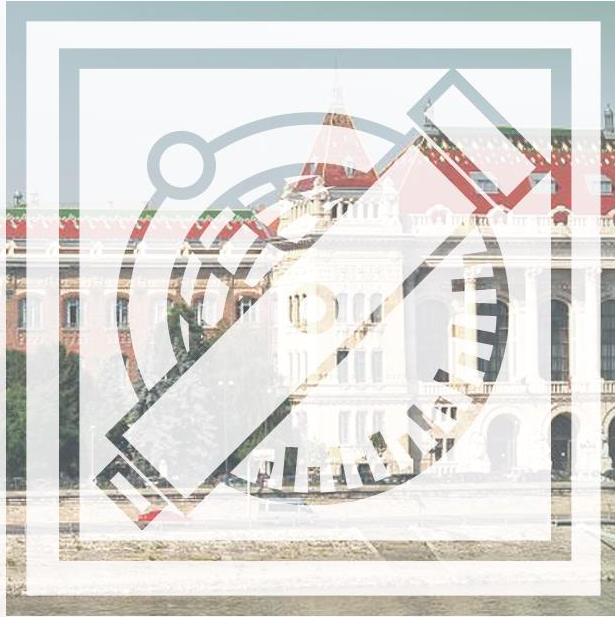




GNSS-VARIOMETRIA ALKALMAZÁSA HOSSZÚ TÁVÚ SZERKEZETMONITORING SORÁN

Mérnökgeodézia Konferencia 2025



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

Általános és Felsőgeodézia Tanszék

Turák Bence, Rózsa Szabolcs

2025.10.16.

TARTALOM

- A variometria alapgondolata
- Valós tesztkörnyezet
- Eredmények összehasonlítása
- Spektrumanalízis
- Összefoglalás

TARTALOM

- A Magyar Nemzeti Összetartozás hídja
- Előzmények
- GNSS alapú monitoring rendszer
- Terheléspróba eredményei
- Konklúziók



A HELYSZÍN

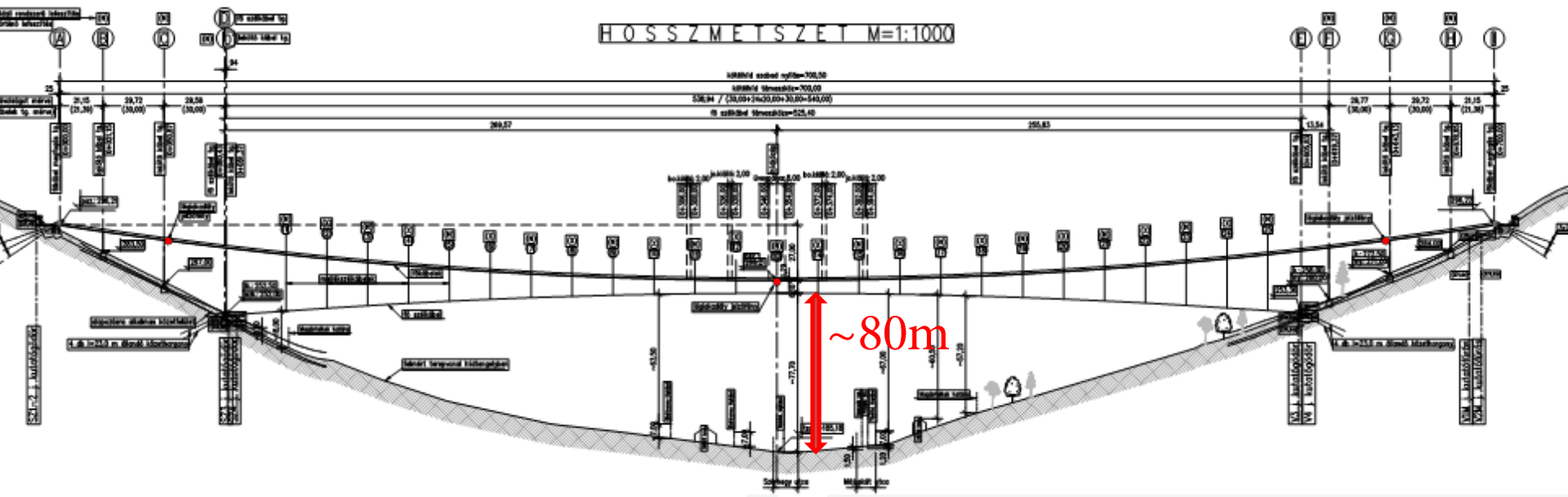


Image © 2024 CNES / Airbus
Image © 2024 Maxar Technologies

Képek dátuma: 9/28/2022 48°24'06.08" É 21°39'02.05" K magasság: 127 m szemmagasság: 2.18 km



A HÍD FŐBB PARAMÉTEREI



kábelhíd

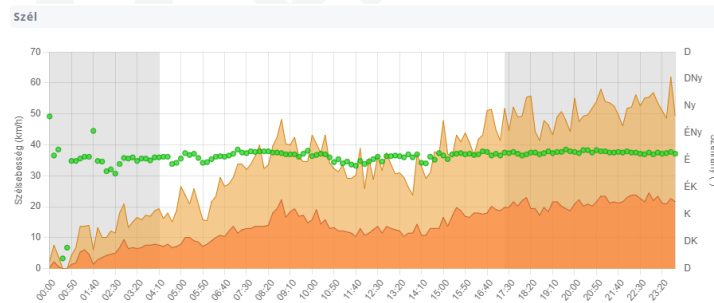
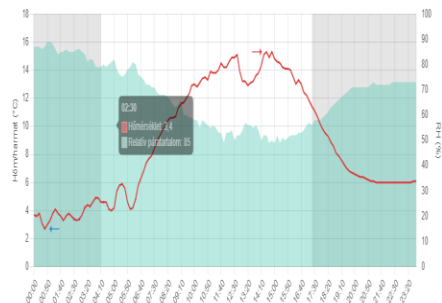
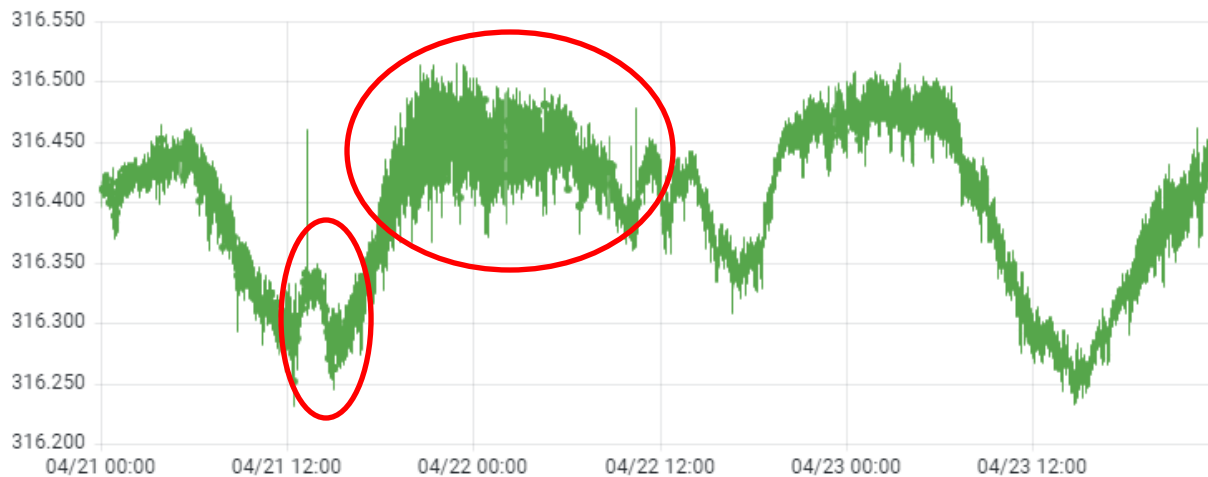
700m (WR)

