

Berényi Kitti Alexandra

**Az űridőjárási folyamatok hatása a
magnetoszféra és ionoszféra állapotára**
- A 24. nappciklus maximum időszakának vizsgálata -

Doktori értekezés tézisei

Témavezető:

Dr. Kis Árpád

*Tudományos főmunkatárs,
HUN-REN Földfizikai és Űrtudományi
Kutatóintézet*

Konzulens:

Dr. Barta Veronika

*Tudományos főmunkatárs,
HUN-REN Földfizikai és Űrtudományi
Kutatóintézet*

Doktori iskola vezetője: **Dr. Turányi Tamás**

Doktori program neve: **Környezetfizika program**

Doktori program vezetője: **Dr. Horváth Ákos**



ELTE

EÖTVÖS LORÁND
TUDOMÁNYEGYETEM

Természettudományi Kar

Környezettudományi Doktori Iskola

Budapest, 2024

DOI azonosító: 10.15476/ELTE.2024.008

1. Bevezetés

A Föld plazmakörnyezetén belül (ionoszféra, plazmaszféra, magnetoszféra) minden régió szoros kapcsolatban áll egymással. Külső kényszer hatására az egyes plazmarétegekben perturbációk figyelhetők meg. Minden olyan fizikai hatás, amely a napszélben, a Földet körülvevő külső és belső magnetoszférában, az ionoszférában és / vagy a termoszférában mérhető változást idéz elő, űridőjárási folyamatnak nevezhető. A naptevékenységhez kötődő intenzív események, mint a bolygóközi koronaanyag-kidobódások (ICME - Interplanetary Coronal Mass Ejection) és a nagy sebességű napszél nyalábok (SIR/CIR - Stream Interaction Region/Corotating Interaction Region), a Földünkhöz érve ún. geomágneses viharokat okoznak a bolygó plazmakörnyezetében.

Az ionoszférikus F-réteg rendelkezik a föld körüli térségben a legnagyobb elektronsűrűséggel, emiatt ebben a rétegben a legmarkánsabbak az űridőjárási események okozta változások. Geomágneses viharok során az ionoszférában okozott zavarok az ionoszféra viharok, amelyek időtartama 1-10 nap is lehet. A nyugodt napokhoz viszonyított eltérést tekintve beszélhetünk pozitív (elektronsűrűség növekedéssel járó) és negatív (elektronsűrűség csökkenéssel járó) ionoszféra viharról. A földi modern technológiára is nagy hatással lehetnek ezen viharesemények, zavart okozhatnak például a navigációs rendszerekben, vagy a rádió- és műholdas kommunikációban. Emiatt az űridőjárási viharesemények előrejelzése kiemelt szerepben van. Az évek során az ionoszféra általános viselkedését a geomágneses viharok idején átfogóan tanulmányozták, azonban minden egyes űridőjárási esemény és az érintett folyamatok egyediak. Valamint a szakirodalomban ritkák a több műszerrel végzett esettanulmányok, amik azonban döntő fontosságúak lehetnek a földi plazmakörnyezet különböző régiói közötti csatolási mechanizmusok megértéséhez a geomágneses viharok idején.

Mivel még a pontos hatásmechanizmusok nem teljes egészében ismertek, így az általam is elvégzett esettanulmányok tudnak új eredményekkel szolgálni főleg több műszeres vizsgálatot alkalmazva. A kollektív tudásunk mélyítése ezen a kutatási területen kiemelten fontos, különösen az űridőjárási események hatásainak előrejelzése céljából.

2. Előzmények, kutatási célkitűzések

A geomágneses vihar az ionoszférában összetett változásokat eredményez globálisan, ez az ún. ionoszférikus vihar. A változások geomágneses szélességek szerint különbözőek. Doktori kutatásom alatt főként a közepes szélességű (38°-55° É földrajzi szélességű) ionoszféra

változásaira fókuszáltam, azon belül is a kontinentális Európa feletti régióra. A folyamatok jobb megértése céljából meridionális állomáshálózat adatait is megvizsgáltam, mivel az ionoszférikus vihar hatása északról dél felé vonuló mintázatot mutat.

