'F2$** .
 - az E-, F1-, F2- rétegekhez tartozó kritikus frekvenciák jelölése: **foE , $foF1$, $foF2$** .
 - **$fmin$** : a minimum frekvencia, mely az ionoszféráról az első visszaverődés frekvenciáját jelöli. Ennél kisebb frekvenciájú szondázó elektromágneses hullámok elnyelődnek az alsó ionoszférában.
 - **$foEs$** : a szporadikus E-réteg (Es-réteg) kritikus frekvenciája: A háttér elektronsűrűségébe beágyazódott, környezetüknél nagyobb elektronsűrűségű felhők maximális elektronsűrűségét mutatja.
 - **$fbEs$** : az ún. takaró (blanketing) frekvencia. A réteg háttér elektronsűrűségét jelzi.

• Elektronsűrűség profil

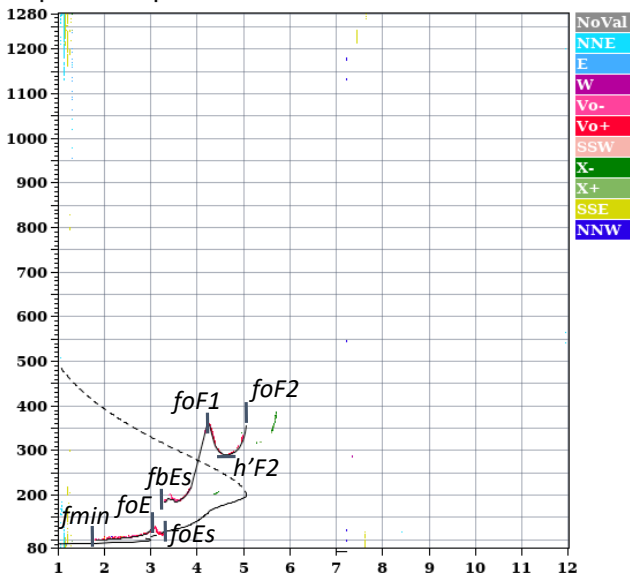
• Színek: beérkező jel irányát jelzik



foF2	5.063
foF1	4.26
foF1p	4.27
foE	3.01
foEp	3.13
fxI	5.75
foEs	3.28
fmin	1.83
MUF(D)	17.63
M(D)	3.49
D	N/A
h' F	185.0
h' F2	290.0
h' E	99.2
h' Es	110.0
hmF2	198.1
hmF1	164.0
hmE	99.7
yF2	40.3
yF1	68.4
yE	9.5
B0	79.7
B1	1.37
C-level	11
Auto:	
Artist5	
500200	

D 100 200 400 600 800 1000 1500 3000 [km]
 MUF 5.7 5.7 6.0 6.5 7.1 8.0 10.7 17.6 [MHz]
 so148_2019107114510.rsf / 440fx512h 25 kHz 2.5 km / DPS-4D S0148 147 / 47.6 N 16.7 E Ion2Png 1.3.20

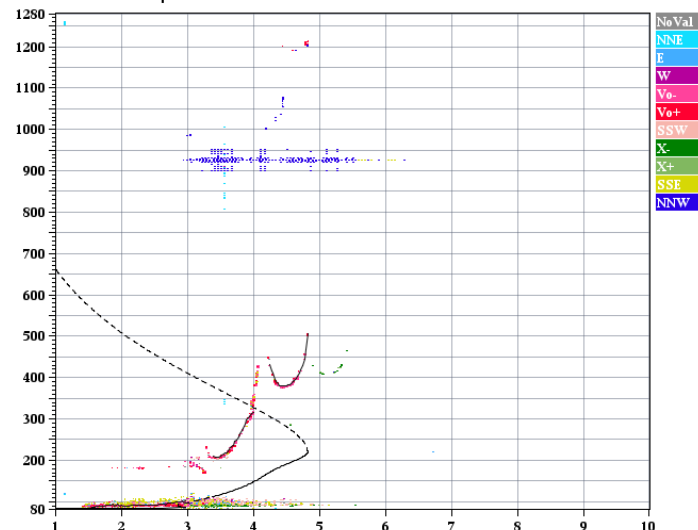
Statio YYYY DAY DDD HHMMSS P1 FFS S AXN PPS IGA PS
 Sopron 2019 Apr17 107 114510 RSF 1 713 100 03+ 25



foF2	4.825
foF1	4.00
foF1p	4.23
foE	2.98
foEp	3.03
fxI	5.50
foEs	3.35
fmin	1.55
MUF(D)	15.82
M(D)	3.28
D	N/A
h' F	202.5
h' F2	375.0
h' E	82.7
h' Es	92.5
hmF2	219.1
hmF1	148.8
hmE	86.9
yF2	76.4
yF1	57.6
yE	4.1
B0	178.4
B1	1.21
C-level	11
Auto:	
Artist5	
500200	

D 100 200 400 600 800 1000 1500 3000 [km]
 MUF 5.4 5.5 5.7 6.1 6.7 7.5 9.8 15.8 [MHz]
 17978934.tmp / 360fx512h 25 kHz 2.5 km / DPS-4D S0147 147 / 47.6 N 16.7 E

Statio YYYY DAY DDD HHMMSS P1 FFS S AXN PPS IGA PS
 Sopron 2018 Jun25 176 141500 RSF 005 2 712 100 03+ 21



Nagycenken észlelt ionogramok 2019 április 16-án 02:45 és 13:00 [UTC] között



foF2 2.575
foF1 N/A
foF1p N/A
foE N/A
foEp 0.44
fxI 3.30
foEs N/A
fmin 1.63

MUF(D) 8.03
M(D) 3.12
D N/A

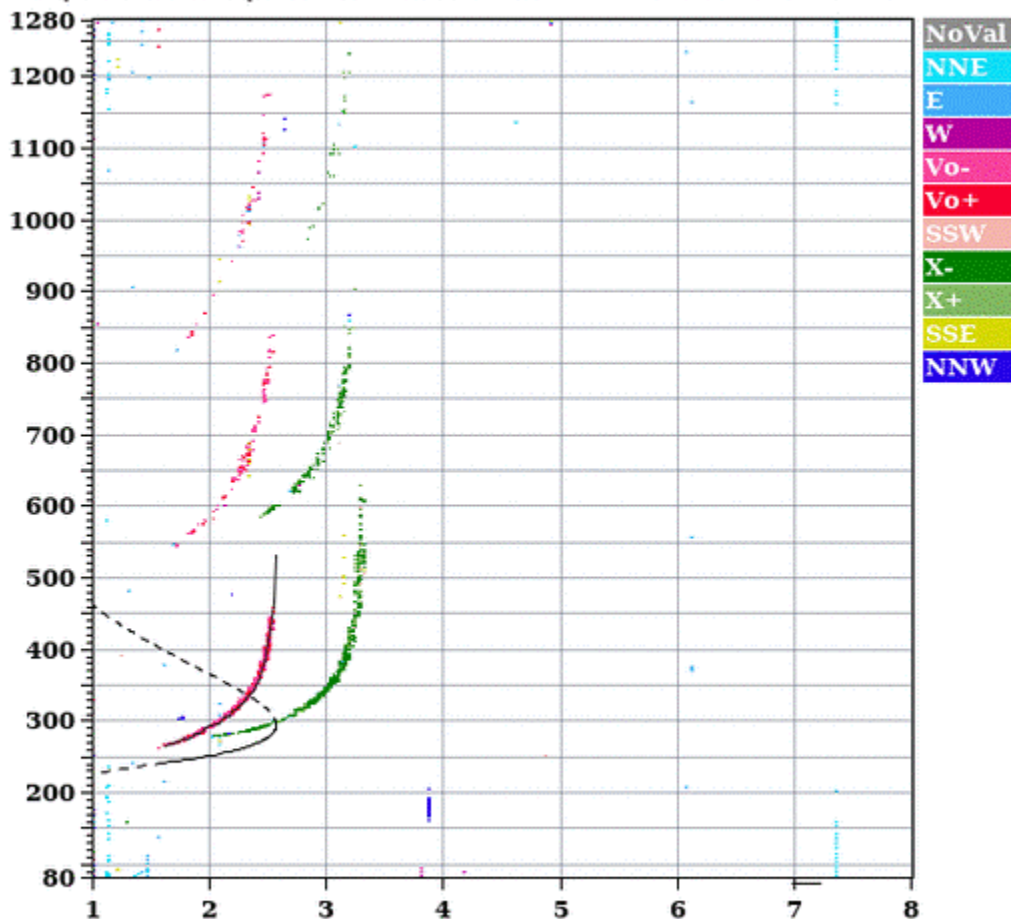
h`F 265.0
h`F2 265.0
h`E N/A
h`Es N/A

hmF2 294.6
hmF1 N/A
hmE N/A
yF2 68.1
yF1 N/A
yE N/A
B0 58.2
B1 3.62

C-level 11

Auto:
Artist5
500200

Statio YYYY DAY DDD HHMMSS P1 FFS S AXN PPS IGA PS
Sopron 2019 Apr16 106 024510 RSF 1 713 100 03+ 36



D 100 200 400 600 800 1000 1500 3000 [km]
MUF 3.2 3.2 3.3 3.5 3.8 4.1 5.2 8.0 [MHz]

sol148_2019106024510.rsf / 280fx512h 25 kHz 2.5 km / DPS-4D S0148 147 / 47.6 N 16.7 E Ion2Png 1.3.20

Csatlakozás a GIRO hálózathoz

- Csatlakozás a legnagyobb ionoszférikus radarhálózathoz (Global Ionospheric Radio Observatory - GIRO)
- Adatok elérése:
 - <https://iono.nck.ggki.hu>
 - <http://www.digisonde.com/stationlist.php>
 - <http://giro.uml.edu/didbase/scaled.php>



