

## Geoelektromos tomográfia Kulcs település felszínmozgásos területén

### Geoelectric tomography carried out on a mass movement site of Kulcs settlement

Prodán Tímea Hajnal

MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet, [Prodan.Timea@csfk.mta.hu](mailto:Prodan.Timea@csfk.mta.hu)

Prácsér Ernő

MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet, [Pracsér.Erno@csfk.mta.hu](mailto:Pracsér.Erno@csfk.mta.hu)

Balogh János

MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, [Balogh.Janos@csfk.mta.hu](mailto:Balogh.Janos@csfk.mta.hu)

Kis Éva

MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, [Kis.Eva@csfk.mta.hu](mailto:Kis.Eva@csfk.mta.hu),

Novák Attila

MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet, [Novak.Attila@csfk.mta.hu](mailto:Novak.Attila@csfk.mta.hu)

Udvardi Beatrix

ELTE TTK, Közettani és Geokémiai Tanszék, Litoszféra Fluidum Kutató Labor, [udvbeatrix@gmail.com](mailto:udvbeatrix@gmail.com)

Viczián István

MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, [Viczián.Istvan@csfk.mta.hu](mailto:Viczián.Istvan@csfk.mta.hu)

**ÖSSZEFOGLALÁS:** A Duna jobb partján fekvő Kulcs község területén a felszíni tömegmozgásos folyamatok az elmúlt évtizedben aktivizálódtak, és nagy károkat okoztak. A legutóbbi nagyobb mozgást követően a Hullám utcát és a Deák Ferenc utcát életveszélyesnek nyilvánították. A katasztrófa-övezetnek minősített területen kísérleti céllal végeztünk geofizikai szondázásokat, hogy a felszíni tömegmozgások földtani okait feltárjuk. Méréseinkkel azt vizsgáltuk, hogy ezekkel a módszerekkel leképezhetőek-e azok a feltehetően 2D vagy 3D szerkezetek, amelyek magyarázatot adhatnak a felszíni tömegmozgások egyenetlen területi eloszlására. Sokelektrodás geoelektromos módszert alkalmaztunk.

A területen alkalmazott geofizikai kutatások hozzájárulhatnak a magaspart földtani környezetének komplex megismeréséhez, információt adhatnak esetleges újabb mozgások helyére vonatkozóan, illetve további magyarázatot nyújthatnak a tömegmozgások felszín alatti okainak pontosabb megismeréséhez. Továbbá segítséget nyújtanak a részletes geológiai információt szolgáltató fúrások megfelelő helyen történő telepítéséhez, így a szükséges geotechnikai eljárások tervezéséhez is.

**Kulcsszavak:** lösz, tömegmozgásos folyamatok, egyenáramú mérések, geofizikai inverzió, fajlagos ellenállás

**ABSTRACT:** The surface mass movement process intensification on the right bank of the Danube, on the territory of village Kulcs caused serious damages during the past decade. Following the last greater movement the Hullám and Deák Ferenc streets were declared to be life-threatening. On areas classified to disaster zone experimental geophysical measurement along profiles were carried out, to explore the possible geological causes of the mass movements. It was investigated if those - probably 2D or 3D - structures, which may give explanation to the specific territorial distribution of the surface mass movements could be detected by geoelectric methods. Multielectrode direct current method was applied to image the subsurface electric resistivity distribution.

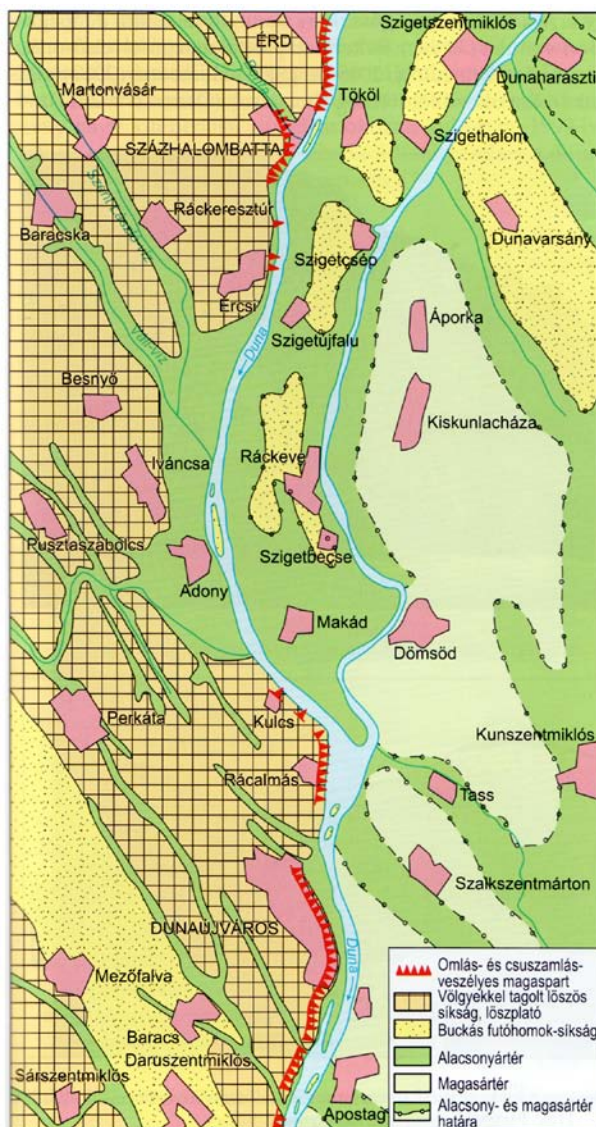
The applied geophysical methods contribute to the better understanding of the geological environment of the high bank, provide additional explanation to the causes of the mass movements, may yield information concerning the place of potential future mass movements. Results also may help planning further drillings on appropriate sites and also helps to plan the necessary geotechnical procedures.