A HÍD ÉPÍTÉS KÖZBEN

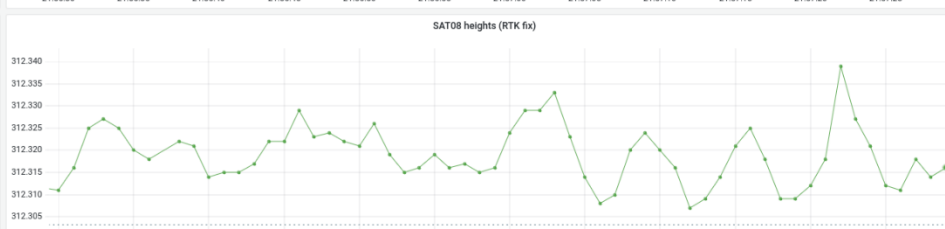
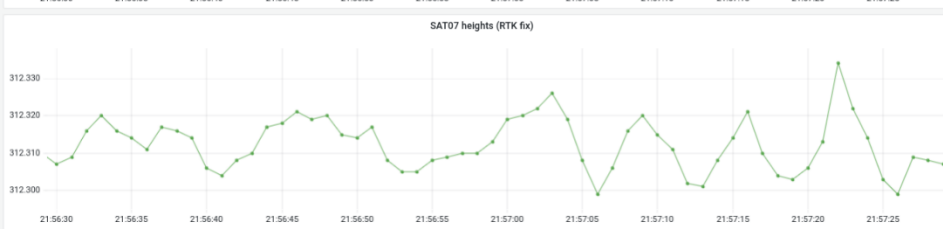
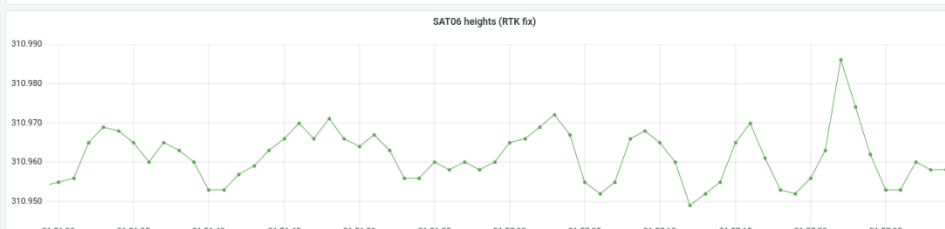
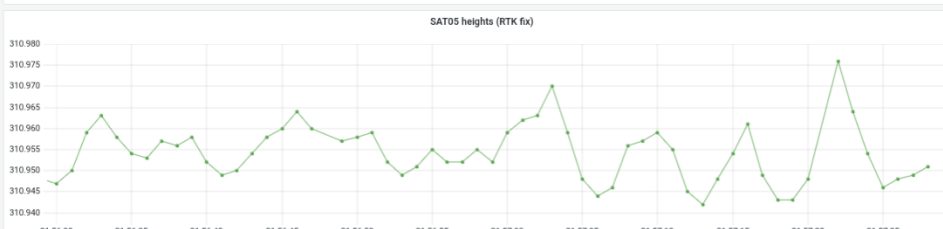
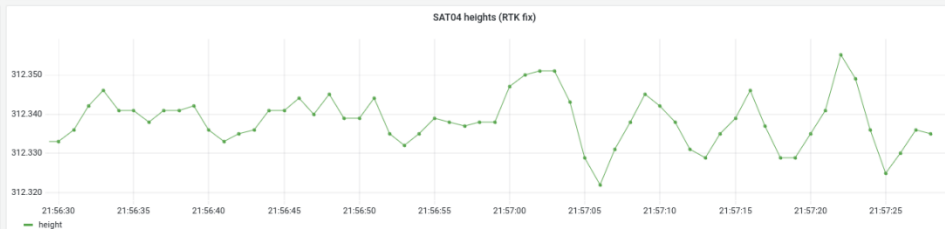
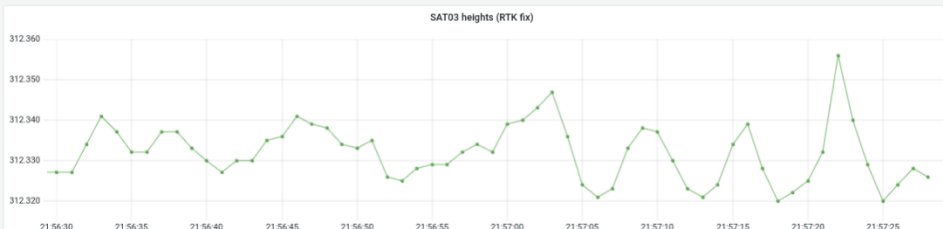
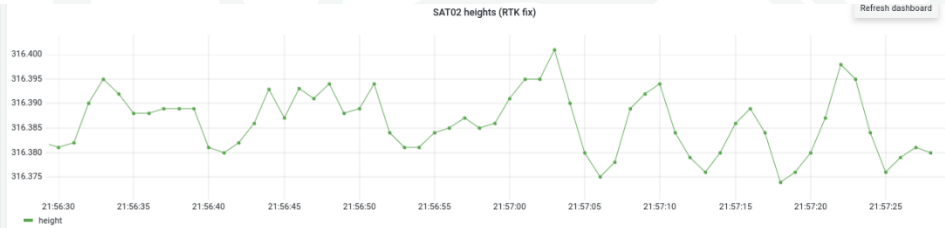


MI MINDEN LÁTSZIK AZ IDŐSOROKBAN?

