

# MAGNETOTELLURIKUS ADATOK STATISZTIKAI VIZSGÁLATA

## STATISTICAL INVESTIGATION OF MAGNETOTELLURIC DATA

NÁDASI Endre<sup>1</sup>, TURAI Endre<sup>2</sup>, SZABÓ Norbert Péter<sup>3</sup>

<sup>1</sup>tanársegéd, kutató mérnök, gfn@uni-miskolc.hu

<sup>1</sup>Geofizikai Tanszék, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, Miskolci Egyetem

<sup>2</sup>egyetemi docens, gfturai@uni-miskolc.hu

<sup>2</sup>Geofizikai Tanszék, Miskolci Egyetem

<sup>3</sup>egyetemi docens, tudományos főmunkatárs, gfnmail@uni-miskolc.hu

<sup>3</sup>Geofizikai Tanszék, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, Miskolci Egyetem

**Kivonat:** Jelen publikáció magnetotellurikus (MT) geofizikai adatok statisztikai vizsgálatát tartalmazza. Klasszikus és modern, többváltozós statisztikai módszereket egyaránt felhasználtunk. A számításokat már feldolgozott adatokkal, a szondázási görbék látszólagos fajlagos ellenállás és fázis értékeivel végeztük. Az északkelet-magyarországi Cserehátból származó 24 MT állomás adatai képzeték vizsgálatunk tárgyát. Átlag szondázási görbék és korrelációs térképek előállítására, valamint klaszteranalízis alkalmazása alapján vontuk le geofizikai és a mérési területre vonatkozó földtani következtetéseinket.

**Kulcsszavak:** geofizika, elektromágneses indukció, magnetotellurika, statisztika, klaszteranalízis

**Abstract:** This paper deals with statistical analysis of magnetotelluric (MT) data. Classical and modern, multivariate statistical methods were applied as well. The calculations were done on processed MT data, on the apparent resistivity and phase values of MT sounding curves. The object of our statistical investigations was the 24 MT station data from the Cserehát region, NE Hungary. The geophysical and local geological conclusions were drawn based on the prepared average sounding curves, correlation maps and the results of cluster analysis.