**Keywords:** loess, mass movement processes, direct current measurements, geophysical inversion, resistivity

## 1 BEVEZETÉS

Az alföldi dunai magaspart régóta kutatások tárgyát képezi, ám az utóbbi években aktivizálódott tömegmozgásos folyamatok (pl. Kulcson, Dunaszekcsőn, Rácalmás) fokozottan a felszínmozgások folyamatainak pontosabb megismerésére és nyomon követésére irányította a földtudományokkal foglalkozó szakemberek figyelmét.

A vizsgált terület Mezőföld keleti peremén, Rácalmás és Adony között található (1. ábra), ahol a Duna magaspartja 50-70 m-rel emelkedik a középvízszint fölé. A magaspart mögött húzódó löszfennsík alacsony dombvidéki jellegű terület, előterében mállott lösz tartalmazó törmelékes lejtő terület el. Domborzati megjelenésében átmenetet képez a Dunántúli dombság és a Duna-menti síkság között.



**1. ábra.** A vizsgált terület geomorfológiai térképe (*Geomorphological map of the study site*) (szerk.: Balogh J.- Schweitzer F. 2010, in: Schweitzer F. 2011)

A Kulcs és Dunaújváros közötti kb. 20-25 km hosszú szakaszon a magaspart a Duna medrétől kb. 200-300 m-re húzódik. A 40-50 m vastag lösztakaró pannóniai korú tengeri agyagra települ. A magaspart és a folyó között régi és új csuszamlásos halmazokat találunk/vannak. Kulcs község olyan partszakaszon épült, amelynek földtani felépítésében a felső-pannóniai és negyedidőszaki rétegek is részt vesznek, ennek következtében a nagyobb földcsuszamlások gyakoribbak (Schweitzer F. 2011).

A legutóbbi nagyobb tömegmozgás (2011. január 17.) következtében a területen több épület erősen megrongálódott, utak, falak, kerítések károsodtak, több helyen elszakadtak a villanyvezetékek, a felszínen széles repedések alakultak ki (2. ábra).

Kulcs felszínmozgásos területén korábban egyéb szakterületek - geológia (MFGI), geokémia-kőzettan (ELTE Geokémiai és Kőzettan Tanszék), geográfia (MTA CSFK FTI) - szakemberei is vizsgálatokat folytattak, amely kutatások eredményeit a geofizikai vizsgálatok hatékonyan kiegészíthetik, avagy alátámaszthatják, ill. segíthetik a jövőbeni kutatások (pl. fúrások) célirányos megtervezését.

A területen előforduló felszínmozgások kapcsán felvetődött kérdések tisztázásán túl vizsgálataink módszertani szempontokat szolgáltathatnak hasonló földtani és geomorfológiai környezetben, más, a tömegmozgások által potenciálisan veszélyeztetett területek kutatásaihoz.

## 2 GEOFIZIKAI KUTATÁSOK

Felszínmozgásos területek kutatása a topográfia, a közetfizikai paraméterek nagymértékű horizontális és vertikális tagoltsága, és a képződmények változatos helyzete, geometriája miatt a geofizika nehezebb feladatai közé tartozik. Az alkalmazott geofizikai módszerek számos lehetőséget kínálnak a felszín alatti inhomogenitások, kétdimenziós (2D) és háromdimenziós (3D) képződmények kutatására, a módszerek hatékonysága, felbontóképessége azonban nagyon eltérő. A helyi adottságoknak leginkább megfelelő módszereket és a mérési elrendezést kellő apriori ismeret, a kutatási mélység, geometria, morfológiai jegyek, geológiai és hidrogeológiai adatok, közetfizikai paraméterek alapján lehet kiválasztani. Az előkutatási fázisban áttekintő kvalitatív képet kapunk a kutatott képződmények jellegéről, előfordulásáról. Nagy felbontóképességű módszerek alkalmazására csak a részletes kutatás fázisában van mód.

A geofizikai mérések a kőzetek különféle fizikai tulajdonságainak - a sűrűség, rugalmasság, mágnesezettség, vagy az elektromos fajlagos ellenállás - mélybeli eloszlásáról adnak információt.

A felszíni geofizikai kutatási módszerek közül talán a geoelektromos és elektromágneses módszerek a legsokszínűbbek. Az egyenáramú módszereknél egyenáramot, vagy hatását illetően egyenáramnak tekinthető kisfrekvenciás váltóáramokat használunk.

### 2.1 Egyenáramú geofizikai mérések

Az egyenáramú módszereket a szakirodalom részletesen tárgyalja (Koefoed O. 1979), jelen tanulmányban vázlatosan foglaljuk össze a legelterjedtebb mérési elrendezéseket, amelyeket Kulcson is alkalmaztunk. A geoelektromos mérések során a fajlagos ellenállás meghatározása a cél. A mérés mesterségesen létrehozott elektromos térrel történik. Az elektromos tér függ a kőzetek elektromos tulajdonságaitól, valamint a kőzetek térbeli elhelyezkedésétől.