SAT01 heights (RTK fix)



SAJÁTFREKVENCIA



A VARIOMETRIA ALAPGONDOLATA

Műholdas helymeghatározás egyenlete:

$$\lambda \Phi_r^S = \rho_r^S + c(\delta t_r - \delta t^S) + T_r^S - I_r^S - \lambda N_r^S + p_r^S + \varepsilon_r^S$$

Egyszeres különbség két egymást követő epochára:

$$\alpha[\lambda \Delta \phi_r^S(t, t+1)]_{L1} - \beta[\lambda \Delta \phi_r^S(t, t+1)]_{L2} = \Delta \rho_r^S(t, t+1) + c \Delta \delta t_r(t, t+1) - c \Delta \delta t^S(t, t+1) + \Delta T_r^S(t, t+1) + \Delta \varepsilon_r^S$$

*Ionoszféramentes
lineáris kombináció*

$$\alpha = \frac{f_{L1}^2}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2}$$

$$\beta = \frac{f_{L2}^2}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2}$$

A VARIOMETRIA ALAPGONDOLATA

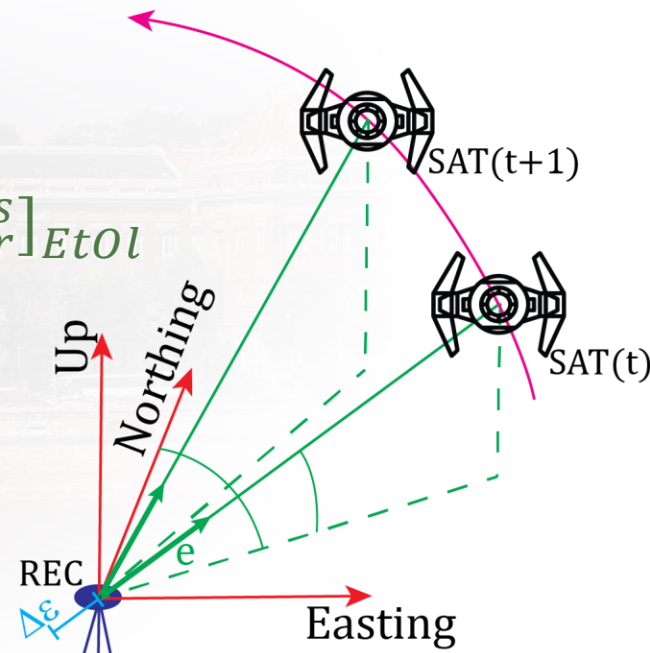
$$\begin{aligned}
 [\lambda \Delta \phi_r^s]_{IF} &= \alpha [\lambda \Delta \phi_r^s]_{L1} - \beta [\lambda \Delta \phi_r^s]_{L2} \\
 &= (\Delta \varepsilon_r^s \cdot \mathbf{e}_r^s + c \Delta \delta t_r) + ([\Delta \rho_r^s]_{OR} + [\Delta \rho_r^s]_{EtOl} \\
 &\quad - c \Delta \delta t^s + \Delta T_r^s)
 \end{aligned}$$

Troposzféra-modell:

Saastamoinen

Feltételezés:

vevő-műhold egységvektor
mozdulatlan



Ciklusugrásra érzékeny

A VARIOMETRIA ALAPGONDOLATA

$$A = \begin{bmatrix} e_{rX}^1 & e_{rY}^1 & e_{rZ}^1 & 1 \\ e_{rX}^2 & e_{rY}^2 & e_{rZ}^2 & 1 \\ & \vdots & & \\ e_{rX}^n & e_{rY}^n & e_{rZ}^n & 1 \end{bmatrix} x = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \\ \Delta c \delta t_r \end{bmatrix}$$

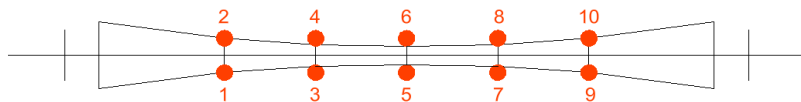
$$b = \begin{bmatrix} [\lambda \Delta \phi_r^1]_{IF} - ([\Delta \rho_r^1]_{OR} + [\Delta \rho_r^1]_{EtOl} - \Delta T_r^1 - c \Delta \delta t^1) \\ [\lambda \Delta \phi_r^2]_{IF} - ([\Delta \rho_r^2]_{OR} + [\Delta \rho_r^2]_{EtOl} - \Delta T_r^2 - c \Delta \delta t^2) \\ \vdots \\ [\lambda \Delta \phi_r^n]_{IF} - ([\Delta \rho_r^n]_{OR} + [\Delta \rho_r^n]_{EtOl} - \Delta T_r^n - c \Delta \delta t^n) \end{bmatrix}$$

TESZTKÖRNYEZET

Nemzeti Összetartozás Hídja (Zemplén723)

- Hosszú távú monitoring
- 10 db költséghatékony GNSS vevő (Ublox ZED F9P)
- RTK + nyers mérések
- Mintanap: 2024.04.21.

50 m 60 m 80 m 80 m 80 m 80 m 80 m 80 m 60 m 50 m



Szárhegy (Észak)

Várhegy (Dél)