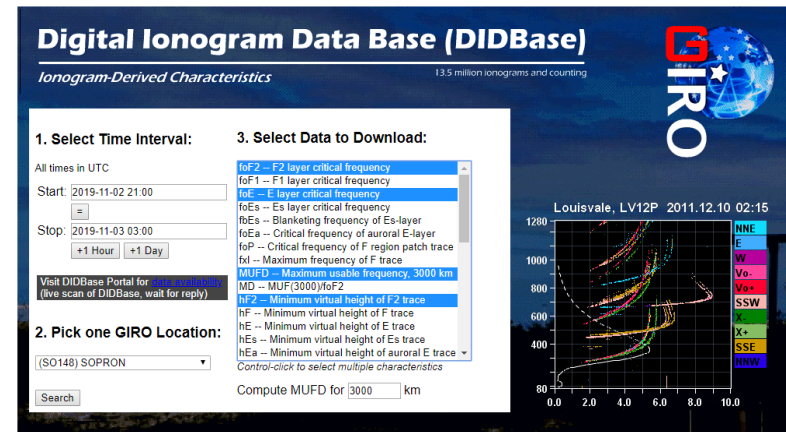
LOWELL DIGISONDE INTERNATIONAL

LDI DIGISONDE SERVICES NEWS/EVENTS REQUEST QUOTE CONTACT

DIGISONDE STATION LIST

Show 10 entries Search:

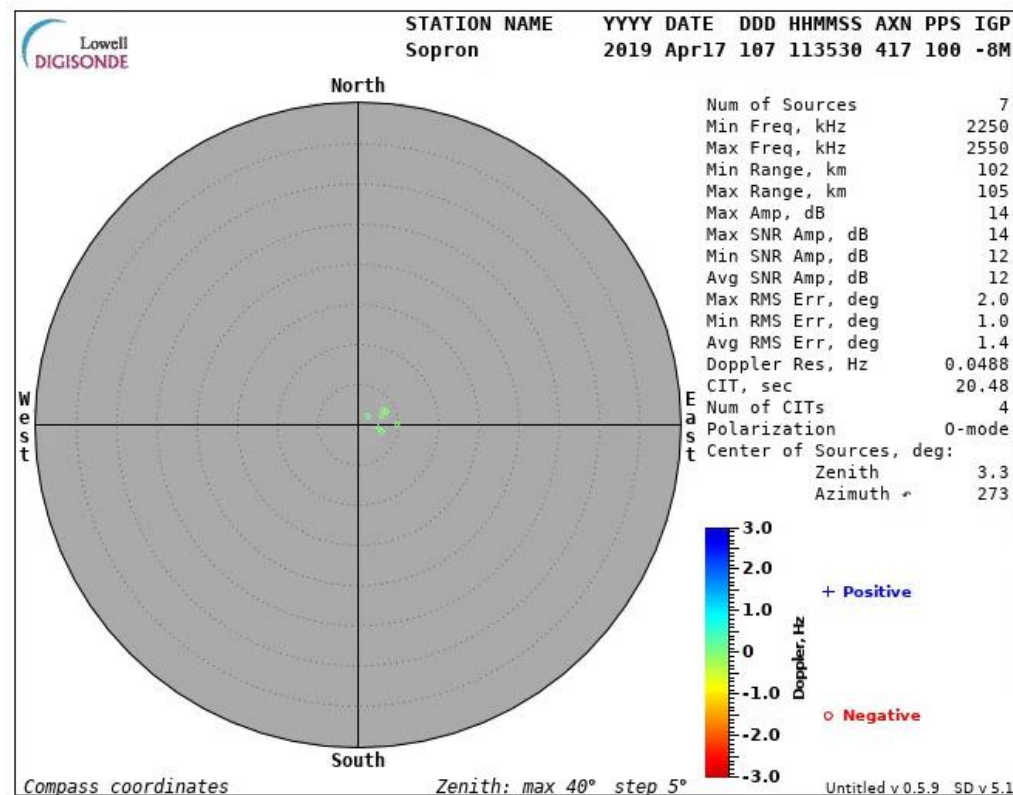
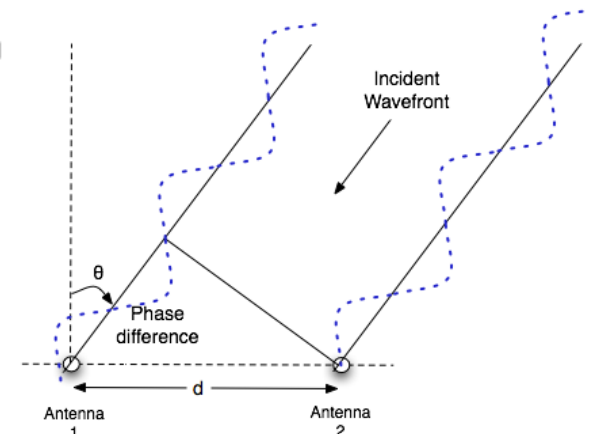
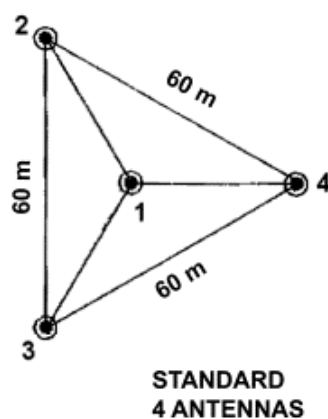
Detail	Country	Location	System Type	Serial	URSI	Lat	Long	Built Date	GIRO link
	USA	Poker Flat, AK	DPS4D	87	PF765	65.13	212.55	2018-04	
	China	n/a	DPS4D	86				2018-03	
	Hungary	Sopron	DPS4D	85	SO148	47.63	16.72	2018-01	Link
	USA	San Antonio, TX	DPS4D	84	SA929	29.45	261.39	2017-10	
	Brazil	Santa Maria	DPS4D	83	SMK29	-29.73	306.29	2016-08	Link



Plazma mozgásának monitorozása

- **Drift mérés:** egy adott frekvencián szondázunk többször, hosszabb ideig
 - 128 minta/ismétlés, ~ 40 sec
 - E-réteg: 2200 kHz (csak nappal)
 - F-réteg: 4800 kHz nappal
2200 kHz éjszaka
- **Skymap:** 2019 április 17., 11:35 - 14:35 [UTC], E réteg

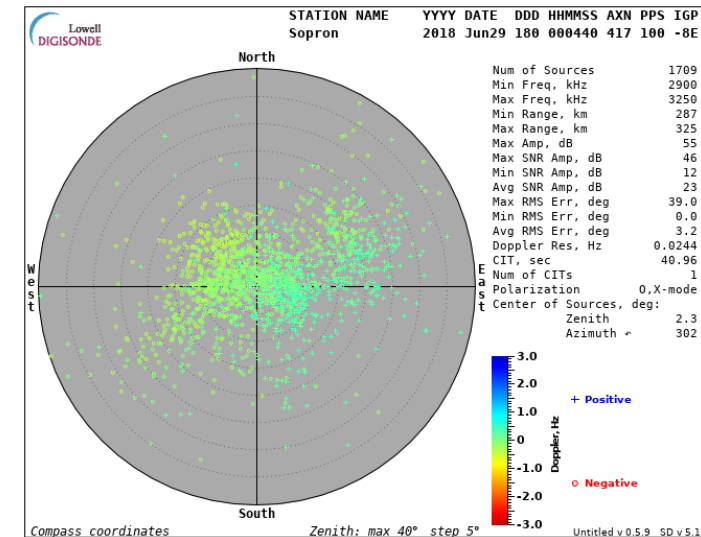
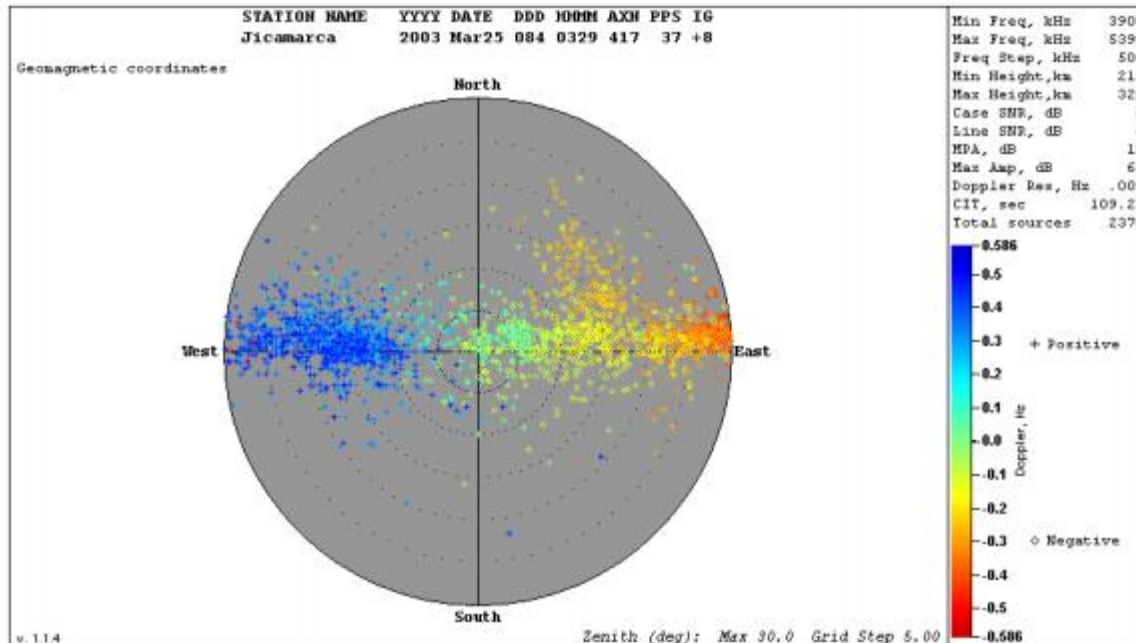
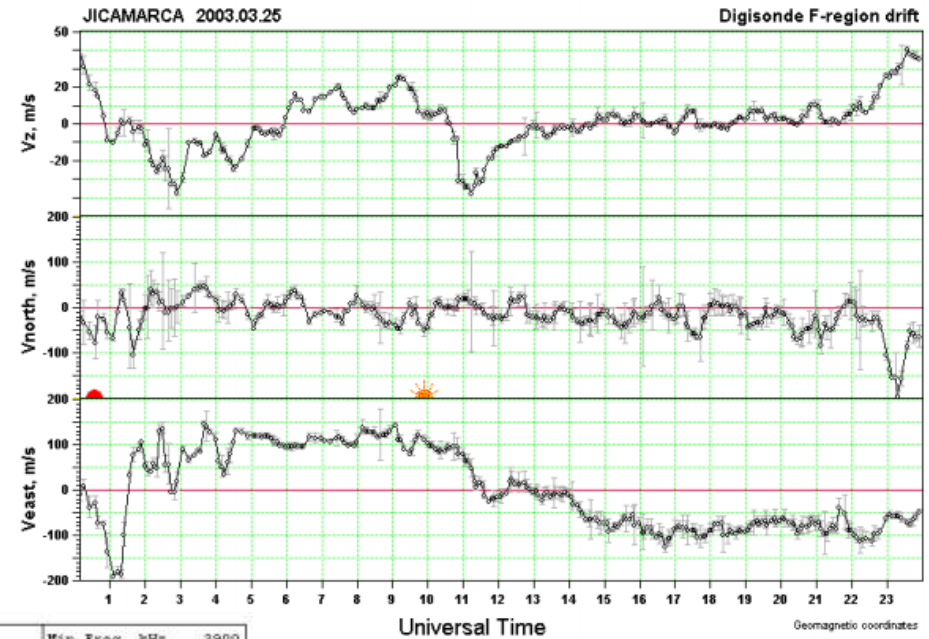
<https://iono.nck.ggki.hu/skygif/history.html>



