

A mélyfúrás-geofizika szerepe a 4-es metróval kapcsolatos geomechanikai kutatásokban

Zilahy-Sebess László

Geo-Log Környezetvédelmi és Geofizikai Kft. posta@geo-log.hu; ELGI

Prohászka András

Geo-Log Környezetvédelmi és Geofizikai Kft. posta@geo-log.hu

ÖSSZEFOGLALÁS: A sekély kutatófúrásokban végzett mélyfúrás-geofizikai mérések módját adnak számos paraméter in situ vizsgálatára, amelyek a magmintákon már nem tanulmányozhatók zavartalanul. A mért és számított kőzetfizikai és geotechnikai paraméterek alapján a fúrások éppúgy korrelálhatók, mint a földtani tulajdonságokkal.

Kulcsszavak: karotázs, fellazulási trendek, geomechanikai paraméterek, korreláció

1 BEVEZETÉS

A Geo-Log Kft. 1997 óta 35 db talajmechanikai célú sekélyfúrás mélyfúrás-geofizikai méréseit végezte el a 4-es metró tervezett nyomvonal mentén a Geovil Kft., az Aquaplust Kft., a Geoprosper Kft., az Aquadrill 92 Kft., illetve az Argon-Geo Mérnöki Iroda megbízásából. A fúrások közül 21 a budai, 12 a pesti oldalon, 2 pedig a Duna medrében volt (1. ábra).

A fúrásokban fajlagos elektromos ellenállás, SP, természetes gamma, sűrűség, neutronporozitás, lyukátmérő, hőmérséklet, mágneses szuszceptibilitás és akusztikus hullámkép mérést végeztünk. A fúrások mélysége általában 30-60 m közötti. Kútvizsgálatot végeztünk továbbá 10 db, a Gellért-hegy alatt mélyült karsztvíz-megfigyelő kútban, valamint a Gellért téri 300 m-es termálvíz-megfigyelő kútban is.

A geofizikai mérések fő célja a rétegsor pontosítása, valamint kőzetek „in situ” geomechanikai állapotának vizsgálata volt, a Népszínház utcai megállónál pedig egy szelvény mentén az általunk közölt réteggörbe képezte az alapját a hidrogeológiai modellezésnek. Előadásunkban két példán keresztül mutatjuk be a mélyfúrás-geofizika fenti alkalmazásait.



1. ábra. A műszerkocsi beemelése a fúrótutajra 1998-ban

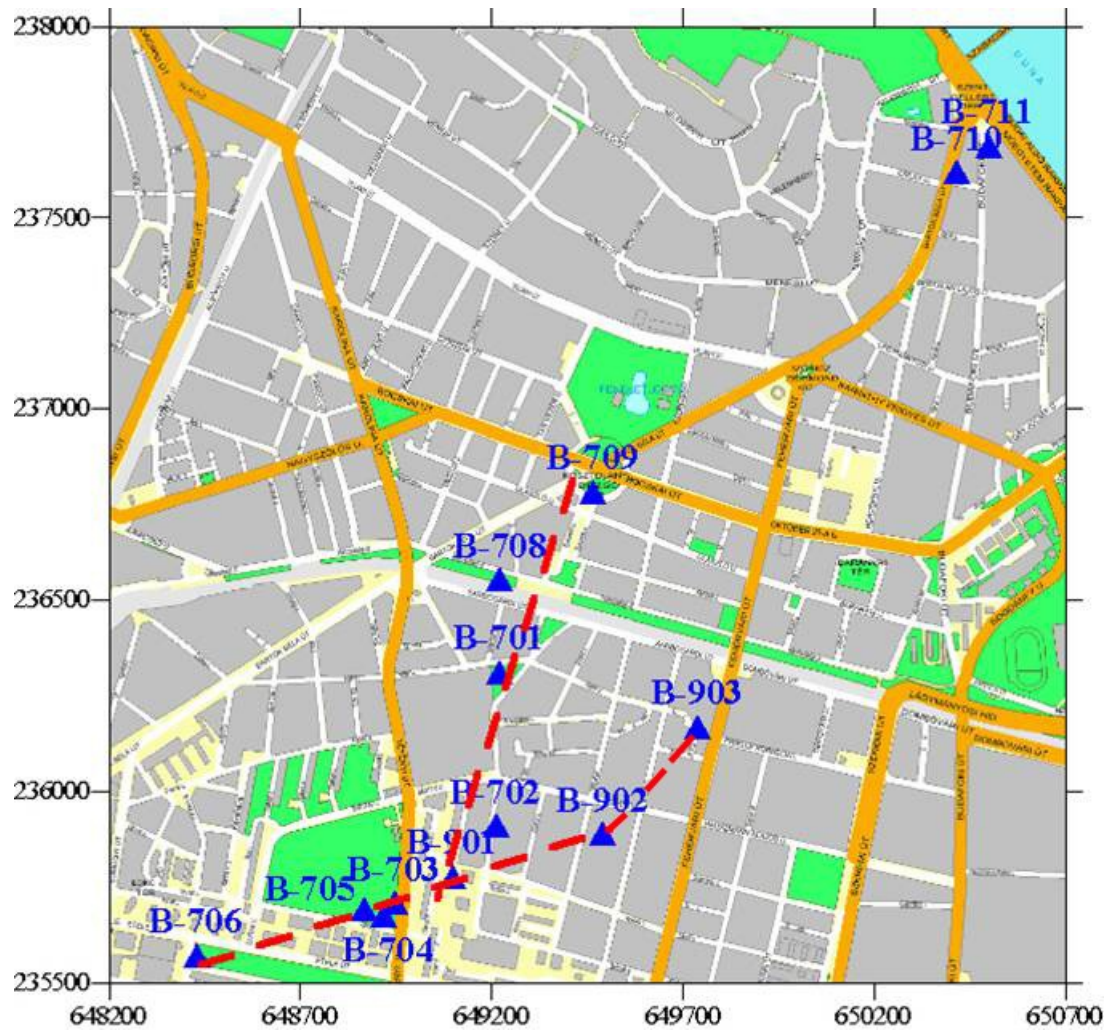
2 KÖZETMECHANIKA PARAMÉTEREK KORRELÁCIÓJA