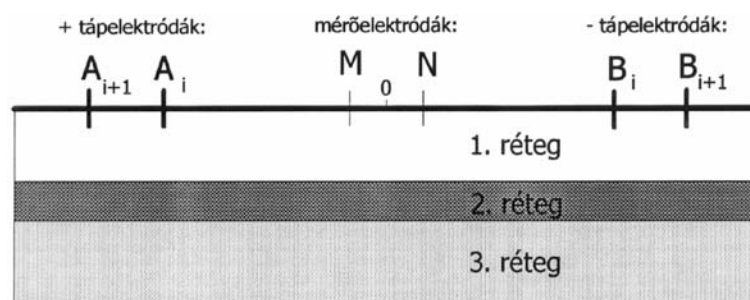
A mérés gyakorlati végrehajtásánál A-val és B-vel jelölt tápelektródákon keresztül áramot vezetünk a földbe, az M és N mérőelektródákkal pedig a két pont közötti potenciálkülönbséget mérjük. A hagyományos elektróda elrendezések esetén az A, B, M, N elektródák a szelvény mentén egy vonalban helyezkednek el. Schlumberger szondázás esetén az elektródák sorrendje AMNB, az M és N mérőelektrodák egymáshoz közel vannak, az AB távolság felénél (3. ábra). A behatolási mélységet a tápelektrodák távolságának a változtatásával szabályozzuk, nagyobb AB távolság esetén az áramok mélyebbre hatolnak, vagyis a mélyebben lévő térrész fajlagos ellenállásairól kapunk információt. Wenner elektróda elrendezés esetén az elektródák sorrendje szintén AMNB, viszont a szomszédos elektródák egymástól azonos távolságra vannak. Dipól-dipól elrendezésnél az elektródák sorrendje ABMN, a táp-, illetve a mérőelektrodák egymáshoz közel vannak, a behatolási mélység pedig az AB és MN elektródapárok távolságának a változtatásával szabályozható. A pól-dipól elrendezés a dipól-dipóltól abban különbözik, hogy az egyik tápelektroda a többi elektródától távol (elméletileg végtelenben) van elhelyezve.

A kutatott földtani szerkezet fajlagos ellenállás eloszlására vonatkozó információ megbízhatósága az egyes elektróda elrendezések esetében különböző. A Schlumberger és a dipól-dipól elrendezések alkalmazásában pl. az a legnagyobb különbség, hogy míg a Schlumberger elrendezés a fajlagos ellenállás mélységbeli változásának biztosítja a jobb leképezését, addig a dipól-dipól a fajlagos ellenállás laterális változásaira érzékenyebb.

Az adatok feldolgozásának eredményét a valós földtani szerkezetet megközelítő modell formájában szokás megadni. A modell esetünkben 2D, ami azt feltételezi, hogy a szelvény irányára merőlegesen a szerkezet nem változik. Egy szelvényen lemért adatok összességéből geofizikai inverzióval egy geoelektromos modellt határozzunk meg. Az inverzió részletes bemutatása (Tarantola. 1987) ebben a cikkben nem célunk. Az inverzió lényege, hogy valamilyen algoritmussal egy olyan modellt határozzunk meg, hogy a modelltől adódó elméleti értékek valamilyen kritérium szerint a legközelebb eszenek a mért értékekhez.



**2. ábra.** Tömegmozgás következtében keletkezett repedések Kulcs településen (*Fractures caused by mass movements on Kulcs settlement*) (Fotó: Prodán T. 2013)



**3. ábra.** Egyenáramú mérési elrendezés (*Direct current electrode array*) (Ubránkovics Cs. 2000)

A geofizikai mérési adatok inverziójának megbízhatóságát számos tényező befolyásolja. A mérési adatok száma eleve korlátozza a kapott modell részletességét, nem várhatjuk el, hogy olyan megbízható modellt kapjunk, amely több modellparaméterrel írható le, mint a mérési adatok száma.

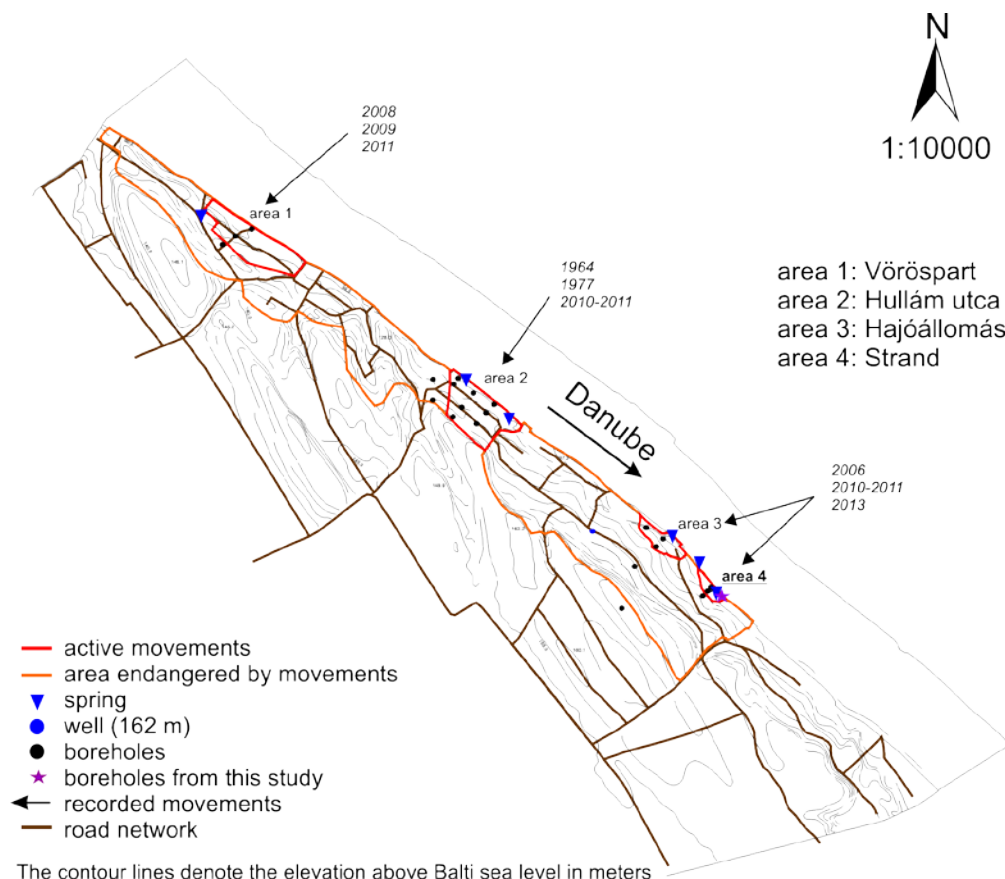
A mérési adatok pontatlansága és a felszín alatti 3D szerkezetek befolyásolják az inverzió megbízhatóságát. Az ekvivalencia jelensége akár nagyszámú pontos adat esetén is felléphet. Ez azt jelenti, hogy egymáshoz nagyon közeli elméleti adatrendszerek különböző modellekhez is tartozhatnak. A felmerülő különböző modellekből előzetes földtani információ alapján lehet kizárni a kevésbé valószínűket.



