



# LOKÁLIS IONOSZFÉRA MODELLEZÉS ÉS ALKALMAZÁSA A GNSS HELYMEGHATÁROZÁSBAN

Juni Ildikó

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

BSc IV. évfolyam

Konzulens: Dr. Rózsa Szabolcs

MFTT 29. Vándorgyűlés, Sopron

2013. július 12.

# Tartalomjegyzék

- Bevezetés
- Regionális ionoszféra modellek létrehozása
  - Teljes elektrontartalom meghatározása, felhasznált adatok
  - Ionoszféra modellek előállítása Bernese 5.0 GPS szoftverrel
  - Az eredmények és azok szemléltetése
- A létrehozott ionoszféra modellek alkalmazása GNSS feldolgozásokban
  - Különböző hosszúságú bázisvonalak és a ciklustöbbsértelműség feloldása közötti összefüggés vizsgálata
  - Koordináta meghatározása nagy pontosságú abszolút helymeghatározással (PPP technikával)
  - Műholdirányú késleltetések számítása IONEX fájlok és Klobuchar modell alapján, ezek összehasonlítása
- Összegzés

# Bevezetés

- Globális helymeghatározó rendszerek  $\Rightarrow$  navigáció, geodézia
- Egyfrekvenciás geodéziai mérés  $\Rightarrow$  az ionoszféra jelkésleltetése
- Különböző regionális ionoszféra modellek levezetése
- Ezek alkalmazása **egyfrekvenciás** GNSS feldolgozásokban
  - Ciklustöbbértelműség feloldásának aránya – egyfrekvencián ionoszféra modellel és anélkül
  - Koordináta meghatározása – egyfrekvencián ionoszféra modellel és anélkül, valamint  $L_3$  lineáris kombinációval
  - Műholdirányú késleltetés számítása a levezett IONEX fájlok és a vevőkben használt Klobuchar modell alapján, ezek összehasonlítása

# Teljes elektrontartalom meghatározása, felhasznált adatok

- Ionoszféra: légkör 30-1000 km közötti része, szabad elektronok
- Jellemzésére **teljes elektrontartalom** (TEC),  $1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ elektron/m}^2$
- Teljes elektrontartalom  **$L_4$  lineáris kombinációval** meghatározható ( $L_1 - L_2$ )
- Ismeretlen marad:
  - **ionoszféra hatása**
  - ciklustöbbsértelműség hatásának különbsége
  - fáziscentrum külpontosságának eltérése
- Nemzetközi GNSS Szolgálat (IGS) és EUREF Permanens Állomáshálózat (EPN), 82 állomás Európát egyenletesen lefedve
- Vizsgált időszak: 2012. március 4-17.
- Szükséges:
  - IGS és EPN mérési fájlok
  - Földforgás paraméterek
  - Precíz pályaadatok

# Regionális ionoszféra modellek előállítása Bernese 5.0 GPS szoftverrel I.

- Tudományos igényű feldolgozások Bernese-vel
- BPE automatikus feldolgozás
- **Fázisméréseket és fázismérésekkel simított kódéréseket felhasználva ionoszféra modelleket hoztunk létre**
- Ezek feldolgozása eltér, a fázismérésekből előállított modell több lépésből áll így az 2,5 óra, a fázismérésekkel simított modell 1,5 óra alatt futott le
- A fázisméréseknél fel kell oldani a ciklustöbbletműségeket, a másikonál ezt nem kell, de ott a mérési fájlok simítását kell elvégezni
- Levezetésük eltér, de van néhány azonos lépésük:
  - Pólusinformáció konvertálása Bernese formátumba
  - Táblázatos pályaadatok létrehozása
  - Sztenderd műholdpálya előállítása
  - Vevőóra szinkronizáció, kódérésekből előzetes állomáskoordináták