Az előadás első részében a fúrásokban mért közetfizikai paraméterek alapján végzett korrelációt mutatjuk be.

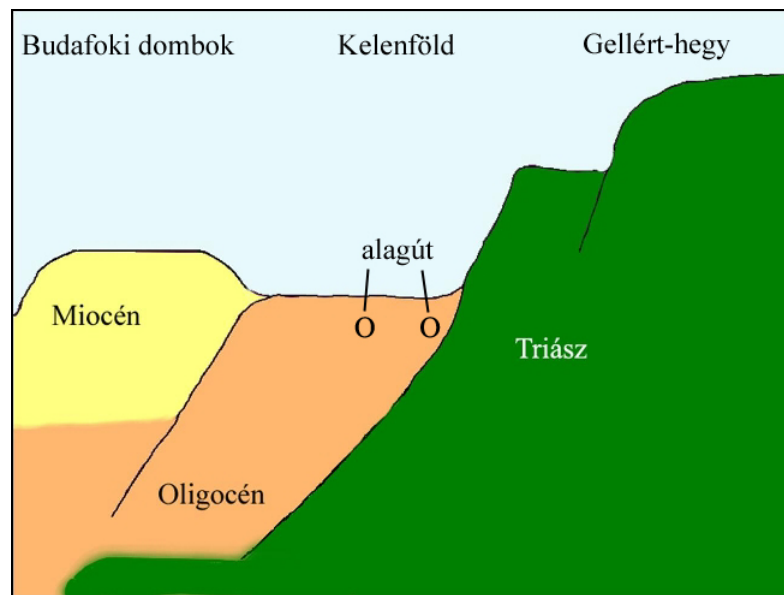
2.1 Dél-Buda vázlatos földtani képe

Előadásunkban Budán a XI. kerületben lemélyült fúrások közül választottunk ki 7 olyan fúrást, amelyek két egymást keresztező vonalon helyezkedik el úgy, hogy egy fúrás mindkét vonalon rajta van (2. ábra).

A 4-es metró budai szakasza nagyrészt oligocén agyagmárgában, aleuritos agyagmárgában halad. A Budai hegység mezozoós tömbje az azt határoló törésvonalak mentén emelkedett ki. A Budai-hegység triász kori kőzetei a hegységet délről határoló törésvonal mentén 1 000 m-nél is mélyebbre süllyedtek, így oldalirányban a hegységet közvetlenül oligocén kőzetek határolják. Az oligocén rétegek déli irányban a budafoki domboknál lesüllyednek és a felszínen miocén korú karbonátos kőzetek találhatók (Wein, 1977). Az oligocén kőzetek pásztája morfológiailag völgyben van, annak ellenére, hogy a képződmények teteje déli irányban (Budafok) — ahol miocén képződményekkel van lefedve — jóval mélyebb helyzetben van, mint Kelenföldön, ahol gyakorlatilag a felszínen van (3. ábra).



2. ábra. A vizsgálatok helyei



3. ábra. Földtani vázlat

Az oligocén képződmények bontatlan állapotukban olyan teljesen konszolidált üledékek, amelyeknek a sűrűsége $2,4 \text{ g/cm}^3$ körüli. Ez a sűrűség a pannon üledékek mélységi tömörödési trendje alapján (Mészáros és Zilahi-S. 2001) — tekintetbe véve a kőzetek argillit jellegét — körülbelül 1 000-1 500 m mélységnek megfelelő. Az oligocén Kiscelli Agyag Formáció kőzeteinek felső része feltehetően jégkorszaki fagyhatásra fellazult. A fellazulás a fizikai paraméterek nagy részét közvetlenül vagy közvetetten érinti, ez — a tömörödési trendekhez hasonló — mélységgel történő változást jelent.