Eredmények

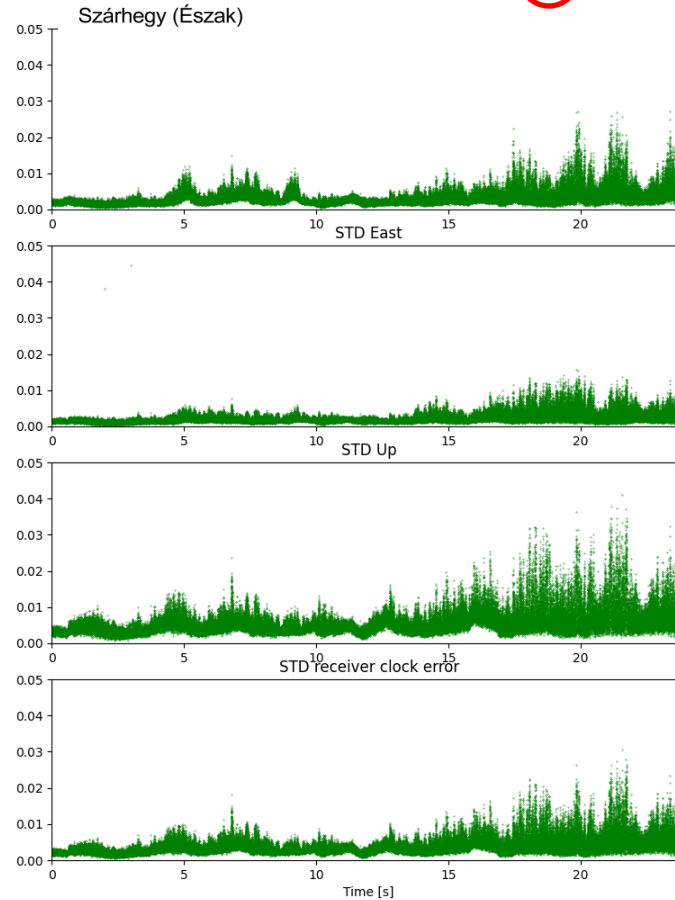
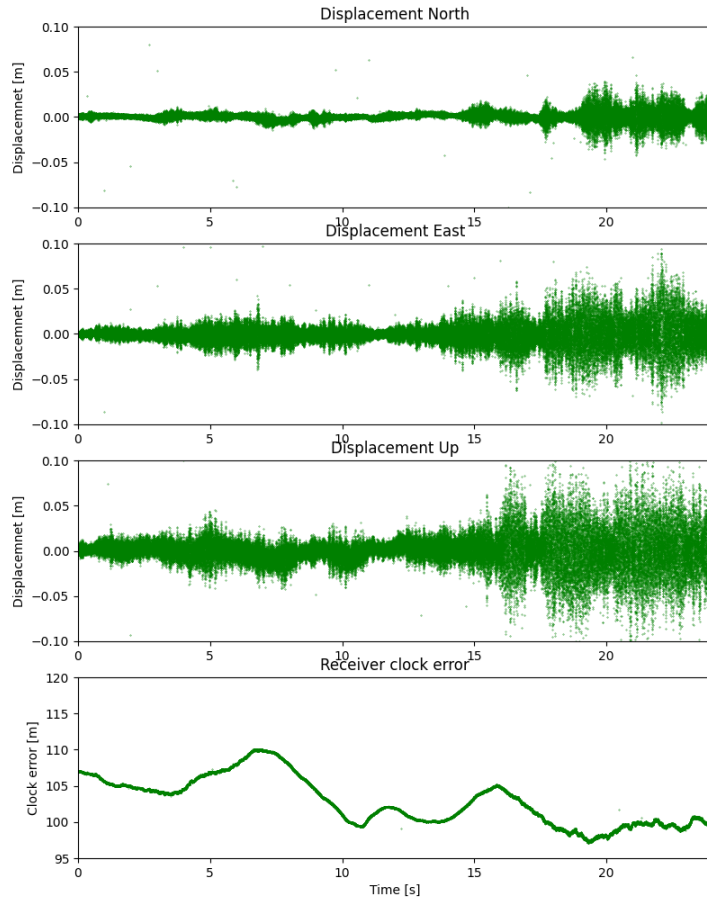
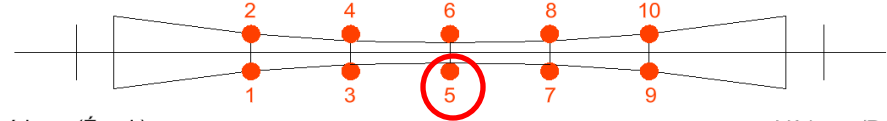


BUDAPESTI MŰSZAKI
ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Építőmérnöki Kar - építőmérnöki képzés 1782 óta

Általános és Felsőgeodézia Tanszék

VARIOMETRIA

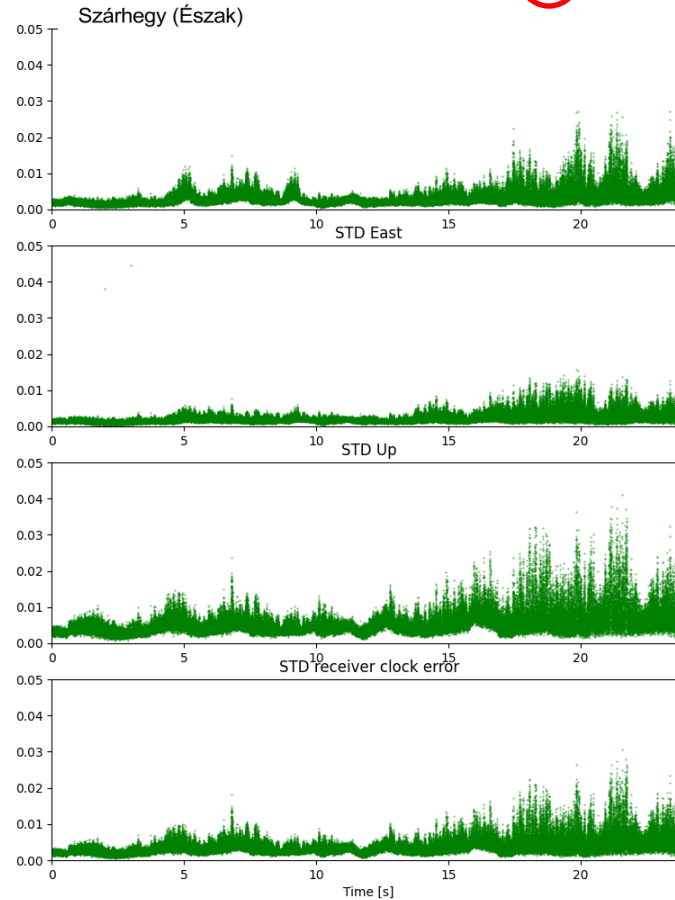
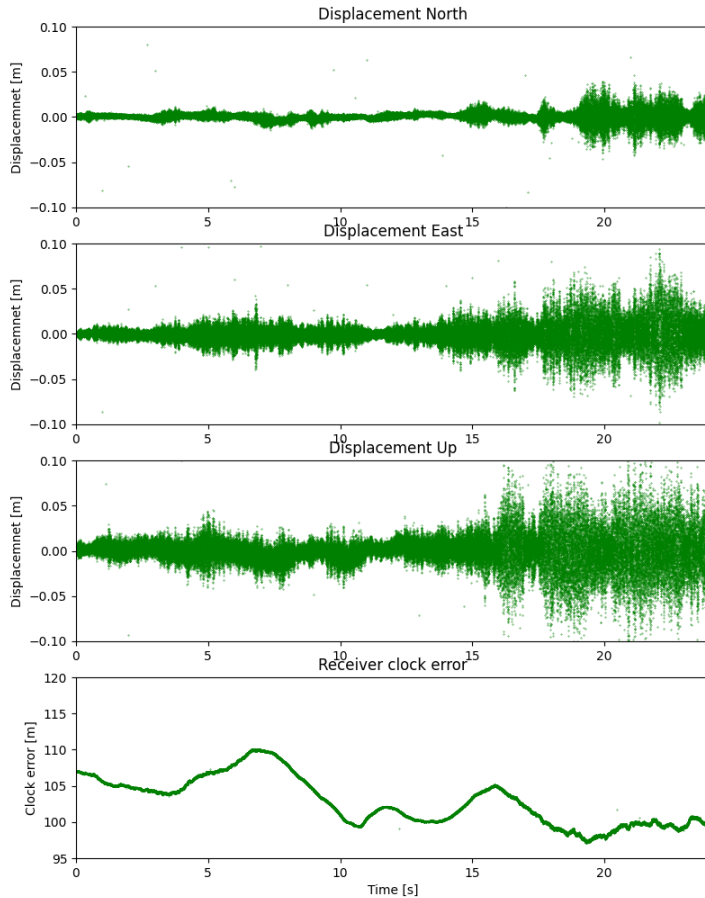
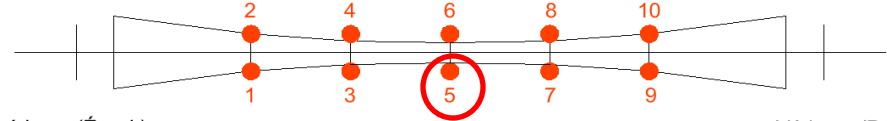
50 m 60 m 80 m 80 m 80 m 80 m 80 m 80 m 60 m 50 m