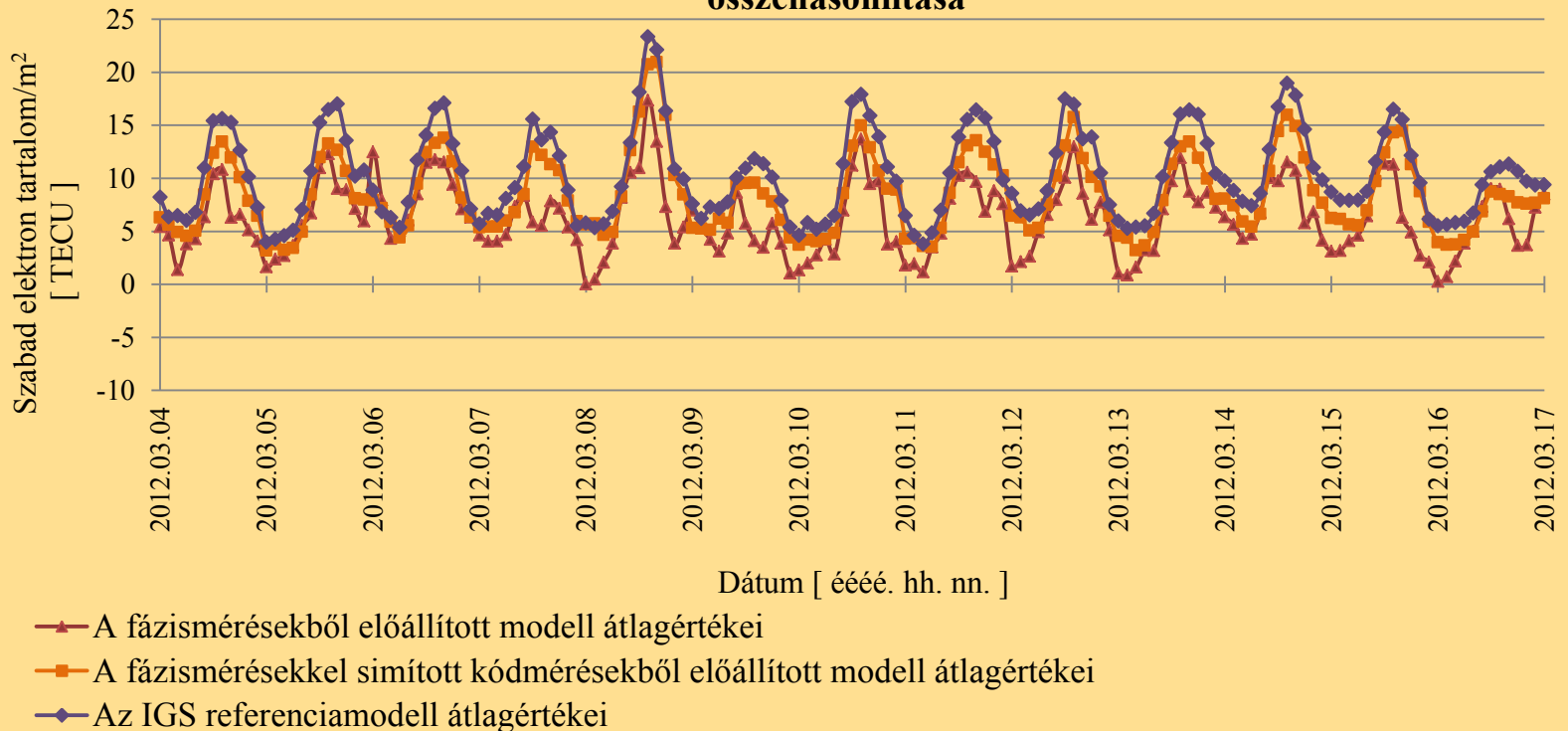


# Az eredmények és azok szemléltetése I.

- Eredmény:
  - 2 órás felbontásban
  - 10 vagy 6 fokig és rendig közelítő **gömbfüggvénynek az együtthatói** (ION fájl)
  - **Vertikálisan integrált szabad elektrontartalom** 5\*2,5 fokos felbontású rácsban (IONEX fájl)
- MATLAB segítségével a levezetett és az IGS megoldások összevetése statisztikai jellemzők előállítására
- Használtuk a három modell és különbségeik
  - Átlag
  - Szórás
  - Minimum
  - Maximum értékeit
- Excelben pontdiagramokat készítettünk