Plazma mozgásának monitorozása

Digiszonda előnye:

- Plazma mozgásának monitorozása: skymap
- Vertikális és horizontális sebességek meghatározása



Drift mérés 2 digiszonda között: D2D mérés

TID-ek (Traveling Ionospheric Disturbances) észlelése Tech-TIDE H2020 projekt, bilaterális együttműködés a prágai Institute of Atmospheric Physics (ASCR) kutatóival

Input: signal properties
Doppler frequency, angle of arrival, and time-of-flight from transmitter to receiver

Output: TID parameters
amplitude, wavelength, phase velocity, and direction of propagation.

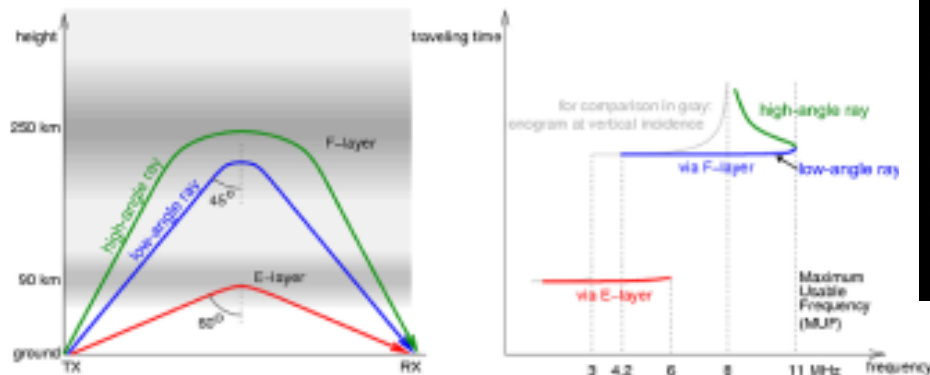
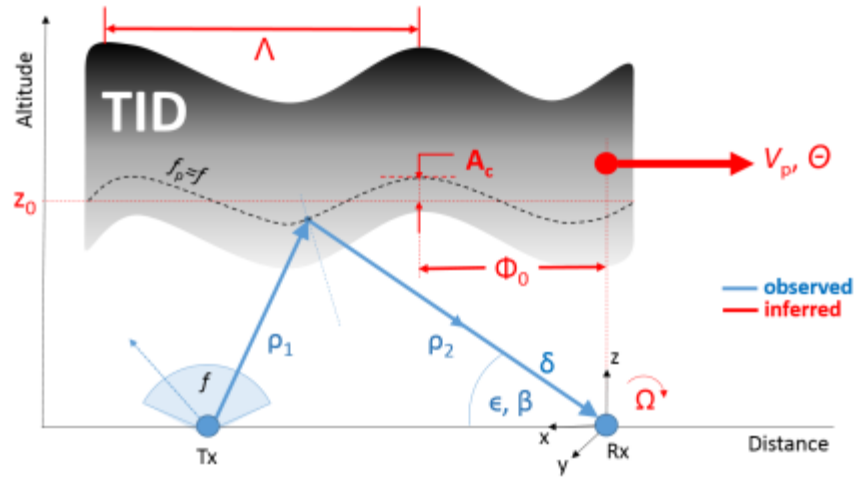
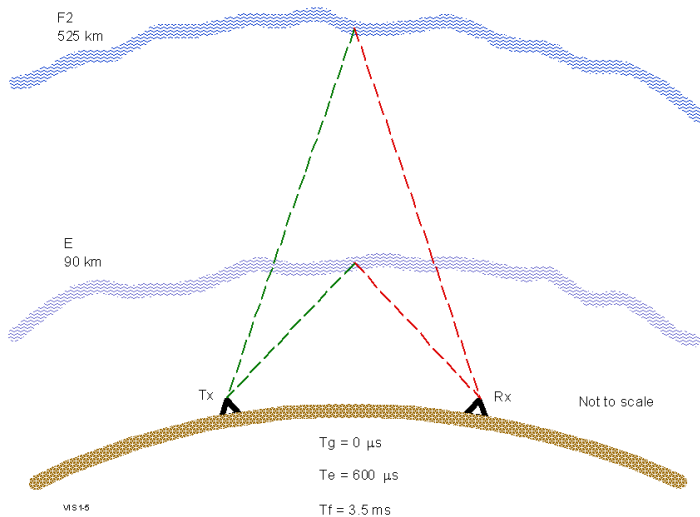
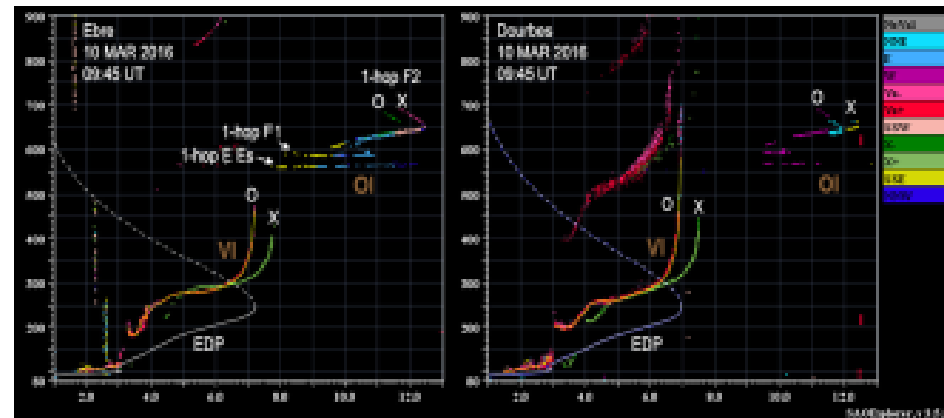


Fig. 4. Schematic representation of the different propagation modes for OI ionograms [after de Boer, 2013].



T. Verhulst et al. / *Advances in Space Research* 60 (2017) 1644–1656; Belehaki et al., presentation at EGU 2018

Terjedő ionoszféra zavarok (TID) vizsgálata

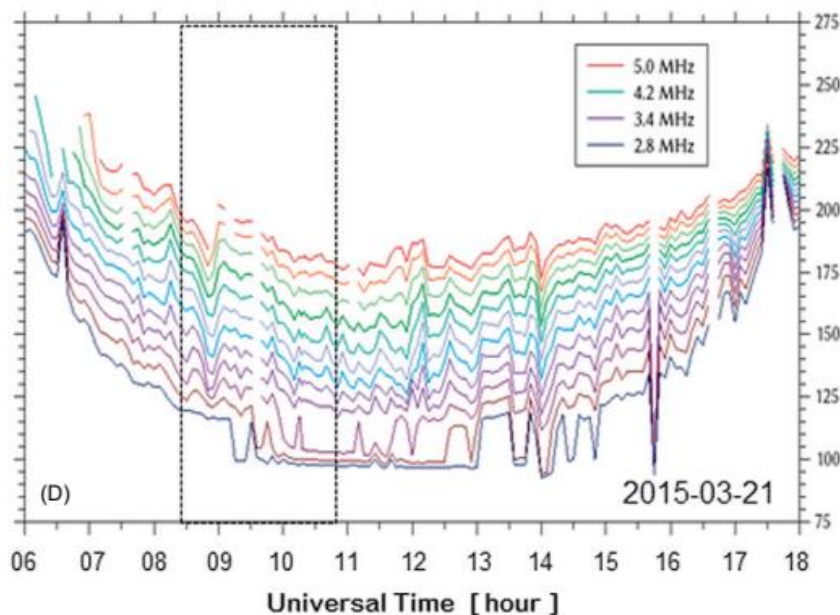
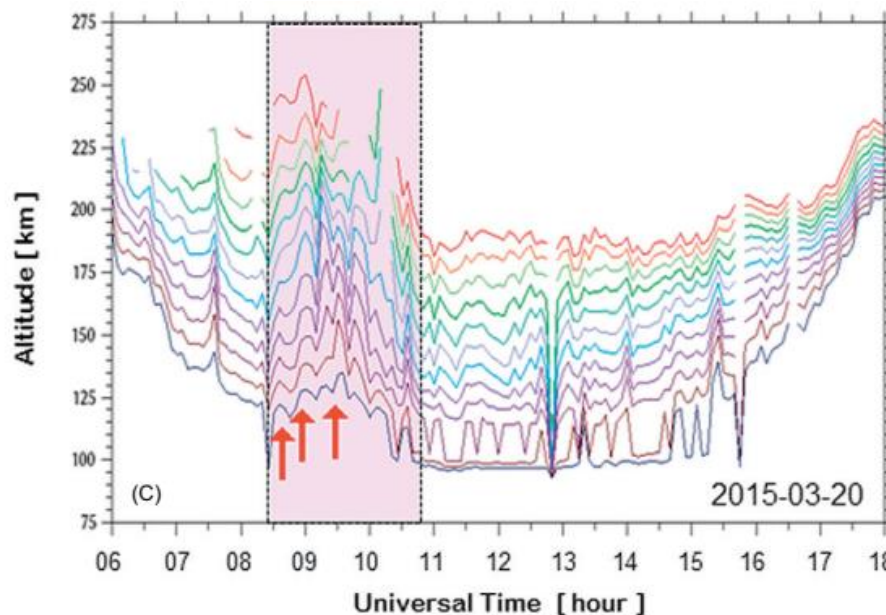
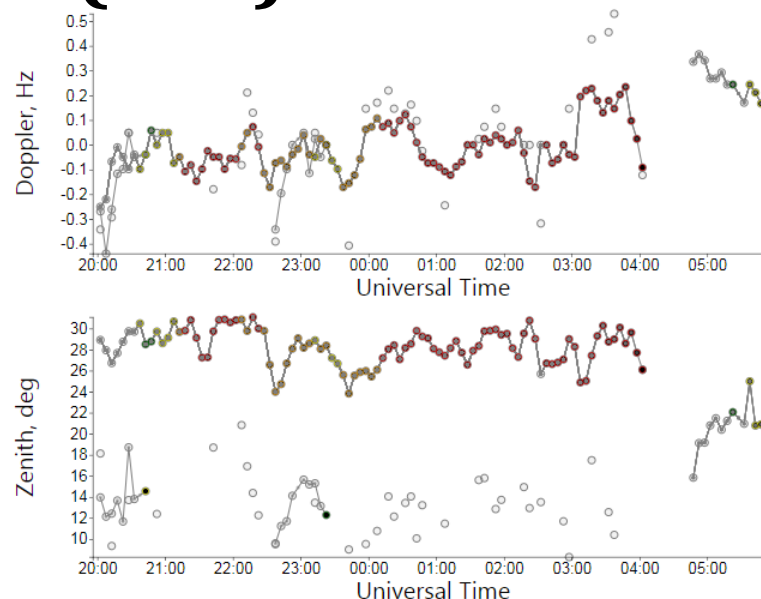
Forrás: légköri nehézségi hullámok
(atmospheric gravity waves, AGW)