A doktori kutatásom elsődleges feladata a földi telepítésű műszerek (pl. ionoszonda) és a műholdakról származó adatok (pl. ACE, Swarm, TIMED) feldolgozása és komplex értelmezése volt. Célom a geomágneses viharok során a Föld körüli plazmakörnyezetben, elsősorban az ionoszférában bekövetkező változások meghatározása, a kapcsolódó háttérfolyamatok megértése, ismereteink ez irányú kibővítése volt.

Fő célom volt, hogy a napkitörési eseményekhez (ICME és SIR/CIR) köthető zavarok hatását vizsgáljam az összetett Föld körüli termoszféra-ionoszféra-plazmaszféra rendszerben, és a perturbációkat okozó lehetséges kulcs folyamatokat meghatározzam a 24. napciklus maximum időszakában (2012-2015) Európa felett. Emellett célom volt még, hogy meghatározzam, hogyan függ a geomágneses vihar erősségétől és fizikai jellemzőitől a földi plazma környezetben okozott hatás. A megállapításaim hozzájárulhatnak az empirikus űridőjárás előrejelző szoftverek pontosításához.

3. Elvégzett vizsgálatok

Doktori kutatásom első lépéseként egy esettanulmányban vizsgáltam három, ICME-hez kapcsolódó geomágneses vihar által bekövetkező elektronsűrűség-változásokat az ionoszféra szporadikus E (Es)- és F2-rétegében. Az adatok a Nagycenki Széchenyi István Geofizikai Observatórium ionoszondejából (Sopron állomás, földrajzi szélesség: 47,63°, geomágneses hosszúság: 16,72°), illetve nemzetközi adatbázisokból származtak. Az ionogramokat kézzel skáláztam az ionoszféra paraméterek meghatározásához, és elemeztem az eredményeket témavezetőim javaslatai alapján is [3].

A vizsgálatok folytatásaként több műszer mérési adataival elemeztem két intenzív ICME okozta geomágneses vihar hatását Európa felett, hogy pontosan meghatározzam a földi termoszféra-ionoszféra-plazmaszféra rendszer közötti kapcsolatokat. Öt mérőállomás adatait használtam fel, nevezetesen (északról dél felé): Juliusruh (JR, 54,6° É, 13,4° K), Pruhonice (PQ, 50° É, 14,6° K), Sopron (SO, 47,63° É, 16,72° K), Róma (RO, 41,8° É, 12,5° K) és Athén (AT, 38° É, 23,5° K). Az ionoszonda/Digiszonda által mért F-réteg elektronsűrűség, látszólagos magasság (foF2 és h'F2 paraméter) és drift adatainak, a földi globális navigációs műholdrendszer, a teljes elektrontartalomból (GNSS TEC- Global Navigation Satellite System Total Electron Content) és a teljes elektrontartalom különbségének arányából (rTEC- ratio of

Total Electron Content) készült térképek, a TIMED (GUVI -Global Ultraviolet Imager- műszer O/N₂ mérései) és Swarm-műhold adatainak kombinált elemzését végeztem el. Ez a módszer egyedülálló módon tette lehetővé a közepes szélességű ionoszféra vályú (MIT-Midlatitude/Main Ionospheric Trough, ami a plazmapauza (PP) ionoszférikus lábnyomával egyezik meg) időbeli kifejlődésének és mozgásának nyomon követését. Ezen általam szervezett kooperatív kutatásban három magyar (Heilig Balázs, Barta Veronika és Kis Árpád) és két cseh (Jaroslav Urbar és Daniel Kouba) kolléga is részt vett. A folyamatot végig én koordináltam, az ionoszférikus adatokat, az rTEC térképeket, valamint TIMED (GUVI) adatokat saját kezűleg készítettem elő, dolgoztam fel és elemeztem. A Swarm adatokat a MIT pozíciójával együtt Heilig Balázs számította ki és ábrázolta, a GNSS TEC adatokat Jaroslav Urbar készítette elő, a Digiszonda drift adatokat pedig Daniel Kouba manuálisan ellenőrizte. Az eredményeket a komplex elemzéshez összesítettem, és átfogóan diszkutáltam a megjelent cikkemben [2].