# Az eredmények és azok szemléltetése II.

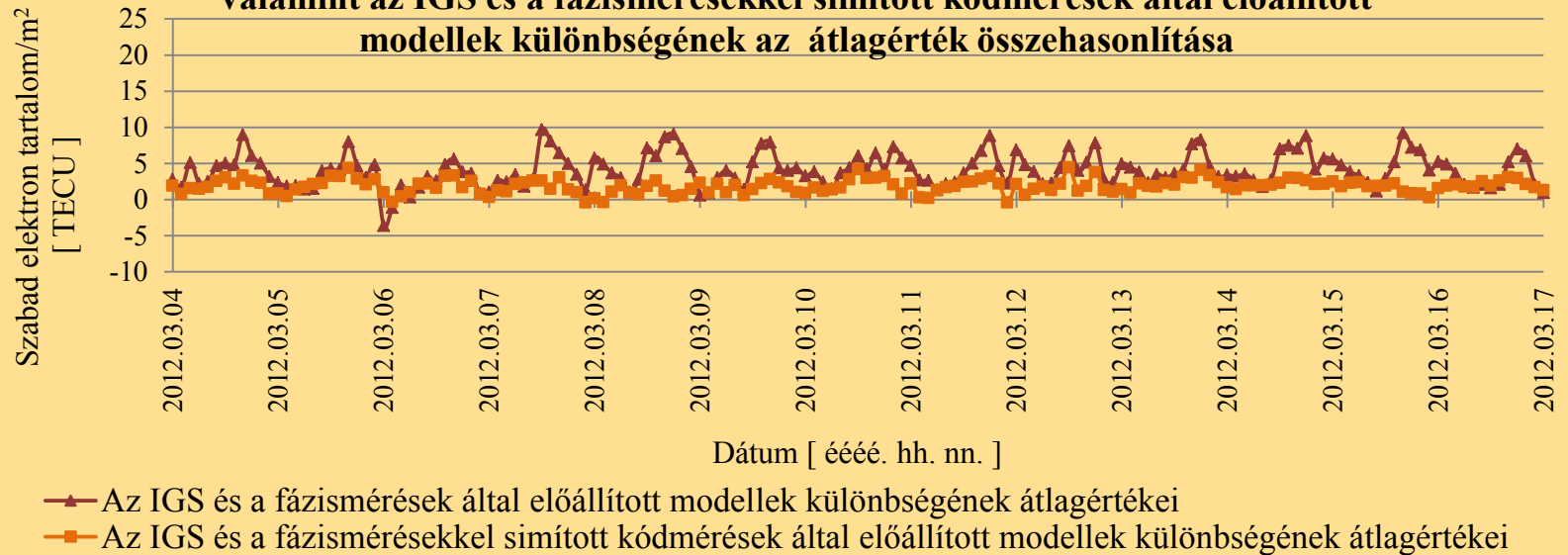
1. ábra: A fázismérésekből előállított modell, a fázismérésekkel simított kódmérésekből előállított modell és az IGS referenciamodell átlagértékeinek összehasonlítása