2.2 *A tömörödési trend hatása a mélyfúrás-geofizika által vizsgált fizikai paraméterekre*

A konszolidálatlan üledékekre jellemző tömörödési trend és a fellazulási trend közti legfőbb felismerhető különbség a változási trend hosszúsága, vagyis az érintett összlet vastagságában van; egyébként a jelenség mindkét esetben a fizikai paraméterek hasonló irányú változását jelenti a mélység. Az egyes fizikai paraméterek mélységtrendje egymástól is különbözik. A mélyfúrás-geofizikai módszerekkel mérhető paraméterek közül a kőzet struktúrája alapvetően a sűrűsége, a porozitás és az akusztikus hullámvezetési tulajdonságokra van hatással. 100 % víztelítettség és változatlan mátrixsűrűség mellett a porozitás és a sűrűség közti kapcsolat nyilvánvaló. A kompaktio hatása a porozításra nagyobb mélységekben nyilvánvaló, azonban pár száz méter mélységig az üledékek csak kevéssé tömörödnek, ezért sekély fúrások esetében ez nem okozna észrevehető változást. A mérnökgeológia által vizsgált mélységtartományban a rétegterhelés hatására alig lehet tömörödésről beszélni, viszont az akusztikus terjedési sebesség — a fellazulás mértékének csökkenése és részben a súrlódási erő mélységgel való növekedése miatt — mégis viszonylag gyorsan nő a mélységgel. Fontos megemlíteni, hogy ez az *in situ* helyzetben sűrűsénövekedés nélkül is létező, akusztikus sebességnövekedési mélységtrend — nagyon nagy valószínűséggel — a kivett magmintákon nem mutatható ki, mert a minták az azt okozó rétegterhelés nyomása alól felszabadulnak. A relaxációs jelenség miatt a magokon csak abban az esetben lehet mélységtrendet észlelni, ha az cementáció vagy struktúra változáshoz kapcsolódik. Az idősebb, konszolidált üledékek tetején képződő mállási öv esetében elsődlegesen a cementáció, illetve a struktúra változása miatt áll elő a kőzetsebesség mélységbeli növekedése, ezért elvileg az a magmintán is megmutatkozhat. A fellazulási trendek leginkább a kőzet akusztikus hullámvezetési tulajdonságaiban mutatkoznak meg. Ezek a longitudinális vagy kompresszió hullám terjedési sebesség (V_p), a transzverzális vagy nyíróhullám terjedési sebesség (V_s), a két sebesség aránya, illetve a csillapítás.

A mélyfúrás-geofizikai mérések során meghatározott akusztikus hullámterjedési sebességek-ből és a sűrűségből számítható rugalmassági paraméterek közül az alábbiakat számítottuk: Strength index, Poisson szám, Young modulus és akusztikus impedancia.

2.3 *A fúrások egyedi értelmezése*

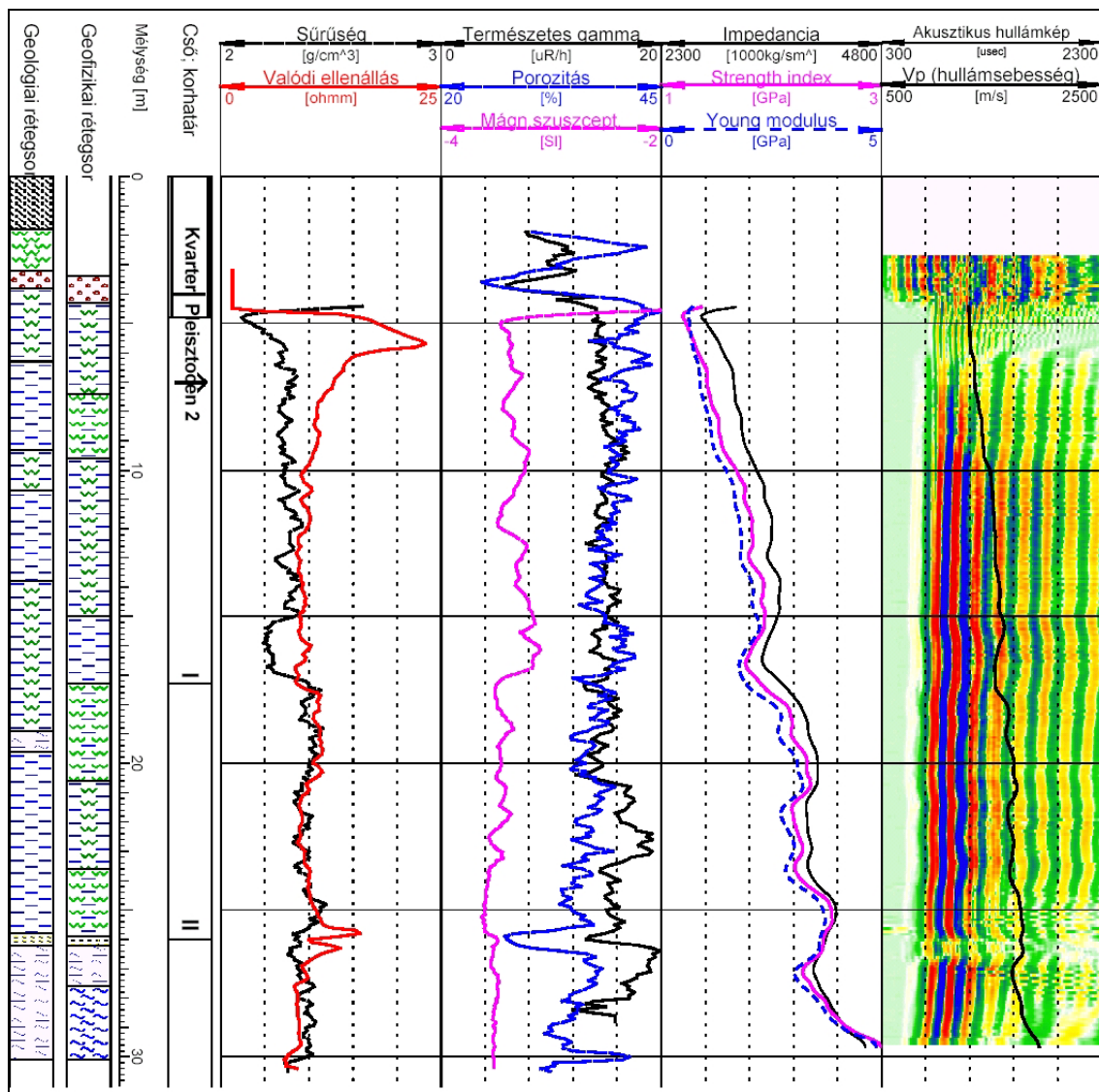
Az alábbiakban a fúrások egyedi értelmezését mutatjuk be a Bp-901-es fúrásban végzett mérések kiértékelése alapján (4. ábra). A mérések alapján az alábbiak állapíthatók meg.