Kutatásom következő lépéseként az ICME-khez és a SIR/CIR-ekhez köthető zavarok F2-rétegre gyakorolt hatását vizsgáltam és hasonlítottam össze a 24. napciklus maximum időszakában (2012. november – 2014. október) Európa felett. Ehhez összeállítottam két egyedi listát külön az ICME- és SIR/CIR- okozta eseményekre vonatkozóan. A listákat validálta két kutatótársam a Wigner Fizikai Kutatóközpontból (Opitz Andrea és Dálya Zsuzsanna), akik megjelent cikkem társszerzői is. A lista a Mendeley Data repozitóriumban is publikálva lett [4]. Ezen részletes és egyedi lista alapján végeztem és tervezem végezni jövőbeni kutatásaimat. A doktori alatt publikált kutatáshoz 42 tiszta ICME- és 34 tiszta SIR/CIR-eseményt választottam ki. Az egyes geomágneses viharidőszakok évszakok, napszakok és a Dst_{min} helyi ideje szerint lettek csoportosítva, és három különböző módszerrel elemezve: lineáris korrelációs elemzés az foF2 paraméterek és a geomágneses indexek 4 órás átlagai között (1.), a referencia értékektől való százalékos eltérés, az ún. deltafoF2 paraméter napi változása (2.) és 3D ábrázolás: geomágneses indexek az idő és a deltafoF2 függvényében (3.). Az ICME- és a SIR/CIR-indukálta geomágneses viharok főfázisának napja volt a fókuszban az elemzés során, tehát 24 órás időintervallumot vizsgáltam [1].

Kiemelendő, hogy doktori képzésem alatt elsajátítottam az ionoszonda/Digiszonda adatok kézi kiértékelését, amit Magyarországon 3-an tudunk jelenleg elvégezni, és világszinten is korlátozott számú kutató képes rá.

4. Összegzés, tézisek

- 1) Három ICME-indukálta geomágneses vihar ionoszférikus hatását vizsgáltam Sopron állomáson.
- a) Meghatároztam az foF2 százalékos eltérését az átlagos nyugodt napi értékhez képest. Pozitív változást mutattam ki a hajnali órákban, amelyet a vizsgálatok szerint nem befolyásol a geomágneses vihar erőssége, míg az alkony hatás (elektronsűrűség növekedés a naplemente körül) egyértelműen arányos összefüggést mutat a geomágneses vihar erősségével a vizsgált események tekintetében a három vizsgált esetben, ugyanabból az 5 nyugodt napból számított referencia átlagot alkalmazva.
 - b) Két esetben mutattam ki az F-réteg rendkívüli elektronsűrűség csökkenését Európa felett a geomágneses vihar főfázisában, az éjszakai órákban: a 2012. november 14-ei viharnál, amikor az ionoszférikus viharfázis negatív volt napközben és a $Dst_{min} < -100$ nT; a 2015 március 17-ei viharnál, amikor pozitív ionoszférikus vihar volt a nappali órákban, és a $Dst_{min} < -200$ nT. Az F2-réteg elektronsűrűsége a fent kiemelt időszakokban a detektálhatósági szint alá csökkent, azaz a plazmafrekvencia 1,9 MHz alá csökkent, ami $4,5 \cdot 10^4 \frac{1}{cm^3}$ elektronsűrűségnek felel meg.
 - c) Eredményeim szerint nem az Es-réteg jelentléte okozza az F-réteg „eltűnését” az éjszakai órákban, mivel nem takarja el az F-réteget. Másrészt eredményeim alapján a geomágneses vihar nagysága érzékelhetően befolyásolja a sporadikus E-réteg aktivitását a vizsgált három esetben: a vihar erősödésével az Es-réteg intenzitása csökken a legintenzívebb geomágneses vihar során az foEs paraméter a detektálhatósági szint alá csökken.
 - d) A két vihar elemzése által arra a következtetésre jutottam, hogy a hatás a közepes földrajzi szélességen a geomágneses vihar főfázisában, negatív ionoszférikus fázisok idején, az éjszakai órákban a legintenzívebb. Továbbá eredményeim megerősítik azt az általánosan elfogadott elképzelést, hogy csak intenzív geomágneses viharok ($Dst_{min} < -100$ nT) képesek olyan léptékű elektronsűrűség csökkenést kiváltani, hogy a rétegek eltűnnek az ionogramokról. A h'F2 és foEs paraméterek elemzése is alátámasztja ezt az állítást.