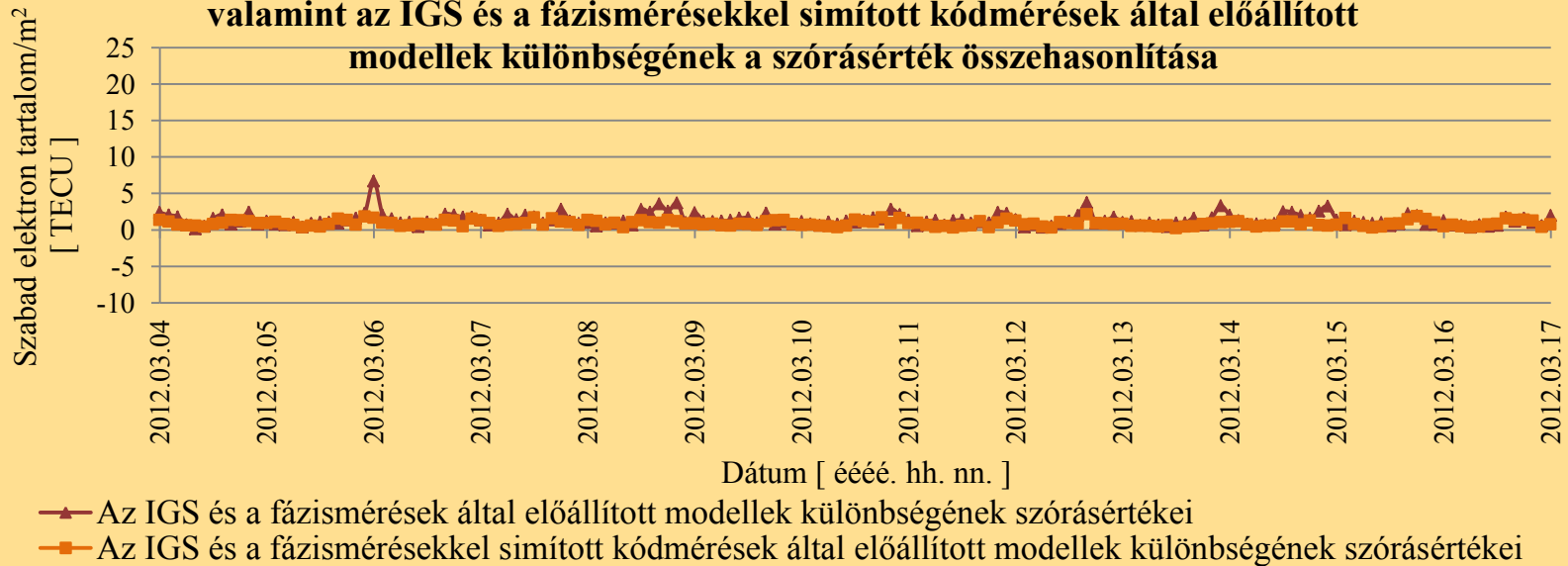
- Az átlagértékek középértékei és az ennek megfelelő késleltetések  $L_1$ -en:
  - IGS-nél 12 TEC értékűek ~ 2 méter
  - Simított kódmérésekből létrehozott modellnél 10 TEC ~ 1,7 méter
  - Fázismérésekkel előállított modell esetén 8 TEC ~ 1,3 méter

# Az eredmények és azok szemléltetése III.

**2. ábra: Az IGS és a fázismérések által előállított modellek különbségének, valamint az IGS és a fázismérésekkel simított kódmérések által előállított modellek különbségének az átlagérték összehasonlítása**



**3. ábra: Az IGS és a fázismérések által előállított modellek különbségének, valamint az IGS és a fázismérésekkel simított kódmérések által előállított modellek különbségének a szórásérték összehasonlítása**





# A létrehozott ionoszféra modellek alkalmazása GNSS feldolgozásokban

- A fázismérésekkel simított kódmérésekből előállított modell nagyon jól megközelíti a referencia IGS modellt  $\Rightarrow$  azt építjük be a feldolgozásainkba
  - Különböző hosszúságú bázisvonalak és a **ciklustöbbértelműség feloldása** közötti összefüggés vizsgálata
  - **Koordináta meghatározása** nagy pontosságú abszolút helymeghatározással (PPP technikával)
  - **Műholdirányú késleltetések számítása** IONEX fájlok és Klobuchar modell alapján, ezek összehasonlítása