A sűrűség és neutron-porozitás a fúrás felső részén (17,5 m-ig) gyengén nő, ez alatt semmilyen mélységtrend nem tapasztalható.

A mágneses szuszceptibilitás alapján a fúrás felső, fellazult része anyagi összetétel szempontjából is különbözik az alsó résztől, ezt azonban a természetes gamma mérés nem igazolja. Elképzelhető, hogy a nagyobb mágneses szuszceptibilitás utólagosan a fellazulás közben létrejövő vasoxid ásványokkal kapcsolatban alakult ki.

Az elektromos ellenállásgörbe szerint nincs lényeges különbség a felső és az alsó rész között, amely közel állandó fajlagos felületre utal. Ez csak úgy lehetséges, ha a felső rész nagyobb neutron-porozitása a fellazulás következtében előálló megnövekedett szabad vizet tartalmazó pórustérfogat következménye, vagyis nem megnövekedett agyagtartalomhoz kapcsolódik. Ebben az esetben — változatlan kőzettani minőség mellett — változatlan mennyiségű fajlagos felülethez kapcsolódó jól vezető, iondús adszorpciós vízmennyiséget tartalmaz a kőzet, mivel a fellazulás révén csak az összpórustérfogat nőtt meg, a vezetőképesség nagy részét képviselő felületi vezetést ez nem érinti. Más szóval az elektromos vezetés nagysága, a Kiscelli Agyag Formáció argillit jellegű kőzeteiben a másodlagos porozításra csak nagyon kevéssé érzékeny, azt főként a

mátrix jellemző szemcseátmérője befolyásolja. A 26,0–26,5 m mélységközben található — a szelvényértelmezés szerint erősen cementált — képződmény az elektromos ellenállásgörbén is jelentkezik, mivel ott a kötőanyag miatt a fajlagos felület is erősen lecsökken. Ezt a betelepülést a nagy elektromos ellenállás mellett környezetéhez képest kis neutron-porozitás jellemzi, a Vp csak kis mértékben nő, és az akusztikus hullámképen csak egy világosabb csík jelzi, mert a vastagsága jóval kisebb, mint a szondahossz.



4. ábra. A B-901-es fúrás komplex mélyfúrás-geofizikai szelvénye
Az akusztikus hullámképen a sötétebb sáv nagyobb amplitúdót jelez

Az akusztikus hullámképen az első beérkezés ideje jól láthatóan az egész fúrás mentén csökken, ami a Vp mélységbeli növekedését jelenti. Ez jellegzetesen eltér a sűrűség és a porozitás mélységi változásától, és összefüggésbe hozható a nyomás mélységgel való növekedésével. Ezt a szelvénygörbén feltűnően jelentkező effektust az hozhatta létre, hogy a felszínről lefelé terjedő bontási hatások ott is jelen vannak, ahol ez a sűrűségben már nem jelentkezik. A Vp 15 m alatt változékonnyabb, a kisebb sebességekhez — összevetve a természetes gamma, mágneses szuszeptibilitás és elektromos ellenállás paraméterekkel — inkább a nagyobb agyagtartalmú rétegek tartoznak.

A felső 9 m-en az akusztikus hullámkép amplitúdói kisebbek, mint a fekü résznél.

A hullámkép longitudinális hullám utáni beérkezéseivel az egyes fázis beérkezési idő — mélység görbéken két fő töréspont figyelhető meg 10 m-nél és 21 m-nél. A Vp görbén ez a két

fő töréspont nem azonosítható megfelelően, tehát a longitudinális hullámcsomag nagy amplitúdójú részénél későbbi azonos fázisú beérkezéseket összekötő beérkezési idő - mélység függvények nem a longitudinális hullámcsomag többszörösei. Ezek nagy része valószínűleg olyan refraktált hullám, amely a fúrás körül kialakult mechanikailag zavart zóna és a zavartalan zóna közti határfelületen alakult ki, vagyis egyfajta csóhullám. Ebből következik, hogy az első töréspont nagy valószínűséggel a 100 %-os víztelítettségű zóna tetejét jelzi, amelytől felfelé a víztelítettség a kőzetben egészen a száraz állapotig csökken. Az ebből eredő változás a kompressziós hullám beérkezési idejét, így a mért Vp-t csak kevésbé érinti, mert a fúrás közvetlen közelében az öblítőiszap telíti a kőzetet.