**Keywords:** geophysics, electromagnetic induction, magnetotellurics, statistics, cluster analysis

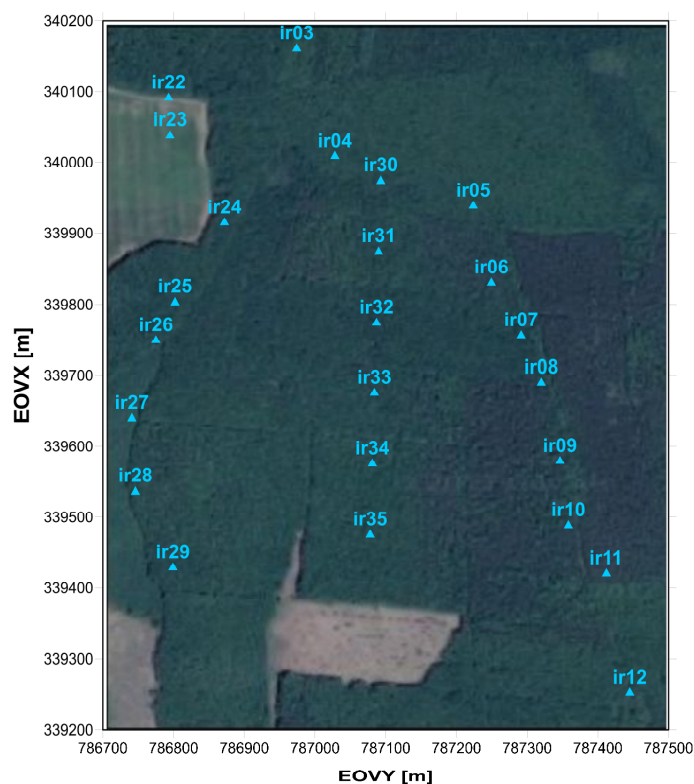
## 1. BEVEZETÉS

A magnetotellurika (MT) passzív elektromágneses geofizikai kutatómódszer, melynek vizsgálati mélysége – a regisztrált hullámok periódusidejétől függően – a néhány tíz métertől a több száz kilométerig terjed, így akár a földköpeny vizsgálatára is alkalmas. Használata során a természetes elektromágneses tér vízszintes komponenseinek a Föld felszínén történő mérésével becsüljük a felszín alatti térrész elektromos fajlagos ellenállását. Alkalmazási területe széleskörű: a tudományos célú köpenykutatáson túl az érc-, a szénhidrogén- és a geotermikus kutatásoknál is elterjedt geofizikai módszer.

Jelen tanulmányban az észak-magyarországi Cserehátban gyűjtött MT adatrendszer statisztikai vizsgálatát végeztük el annak érdekében, hogy a 3D inverziós feldolgozást további információkkal támogassuk meg. Az Irota, Gadna és Felsővadászi községek közötti erdővel borított mérési területen 24 MT állomás adatai álltak rendelkezésünkre (1. ábra). Az adatok ércutatási céllal kerültek regisztrálásra, ugyanis a régóta inaktív kutatási területen szulfid ásványosodáshoz kapcsolódó ércdúsulás remélhető. Mindezt a korábbi fúrásos kutatások, az ismert geomágneses és gravitációs anomáliák [1], valamint a friss földtani észlelések és anyagvizsgálatok is alátámasztják [2].

Az MT állomások adatait statisztikus frekvencia analízissel dolgoztuk fel, így előálltak minden állomásra az egyes frekvenciákhoz tartozó látszólagos fajlagos ellenállás ( $\rho_a$ ) és fázis

( $\varphi$ ) adatok TE (transzverzális elektromos) és TM (transzverzális mágneses) módusban. Ezek a mennyiségek ( $\rho_{aTE}$ ,  $\rho_{aTM}$ ,  $\varphi_{TE}$ ,  $\varphi_{TM}$ ) képezték klasszikus (átlag, szórás, korreláció) és modern (klaszter analízis) statisztikai vizsgálataink tárgyát.



1. ábra. A mérési terület műholdképe a 24 MT mérési ponttal

## 2. AZ MT ADATOK FELDOLGOZÁSA

A magnetotellurikus adatok feldolgozásának alapfeladata az ún. impedancia tenzor elemeinek [3] a meghatározása. Ennek alapját a nyers mérési adatok, vagyis az elektromos és mágneses térkomponensek ( $E_x$ ,  $E_y$ ,  $H_x$ ,  $H_y$ ,  $H_z$ ) terepen regisztrált idősorai jelentik. A hagyományos, ipari gyakorlatban alkalmazott magnetotellurikus adatfeldolgozás legfontosabb lépései a következők [3]:

- időtartományban történő előszűrés,
- frekvenciatartományba történő átalakítás, gyors Fourier-transzformáció (FFT- Fast Fourier Transform),
- a műszer átviteli függvényének korrekciója,
- teljesítménysűrűség spektrumok számítása,
- az impedancia tenzor elemeinek kiszámítása.

Ezt követően a látszólagos fajlagos ellenállás ( $\rho_a(\omega)$ ) és fázis ( $\Phi(\omega)$ ) értékek a Cagniard formulák [4] alapján számíthatók:

$$\rho_a = \frac{1}{\mu\omega} |Z_{ij}|^2 \text{ [ohmm] és} \quad (1)$$

$$\varphi_{ij}(\omega) = \arctg\left(\frac{\text{Im}(Z_{ij}(\omega))}{\text{Re}(Z_{ij}(\omega))}\right) \text{ [rad]}, \quad (2)$$

ahol:

$i=x; j=y$  – TE módus esetén,

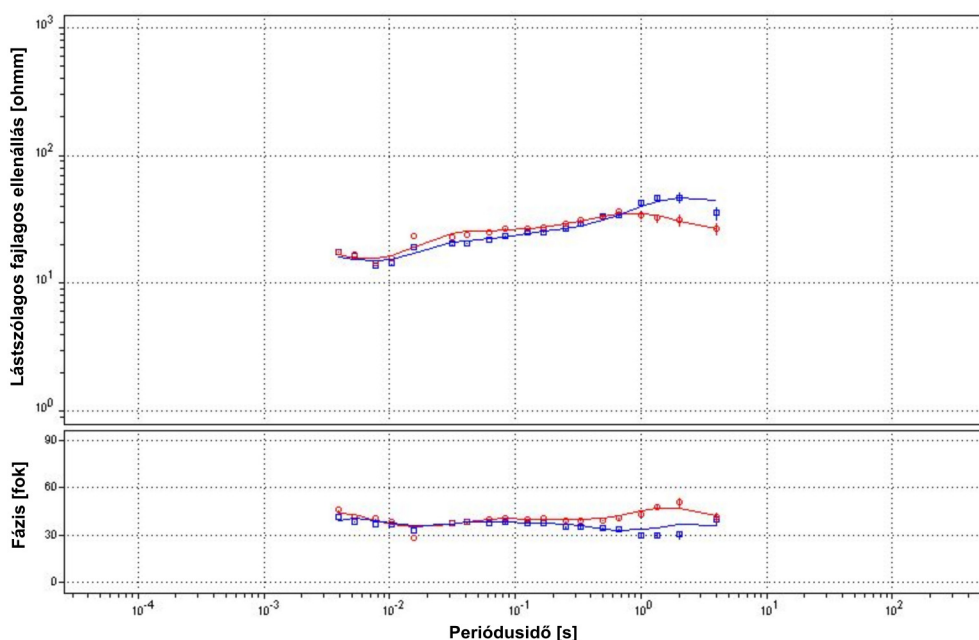
$i=y; j=x$  – TM módus esetén,

$\mu$  – a közeg abszolút mágneses permeabilitása,  $\mu \approx \mu_0$ ,

$\mu_0$  – a vákuum abszolút mágneses permeabilitása,

$\omega$  – a körfrekvencia.

A látszólagos fajlagos ellenállás és fázis értékeket a periódusidő függvényében ábrázolva kapjuk az egyes mérési pontokra a szondázási görbéket (2. ábra). A fent ismertetett lépések a WinGLink (verzió: 1.55) felszíni geofizikai adatfeldolgozó szoftver segítségével történtek.



2. ábra. Az ir03 mérési ponthoz tartozó MT szondázási görbe. Pirossal a TE, késsel a TM módus jelölve.