Az esetlegesen felmerülő kisebb nehézségek ellenére legtöbb esetben ajánlott felszíni geofizikai méréseket alkalmazni, mivel aránylag kevés idő ráfordításával, viszonylag alacsony költségen nagy mennyiségű mérési adatot kapunk, amelyek alapján megbecsülhetjük a felszín alatti térrész fajlagos ellenállás viszonyait. A nagyobb méretű szerkezetek megbízhatóan felismerhetők az inverziós modellen, továbbá a geoelektromos modell támpontot nyújthat arra vonatkozóan, hogy pl. fúrásokkal, vagy egyéb geofizikai eljárásokkal hol érdemes részletesebb kutatást végezni.

## 2.2 Geoelektromos mérések Kulcson

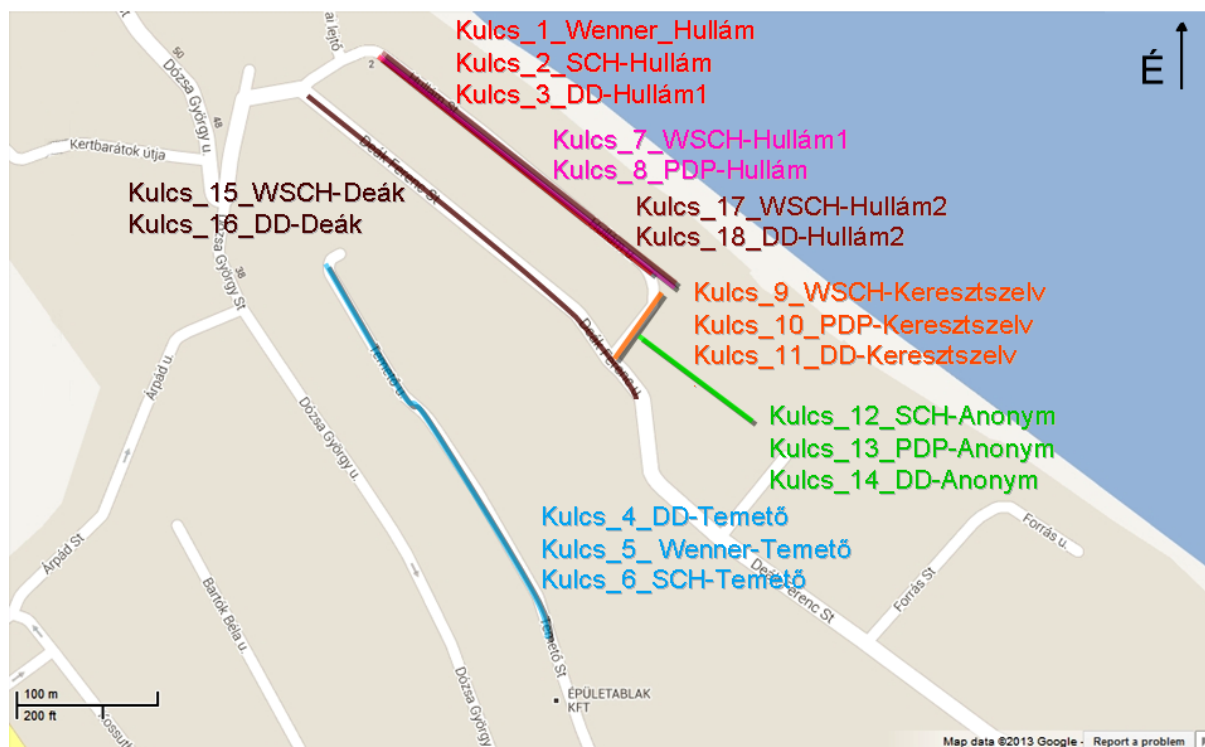
Kulcson négy csuszamlásveszélyes terület különíthető el, amelyek közül a 4. ábrán 2-essel megjelölt területen – Hullám utca és környéke – végeztünk geofizikai vizsgálatokat.



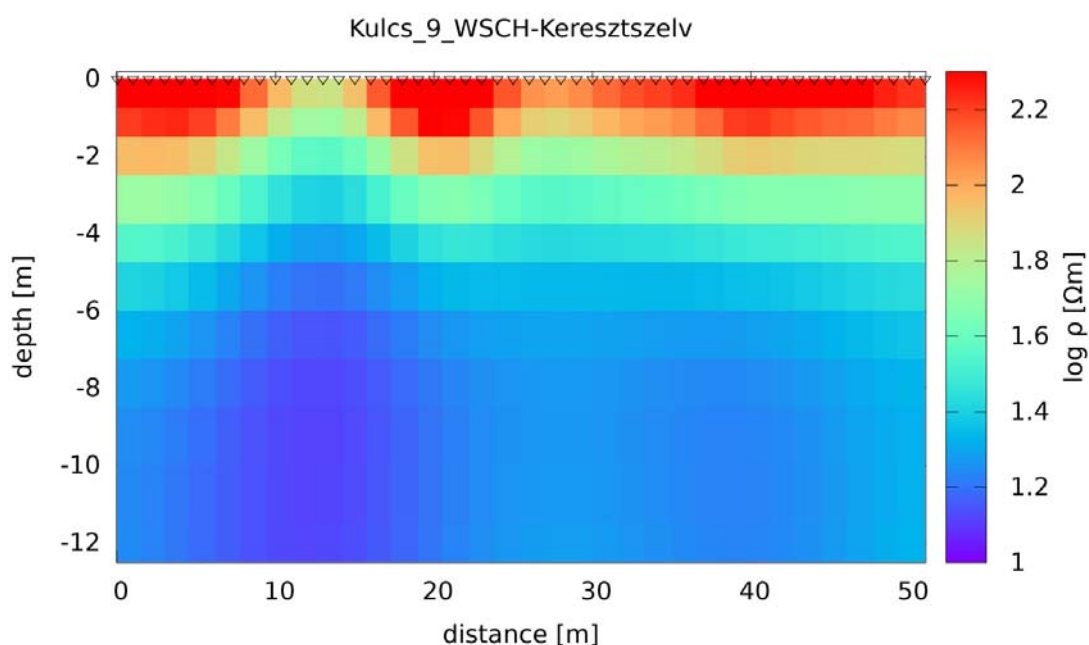
**4. ábra.** Felszínmozgásos területek Kulcs környékén (*Surface mass movement areas in the region of Kulcs*) (Udvardi B. et al. 2013)