A kőzet száraz állapotára utal az is, hogy közvetlenül a béléscsősarú alatt a későbbi beérkezések teljesen el is tűnnek a hullámképből.

A fellazult vagy egyéb módon konszolidálatlan formációkban a transzverzális hullám beérkezése nem mindig jelölhető ki egyértelműen: vagy azért, mert túl nagy a csillapodása, vagy azért, mert túl nagy a Vp/Vs arány és így túl későn lenne a beérkezés a regisztrátum időbeli hosszához képest. A laza, felszín közeli kőzetekben (3000 m/s alatti sebességeknél) a Vp/Vs arány akár a 10-et is elérheti (Ivakin et al. 1986). Ekkor a közetsűrűség és a longitudinális sebesség ismeretében empirikus képlettel becsülhető a transzverzális sebesség.

2.4 Keresztszelvények

A vizsgált fúrások, mint a 2. ábrán láthattuk, két vonal mentén helyezkednek el. Az egyik vonal nagyjából merőleges a Budai-hegység déli peremére (É-D irányú szelvény, 4 fúrás), a másik pedig nagyjából párhuzamos azzal (K-Ny irányú szelvény, 5 fúrás). A vonalak mentén azt vizsgáltuk, hogy lehet-e találni valamilyen korrelálható felületet. Az előzetes ismereteink szerint ez a felület nem képződmények, hanem különböző konszolidáltsági állapotú összletek határfelülete. Szorosan véve a felszíni hatásokra fellazult zóna alsó határáról van szó, ami valójában nem is tekinthető olyan helynek, ahol a fizikai paraméterek ugrásszerűen változnak, viszont, ha a mélységi konszolidációs trendet egy monoton függvénnyel írjuk le, ezen a helyen a derivált ugrásszerűen változik.

A keresztszelvényeken (5. és 6. ábra) a Vp-t, Vs-t, a sűrűséget, a Young modulust és a Strength indexet tüntettük fel.

Az ábrákon a narancssárga vonallal jelzett szint a nagyobb mélységszerinti sebesség (Vp) gradienssel jellemezhető összlet alsó határát jelenti. A halványzöld színnel jelzett összletet a Vp és a Young modulus görbék alakja szerint jelöltük ki, amely feltehetőleg a környezetétől mechanikai paraméterekben is elkülönülő rétegtani ülepedési egység. A kijelölt szintet alulról és felülről is egy-egy Vp minimum határolja.

A K-Ny-i vonalon a fellazult zóna alja a két középső fúrás közt hirtelen kerül mélyebbre. Ez összhangban van azzal, hogy a vonal keleti vége a Tétényi úttól nyugatra elterülő egykori mozsár területére esik.