### 3. MÓDSZEREK ÉS EREDMÉNYEK

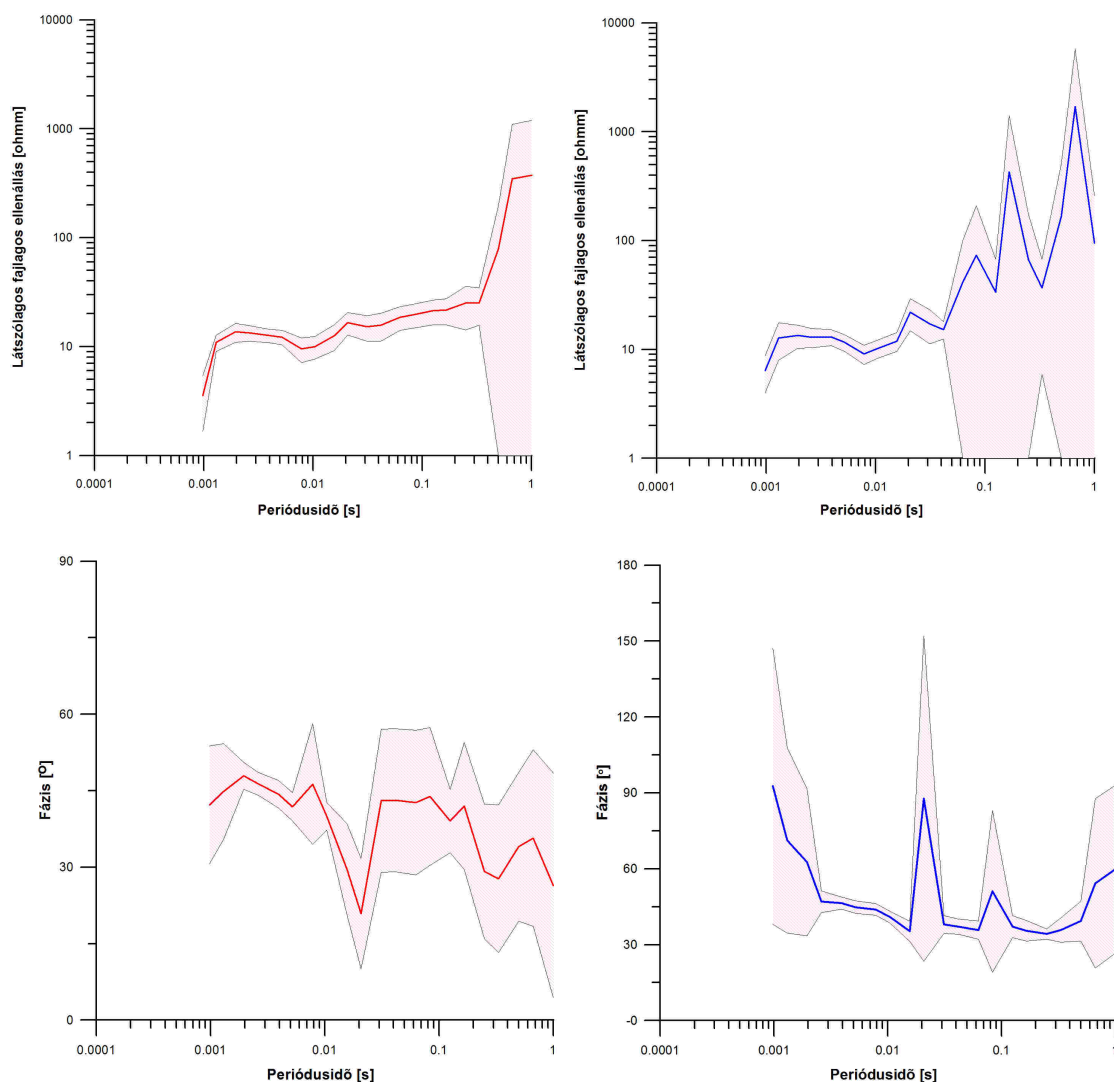
#### 3.1. Klasszikus statisztikai elemzések

A szondázási görbék egyes frekvenciákhoz tartozó látszólagos fajlagos ellenállás és fázis értékeiből (TE és TM) átlagot (3) és szórást (4) számítottunk:

$$\rho_{a,\text{átlag}}(f) = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_{a,i}}{n}, \quad \varphi_{\text{átlag}}(f) = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{n}, \quad (3)$$

$$\rho_{a,\text{szórás}}(f) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\rho_{a,i} - \rho_{a,\text{átlag}})^2}{n-1}}, \quad \varphi_{\text{szórás}}(f) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varphi_i - \varphi_{\text{átlag}})^2}{n-1}}. \quad (4)$$

Az így kapott értékeket a periódusidő függvényében ábrázoltuk (3. ábra), a fajlagos ellenállás adatokat log-log, míg a fázis adatokat szemilogaritmikus skálán.