A mérések Iris SYSCAL PRO Switch típusú geoelektromos műszerrel történtek. A területen 5 különböző helyen multielektródás méréseket végeztünk. A vizsgált területeken különböző – Schlumberger, Wenner, dipól-dipól, pól-dipól – elrendezéseket alkalmazva 18 szelvényt kaptunk (5. ábra). Az inverziós modellek alapján leginkább megbízhatónak a Schlumberger szondázások bizonyultak.

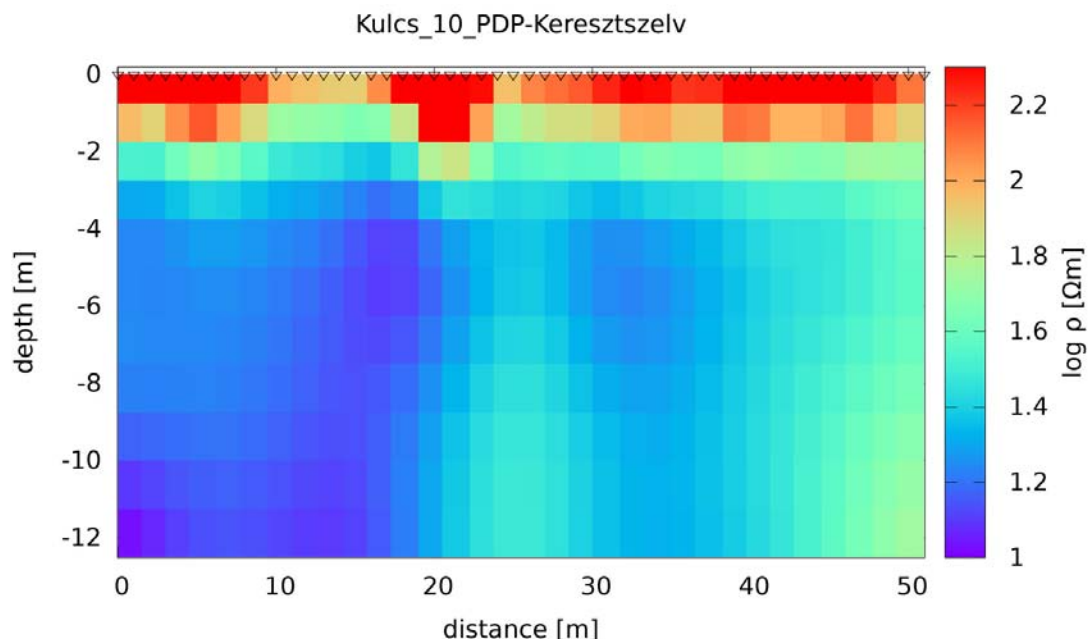
Első lépésben azt vizsgáltuk, hogy a Dunára merőlegesen találunk-e kimutatható szerkezeti változásokat. A Hullám utca délkeleti végétől indulva egy viszonylag rövid (52 m hosszúságú), sűrű elektródátávolsággal (1 m) keresztshelvényt mértünk. Ez a szelvény nagyjából 1D modellt mutat. Közvetlenül a felszín alatt kb. 2 m vastagságban viszonylag nagyobb fajlagos ellenállású réteg mutatkozik, alatta nagyobb változások nem jelennek meg, amit a Schlumberger és a pól-dipól elrendezésekkel kapott inverziós eredmények (6. ábra, 7. ábra) jól szemléltetnek.