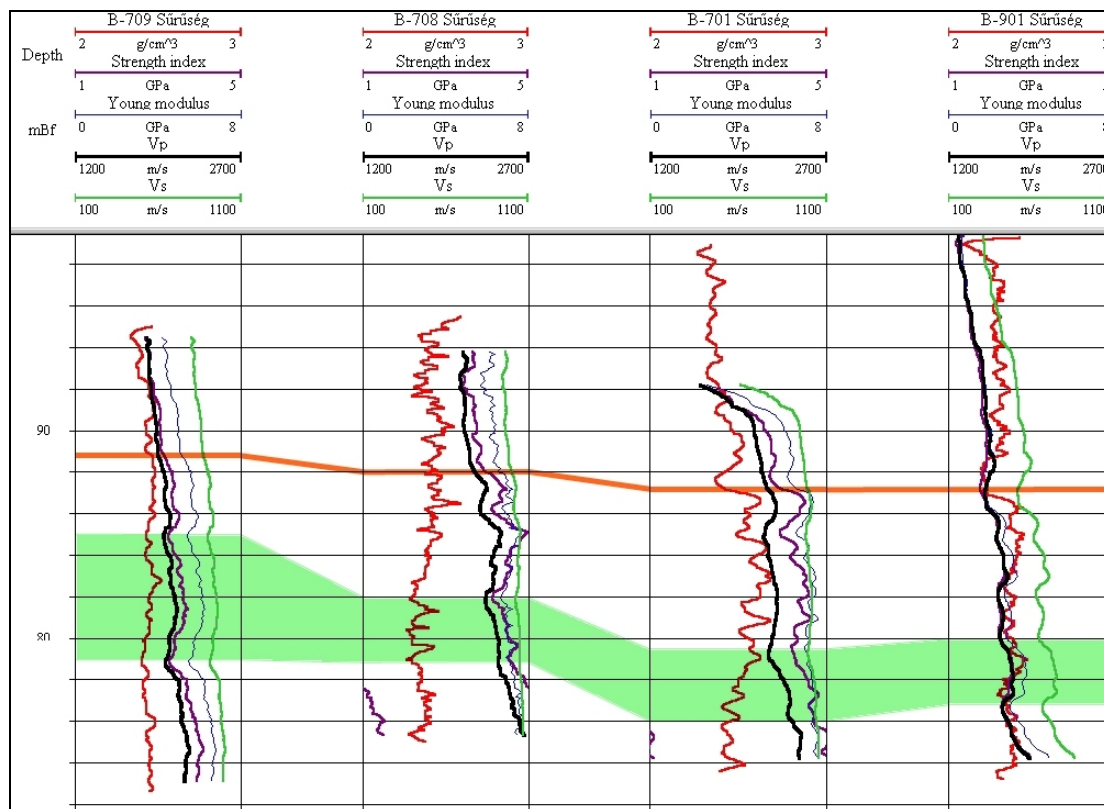
2.5 Konklúziók

A vizsgált oligocén összlet mállási kérgében a mélyfúrás-geofizikai mérések alapján megkülönböztethető fellazulási trendek állapíthatók meg. A fellazult zónát két fő részre lehet osztani:

I. Tényleges fellazult zóna, ahol neutron-porozitás és esetenként sűrűségrend is kimutatható, illetve az akusztikus hullámterjedési sebesség erősebben nő a mélységgel.

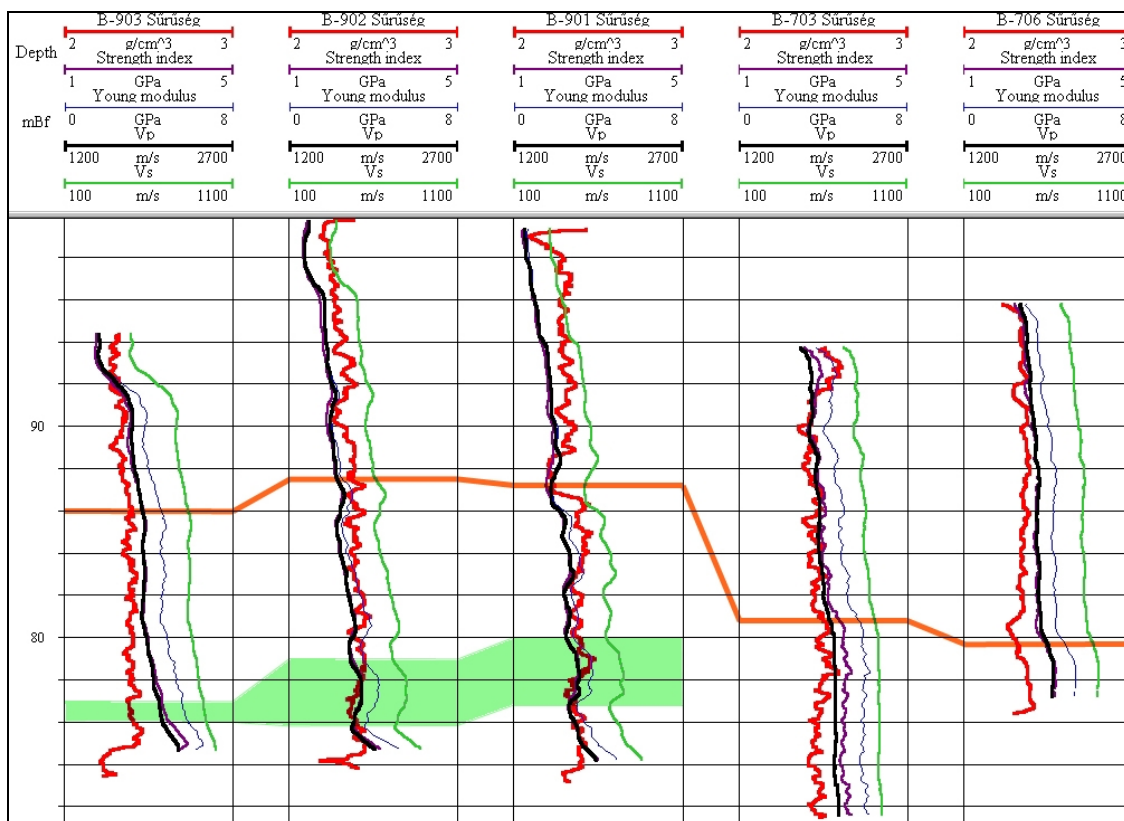
II. Az akusztikus sebesség és a belőle származtatott geomechanikai paraméterek mélységbeli növekedési trendjével jellemezhető zóna, ahol szerepe lehet a nyomáscsökkenés miatti fellazulásnak is. Az I. zóna felső részén a kőzet száraz, a háromfázisú zóna alsó határa a későbbi akusztikus hullámbeérkezések alapján állapítható meg.

A kvalitatív jellemzésen túl az akusztikus hullámterjedési sebesség és a sűrűség ismeretében számított geomechanikai paraméterek a kőzet in situ geomechanikai állapotára jellemzőek, kivéve a háromfázisú zónában levő kőzeteket, mert ott a Vp a lyukfal közeli elárasztott zónát jellemzi és a belőle számolt paraméterek a valóságosnál állékonyabbnak mutathatják a kőzetet.



5. ábra. É-D irányú korreláció

A fellazult zóna felszíne É-ről D-re lejt, amely a rétegzettségbeli ugrást követi.