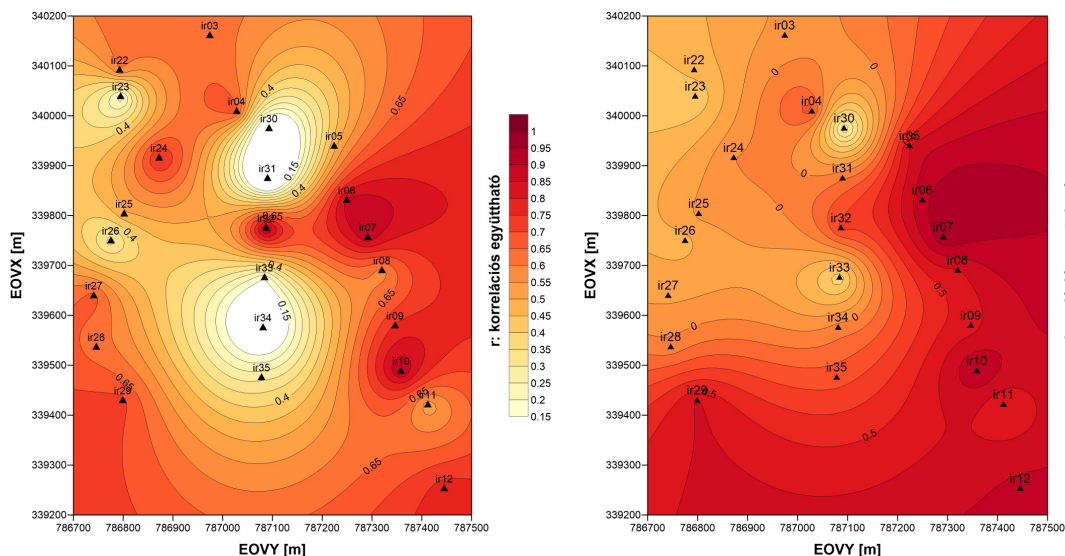
3. ábra. A területen várható MT szondázási görbék, a szórásintervallumok feltüntetésével. Piros színnel a TE, kék színnel a TM módust jelöltük. A fenti két grafikonon a látszólagos fajlagos ellenállás, alul a fázis görbék láthatóak.

A látszólagos fajlagos ellenállás görbékről elmondható, hogy a szórás a nagy frekvenciákon alacsony. TE módus esetében a 3 Hz, TM módus esetében az 50 Hz feletti frekvenciákra igaz ez a megállapítás. A fázisgörbék esetén – különösen TM módban – jelentős szórás figyelhető meg a nagy frekvenciák esetében is.

A TE és a TM szondázási görbék közötti korrelációs együtthatók (Pearson-féle) alapján korrelációs térképeket ( $\rho_a$  és  $\varphi$ ) szerkesztettünk. Ezek alapján (4. ábra) a földtani szerkezet egy-, illetve többdimenziós jellegére vonatkozóan tudunk következtetéseket levonni. Minél nagyobb ugyanis a korrelációs együttható, annál inkább egydimenziós, azaz vízszintesen rétegzett struktúrát várhatunk az adott pont esetében.

A látszólagos fajlagos ellenállásra meghatározott korrelációs térképen látható, hogy erős korrelációs értékek adódtak az ir32, ir06, ir07 és ir10 MT állomások esetében. A legalacsonyabb korrelációs együtthatók az ir30, ir31 és ir34 állomásoknál jelentkeztek. Mivel

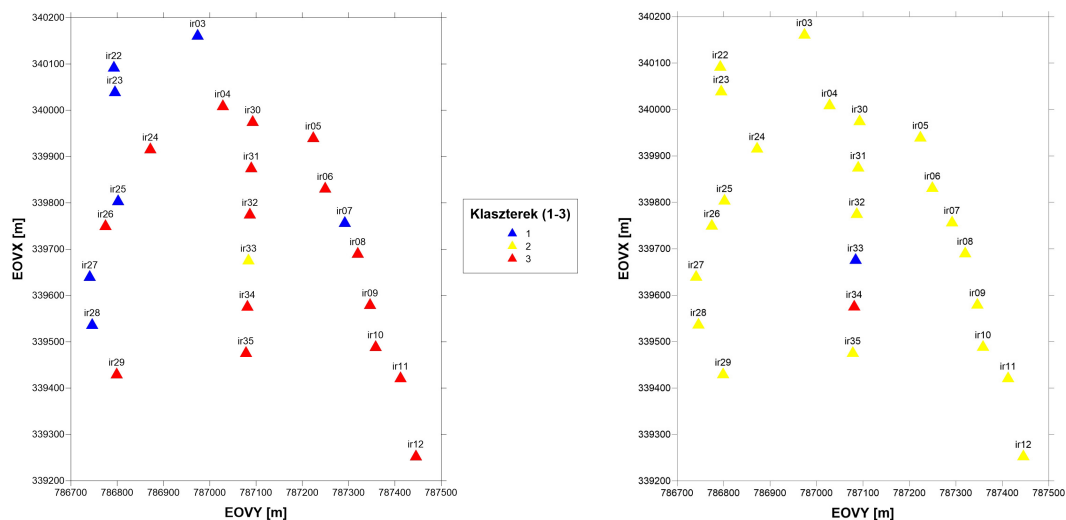
a fázisnál negatív értékek is előfordulnak, így ott természetesen negatív korrelációs értékek is megjelennek. Megfigyelhető, hogy a mérési terület keleti felére eső állomások esetében fordulnak elő pozitív, helyenként erős korrelációs együttható értékek a fázisra meghatározott térképen. A korrelációs térképek alapján megállapítható, hogy az ir6, ir7, ir9, ir10 és az ir12 mérési pontok alatt jó közelítéssel 1D a földtani szerkezet.