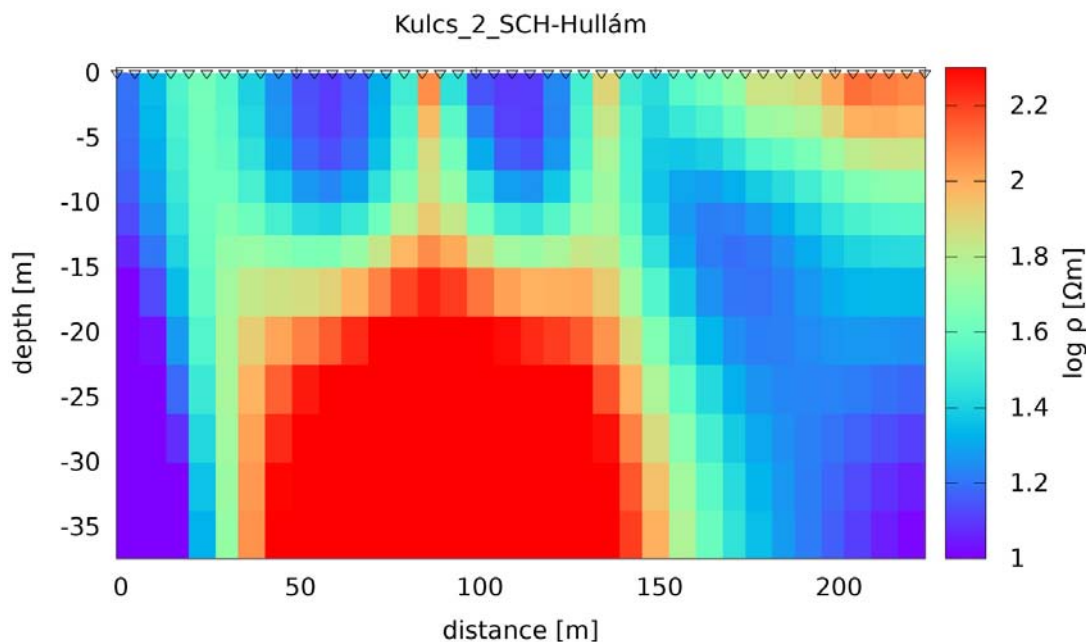
5. ábra. Geoelektromos szelvények a 2-es számú területen (*Geoelectrical profiles in the study area nr. 2.*) (Prodán T. & Prácser E. 2013)



6. ábra. Geoelektromos inverzió eredménye a keresztmetszvény mentén (Wenner-Schlumberger elrendezés) (*Result of geoelectrical inversion along the cross section (Wenner-Schlumberger array)*) (Prodán T. & Prácser E. 2013)

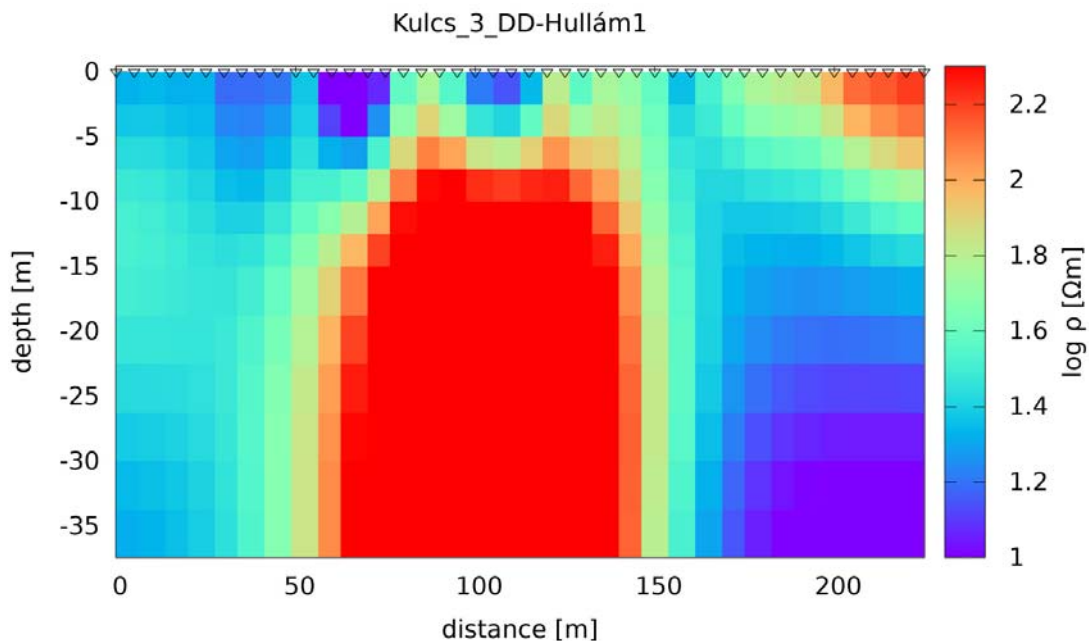


**7. ábra.** Geoelektromos inverzió eredménye a keresztmetszvény mentén (pól-dipól elrendezés) (*Result of geoelectrical inversion along the cross section (pole-dipole array)*) (Prodán T. & Prácser E. 2013)

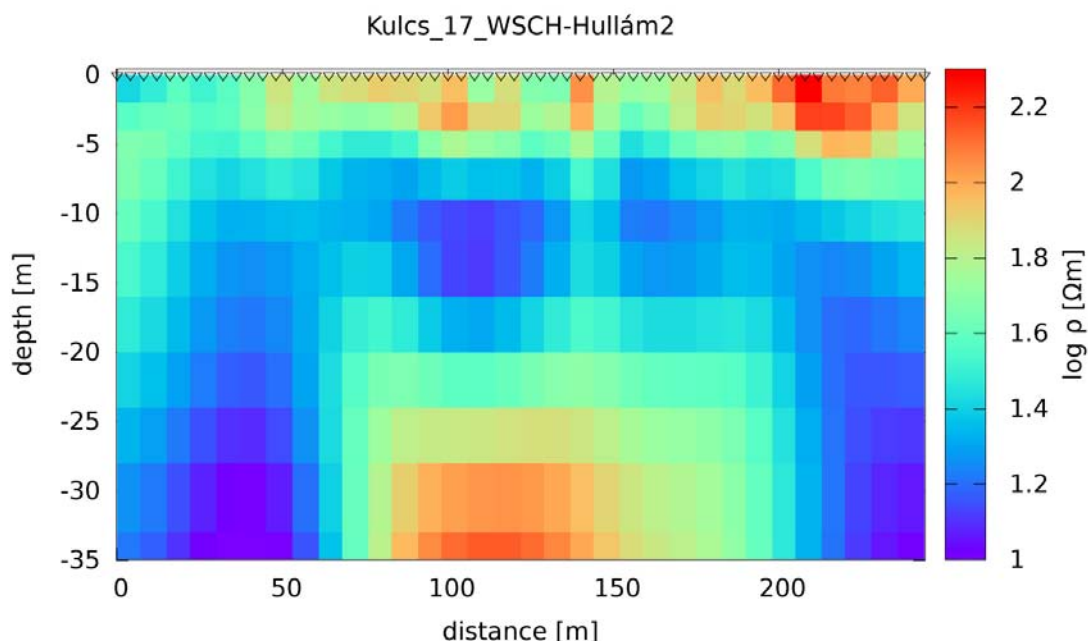


**8. ábra.** Geoelektromos inverzió eredménye a Hullám utcában mért szelvényen (Schlumberger elrendezés) (*Result of geoelectrical inversion along the profile measured in Hullám street (Schlumberger array)*) (Prodán T. & Prácser E. 2013)