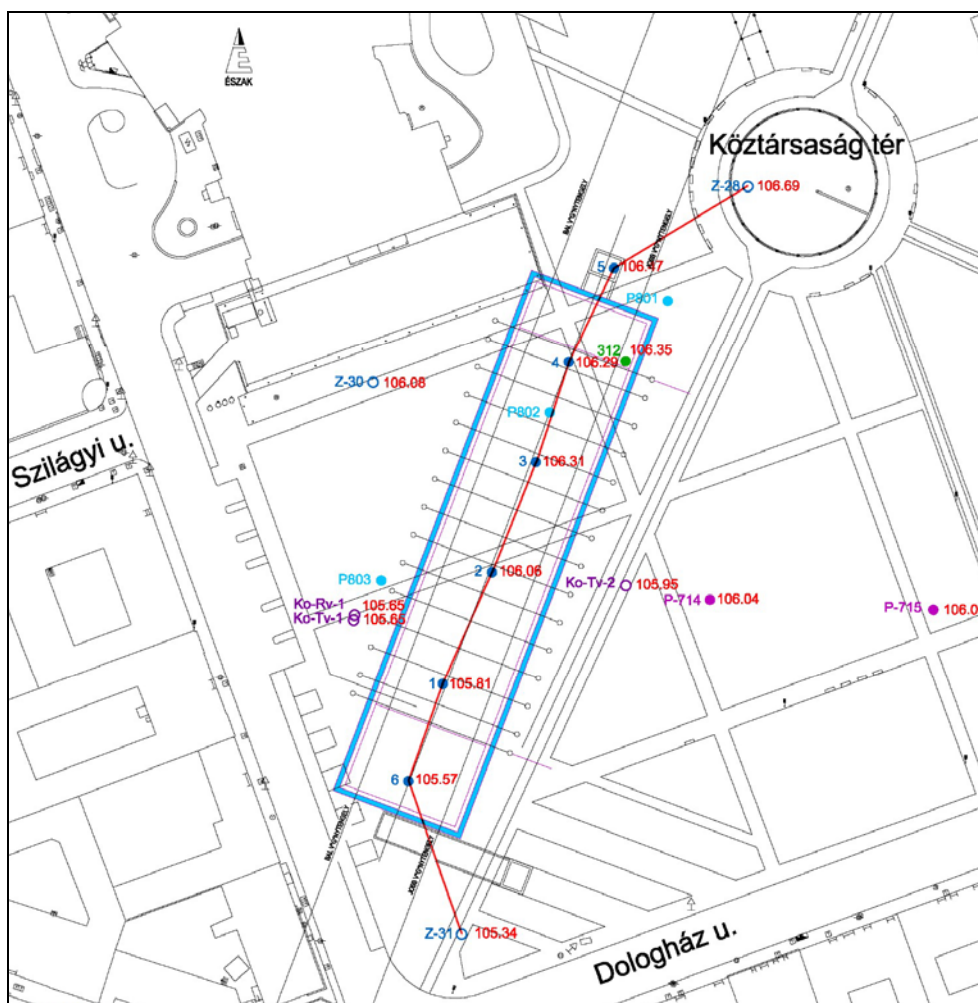
6. ábra. K-Ny irányú korreláció

A ténylegesen fellazult zóna körülbelüli alsó határa az akusztikus hullámképből származtatható paraméterek alapján korrelálható.

Az elektromos ellenállás mérés alapján a ténylegesen fellazult zóna, és a csak mechanikai szempontból fellazult zóna nem különböztethető meg, ami megerősíti azt, hogy az akusztikus paraméterek nem a közettani minőséggel, hanem a kőzet mechanikai állapotával változnak.