Kapcsolódó publikáció: [2,3]

- 2) Kidolgoztam egy új módszert az európai meridionális állomáshálózat foF2, F-réteg drift, az rTEC és a Swarm mérések kombinált elemzésével a viharidőszaki jellemző ionoszférikus struktúrák (mint a közepes szélességi ionoszféra vályú (MIT, ami a plazmapauza ionoszférikus lábnyoma)) kimutatására, fejlődésének és mozgásának nyomon követésére.

Kapcsolódó publikáció: [2]

- 3) A kidolgozott módszerrel folytatott vizsgálataim során a következő jelenségeket mutattam ki Európa fölött a 24. napciklus két legnagyobb geomágneses viharának főfázisa során:

- a) 2012. november 14-én az foF2 adatokban a negatív fázis rendkívül jelentős minden állomáson 6 UT-tól a délutáni órákig. A GUVI adatok alapján ez a hatás az O/N₂ arány a nap folyamán végbemenő nagyon erős csökkenésével függ össze.
- b) Vizsgálataim alapján 2012. nov. 14-én éjszaka a JR, PQ, SO állomásokon észlelt negatív fázis kialakulásának elsődleges oka a közepes szélességű ionoszféra vályú (MIT) jelenléte volt. Az rTEC térképek és a PQ-n végzett F-réteg drift mérések is megerősítik az éjszakai vályú jelenlétét. Emellett a GUVI-adatok alapján úgy tűnik, hogy a nappali összetétel zavartsági zóna az éjszaka folyamán az egyenlítő felé terjedt, hozzájárulva a kifejezettebb elektronsűrűség-csökkenéshez. A MIT (egybeesik a PP ionoszférikus lábnyomával) az rTEC térképek és az foF2 adatok alapján valószínűleg elérte a soproni szélességet november 14-én éjjel. Ezzel szemben az AT és RO a plazmaszférán belül maradt, ami az foF2 növekedéseként jelent meg.
- c) 2015. március 17-én JR állomás kivételével minden állomáson nappali pozitív ionoszférikus vihar alakult ki.

Az foF2, Swarm és GUVI adatok együttes elemzéséből arra a következtetésre jutottam, hogy a JR-nél kialakult negatív fázis főként a közepes szélességű ionoszféra vályú (MIT) napközbeni egyenlítő felé irányuló mozgásának, és nem az O/N₂ arány csökkenésének a következménye.

Feltételezhető, hogy a pozitív fázis kialakulásának oka főként a sarki termoszféra Joule-fűtésével kapcsolható össze, amely a plazmát a megerősödött egyenlítő felé irányuló szelek révén olyan magasságokba emelte, ahol az ionok rekombinációja lassabb. A megfigyelt virtuális magasságváltozások (h'F2) és a függőleges F-réteg drift adatok a korábbi tanulmányokkal együtt szintén megerősítik a felemelkedési scenáriót.

