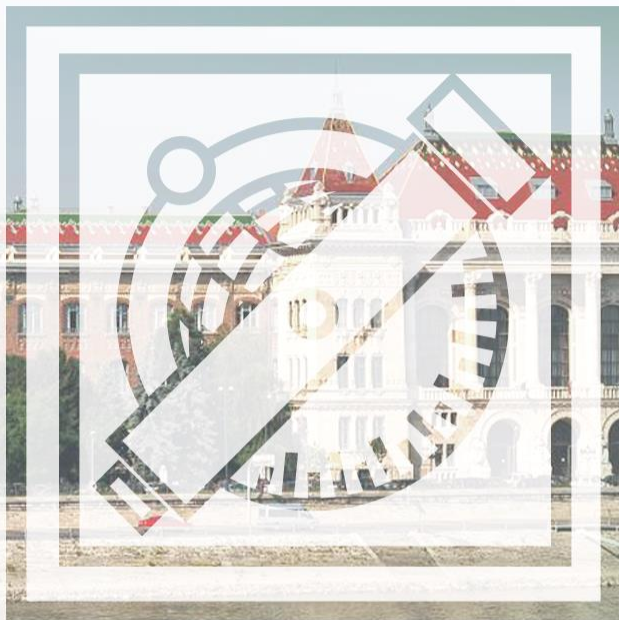




AZ IONOSZFÉRA GNSS MÉRÉSEKRE GYAKOROLT HATÁSA

*GNSS Fórum
MMK Geodéziai és Geoinformatikai Tagozat*

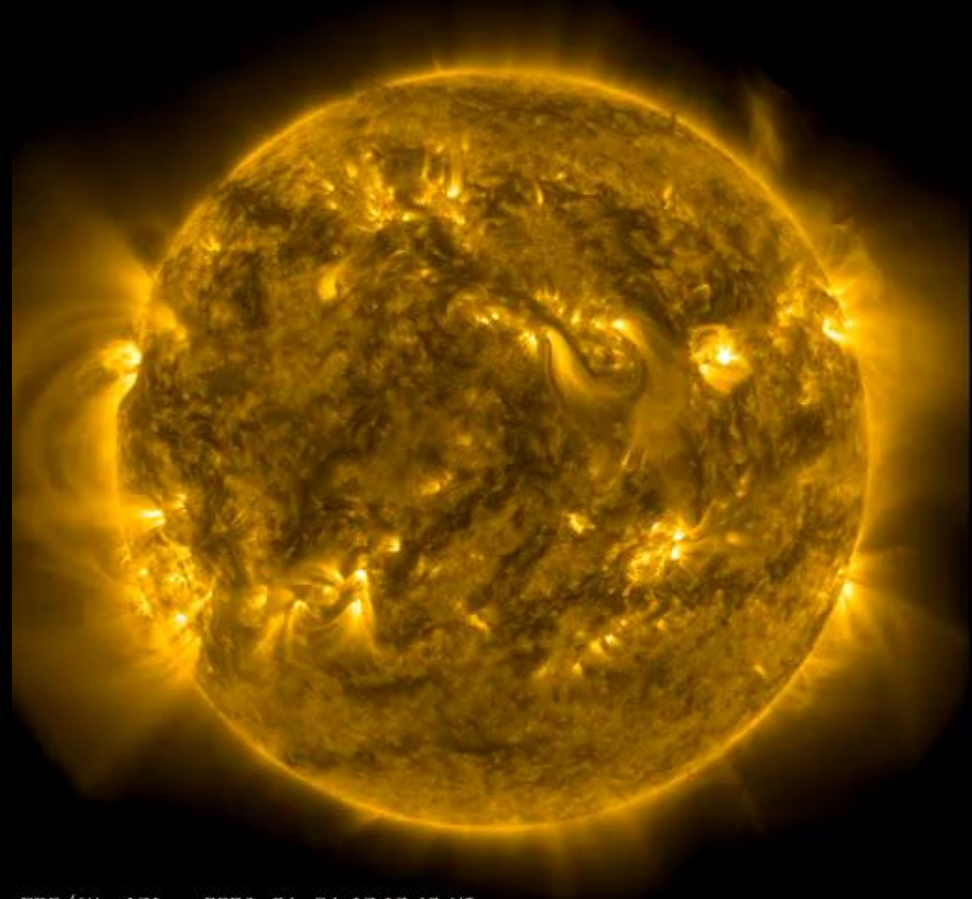
*Rózsa Szabolcs
2023. Április 12.*



BUDAPESTI MŰSZAKI
ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Építőmérnöki Kar - építőmérnöki képzés 1782 óta