Példa: 2018. 10. 12. 20:00 – 2018. 10. 13.

06:00, Pruhonice – Sopron D2D mérés

Nagy méretű TID: $T \sim 140$ min

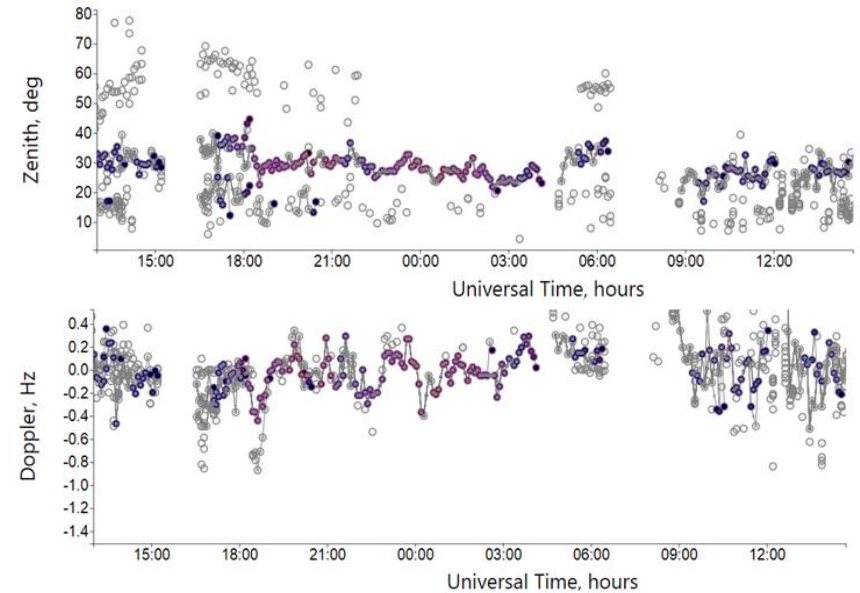
2015-ös napfogyatkozás által keltett TID
megjelenése a látszólagos magasságokban



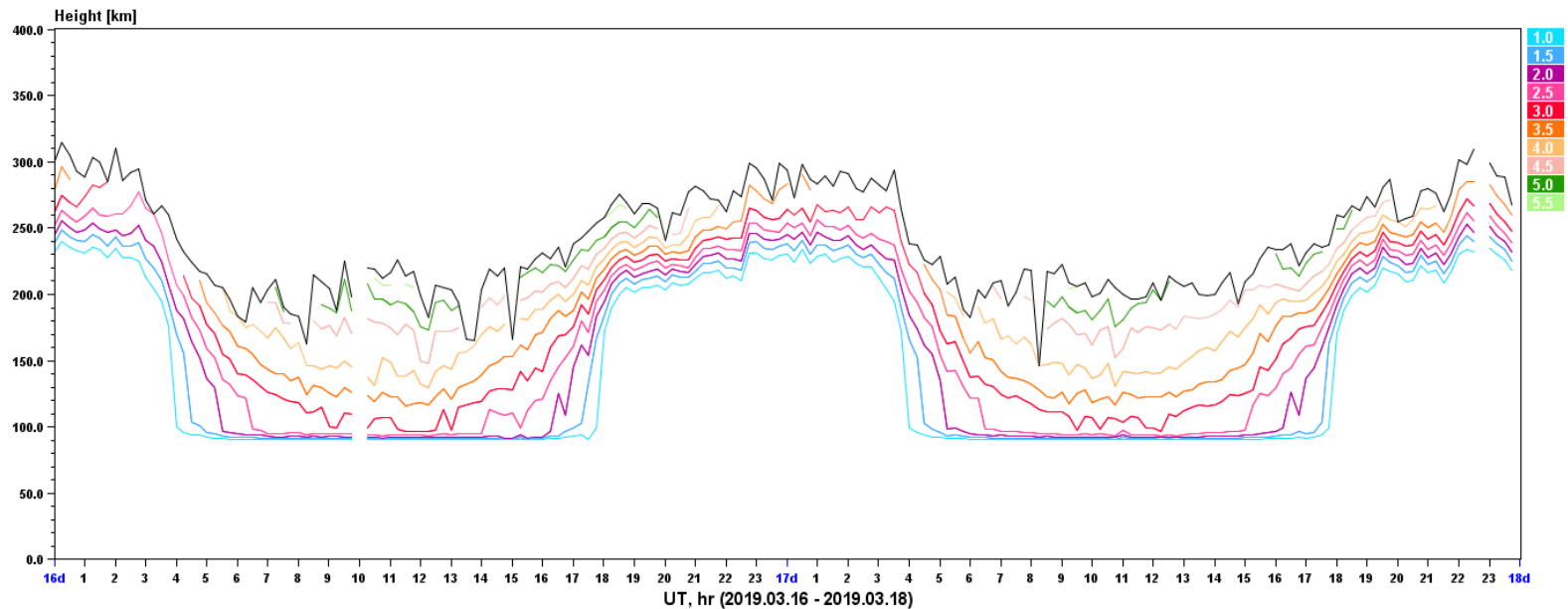
Terjedő ionoszféra zavarok (TID) vizsgálata

Példa: Kp 5 geomágneses vihar,
2019 március 16-17.,
D2D Pruhonice - Sopron

		Ap 1	00-03h	03-06h	06-09h	09-12h	12-15h	15-18h	18-21h	21-00h	Kp max
11	2019/03/16	12	1-	1+	2-	3	2+	3-	2+	5-	5-
6	2019/03/17	15	5-	4	4	3-	2-	2	1-	0+	5-

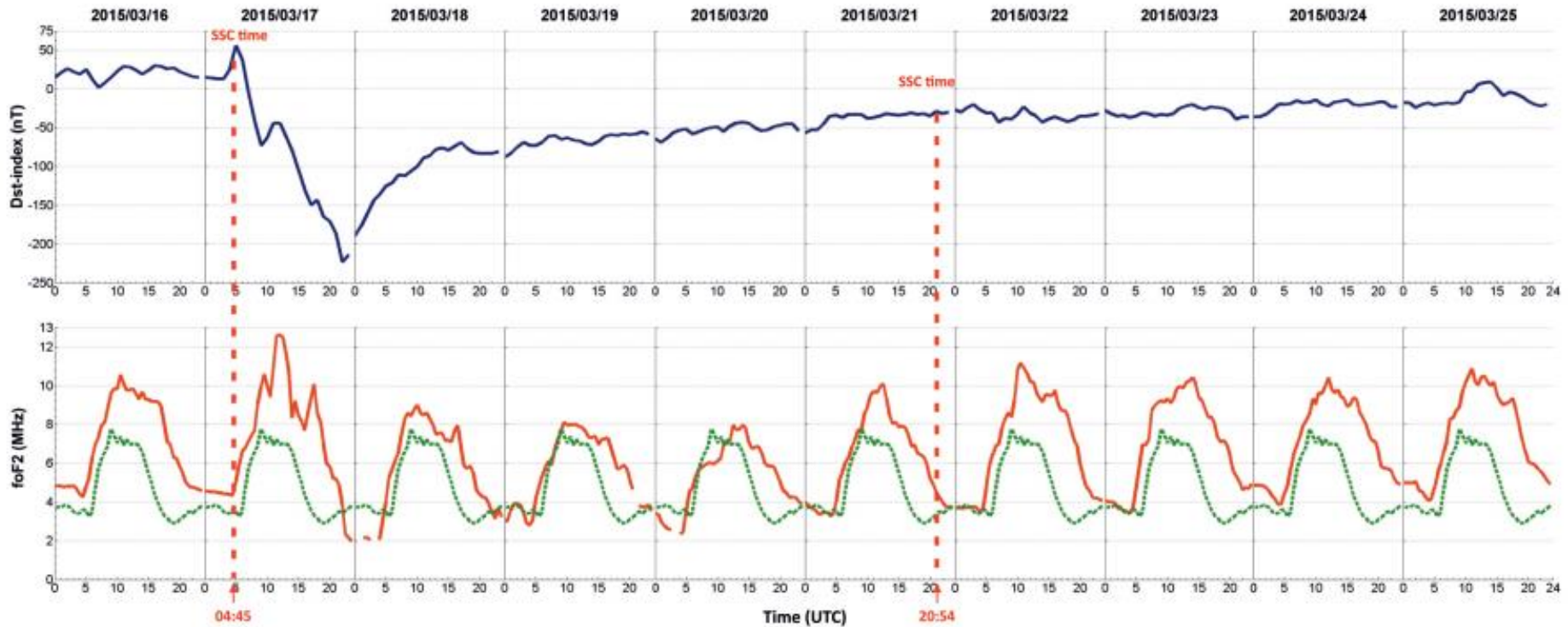


Contours, SO148, DPS-4D, SAOExplorer, v 3.5.3



Geomágneses vihar hatása az ionoszférára

- **Szt. Patrik geomágneses vihar hatása: 2015. március 17.**
 - CME generált geomágneses vihar
 - Ún. „Pozitív” ionoszféra vihar (nyugodt napi átlagnál nagyobb elektronsűrűség)