# Különböző hosszúságú bázisvonalak és a ciklustöbbsértelműség feloldása közötti összefüggés vizsgálata

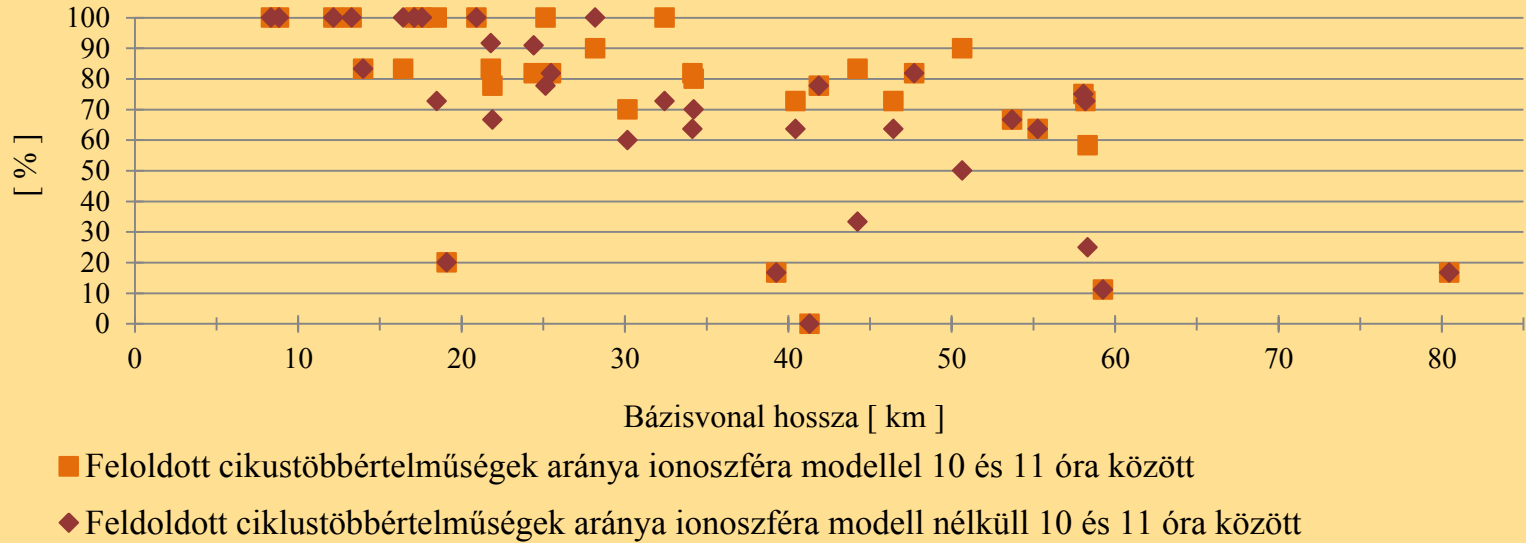
## ■ Vizsgálat:

- 2013.04.13. mérések feldolgozása
- 9 pontból álló hálózat bázisvonalain a feloldás vizsgálata Bernese-vel
- $L_1$  frekvencián ionosféra modell alkalmazva és anélkül
- Egy déli és délutáni 1 órás időintervallum vizsgálata