- d) A Swarm adatok a Digiszonda drift méréseivel együtt alátámasztották a hipotézisemet, miszerint az foF2 és a TEC szélsőséges csökkenése 2015. március 17-én éjjel a MIT egyenlítő felé irányuló mozgásához kapcsolódik. A Swarm adatok alapján a MIT

egyenlítői oldala a 42° alatti geomágneses szélességet is elérhette. Tehát megállapítottam, hogy a SO és PQ állomások felett megfigyelt éjszakai szokatlanul kifejezett F-rétegbeli elektronsűrűség csökkenést a MIT jelenléte a lecsökkent O/N₂ aránnyal együtt okozta.

Kapcsolódó publikáció: [2], [3]

4) Három eltérő módszerrel vizsgáltam a különböző forrásokból (ICME vagy SIR/CIR) származó geomágneses viharok F-rétegre gyakorolt hatását az foF2 paraméter statisztikai elemzésével.

a) Az első módszer során a geomágneses indexek és 4 órás átlagos foF2 adatok kapcsolatának erősségét és a közöttük lévő lineáris összefüggést vizsgáltam. Fő következtetéseim: a téli ICME által vezérelt események csökkenő foF2 tendenciát mutatnak a lineáris egyenes illesztéssel a növekvő geomágneses indexek függvényében a hajnali és délelőtti csoportban. Ezzel szemben a délután/alkonyat és éjszakai csoportokban növekvő tendencia figyelhető meg az ICME-indukálta geomágneses viharesemények által. A SIR/CIR-indukálta geomágneses viharesemények esetében nem tudtam egyértelmű tendenciát meghatározni az események kis száma miatt. Ez alapján kimondható, hogy hatnál több eseményre van szükség, ha az foF2 paraméterben bármilyen tendenciát szeretnénk meghatározni bármely geomágneses index függvényében. Nyáron a legtöbb esetben az foF2 csökkenése figyelhető meg a növekvő geomágneses aktivitás függvényében, mind az ICME-, mind a SIR/CIR-vezérelt események esetében. A napéjegyenlőségi események hasonlóan viselkednek, mint a nyáriak, a különbség az, hogy az adatpontok szórtabbak, ezért az illesztés kevésbé megbízható.

A legjelentősebb korrelációk a Dst-index és az foF2 paraméter között voltak a Dst_{min} időpontja szerinti nyári éjszakai csoportok esetében ($R = 0,81$). A lineáris illesztés a Dst-index és az foF2 között a legmegbízhatóbb RMSD alapján, $RMSD = 0,28$ a téli SIR/CIR éjszakai csoportra.

b) A második módszer esetében a két különböző típusú geomágneses vihar során a deltafoF2 paraméter napi menetét vizsgálva megállapítottam, hogy az ICME-indukálta geomágneses viharok nagyobb és szélesebb elektronsűrűség tartományban okozhatnak zavart az F2-réteg elektronsűrűségében mind negatív, mind pozitív irányban, míg a SIR/CIR-vezérelt viharok által okozott hatás mérsékeltebb és kiszámíthatóbb.

Kapcsolódó publikáció: [1]

5. A dolgozat témájával kapcsolatos tudományos közlemények

Doktorihoz közvetlenül kapcsolódó folyóiratcikkek

- [1] Berényi, K.A.; Opitz, A.; Dálya, Z.; Kis, Á.; Barta, V. (2023). *Impact of ICME- and SIR/CIR-Driven Geomagnetic Storms on the Ionosphere over Hungary*. Atmosphere 2023, 14, 1377. <https://doi.org/10.3390/atmos14091377>.
- [2] Berényi, K. A., B. Heilig, J. Urbář, D. Kouba, Á. Kis, V. Barta, (2023). *Comprehensive analysis of the ionospheric response to the largest geomagnetic storms from solar cycle #24 over Europe*, Front. Astron. Space Sci., 24 April 2023 Sec. Space Physics Volume 10 – 2023, <https://doi.org/10.3389/fspas.2023.1092850>.
- [3] Berényi, K. A., V. Barta, Á. Kis, (2018). *Midlatitude ionospheric F2-layer response to eruptive solar events-caused geomagnetic disturbances over Hungary during the maximum of the solar cycle 24: a case study*, Advances in Space Research 61, 1230–1243. <https://doi.org/10.1016/J.ASR.2017.12.021>.