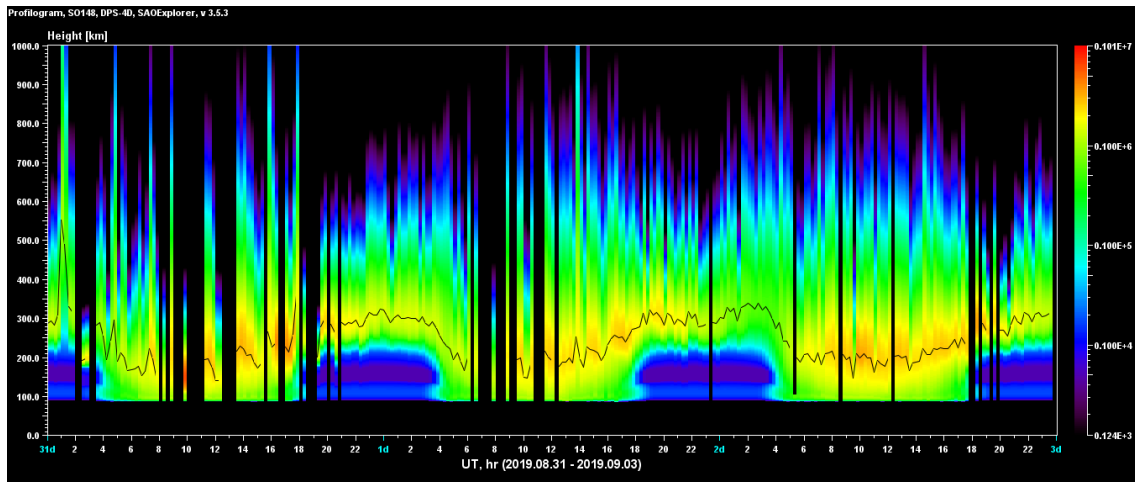
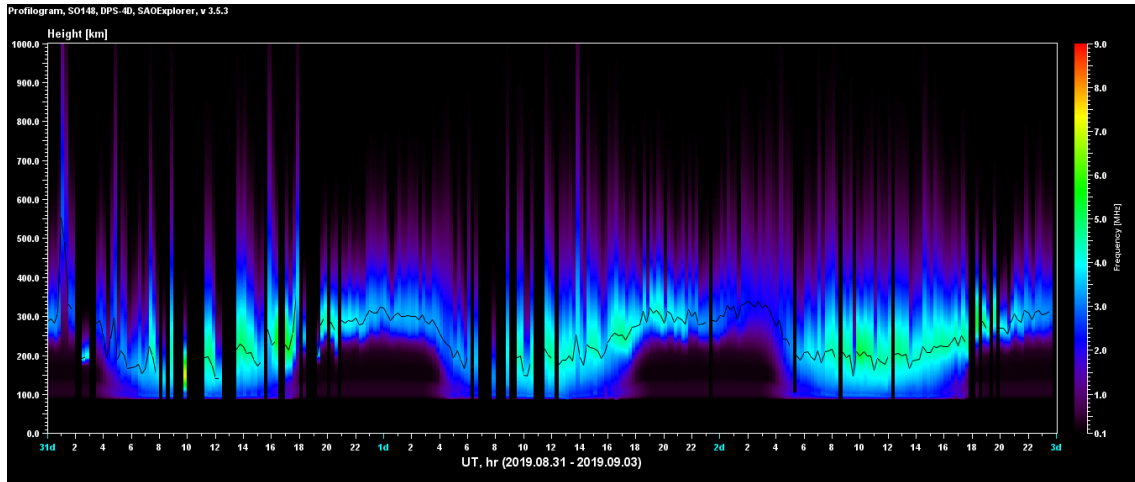


Berényi, K. A., Barta V., Kis A. (2018) Midlatitude ionospheric F2-layer response to eruptive solar events-caused geomagnetic disturbances over Hungary during the maximum of #24 solar cycle: a case study, *Advances in Space Research*, 61, 5, 1230-1243

Geomágneses vihar hatása az ionoszférára

- 2019. augusztus 30 – szeptember 1.

	Ap	00-03h	03-06h	06-09h	09-12h	12-15h	15-18h	18-21h	21-00h	Kp max
2019/08/31	38	4-	5-	4	5+	6-	4	4+	4+	6-
2019/09/01	45	5-	5	5+	5	5+	4+	5-	5-	5+

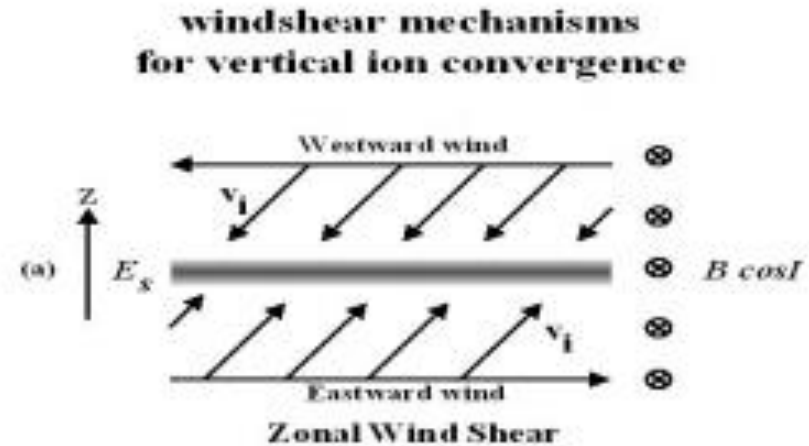


Meteorok ionoszférára gyakorolt hatása

I. Meteorrajok szporadikus E (Es) rétegre gyakorolt hatásának vizsgálata

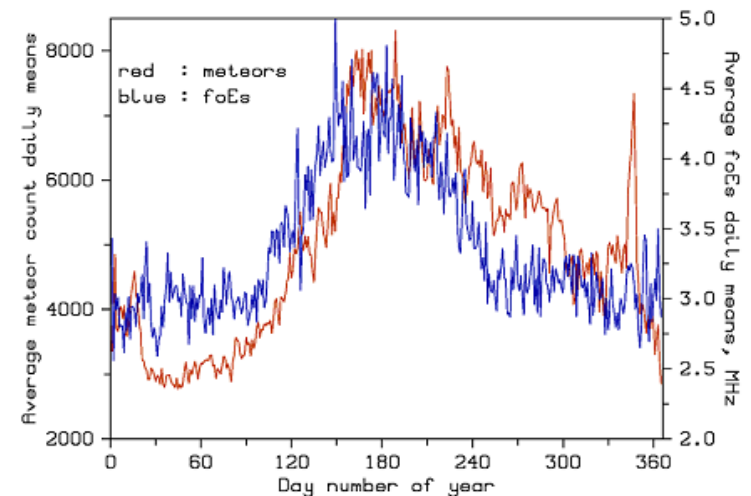
- Es réteg: meteorokból származó fém ionok egy vékony réteget képeznek az alsó termoszférában (90-150 km) a semleges légkörben terjedő hullámok szél nyírásának köszönhetően
- Összehangolt mérések más digiszondákkal meteorzáporok idején (Perseidák, Geminidák, Quadrantidák) → együttműködés cseh (Pruhonic), belga (Dourbes) és német (Juliusruh) kollégákkal

II. Egyes meteorok nyomvonalának (ionizációs csatornájának) detektálása a megnövekedett plazmafrekvencia észlelésén keresztül → összevetés optikai adatokkal



JULIUSRUH / ANDENES Meteor radars (Sep. 12, 00 - Dec 7, 05)