Általános és Felsőgeodézia Tanszék

NAPFOLTTEVÉKENYSÉG



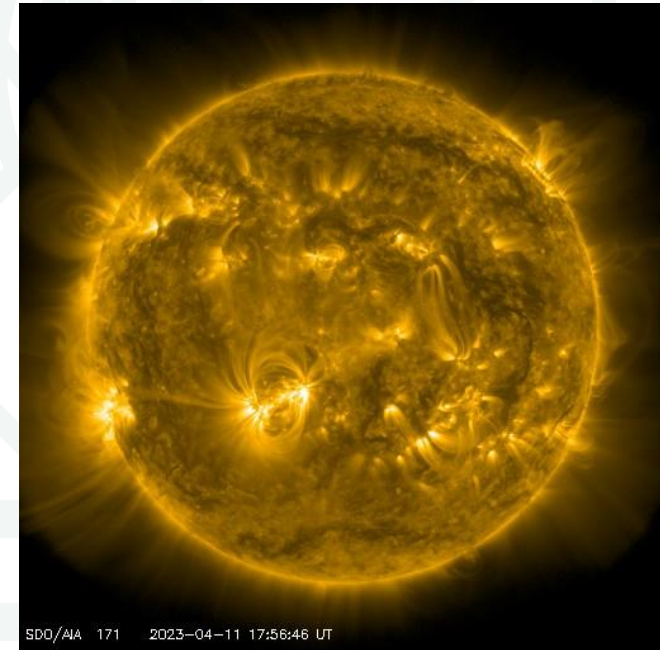
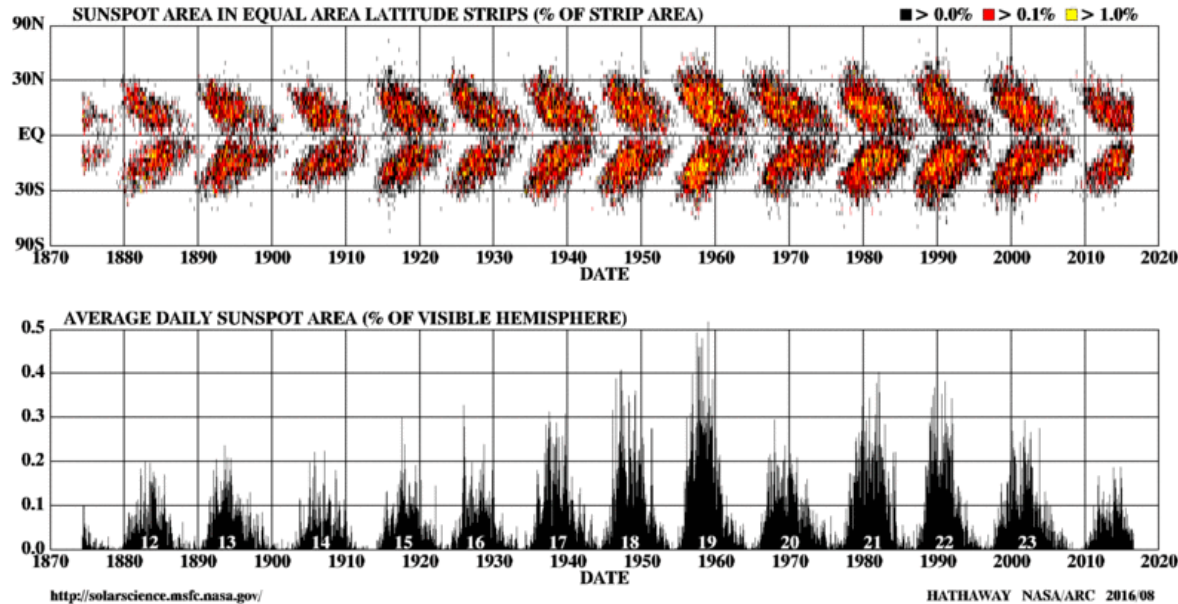
SDO/AIA 171 2023-04-04 17:17:46 UT