3 RÉTEGKORRELÁCIÓ

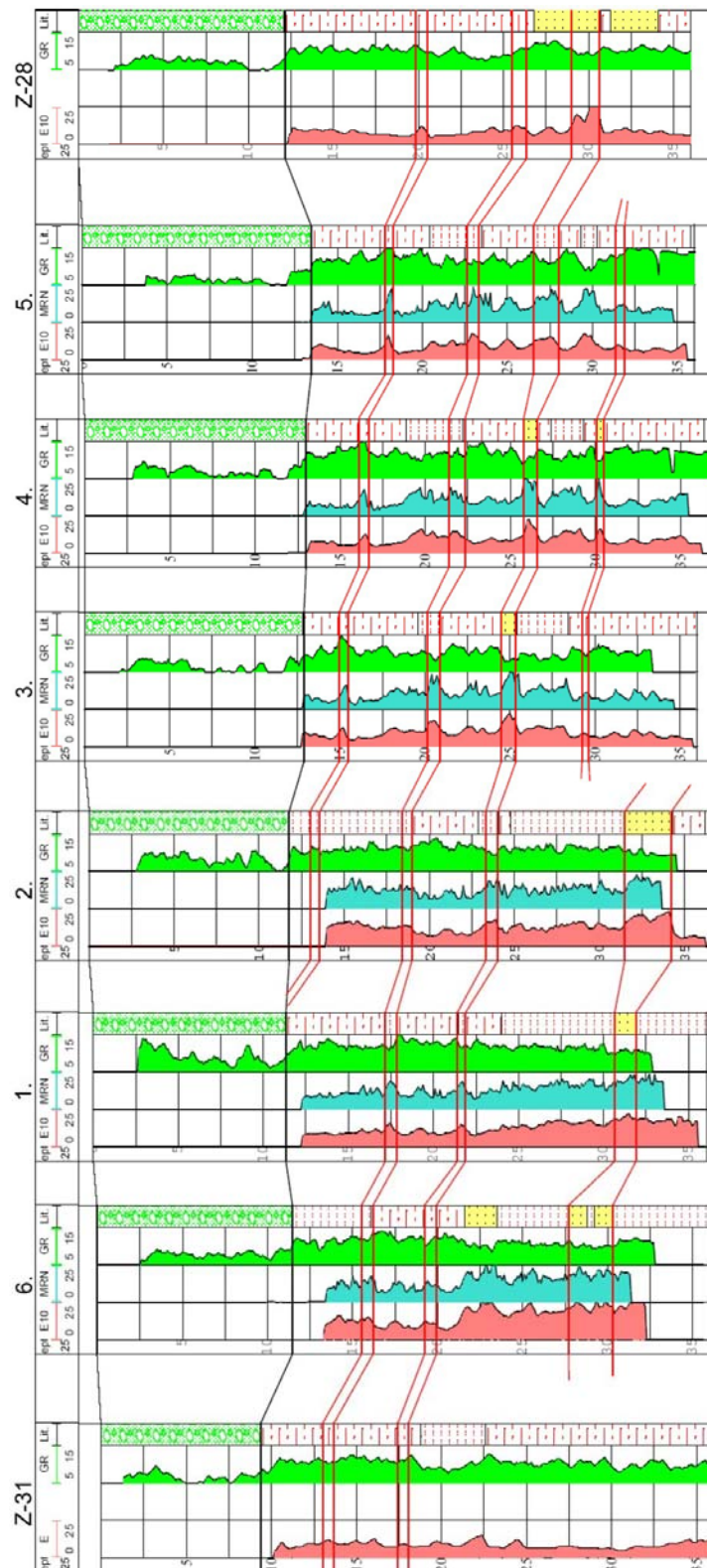
2007-ben a Népszínház utcai metróállomás előkészítő munkálatai során az Argon-Geo Kft. feladata volt az állomás kiépítéséhez szükséges geotechnikai és hidrogeológiai szakvélemény elkészítése. E célból az állomás területén 6 kutató fúrást mélyítettek amelyekben a Geo-Log Kft. végezte a mélyfúrás-geofizikai méréseket, elsősorban a rétegsor pontosítása és a szűrőhelyek meghatározása céljából (7. ábra). A fúrásokon át, két archiv fúrás bevonásával korreláltuk a rétegeket is.



7. ábra Az új és régi kutatófúrások a szelvény nyomvonalával

A területen a városi feltöltés és a pleisztocén homokos, kavicsos dunaterasz alatt miocén finomszemcsés üledékek találhatók (Bubics, 1978), amelyek keletre dőlnek. Ebben a környezetben a rétegek követéséhez a leghasznosabbnak a 10 cm-es elektródátávolságú fajlagos ellenállás (E10), a mikroellenállás (MRN) és a természetes gamma (GR) mérések bizonyultak. A fajlagos ellenállás a vizsgált rétegek fajlagos felületétől, így az átlagos szemcseméretétől, a természetes gamma mérés pedig az agyagtartalomtól függ.

A fúrások rétegsorában (8. ábra) homoklisztes agyag, agyagos homokliszt és homokos homokliszt váltakozott. Ezek határai nem minden esetben egyeztek meg a jól nyomozható korrelációs szintekkel, mivel a rétegek szemcseösszetétele változott. Az egyes rétegek nem követhetők végig, részint kiemelődnek, részint a dőlésük miatt kifutnak a miocén felszínére.



8. Korrelációs szelvény az Népszínház utcai állomás területén

A korrelációba bevont két 1977-es fúrásnál (Z-28 és Z-31), az egyes szintek viszonylag jól azonosíthatóak, azonban kissé más a mért görbék jellege, feltehetőleg különböző fúrási és mérési technológiák miatt.

4 ÖSSZEFOGLALÁS

A fenti példák jól mutatják, hogy a viszonylag sekély mélységű (néhányszor tíz méteres) mérnökgeológiai kutató fúrásokban a földtani, geotechnikai és hidrogeológiai értelmezéshez is sok segítséget adhat a mélyfúrás-geofizika, még akkor is, ha minden fúrásban sikerül jó minőségű magot venni.

SZAKIRODALOM

- Bubics I., 1978: A budapesti metróépítés földtani eredményei, *Mérnökgeológiai Szemle*, **21**: 5-87.
- Ivakin, B.N., Karusz, E.V., Kuznyecov, O.L. 1986. *A fúrólyukvizsgálat akusztikus módszere*, Akadémiai Kiadó
- Mészáros F., Zilahi-S. L. 2001. Compaction of sediments with great thickness in the Pannonian Basin, *Geophysical Transaction*, **44**(1): 21-48.
- Wein Gy., 1977. *A Budai-hegység tektonikája*, MÁFI alkalmi kiadvány.