Doktorihoz közvetlenül kapcsolódó adatrepozitórium publikáció

- [4] Berényi, K.A., (2023). *Unique list of clear ICME- and SIR/CIR- related geomagnetic storm events from the maximum of 24 solar cycle (Nov 2012-Oct 2014)* 1. <https://doi.org/10.17632/N245SCJZK4.1>.

Társszerzős folyóiratcikkek

- [5] Bór J.; G., Satori, V., Barta, E., Prácer, T., Bozoki, A., Buzás, K., A. Berényi; D., Koroncay, Á., Kis, I., Lemperger et al. (2022). Hungarian contribution to the research of dynamic processes coupled with the upper atmosphere/ionosphere system (2019-2022) – IAGA DIVISION II: AERONOMIC PHENOMENA GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK / PUBLICATIONS IN GEOMATICS 25 p. 57.
- [6] Barta, V.; Satori, G.; Berényi, K.A.; Kis, Á.; Williams, E., (2019). *Effects of solar flares on the ionosphere as shown by the dynamics of ionograms recorded in Europe and South Africa*, ANNALES GEOPHYSICAE 37: 4 pp. 747-761., 15 p. <https://doi.org/10.5194/angeo-37-747-2019>.
- [7] Barta, V.; C. Haldoupis; G. Satori; D. Buresova; J. Chum; M. Pozoga; K. A. Berényi; J. Bór; M. Popek; Á. Kis; †P. Bencze (2017). *Searching for possible effects of thunderstorms on midlatitude sporadic E layers*, JOURNAL OF ATMOSPHERIC AND SOLAR-TERRESTRIAL PHYSICS 161: pp. 150-159. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2017.06.006>.

Konferencia kötet közlemények

- [8] Kis, Á.; Lemperger, I.; Barta, V.; Berényi, K. A.; Szalai, S.; Novák, A.; Kuslits, L.; Wesztergom, V. (2018). *Sokkoló fizika, avagy mit tudunk a lökéshullámról?*, In: Frey, S (szerk.) Űrtan Évkönyv 2017, Budapest, Magyarország : Magyar Asztronautikai Társaság (2018) 88 p. pp. 41-48., 8p.
- [9] Berényi, K. A., V. Barta, Á. Kis, (2017). *A Si és a Gs típusú geomágneses viharok hatásának összehasonlítása a geomágneses indexek függvényében*, In: Bacsárdi László, Szűcs Eszter, Wesztergom Viktor (szerk.), A Magyar Űrkutatási Fórum 2017 válogatott közleményei. 95 p., 2017.04.05-2017.04.07. Budapest: Magyar Asztronautikai Társaság, pp. 28-31.(ISBN:9789637367151)

- [10] Berényi, K. A., V. Barta, Á. Kis, (2016). *The study of the midlatitude ionospheric response to geomagnetic activity in Nagycenk in Széchenyi István Geophysical Observatory*, H-SPACE 2016: 2nd International Conference on Research, Technology and Education of Space. 76 p., pp. 47-48. (ISBN:9789637367106)
- [11] Barta, V., T. Nagy, K. A. Berényi, G. Pieler, J. Kalmár, K. Kovács, G. Sători, Á. Kis, P. Bencze, (2016). *Ionospheric related research and development at the Geodetic and Geophysical Institute*, In: Bacsárdi L, Kovács K (szerk.), H-SPACE 2016: 2nd International Conference on Research, Technology and Education of Space. 76 p., 2016.02.25-2016.02.26. Budapest: Magyar Asztronautikai Társaság, pp. 27-28. (ISBN:9789637367106)