SDO/AIA 171 2023-04-04 17:17:46 UT

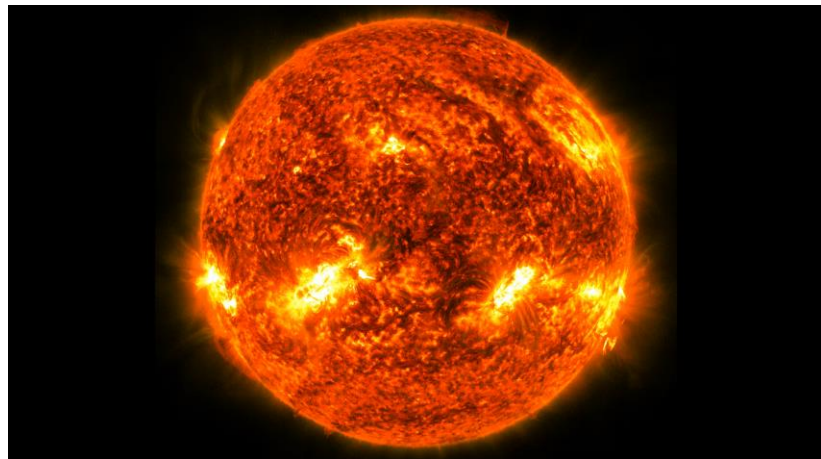


NAPCIKLUSOK FEJLŐDÉSE

DAILY SUNSPOT AREA AVERAGED OVER INDIVIDUAL SOLAR ROTATIONS



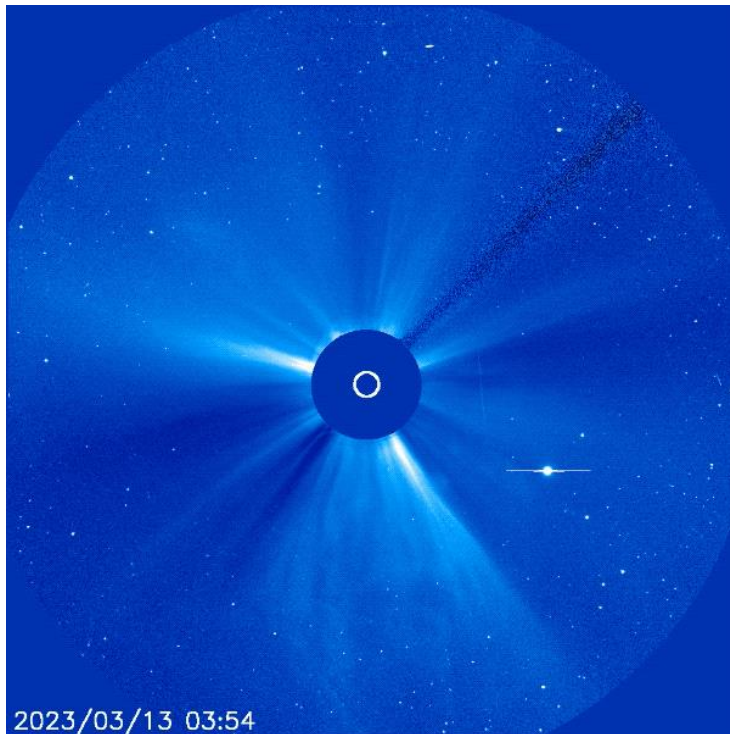
FLEREK, KORONAKIDOBÓDÁS (CME)



Flerek:

- a naplégkör egy korlátozott részének hirtelen kifényesedése a röntgentartományban
- mágneses átkötődések során a mágneses energia hirtelen felszabadulása okozza
- két irány: a Nap belseje és a bolygóközi tér felé
- nő a Földet érő röntgen és a gammasugárzás és nőhet a részecskesugárzás is

FLEREK, KORONAKIDOBÓDÁS (CME)



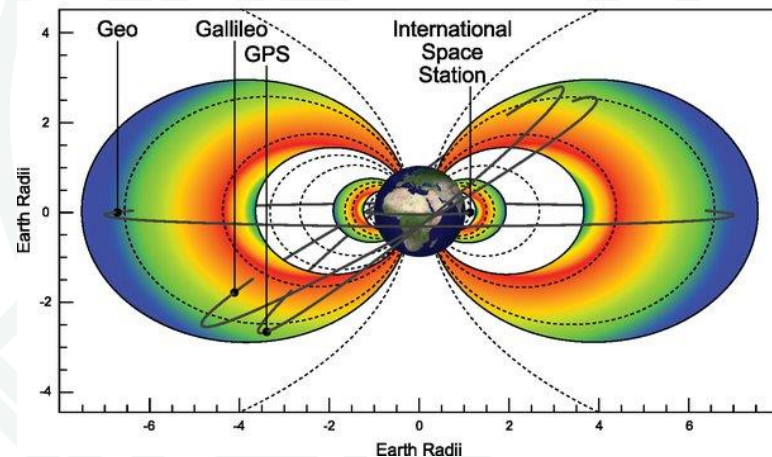
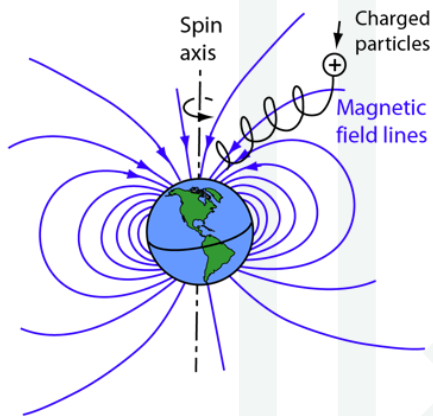
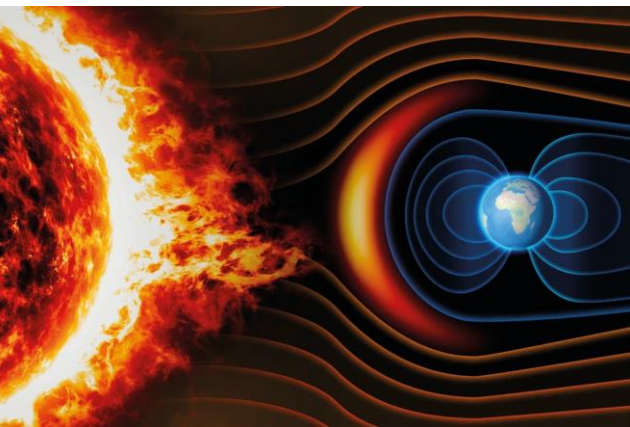
NASA/ESA/SOHO