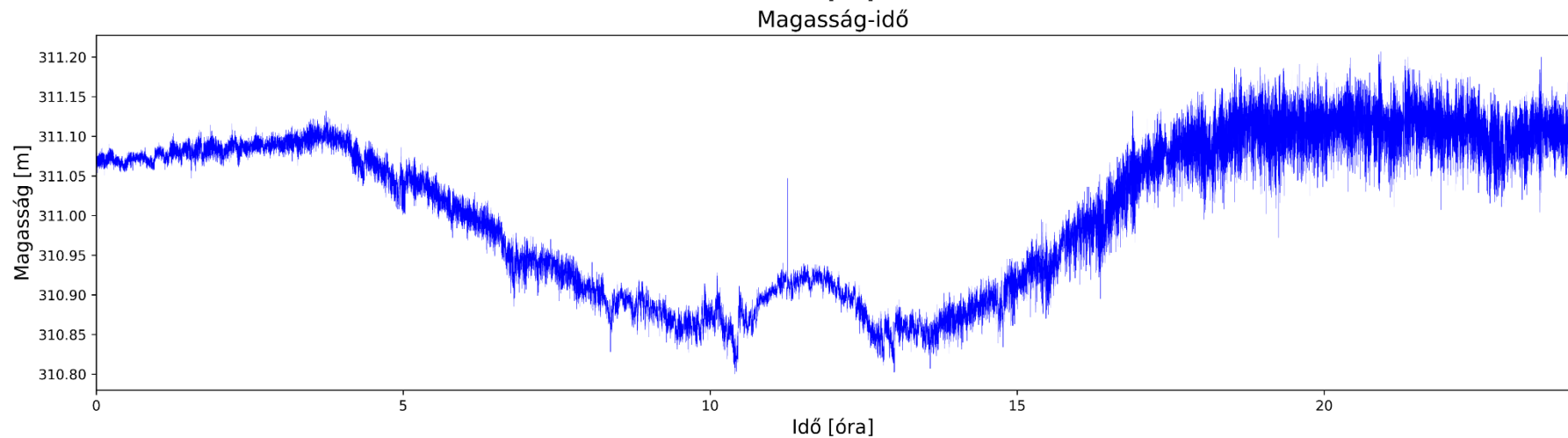
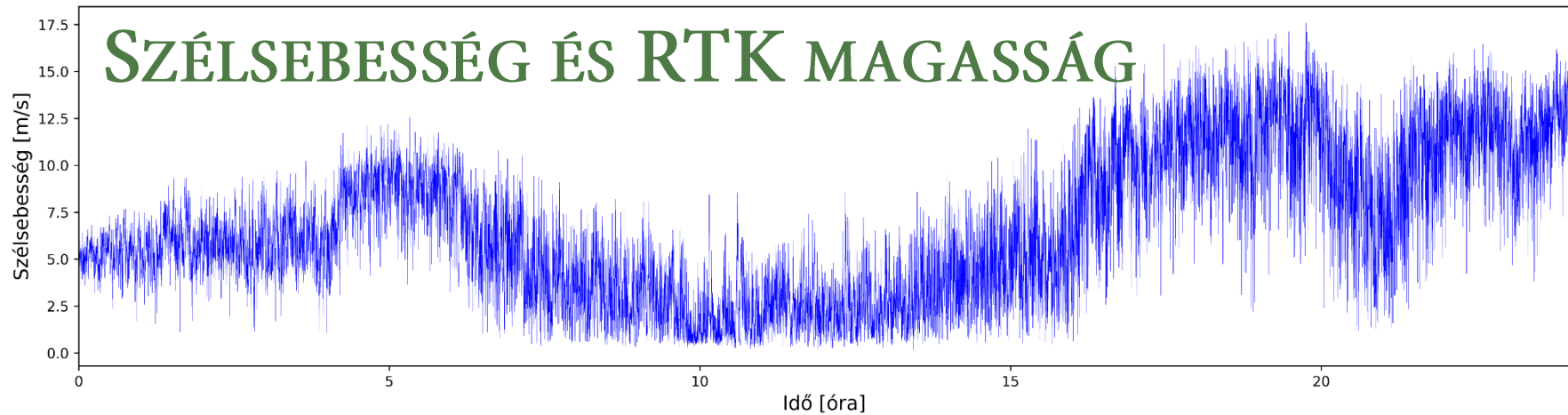
Várhegy (Dél)