Válogatott konferencia közlemények

- [12] Berényi, K.A.; Opitz, A.; Dálya, Z.; Kis, Á.; Barta, V. (2023). *Impact of ICME- and SIR/CIR-Driven Geomagnetic Storms on the Ionosphere over Hungary*. ESWW2023, Toulouse, France, 2023. nov.20-24.
- [13] Berényi, K. A.; Heilig B.; J. Urbár; D. Kouba; Kis Á.; Barta V. (2023). *A 24. napciklus legnagyobb geomágnese viharjaira adott ionoszféra-válasz több műszeres elemzése Európa felett*, In: Bacsárdi, László; Barta, Veronika; Szárnya, Csilla; Wesztergom, Viktor (szerk.) Magyar Űrkutatási Fórum 2023: Az előadások kivonatai, Budapest, Magyarország: Magyar Asztronautikai Társaság 60 p. pp. 13.
- [14] Barta, V.; Berényi, K.; Buzás, A.; Kiszely, M.; Szabóné, A. K.; Szárnya, Cs. (2023). *T-FORS (TRAVELLING IONOSPHERIC DISTURBANCES FORECASTING SYSTEM) - magyar részvétellel megvalósuló H2022 projekt*, In: Bacsárdi, László; Barta, Veronika; Szárnya, Csilla; Wesztergom, Viktor (szerk.) Magyar Űrkutatási Fórum 2023: Az előadások kivonatai, Budapest, Magyarország: Magyar Asztronautikai Társaság 60 p. pp. 11.
- [15] Berényi, K. A.; Heilig, B.; J., Urbár; D., Kouba; Kis, Á.; Barta, V. (2022). *Comprehensive analysis of the response of the ionospheric F2-layer to the largest geomagnetic storms from solar cycle #24 over Europe*, In: 18th European Space Weather Week 2022.
- [16] Kis, Á., I. Lemperger, V. Barta, K. A. Berényi, G. Hatos (2022). *The Space Weather Data Monitoring at the Institute of Earth Physics and Space Science (EPSS), Sopron, Hungary*, In: 18th European Space Weather Week 2022, Paper: P 15
- [17] Berényi, K. A.; Heilig, B.; J., Urbár; D., Kouba; Kis, Á.; Barta, V. (2022). *A földbázisú ionoszonda adatok méréseinek összehasonlítása GNSS TEC adatokkal űridőjárási események alkalmával Európában*, Wesztergom Viktor et al. XII. Geomatika Szeminárium. (2022)
- [18] Berényi, K. A.; Kis, Á.; Heilig, B.; J., Urbár; Barta, V. (2022). *Comprehensive analysis of the response of the ionospheric F2-layer to the largest geomagnetic storms from solar cycle #24 over Europe*, 8th IAGA/ICMA/SCOSTEP Workshop on Vertical Coupling in the Atmosphere-Ionosphere System.
- [19] Berényi, K. A.; Kis, Á.; Heilig, B.; J., Urbár; Barta, V. (2022). *Comprehensive analysis of the response of the ionospheric F2-layer to the largest geomagnetic storms from solar cycle #24 over Europe*, EGU General Assembly 2022, online, 23-27 May 2022. (2022)
- [20] Barta, V.; Koroncay, D.; Berényi, K. A.; Kis, Á.; Sători, G.; Williams, E. (2019). *Investigation of the Ionospheric Absorption Response to Flare Events during Solar Cycle 23 using Ionosonde and DEMETER VLF Observations*, GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS 21 Paper: EGU2019-3155
- [21] Barta V.; D., Koroncay ; Tamás, Bozoki ; Gabriella, Sători ; Kitty, Alexandra Berényi ; Árpád, Kis ; Earle, Williams (2019). *Investigation of the Ionospheric Absorption Response*