Koronakidobódások:

- A Napkorona egy darabja nagy sebességgel kidobódik a bolygóközi térbe egy mágneses felhőt alkotva
- Mágneses vihart okoznak a Földön
- Van Allen övekben található részecskék a Földi mágneses pólus környezetében bejutnak a légkörbe

https://blogs.nasa.gov/sunspot/wp-content/uploads/sites/289/2023/03/SOHO_Mar13_2023_CM_E.gif

A FÖLD MÁGNESES TERE



Belső van Allen sugárzási öv: 6000-12000 km, protonok
Külső van Allen sugárzási öv: 25000-45000 k, elektronok

AZ IONOSZFÉRA SZERKEZETE

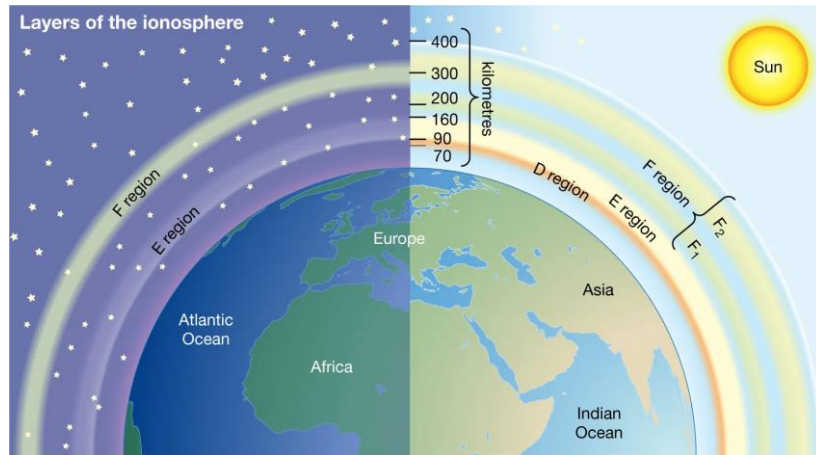
A Napból érkező részecskesugárzást döntően "elfogja" a magnetoszféra, a röntgen és az UV sugárzás azonban eléri a Föld légkörét.

Ionizáló sugárzás -> légköri gázok -> szabad elektronok

Szabad elektron tartalom napi, évszakos és 11 éves periódus

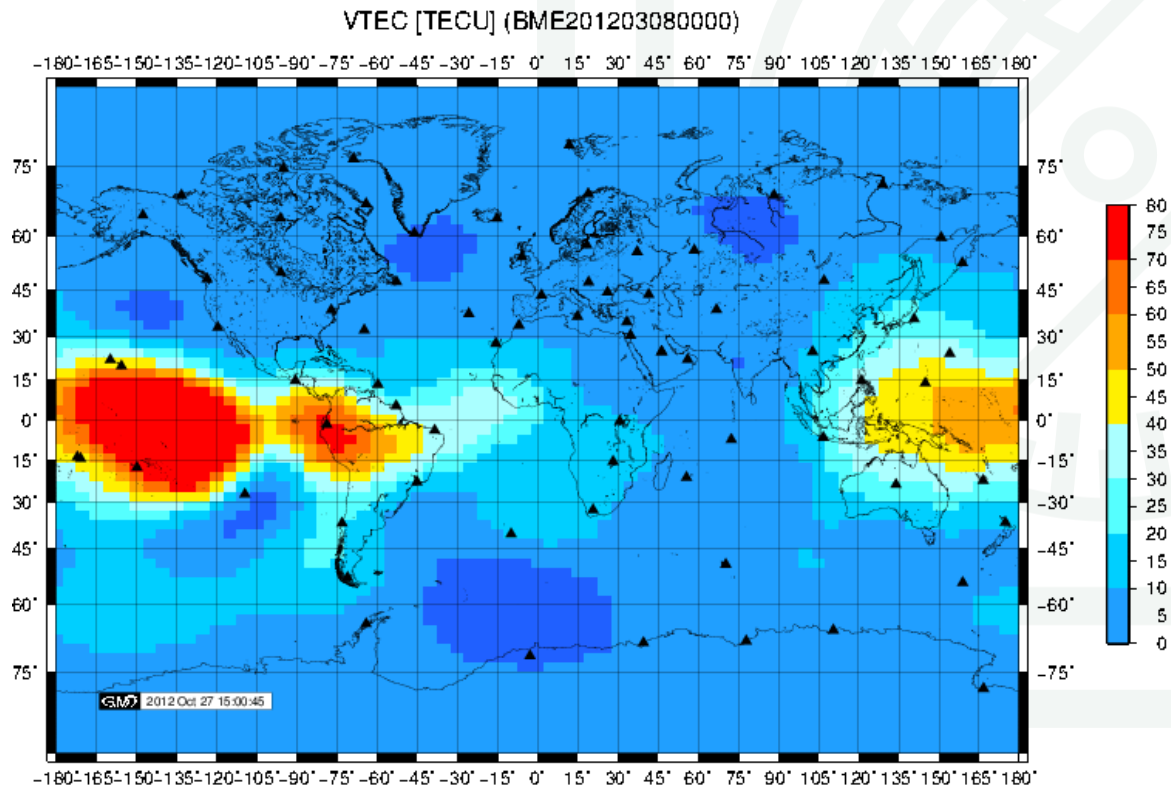
Éjszaka is van ionizáció a kozmikus sugárzás miatt