VARIOMETRIA

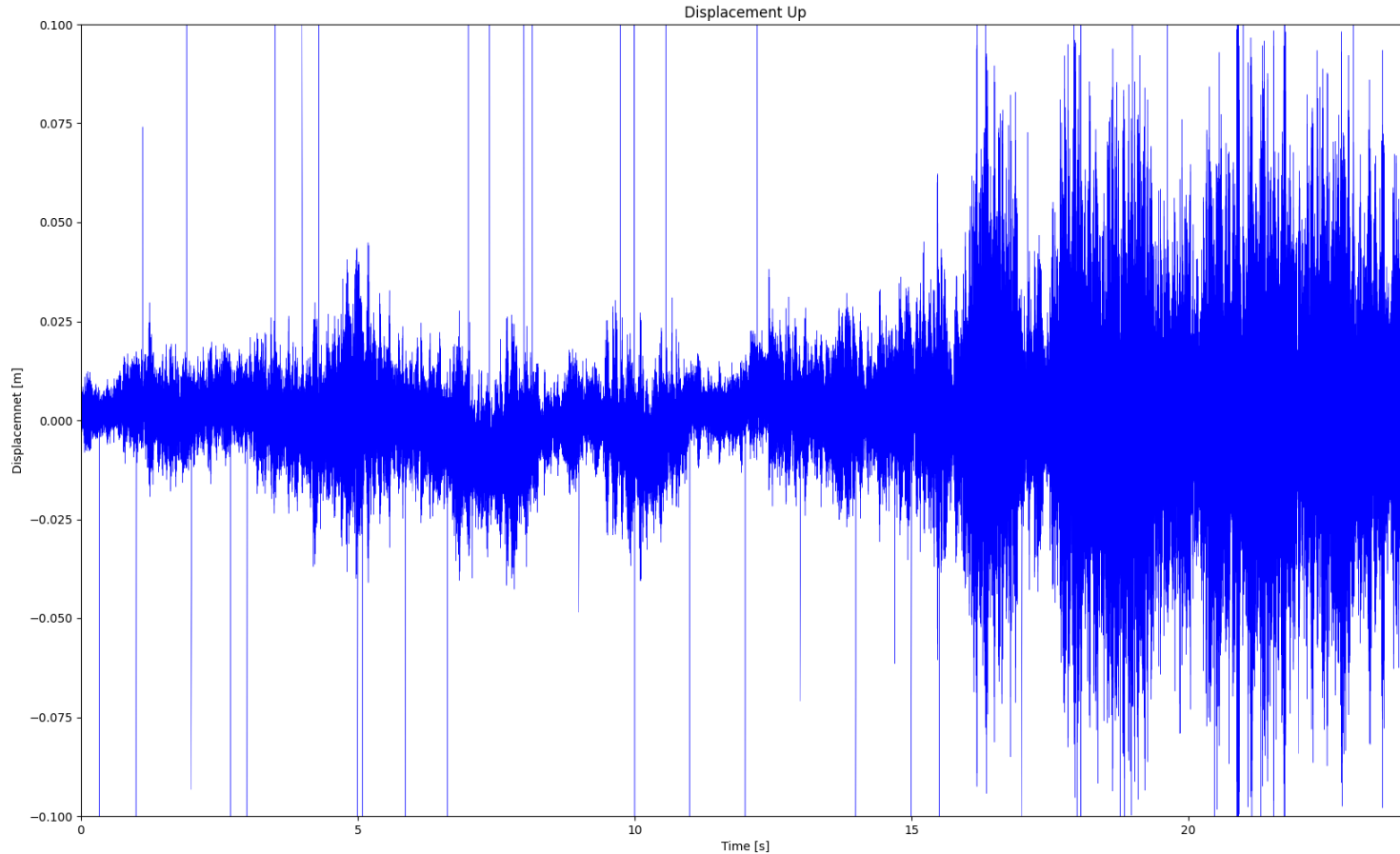
50 m 60 m 80 m 80 m 80 m 80 m 80 m 80 m 60 m 50 m



Várhegy (Dél)



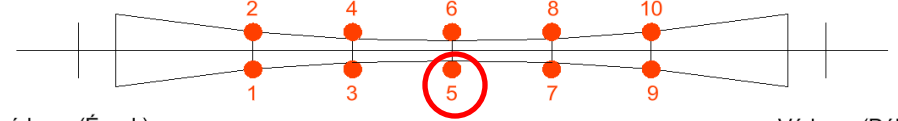
FÜGGŐLEGES ELMOZDULÁS (SEBESSÉG)



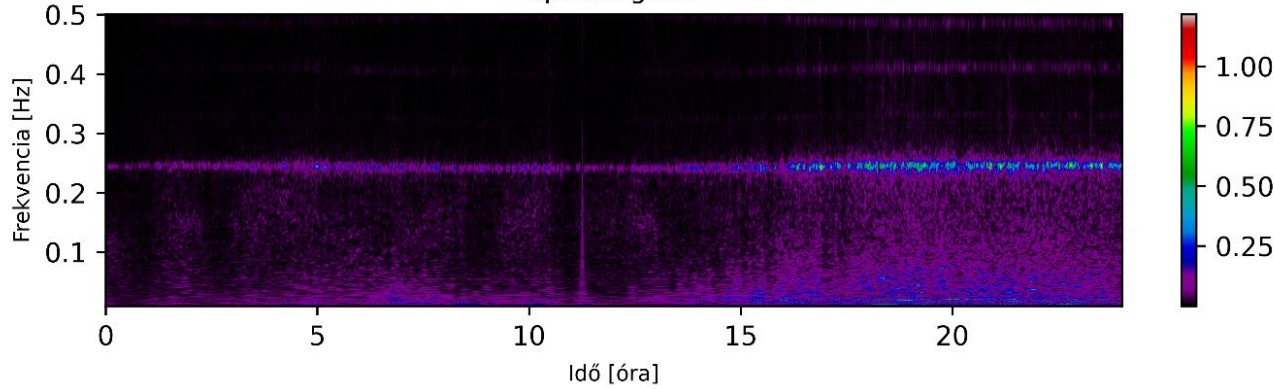
SPEKTRUMANALÍZIS

- Wavelet transzformáció
- Komplex Morlet wavelet
- Állóhullámok energiája és fázisa
- Mintavételi frekvencia 1Hz -> Nyquist frekvencia 0,5Hz