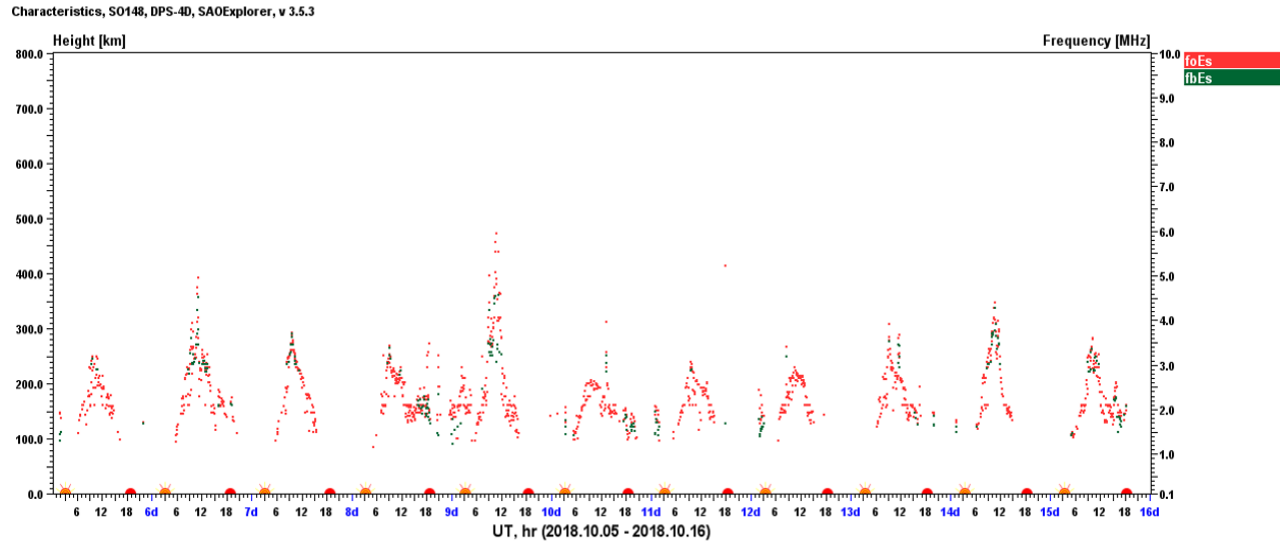
Athens (38 N) Digisonde (Sep 12, 00 - Dec 7, 05)



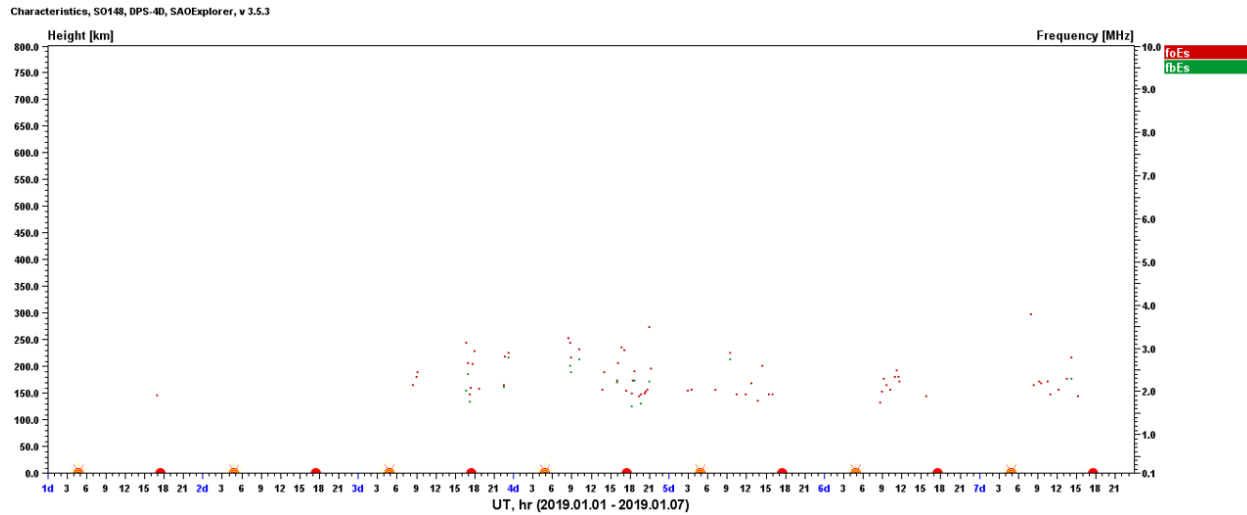
Meteorok ionoszférára gyakorolt hatása

I. Meteorrajok szporadikus E (Es) rétegre gyakorolt hatásának vizsgálata

Drakonidák: 2018. 10. 8-9. ~160 meteor/óra

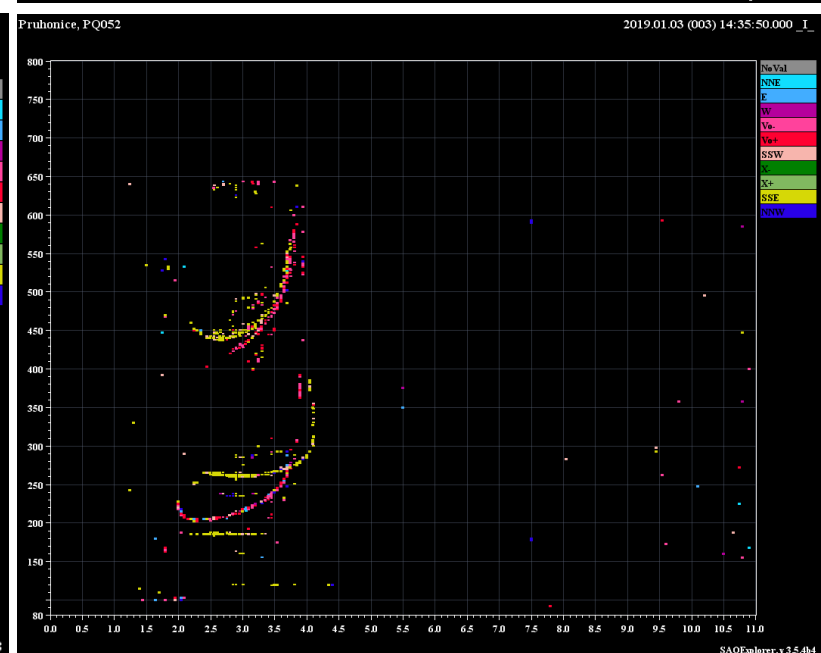
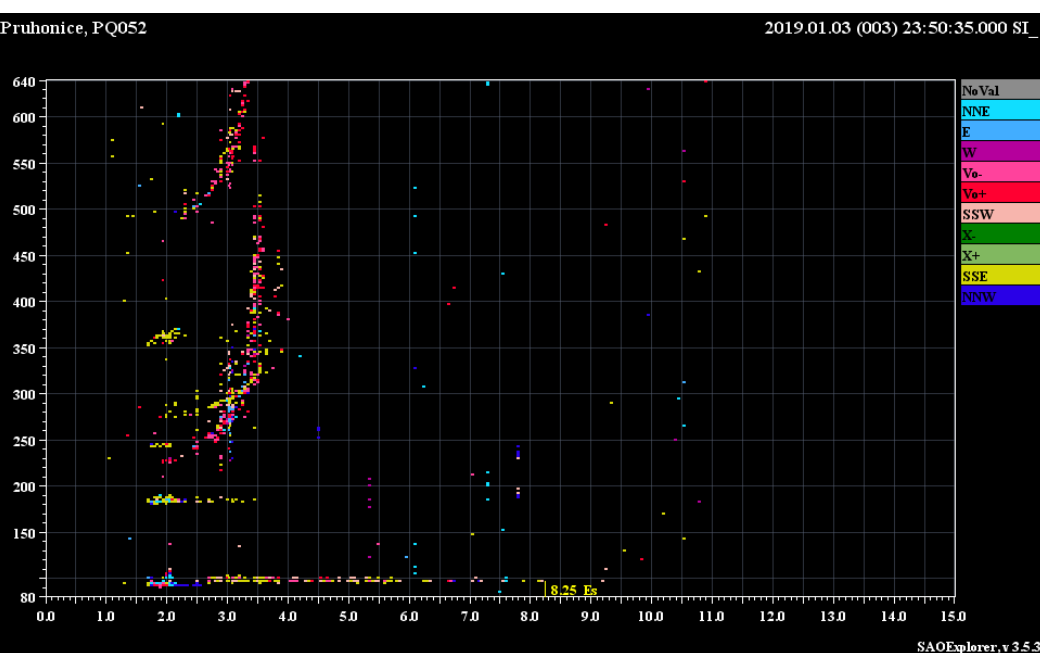
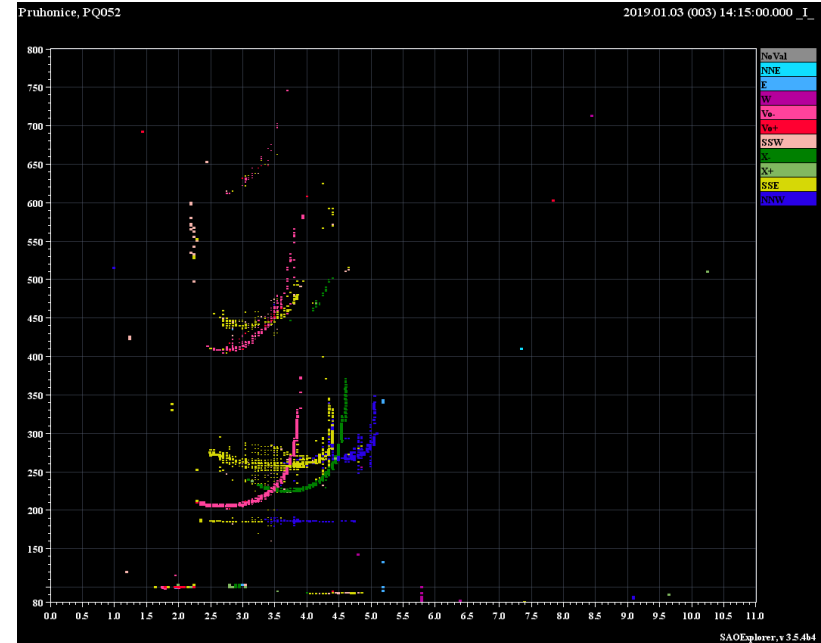


Quadrantidák: 2019. 01. 3-4. ~ 120 meteor/óra



Meteorok ionoszférára gyakorolt hatása

II. Egyes meteorok nyomvonalának (ionizációs csatornájának) detektálása a megnövekedett plazmafrekvencia észlelésén keresztül → összevetés optikai adatokkal