4. ábra. A területre meghatározott korrelációs térképek,  $\rho_a$  paraméterre – baloldalon, fázisra – jobboldalon

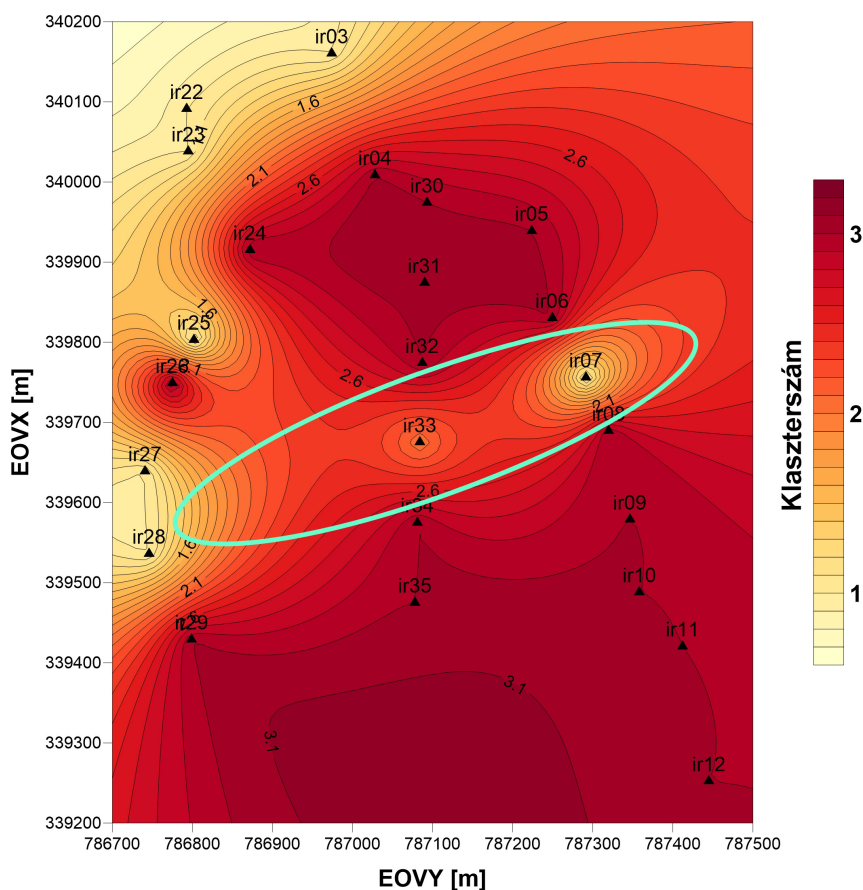
### 3.2. Klaszteranalízis alkalmazása

Az egyes mérési állomásokat a hozzájuk tartozó szondázási görbék alapján csoportokba rendeztük nem-hierarchikus klaszterezést alkalmazva. A nem-hierarchikus klaszterezési eljárások közül a leggyakrabban alkalmazott K-közép módszert [5] használtuk. A klaszterezést az adat objektumok között értelmezett L2 normán alapuló euklideszi és az L1 normán alapuló city-block távolság definíciók alapján is elvégeztük (5. ábra).