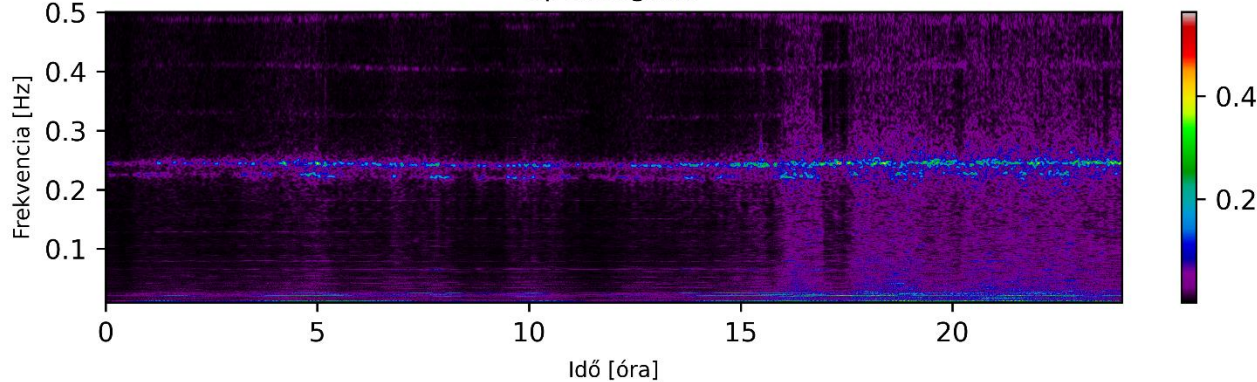
50 m 60 m 80 m 80 m 80 m 80 m 80 m 80 m 60 m 50 m