- D-réteg: UV sugárzás NO
- E-réteg: UV és lágy röntgensugárzás O₂
- F-réteg: O és H



© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.

AZ IONOSZFÉRA SZERKEZETE



AZ IONOSZFÉRA HATÁSA A GNSS JELEK TERJEDÉSÉRE

Diszperzív közeg - az elektromágneses hullám terjedési sebessége függ a frekvenciától

Fázissebesség (fázismérések):

$$v_f = \lambda \cdot f$$

Csoportsebesség (kódmérések):

$$v_f = \frac{c}{n_f} \quad \text{és} \quad v_{cs} = \frac{c}{n_{cs}}$$

$$v_{cs} = -\frac{df}{d\lambda} \lambda^2$$

AZ IONOSZFÉRA HATÁSA A GNSS JELEK TERJEDÉSÉRE

$$n_f = 1 + \frac{c_2}{f^2} + \frac{c_3}{f^3} + \frac{c_4}{f^4} + \dots$$

Fázismérés

Kódmérés

Törésmutató

$$n_f = 1 + \frac{c_2}{f^2}$$

$$n_{cs} = 1 - \frac{c_2}{f^2}$$

Ionoszférikus hatás

$$\Delta_f^{Iono} = -\frac{40,3}{f^2} TEC$$

$$\Delta_{cs}^{Iono} = \frac{40,3}{f^2} TEC$$

IONOSZFÉRA MENTES LINEÁRIS KOMBINÁCIÓ (L3)

$$\Phi_{L3} = \underbrace{\frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2}}_{2,55} \Phi_{L1} - \underbrace{\frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2}}_{-1,55} \Phi_{L2}$$

ahol (az órahibák elhanyagolása esetén):

$$\Phi_{k,L_1}^j = \rho_k^j + \lambda_{L_1} N_{k,L_1}^j + T_k - I_k^j + v_{\Phi_{k,L_1}^j}$$

$$\rho_k^j = \sqrt{(X^j - X_k)^2 + (Y^j - Y_k)^2 + (Z^j - Z_k)^2}$$

IONOSZFÉRA MENTES LINEÁRIS KOMBINÁCIÓ (L3)

Ionoszféra hatása az L3 lineáris kombináción:

$$\Delta_{\Phi_{L1}}^{Iono} = -\frac{40,3}{f_1^2} TEC$$

$$\Delta_{\Phi_{L2}}^{Iono} = -\frac{40,3}{f_2^2} TEC$$

$$\Delta_{\Phi_{L3}}^{Iono} = -\frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \frac{40,3}{f_1^2} TEC + \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \frac{f_1^2}{f_2^2} \frac{40,3}{f_1^2} TEC$$
$$= 0$$

Megjegyzések:

- abbahagytuk a sorfejtést az 1. tagnál – magasabbrendű ionoszféra hatásokat elhanyagoltuk
- rövid hullámhossz és nagyobb mérési zaj -> ciklustöbbértelműség feloldása nehezebb, rövid bázisvonalakon inkább L1!
- L5 (Wide-lane lineáris kombináció) -> ez már nem ionoszféra mentes!