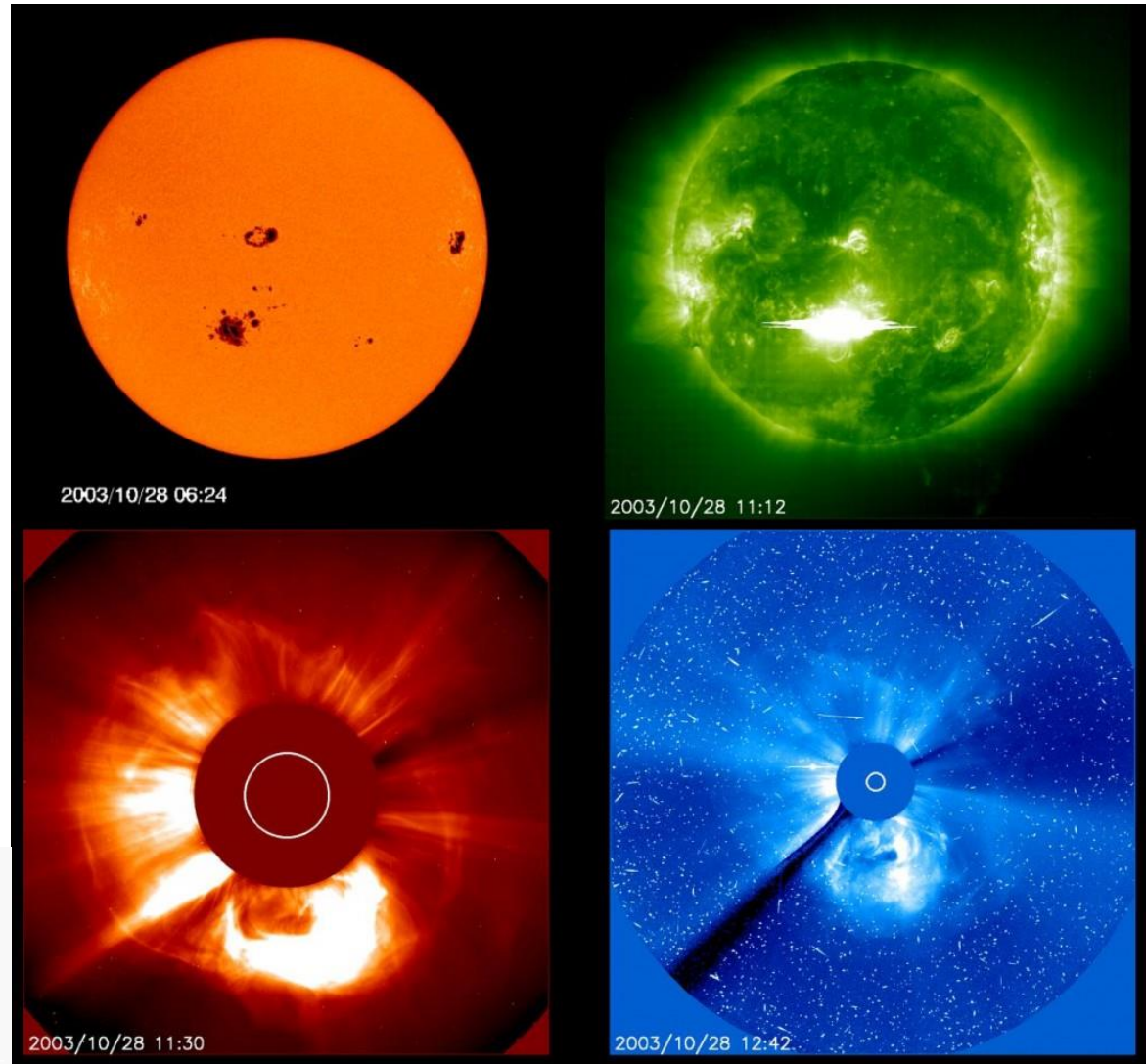


Flerek ionoszférára gyakorolt hatása

Nyolc X és M típusú fler ionoszférikus abszorpcióra gyakorolt hatásának vizsgálata

Pl.: 2003. 10. 28.

(Halloween vihar)

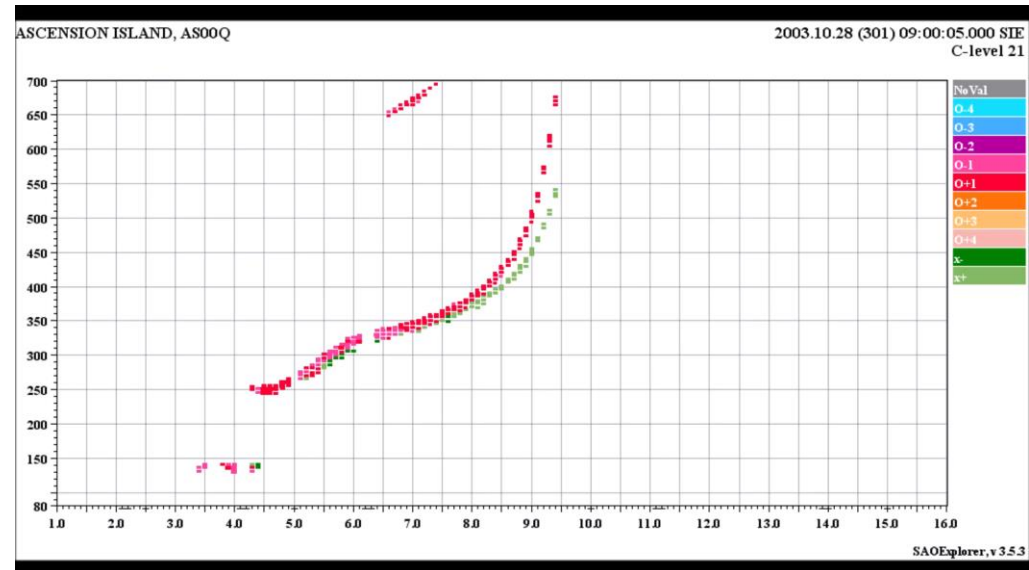
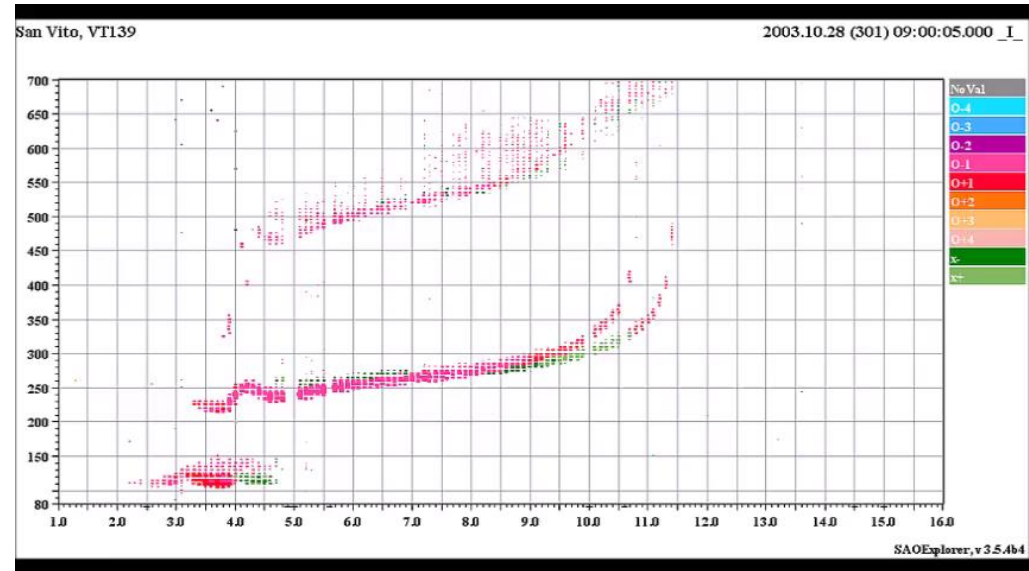


From the top left the orange image (by MDI) is a visible light image of the solar disk showing the sunspot group that produced the solar eruption. The green image is an extreme ultraviolet view (by EIT) of the sun including a bright flash from the X17 solar flare. The red image shows a view of the coronal mass ejection (CME) with the LASCO/C2 coronagraph (artificial eclipse) and the blue image shows a farther out view of the CME with the LASCO/C3 coronagraph.

Barta, V., Sántori, G., Berényi, K. A., Kis, Á., & Williams, E. (2019, August). Effects of solar flares on the ionosphere as shown by the dynamics of ionograms recorded in Europe and South Africa. In *Annales Geophysicae* (Vol. 37, No. 4, pp. 747-761).