5. ábra. A K-közép klaszterezés eredménye city-block (bal oldal), valamint euklideszi (jobb oldal) távolság alapján

A nem-hierarchikus klaszterezési technikák sajátja, hogy a klaszterszámot előre szükséges megadni. Az MT állomások esetében tapasztalati úton 3 csoport kialakítását tartottuk megfelelőnek, de ettől eltérő csoportszámokat (2, 4, vagy 5) is létrehoztunk. Mivel az euklideszi távolságon alapuló klaszterezés érzékenyebb a kiugró elemekre, így a city-block távolság képzés használatával differenciáltabb csoportbeosztáshoz jutottunk (5. ábra). Ezt a beosztást felhasználva krigeléssel interpolált klaszter térképet készítettünk (6. ábra), melyen az ellipszissel jelölt területen anomália rajzolódik ki.



6. ábra. A K-közép módszerrel city-block távolság alapján klaszterezett MT állomások csoportszámainak interpolált (krigelés) térképe

#### 4. KONKLÚZIÓ

Az MT szondázási görbék statisztikai vizsgálatai kiemelt fontosságúnak bizonyultak a kiugró adatok kezelésében. Az adatok minőségellenőrzésénél és a rossz mérési adatok szelektálásában is segítséget nyújtanak. Ezen műveletek elvégzése fontos lépés az inverziós futtatások megkezdése előtt.

A várható látszólagos fajlagos ellenállás és fázis, valamint a hozzájuk tartozó szórás görbék alapján megállapítható, hogy a fedő üledékes összlet közel 1D-s jelleget mutat. A TE és TM módushoz tartozó görbék rendszerint az 1 szekundum feletti periódusoknál (1 Hz-nél alacsonyabb frekvenciák) kezdenek egymástól elválni. Az átlag görbék számításával egy a területre jellemző fajlagos ellenállás szondázási görbe állt elő az 1 Hz-nél nagyobb frekvenciákra. A korrelációs térkép jól mutatja azokat a területeket, ahol az elektromágneses

szempontból többdimenziós (2D, 3D) szerkezetek megjelennek. Ugyanis minél alacsonyabb a korrelációs együttható, annál kevésbé egydimenziós a geoelektromos struktúra. A legalacsonyabb korrelációs együtthatók az ir30, ir31 és az ir34 állomások esetében jelentkeztek.

A klaszteranalízis megmutatta, hogy az előzetesen NYDNY-KÉK irányítottsággal feltételezett szerkezeti elemek (vető, vetőzóna) valóban jelen lehetnek a területen. Az ir07 és ir33 állomások által meghatározott csapás mentén ugyanis negatív anomália rajzolódik ki a klaszterszámokat megjelenítő izovonalas térképen (6. ábra), ez az irány pedig a feltételezett szerkezeti csapás-iránnyal egyezik meg.

Összességében kijelenthető, hogy az egy területről származó MT szondázási görbék statisztikai vizsgálatával hasznos információk nyerhetők, melyek a pontosabb geofizikai modell felállítását és a földtani interpretációt egyaránt segítik.

## 5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SZALAY I., BRAUN L., PETROVICS I., SCHÖNVISZKY L. ÉS ZALAI P.:** *Észak-Magyarország geofizikai előkutatása – Szendrői-hegység előkutatása*, MÁELGI Évi Jel. 1987-ről. pp. 35-39.
- [2] **NÉMETH, N.:** *Geological observation in the Cserehat between Irota and Gadna*, Geosciences and Engineering, 2012, 1(1), 261-269.
- [3] **SIMPSON, F., BAHR, K.:** *Practical Magnetotellurics*, University Press, Cambridge, 2005., ISBN 0 521 81727 7
- [4] **CAGNIARD, L.:** *Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting*, Geophysics, 1953, 18, 605-635.
- [5] **MACQUEEN, J. B.:** *Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations*, Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Berkeley, University of California Press, 1967, 1:281-297.