IONOSZFÉRIKUS SEBESSÉGMÓDOSÍTÓ HATÁSOK MEGHATÁROZÁSA GNSS MÉRÉSEKBŐL

A geometria mentes lineáris kombináció (L4):

$$L4 = \Phi_{L1} - \Phi_{L2}$$

$$\begin{aligned}\Phi_{k,L_1}^j &= \cancel{\rho_k^j} + \lambda_{L_1} N_{k,L_1}^j + \cancel{T_k} - I_{k,L_1}^j + v_{\Phi_{k,L_1}^j} \\ \Phi_{k,L_2}^j &= \cancel{\rho_k^j} + \lambda_{L_2} N_{k,L_2}^j + \cancel{T_k} - \frac{f_1^2}{f_2^2} I_{k,L_1}^j + v_{\Phi_{k,L_1}^j}\end{aligned}$$

Ciklustöbbértelműség feloldás után:

$$L4 \approx -\left(1 - \frac{f_1^2}{f_2^2}\right) I_k^j = 40,3 \left(\frac{f_2^2 - f_1^2}{f_1^2 f_2^2}\right) STEC$$

MAGASABB RENDŰ IONOSZFÉRIKUS SEBESSÉGMÓDOSÍTÓ HATÁSOK (BASSIRI-HAJJ, 1993)

$$n_f = 1 + \frac{c_2}{f^2} + \frac{c_3}{f^3} + \frac{c_4}{f^4} + \dots$$

Elsőrendű hatás:

L1: 0,2-80m

Másodrendű hatás

L3: 0,11mm×TECU

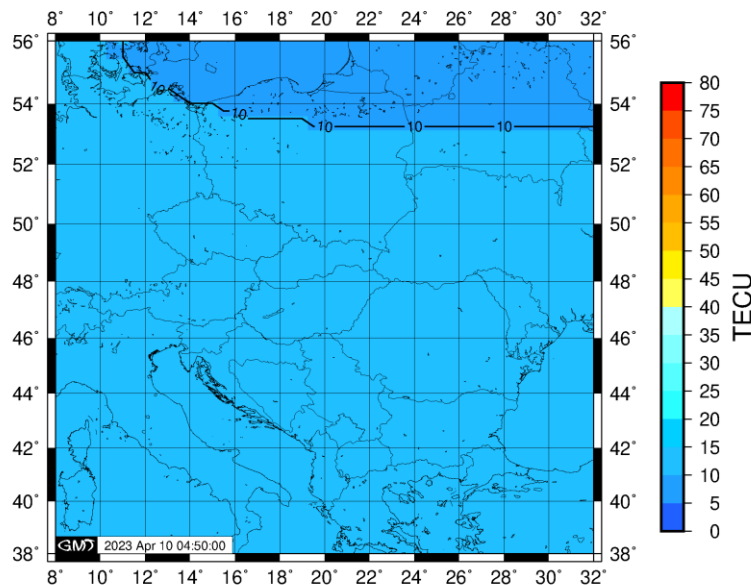
Harmadrendű h.

<1mm

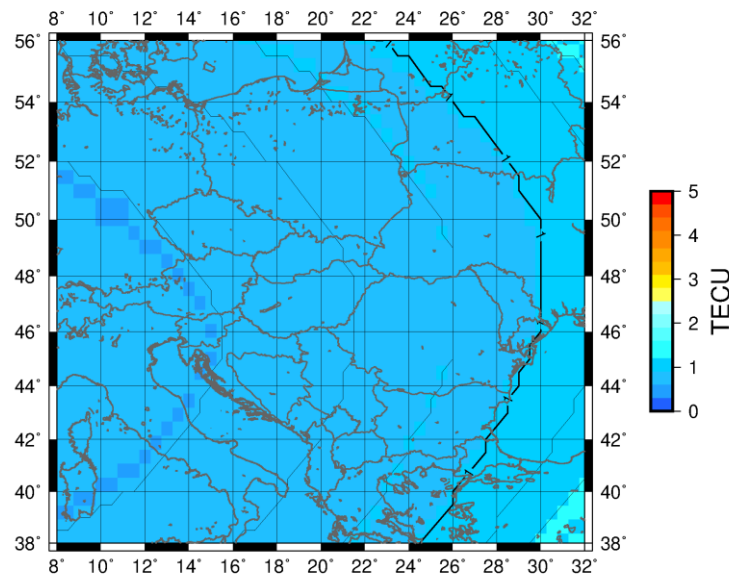
VTEC BECSLÉSEK KÜLÖNFÉLE FELDOLGOZÁSI STRATÉGIÁKKAL

GPS+GLO+GAL

VTEC (2023-100 01UTC)



VTEC RMS (2023-100 01UTC)