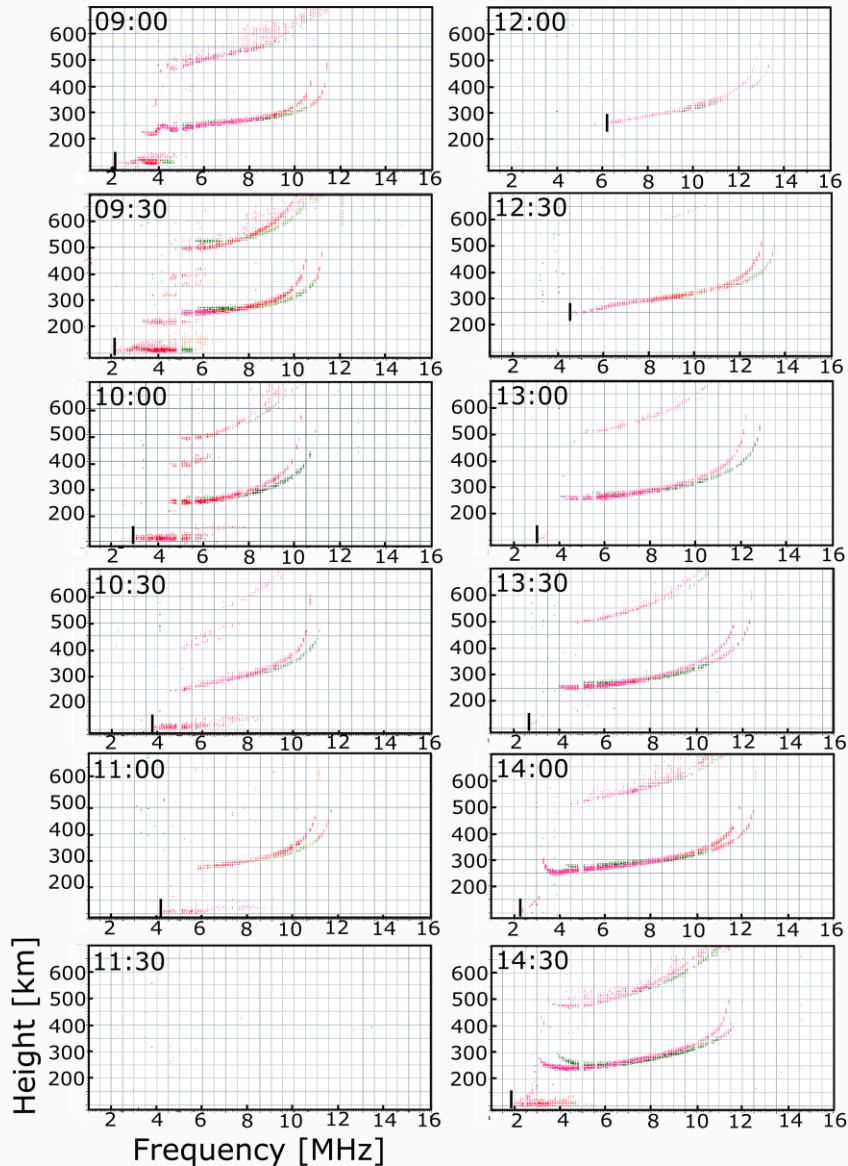
Flerek ionoszférára gyakorolt hatása

Pl.: 2003. 10. 28.
(Halloween vihar)

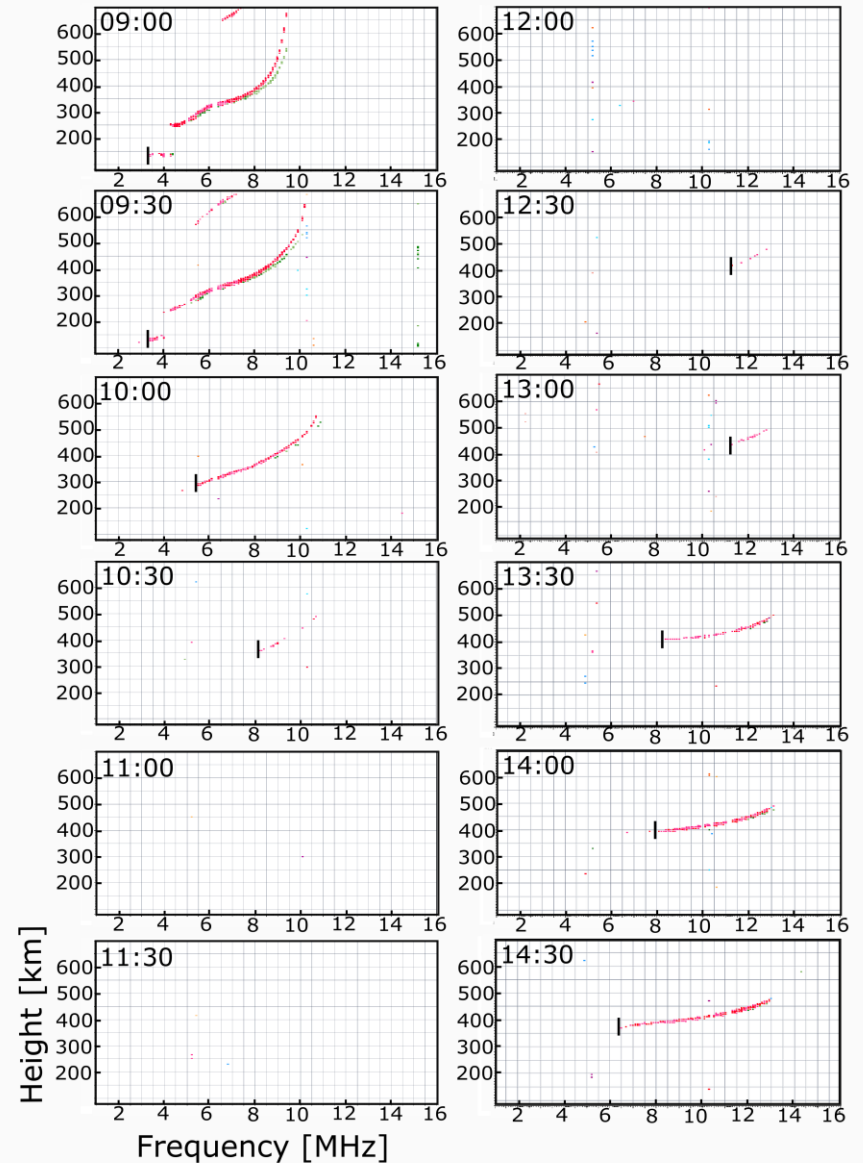


Flerek ionoszférára gyakorolt hatása

San Vito - 2003 - 10 - 28



Ascension Island - 2003 - 10 - 28



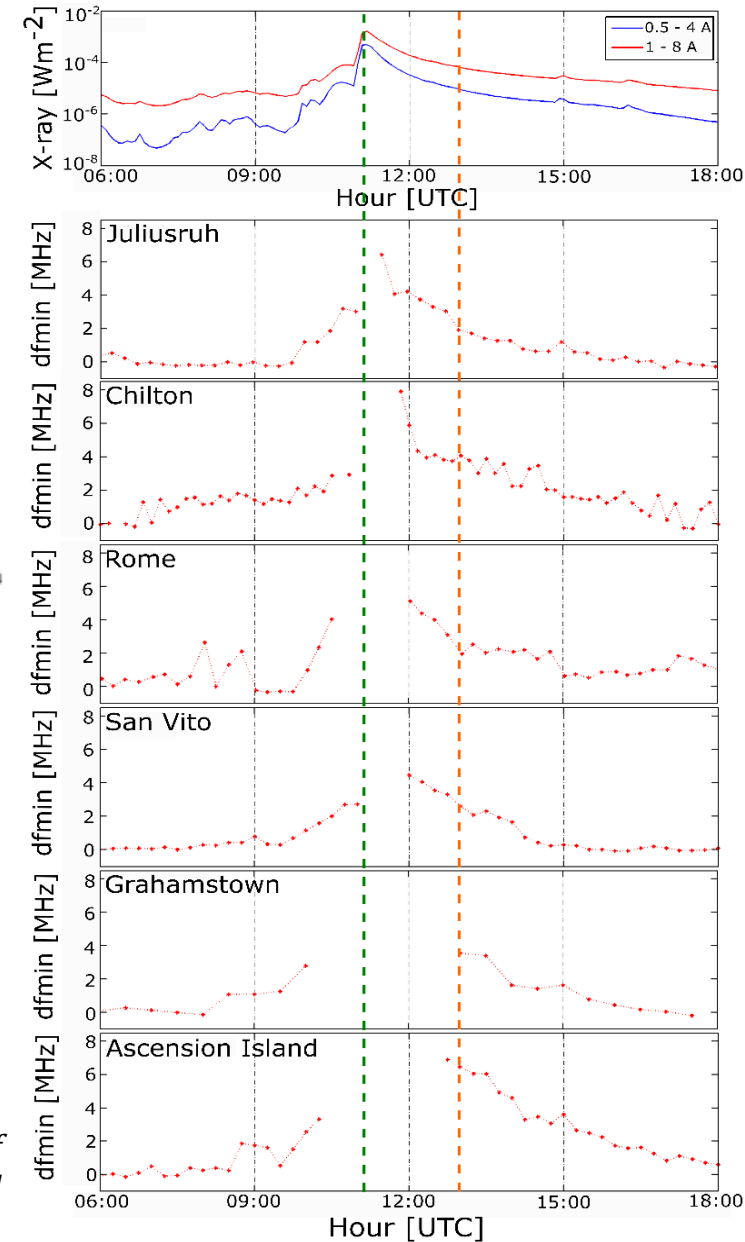
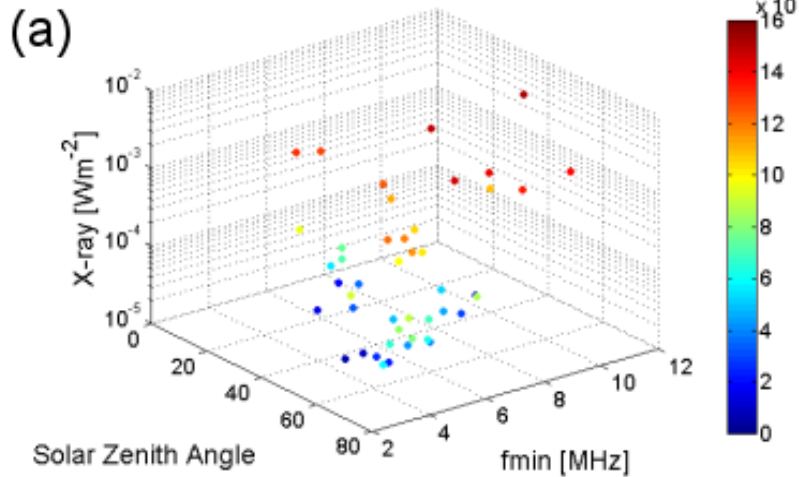
Flerek ionoszférára gyakorolt hatása

Nyolc X és M típusú fler ionoszférikus abszorpcióra gyakorolt hatásának vizsgálata

Pl.: 2003. 10. 28. (Halloween vihar):

- Rádióhullámok teljes elnyelődése: kisebb zenitszög esetén hosszabb ideig tart
- **fmin** paraméter (ionoszférikus abszorpció indikátora): az elnyelődés előtt és után fmin értéke megnő (megnövekedett abszorpció)

fmin értéke függ a fler erősségétől és az állomás zenitszögétől:



Barta, V., Satori, G., Berényi, K. A., Kis, Á., & Williams, E. (2019, August). Effects of solar flares on the ionosphere as shown by the dynamics of ionograms recorded in Europe and South Africa. In *Annales Geophysicae* (Vol. 37, No. 4, pp. 747-761).



Köszönöm a figyelmet!