- to Flare Events with Different Intensity using Ionosonde and VLF Observations* In: 27th IUGG General Assembly: Beyond 100: The next century in Earth and Space Science: Abstract Book, p. A03p-217
- [22] Berényi, K. A.; V. Barta; Á. Kis (2018). *Midlatitude ionospheric F2-layer response to the three largest geomagnetic disturbances over Hungary during the maximum of the solar cycle 24: a case study*, GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS 20 Paper: EGU2018-7883, 1 p.
- [23] Barta V.; D., Koronczay; K., A. Berényi; Á., Kis; G., Sători (2018). *Investigation of Ionospheric Absorption Changes Caused by Solar Flares and Solar Proton Events in December, 2006 using Ionosonde and DEMETER VLF Observations*, In: 7th IAGA/ICMA/SCOSTEP Workshop on Vertical Coupling in the Atmosphere Ionosphere System (2018) p. 5 Paper: Session12Talk2, 1 p.
- [24] Barta V.; D., Koronczay; K., A. Berényi; Á., Kis; G., Sători (2018). *Comprehensive Investigation of Ionospheric Absorption Caused by Solar Flares and Solar Proton Events in December, 2006* GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS 20 Paper: EGU2018-183311, 1 p.
- [25] Berényi K. A., Kis Á., Barta V. (2017). *Midlatitude ionospheric F2-layer response to eruptive solar events-caused geomagnetic disturbances over Hungary during the maximum of the solar cycle 24*, In: Abstract book of IAGA/SCOSTEP workshop, Prague (Czech republic), 2017.11.13-16.
- [26] Barta V., K. A. Berényi, G. Sători, Á. Kis, J. Bór, T. Bozóki, †P. Bencze (2017). *Ionospheric related research in the recent years at the Geodetic and Geophysical Institute, Sopron, Hungary*, In: Abstract book of IAGA/SCOSTEP workshop, Prague (Czech republic), 2017.11.13-16.
- [27] Berényi, K. A., Á. Kis, V. Barta (2017). *Midlatitude ionospheric F2-layer response to eruptive solar events caused geomagnetic disturbances over Hungary during the maximum of the solar cycle 24: a case study*, In: 15th European Solar Physics Meeting, 2017.09.04-2017.09.08. Budapest: p. 216.
- [28] Berényi, K. A., V. Barta, Á. Kis (2017). *A Si és a Gs típusú geomágnese viharok F2- rétegre gyakorolt hatásának összehasonlítása a geomágnese indexek függvényében*, Magyar Űrkutatási Fórum 2017: Az előadások összefoglalói. 60 p.
- [29] Berényi, K. A., Á. Kis, V. Barta (2017). *What is the function between the geomagnetic indices and the ionospheric foF2 parameter during the maximum of the #24 solar cycle at midlatitude?*, In: EGU General Assembly 2017., 2017.04.24-2017.04.28. Vienna: Paper EGU2017-7209.
- [30] Berényi, K. A., Á. Kis, V. Barta, A. Novák (2016). *The study of the midlatitude ionospheric response to geomagnetic activity at Nagycenk Geophysical Observatory*, In: Geophysical Research Abstracts: European Geosciences Union (EGU) General Assembly Proceedings, p. Paper EGU2016-15772.18.
- [31] Berényi, K. A., Á. Kis, V. Barta (2016). *How the midlatitude ionosphere respond to geomagnetic activity in winter at Széchenyi István Geophysical Observatory*, In: Ifjú Szakemberek Ankétjára. 2016.04.01-2016.04.02. Tiszafüred: pp. 29-30.
- [32] Berényi, K. A., V. Barta, Á. Kis, J. Lichtenberger, T. Nagy, J. Kalmár (2015). *Az ionoszféra állapotának vizsgálata a geomágnese aktivitás függvényében*, In: Bacsárdi László, Wesztergom Viktor (szerk.), Magyar Űrkutatási Fórum 2015: Az előadások összefoglalói. 2015.05.07-2015.05.09. Budapest: Magyar Asztronautikai Társaság, 2015. p. 22.