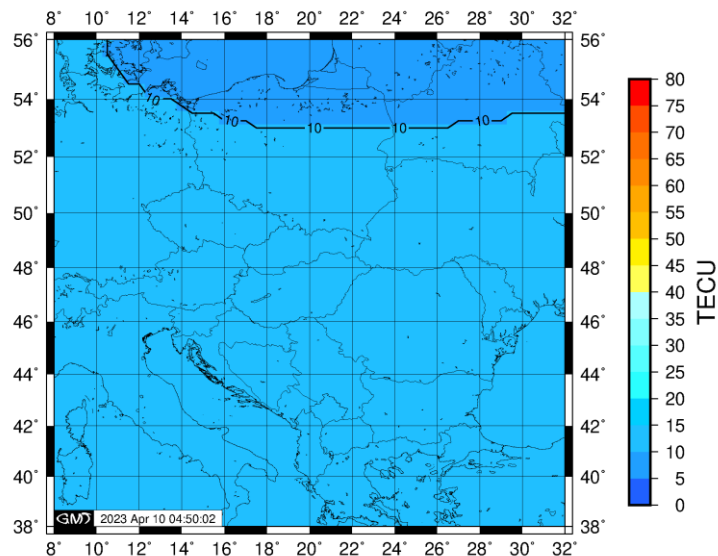
Aktuális animált ionoszféra térképek GPS, GLONASS és Galileo észlelések felhasználásával:

http://gpsmet.agt.bme.hu/img/figion/last_TEC_O_anim.gif

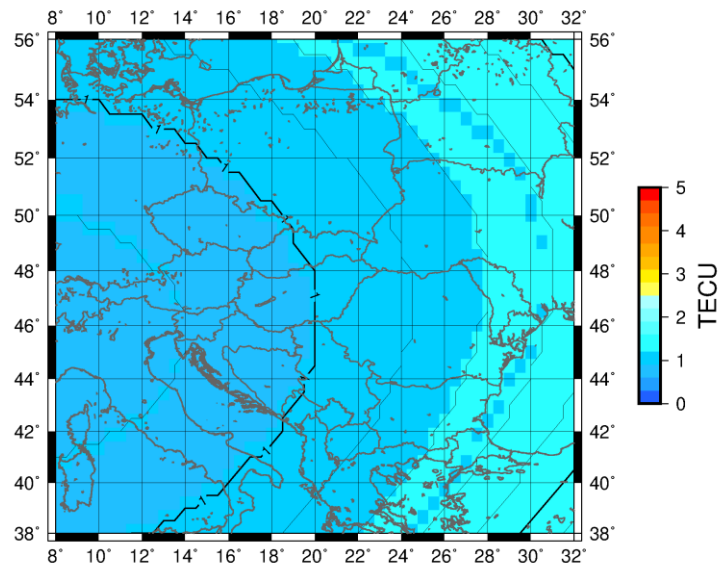
http://gpsmet.agt.bme.hu/img/figion/last_RMS_O_anim.gif

VTEC BECSLÉSEK KÜLÖNFÉLE FELDOLGOZÁSI STRATÉGIÁKKAL

VTEC (2023-100 01UTC)



VTEC RMS (2023-100 01UTC)