A következő, Dunával párhuzamos szelvényt úgy választottuk meg, hogy a legutóbbi (2011. évi) nagyobb tömegmozgás által leginkább érintett területre essen. A folyótól kb. 70 m-re található Hullám utcában 230 m-en 46 elektródával (5 m-es elektróda távolsággal) geoelektromos mérést végeztünk (5. ábra). A mérési adatokból kapott inverziós modell igen érdekes 2D szerkezetet mutat. Az ábrákon (8. ábra, 9. ábra) látható inverziós modellek Schlumberger és dipól-dipól mérési adatok alapján készültek. 10-20 m mélységben megjelenik egy horizontálisan és vertikálisan is jól lehatárolható nagyobb fajlagos ellenállású térrész. Ez a határozottan megjelenő, 200 ohmm-nél nagyobb fajlagos ellenállás biztosan nem agyag, hanem homok, kavics, vagy valamilyen homokos kavicsos, esetleg murvás iszapos összetételű képződmény lehet.



**9. ábra.** Geoelektromos inverzió eredménye a Hullám utcában mért szelvény mentén (dipól-dipól elrendezés) (Result of geoelectrical inversion along the profile measured in Hullám street (dipole-dipole array)) (Prodán T. & Prácser E. 2013)



**10. ábra.** Geoelektromos inverzió eredménye árvíz után a Hullám utcában mért szelvény mentén (Wenner-Schlumberger elrendezés) (Result of geoelectrical inversion along the profile measured in Hullám street after the flood (Wenner-Schlumberger array)) (Prodán T. & Prácser E. 2013)

A területen korábban számos fúrást telepítettek. A Hullám utcában folyamatos nagytérű fúrás mélyült, 22 m mélységig (Farkas J. 2011). Ennek alapján a felszín alatt 11,8 m-ig laza, homokos iszap van. Alatta a feltárt mélységig különböző agyagrétegek váltják egymást. A fúrás helye a geoelektromos szelvényen 180 m-nél található. A fúrásban megjelenő anyagok fajlagos ellenállásai összhangban vannak az invertált szelvényeken (8. ábra, 9. ábra) megjelenő, a mélységgel csökkenő ellenállásértékekkel.

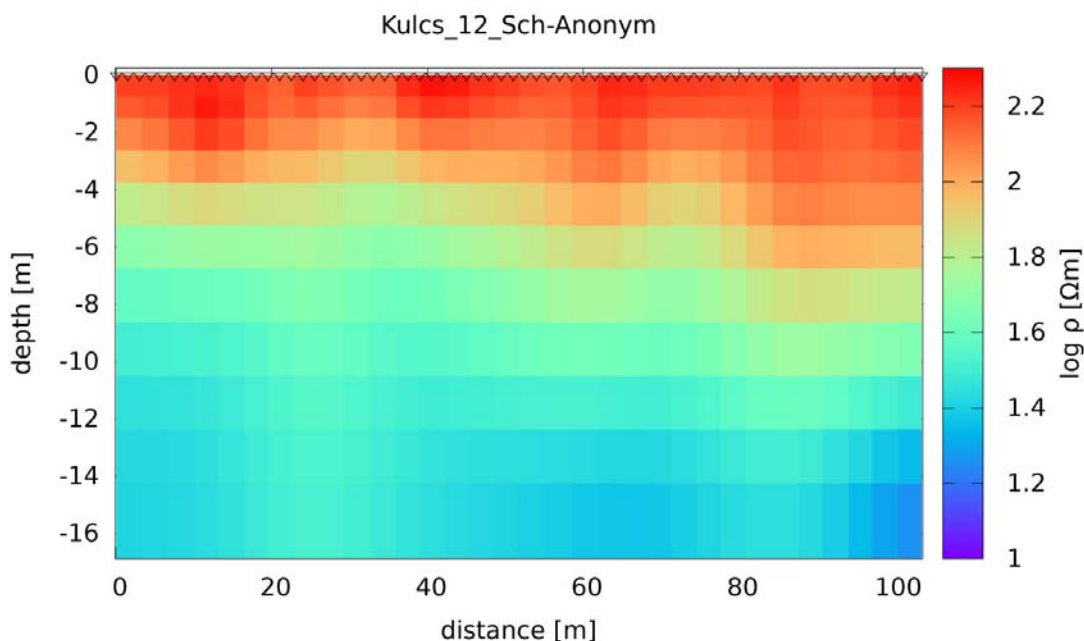
A Hullám utcában a Schlumberger és a dipól-dipól elrendezésekkel kapott eredmények csekély mélységbeli eltérést mutatnak ugyan, de a modellek közös elemei mindenképpen figyelemre méltóak.

A Hullám utcában a 2013. júniusi árvíz előtt (8. ábra), illetve annak tetőzése után (10. ábra) is végeztünk egyenáramú méréseket. E két különböző időpontban és eltérő vízállás idején, azonos helyen végzett mérések összevetése is érdekes információkkal szolgál. Az árvíz tetőzése után mért szelvényen látható, hogy az árvíz előtti mérési adatokból invertált modellen megjelenő, jól lehatárolható nagyobb fajlagos ellenállású képződmény mérete jelentősen lecsökkent. A szembevetendő eltérésre az adhat ma-



gyarázatot, hogy a két mérés időpontjában a nagyobb porozitású kőzet nedvességtartalma különböző volt. A pórusvíz tartalom változása nagy fajlagos ellenállás változásokat okozhat.