Spektrogram

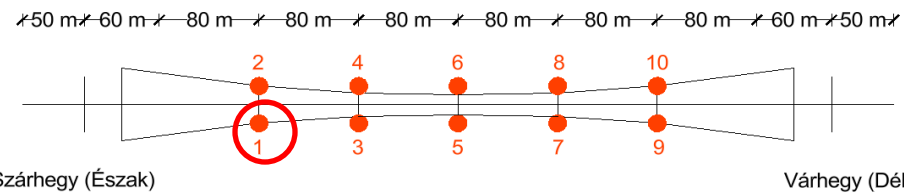


Spektrogram

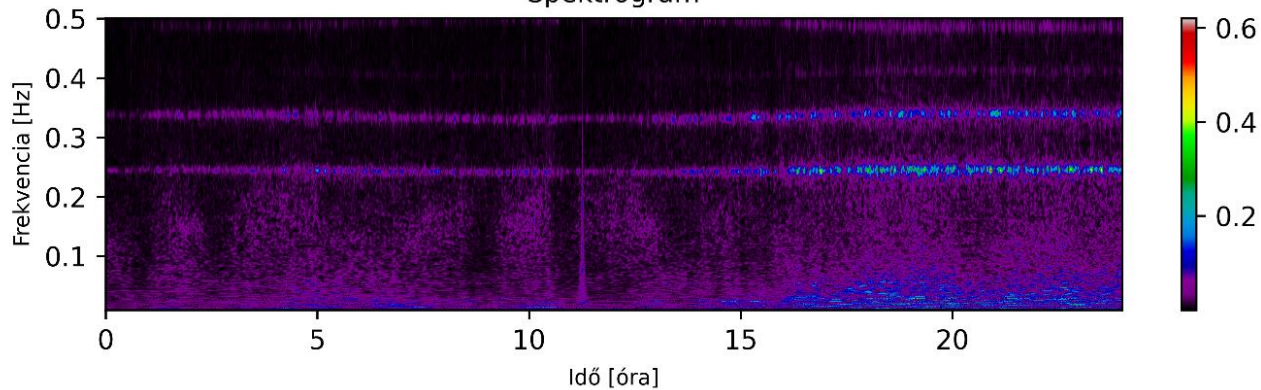


RTK koordináták

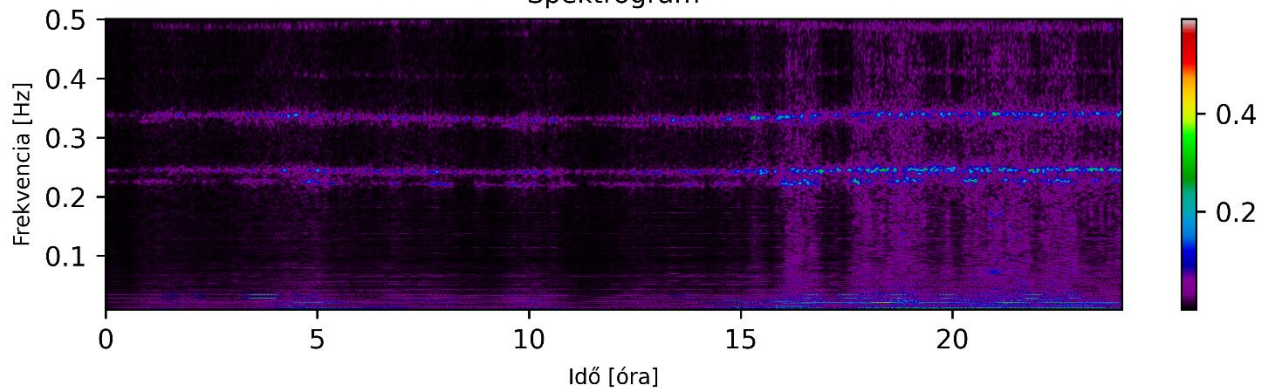
Variometria



Spektrogram



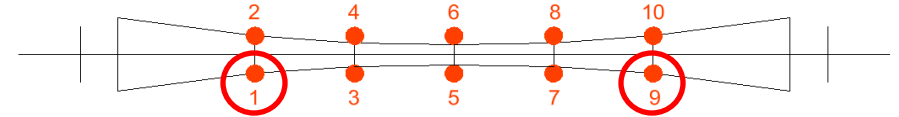
Spektrogram



RTK koordináták

Variometria

50 m 60 m 80 m 80 m 80 m 80 m 80 m 80 m 60 m 50 m



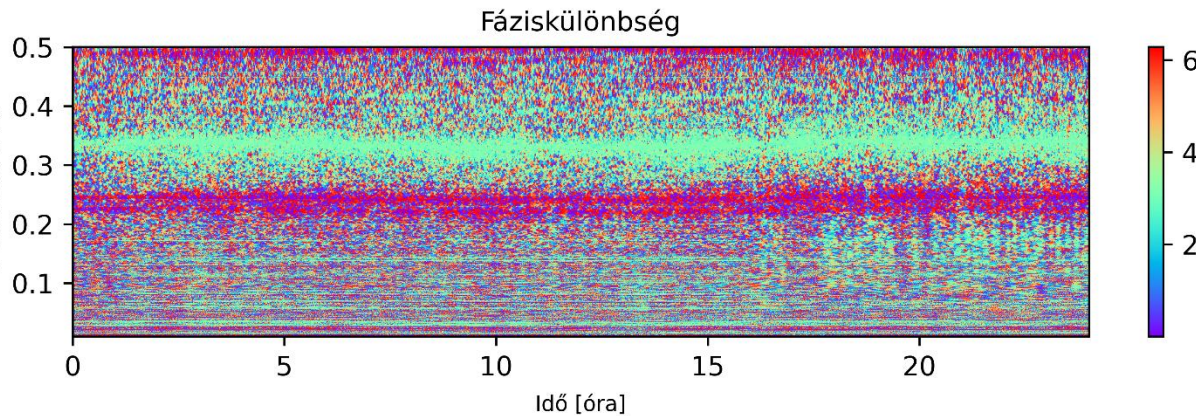
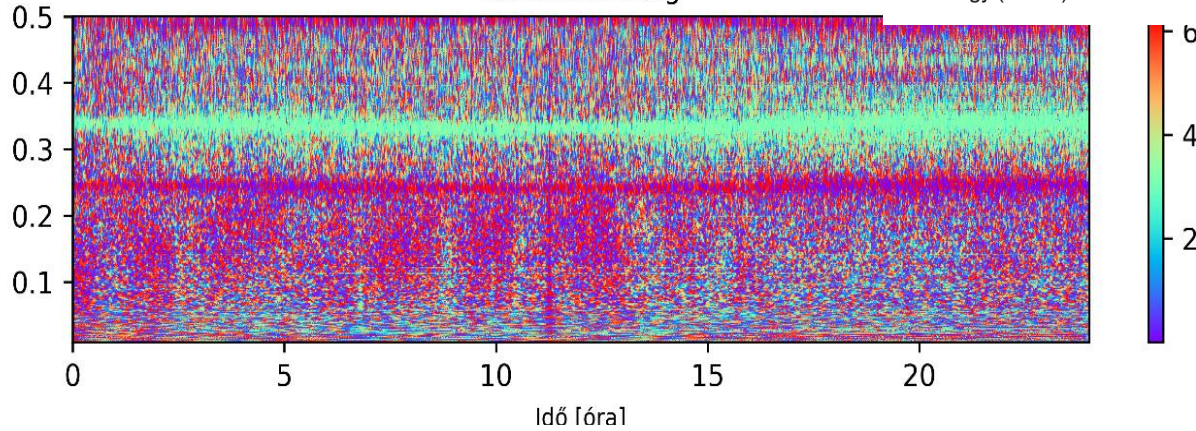
Fáziskülönbség

Szárhegy (Észak)

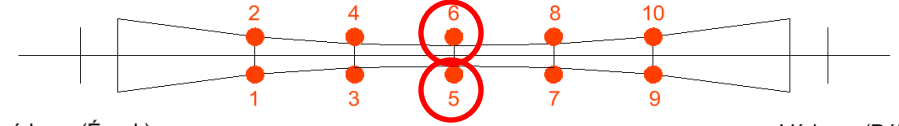
Várhegy (Dél)

RTK koordináták

Variometria



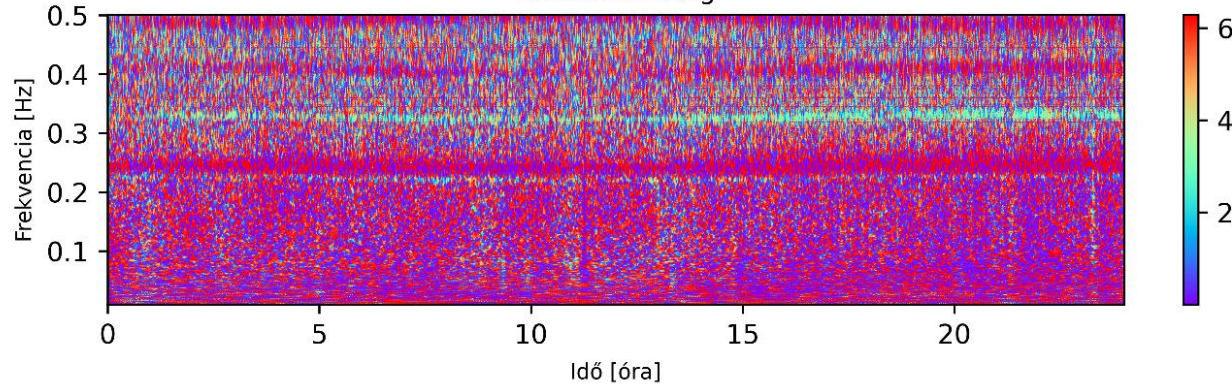
50 m 60 m 80 m 80 m 80 m 80 m 80 m 80 m 60 m 50 m



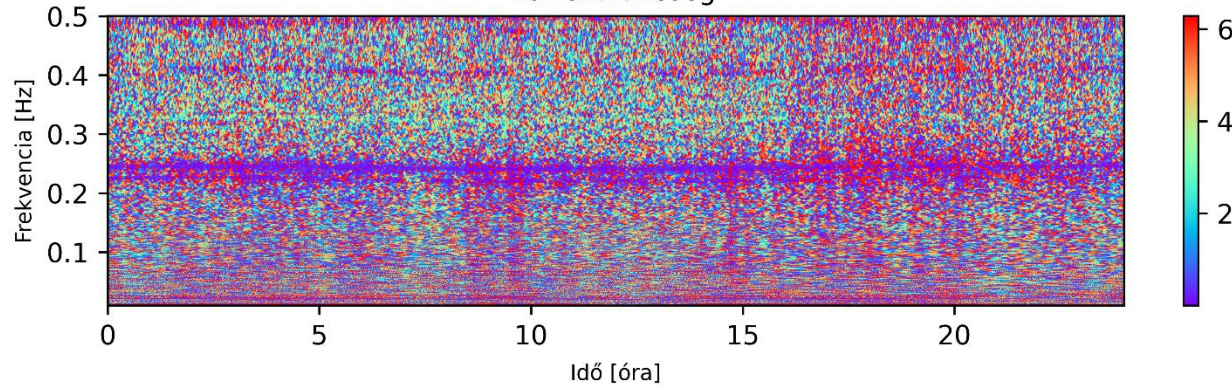
Szárhegy (Észak)

Várhegy (Dél)

Fáziskülönbség



Fáziskülönbség



RTK koordináták

Variometria

- Variometria módszer áttekintés
- Variometria sikeres alkalmazása valós adatokon
- Hagyományos RTK-val összehasonlítás
- Spektrumanalízis
- További szabályos hibák/hatások szűrése



Köszönöm a figyelmet!



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

Általános és Felsőgeodézia Tanszék