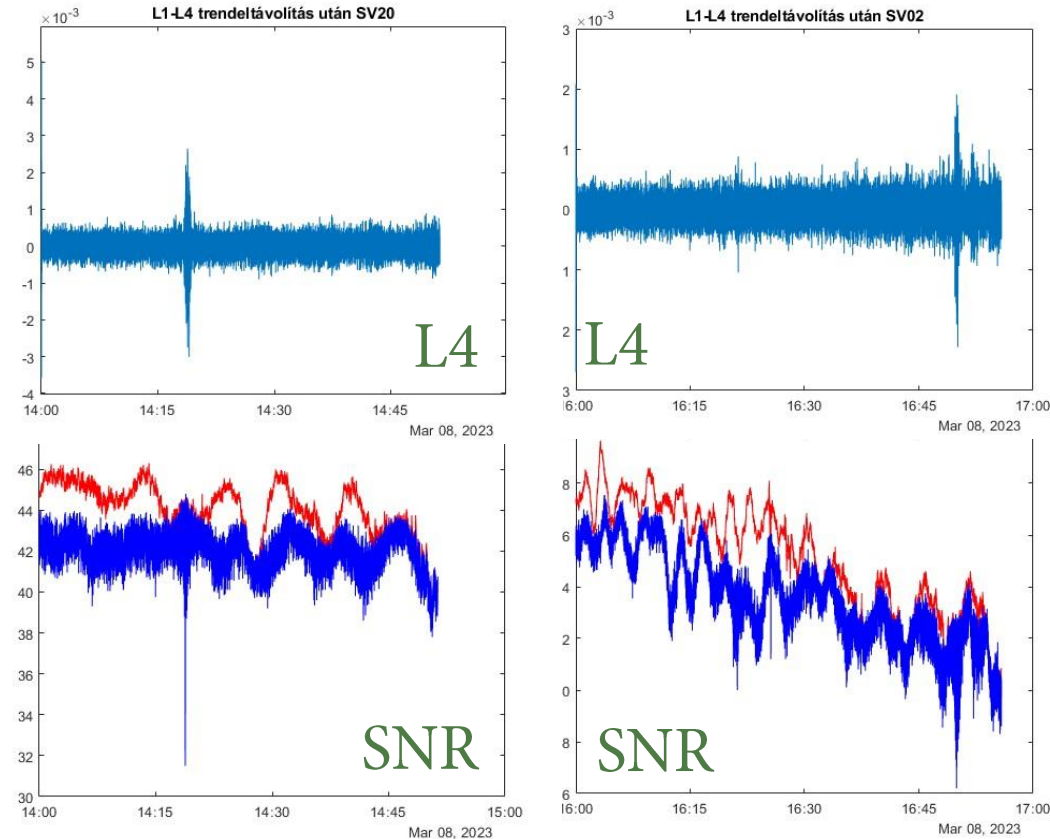


Aktuális animált ionoszféra térképek GPS és GLONASS észlelések felhasználásával:

http://gpsmet.agt.bme.hu/img/figion/last_TEC_R_anim.gif

http://gpsmet.agt.bme.hu/img/figion/last_RMS_R_anim.gif

IONOSZFÉRIKUS SZCINTILLÁCIÓ



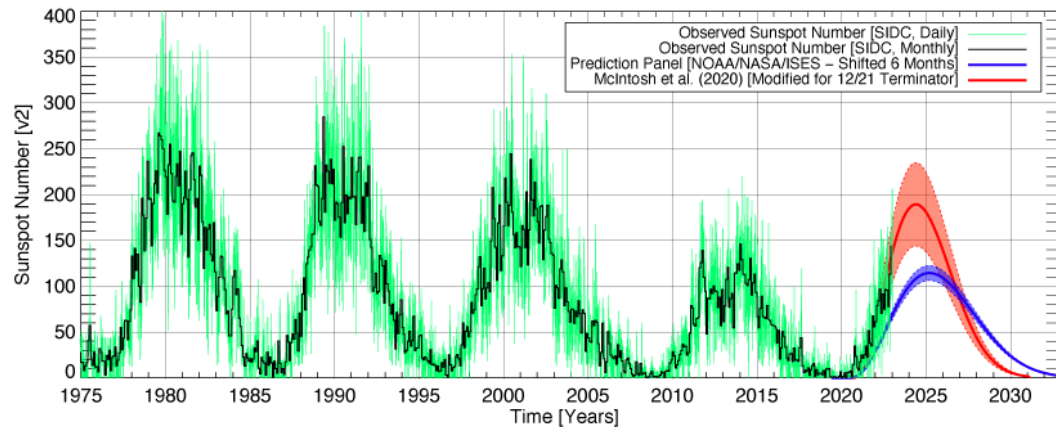
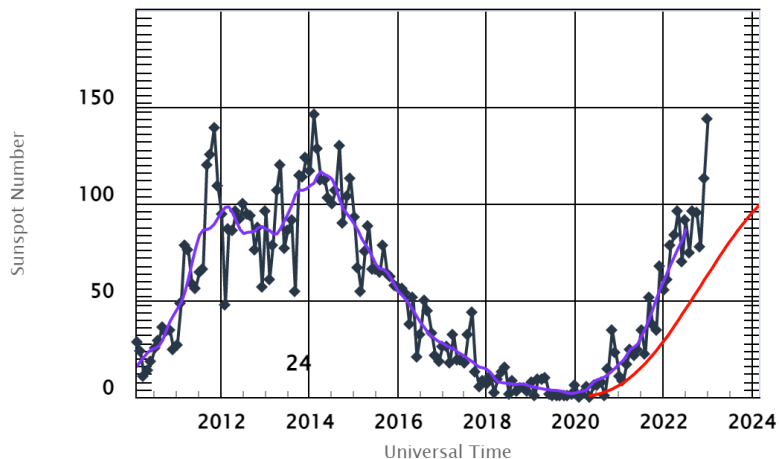
Az ionoszféra finomszerkezete miatt az elektromágneses hullámok elhajolnak, szóródnak, így az antenna a különböző úton érkező hullámok interferenciáját érzékeli:

- fáziseltérést (távolságmérési hibát) és
- teljesítményeltérést okoz (jel/zaj viszony esik)

Budapest, 2023.03.08

A 25. NAPCIKLUS EDDIGI TAPASZTALATAI

ISES Solar Cycle Sunspot Number Progression



Space Weather Prediction Center

ÖSSZEGZÉS

- A korábbi napciklusnál nagyobb számú napfoltra számíthatunk, az ionoszféra okozta hatások is erősödni fognak
- Ionoszféra modellezés szempontjából fontos:
 - *4 konstellációs hálózat*
 - *hálózat kiterjedésének a növelése*
 - *időbeli felbontás javítása*
- Felhasználói oldalról:
 - *Minél több műholdrendszer egyidejű vétele*
 - *Ne feledjük otthon a mérőállomást*

Köszönöm a figyelmet!



BME Általános és Felsőgeodézia Tanszék

www.geod.bme.hu

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.