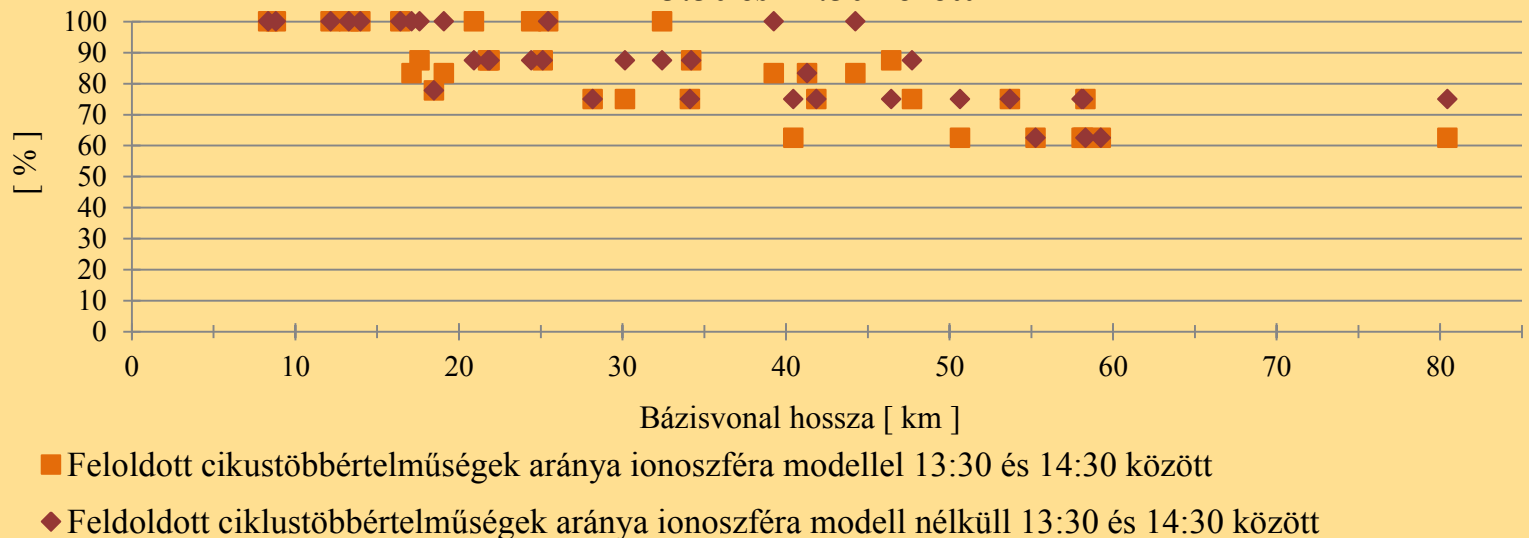
## ■ Eredmény:

- Beépített modell déli órában **segíti** a ciklustöbbsértelműség feloldását
- Délután már a modell nélkül is több oldódik fel
- Ciklustöbbsértelműség feloldásának bázisvonalaktól való függése
  - 20 km alatt: általában maximális feloldás ionosféra modell nélkül
  - 20-50 km: emelkedik feloldottak aránya modell alkalmazásával
  - 50 km felett: nem segít ionosféra használata sem a feloldásban

**4. ábra: Feloldott cikustöbbsértelműségek arányának összehasonlítása ionoszféra modell alkalmazásával és anélkül 10 és 11 óra között**



**5. ábra: Feloldott cikustöbbsértelműségek arányának összehasonlítása ionoszféra modell alkalmazásával és anélkül 13:30 és 14:30 között**



# Koordináta meghatározása nagy pontosságú abszolút helymeghatározással (PPP technika)

## ■ Vizsgálat:

- 2013.04.13. mérések feldolgozása, 24 órára
- PENC ITRF koordinátájának meghatározása Bernese-vel
- A kapott eredményeket összevetettük az állomás ITRF honlapon lévő IGS koordináta megoldásával
- $L_3$  ionoszféra mentes lineáris kombinációval valamint  $L_1$  frekvencián ionoszféra modellt alkalmazva és anélkül

## ■ Eredmény, mennyire közelíti meg ITRF honlapon lévő koordinátát:

- $L_3$  kombináció: **deciméteres pontosság koordinátákban**
- $L_1$  ionoszféra nélkül: **méteres eltérések koordinátákban, centiméteres középhiba**
- $L_1$  ionoszférával: **néhány deciméteres pontosság koordinátáknál, középhibák fél centiméter körüliek**

Feldolgozás	X/középhiba [m]	Y/középhiba [m]	Z/középhiba [m]
L <sub>3</sub> ionoszféra mentes lineáris kombináció	4052449,353	1417681,278	4701407,214
	0,0006	0,0004	0,0006
L <sub>1</sub> frekvencia, ionoszféra nélkül	4052447,991	1417681,164	4701404,477
	0,0119	0,0087	0,0117
L <sub>1</sub> frekvencia, ionoszféra modellel	4052449,614	1417681,671	4701407,097
	0,0056	0,0041	0,0055
IGS szerinti ITRF koordináta	4052449,323	1417681,268	4701407,184
	0,001	0,001	0,001