A Dunával párhuzamosan további szelvényeket mértünk, amelyek közül a Hullám utcához legközelebb eső mérés (103,5 m-en, 1,5 m-es elektródavolsággal), az általunk Anonymnak elnevezett utcában készült (5. ábra). A helyi lakosok elmondása alapján, az Anonym utca és a keresztshelvény találkozási pontjában lévő egykori épület, a 2011-es felszínmozgás következtében olyan nagymértékben károsodott, hogy lebontásra kényszerült, miközben alig néhány méterrel délkeleti irányban, a szomszédságában található ház sértetlen maradt. Emellett terepfelméréseink során arról is meggyőződünk, hogy az Anonym utcában tömegmozgás okozta károk nem keletkeztek. Az invertált szelvényen (11. ábra) a felszín közelében 6-8 m mélységben egy változó vastagságú, viszonylag nagyobb ellenállású réteg azonosítható. Alatta a vezetőképesség eloszlásban markáns oldalirányú változások nem jelentkeznek.



**11. ábra.** Geoelektromos inverzió eredménye az Anonym utcában mért szelvény mentén (Schlumberger elrendezés) (*Result of geoelectrical inversion along the profile measured in Anonym street (Schlumberger array)*) (Prodán T. & Prácsér E. 2013)

### 3 EREDMÉNYEK

A Dunára merőlegesen mért keresztshelvény inverziós modellje azt jelzi, hogy a szelvény teljes hossza mentén a geoelektromos szerkezet megközelítően 1D.

Hasonló megállapítás érvényes az Anonym utcában mért adatokból kapott modellre is, ahol a szerkezet a felső 6-8 m vastagságú nagy ellenállású réteg alatt szintén egydimenzióssá válik.

A geofizikai mérések legérdekesebb részét a Hullám utcában mért szelvény mentén különböző elektróda elrendezések alapján készült geoelektromos modellek képezik. A szelvény északnyugati végétől kb. 40-150 m távolságig terjedő részén 10-15 m mélységben, egy a környezetéhez képest nagy ellenállású képződmény jelentkezik, mind a dipól-dipól, mind a Schlumberger szondázások alapján készült invertált szelvényeken. Ennek a nagy ellenállású inhomogenitásnak a délkeleti pereme nagyon határozottan elválik a környezetétől, és ennek a nagy anomáliának a délkeleti pereméhez köthetők a felszínen megfigyelt legsúlyosabb tömegátrendeződések is.

Ezeket a méréseket a Hullám utcában a nagy dunai árvíz magas vízállása mellett megismételtük azzal a céllal, hogy megvizsgáljuk, ennek a feltehetően változó fajlagos ellenállású kőzetnek a fajlagos ellenállása mennyire változik meg nagyobb víztelítettség esetén. Ezen a szelvényen (10. ábra) a mérések nagyon jól alátámasztják azt a hipotézist, hogy az anomáliát egy porózus öszlet okozza, amelynek a fajlagos ellenállását döntően a víztelítettség határozza meg.

A jól lehatárolható képződmény az árvíz előtt végzett szondázások eredményeiből kapott szelvényeken 200 ohmm, vagy annál nagyobb fajlagos ellenállású volt, amely érték a magas vízállást követően készült szelvényeken jelentősen, kb. 100 ohmm-re csökkent.

Ezek a fajlagos ellenállás értékek megfelelnek a vízzel elárasztott homok, kavics, kavicsos homok, vagy murvás üledékek fajlagos ellenállásainak tapasztalataink szerint.

Ez a képződmény mindegyik szelvényen határozottan megjelenik, a csekély eltérés az inverzió tulajdonságaiból (ekvivalencia) és a használt elektróda elrendezések eltérő leképezési tulajdonságaiból ered.

A képződmény jellemzőinek pontosabb meghatározására fúrással van lehetőség. A Hullám utcában mélyített, feljebb említett fúrás ezt a képződményt sajnos éppen elkerüli.

Ha a geofizikai mérések eredményeinek ismeretében módunk lenne fúrásokat tervezni, akkor azok egyikét mindenképpen a 2D szerkezet középpontjába javasolnánk.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a tanulmány a TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0015 számú (Föld-rendszer) projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- Farkas J. 2011: *Szakértői vélemény Kulcs felszínmozgásos területeinek vizsgálatáról*, Budapest, 1-168.
- Koefoed O. 1979: *Resistivity Sounding Measurements*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam - Oxford - New York, 1-276.
- Prodán T. H., Prácser E. 2013: *Jelentés Kulcs község felszínmozgásos területén végzett geoelektromos szondázásokról*. MTA CSFK GGI, Kántás Károly Geofizikai Laboratórium, Sopron, 1-43.
- Schweitzer F. 2011: *Katasztrófák tanulságai, Stratégiai természetföldrajzi kutatások*. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 101-124.
- Tarantola A. 1987: *Inverse Problem Theory*. Elsevier, Amsterdam - Oxford - New York - Tokyo, 1-613.
- Ubránkovics Cs. 2000: *Fúrómagminta – vizsgálatokkal kiegészített vertikális elektromos szondázások a Fertő medencéjében*. Szakdolgozat. ELTE TTK, Budapest.
- Udvardi B., Kovács I., Füri, J., Kónya, P. 2013: *Mineralogical study on landslide in the area of Kulcs, Hungary*. LXIV. Conference of the Young Hungarian Environment Scientists, April 05-06, 2013, Békéscsaba, Hungary, Abstracts, 42-43.