6. ábra: A PPP feldolgozás és az IGS koordináta megoldása



# Műholdirányú késleltetések számítása IONEX fájlok és Klobuchar modell alapján, ezek összehasonlítása

## ■ Vizsgálat:

- MATLAB-bal műholdirányú késleltetés számítása IONEX fájlokból
  - fázismérésekből előállított modell fájljaiból
  - fázismérésekkel simított kódmérésekből készített modell fájljaiból
  - IGS referencia modellből fájljaiból
    - 2012.03.04. 8:00 és 12:00 órai IONEX fájlok alapján
    - Fiktív koordinátájú állomásnál
    - $L_1$  és  $L_2$  frekvenciát
    - Fázis- és kódtávolságokat
    - Különböző azimutokat (déli és keleti)
    - Különböző magassági szögeket ( $10^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $80^\circ$ ) alkalmazva
- Vevőkben használt Klobuchar modellel is kiszámítottuk a késleltetést MATLAB-ban

▪Eredmény:

- Összehasonlítottuk az IONEX fájlókból származó késleltetéseket egymással
- Simított kódérésekből előállított modell jobban közelíti az IGS modell eredményeit, mint a fázismérésekből létrehozott modell értékei
- A simított kódérésekből létrehozott modell a **Klobuchar modellnél is jobban közelíti az IGS modell eredményeit**

Műholdirányú ionoszférikus késleltetés [m]								
Azimut [°]/magassági szög [°]	Vizsgált távolság	Frekvencia	8:00			12:00		
			Klobuchar modell	Fázisméréssel simított kódéréseket használó modell	IGS referenciamodell	Klobuchar modell	Fázisméréssel simított kódéréseket használó modell	IGS referenciamodell
180/10	Kódtávolságoknál	L <sub>1</sub>	6,86	2,45	1,95	10,78	4,79	3,92
		L <sub>2</sub>	11,30	4,03	3,21	17,75	7,88	6,45
180/45		L <sub>1</sub>	2,76	0,89	0,96	4,22	1,92	2,15
		L <sub>2</sub>	4,55	1,47	1,57	6,94	3,16	3,54
180/80		L <sub>1</sub>	1,93	0,53	0,75	2,86	1,64	1,84
		L <sub>2</sub>	3,18	0,88	1,24	4,72	2,70	3,03
90/10	Kódtávolságoknál	L <sub>1</sub>	7,06	1,10	2,09	8,78	5,57	7,05
		L <sub>2</sub>	11,63	1,81	3,43	14,45	9,18	11,62
90/45		L <sub>1</sub>	2,79	0,54	0,97	3,95	2,47	2,80
		L <sub>2</sub>	4,59	0,89	1,60	6,50	4,06	4,61
90/80		L <sub>1</sub>	1,93	0,49	0,75	2,83	1,71	1,92
		L <sub>2</sub>	3,18	0,81	1,24	4,66	2,82	3,17

7. ábra: Műholdirányú ionoszférikus késleltetések összehasonlítása a különböző modelleknél

# Összegzés

- Regionális ionoszféra modelleket állítottunk elő fázismérések és fázismérésekkel simított kódmérések alapján Bernese 5.0 GPS szoftverrel
- A simított kódméréseket használó modell jól közelíti az IGS modellt, átlagosan 2 TEC egységgel  $\sim 0,4$  méterrel térnek el a középértékeik
- Ezt beépítettük különböző egyfrekvenciás GNSS feldolgozásba
  - Különböző hosszúságú bázisvonalak és a ciklustöbbértelműség feloldása közötti összefüggés vizsgálata
  - Koordináta meghatározása nagy pontosságú abszolút helymeghatározással (PPP technikával)
  - Műholdirányú késleltetések számítása IONEX fájlok és Klobuchar modell alapján, ezek összehasonlítása
- Az eredmények szerint
  - Az előállított ionoszféra modell alkalmazása segítette a GNSS feldolgozásokat, pontosabb eredményt kaptunk ionoszféra modell használatával



Köszönöm a figyelmüket!