

Az akusztikus lyuktelevíziós mérésekből nyerhető geotechnikai információk

Zilahi-Sebess László

M. Áll. Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, zilahi@elgi.hu

Szongoth Gábor

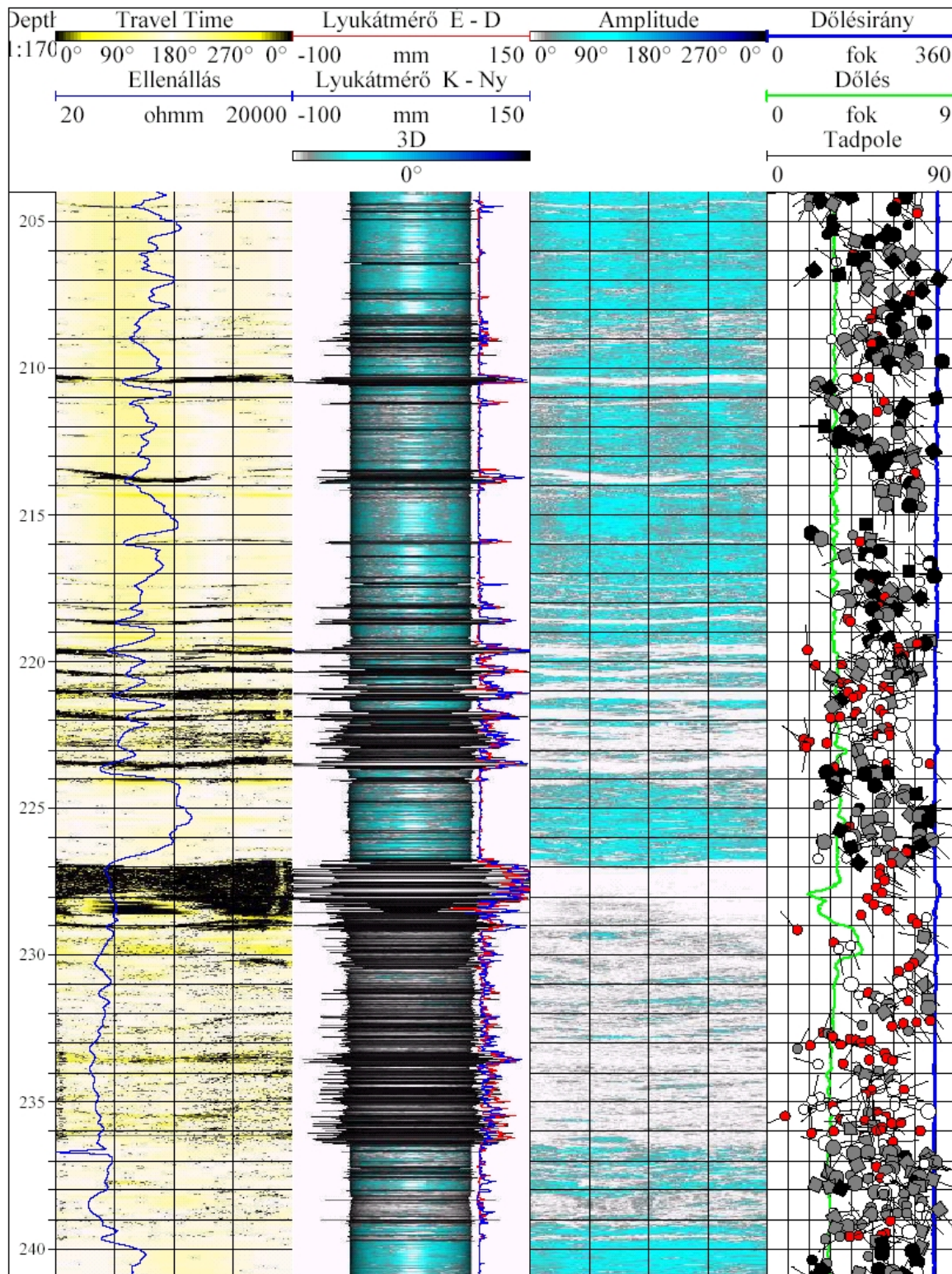
Geo-Log Környezetvédelmi és Geofizikai Kft., posta@geo-log.hu

ÖSSZEFOGLALÁS: A kőzetek geotechnikai vizsgálata során legkézenfekvőbb a feltárási helyek (felszín, feltárás, vágat) közvetlen vizsgálata (szemrevételezés, fotózás, mérés), további lehetőség a magfúrásokból származó magminták vizsgálata (leírás, mérés, laborvizsgálat). Relatív kevésbé alkalmazott módszer a fúrásokban végzett mélyfúrás-geofizikai mérés, pedig ezek a módszerek igen kézenfekvők. Alkalmos fúrásokban (megfelelő átmérő, stabil lyukkörülmények, vízzel telt furat) szinte minden mélyfúrás-geofizikai módszer elvégezhető és ezek legtöbbször lényeges (in situ) információt ad a harántolt kőzetről, a fúrás műszaki állapotáról, valamint a hidrogeológiai és geotechnikai viszonyokról. A kőzetek geotechnikai állapotára elsősorban az elektromos és az akusztikus módszer érzékeny; ebben a tanulmányban az akusztikus lyuktelevíziós módszer (BHTV — BoreHole TeleViewer) lehetőségeit ismertetjük. A módszer a reflexiós szeizmikával analóg, a behatolási mélység nulla, a szónikus hullám a kőzet felületéről verődik vissza, és arról két alapvető információt szolgáltat: a visszaverődési időt és az amplitúdót. Ezek a paraméterek kiválóan jellemzik a kőzet geotechnikai állapotát, ezért rendkívül nagy segítséget adnak az objektív kőzettest osztályozáshoz, mivel éppen ezek alapvető adatait (repedésszám, -eloszlás és -minőség) szolgáltatják. A tanulmányban ismertetjük a módszer fizikai alapjait, a mérésekből származó elsődleges és a feldolgozás során keletkező információkat, valamint néhány példát mutatunk be a gyakorlati alkalmazásra.

Kulcsszavak: akusztikus lyuktelevízió, repedések települése, repedéssűrűség, repedésstatisztika, kőzettest osztályozás, mag orientáció.

1 BEVEZETÉS

A lyuktelevíziós módszer mind az üledékes, mind a repedezett kőzetekben használható, sőt a kész kuttak belsejének (pl. szűrő) vizsgálatára is alkalmas. Az üledékes kőzetekben konkrétan meghatározható az egymásra rakódott rétegek vastagsága, dőlése és dőlésiránya. A szonda tulajdonképpen egy akusztikus elven működő rétegdőlésmérő eszköz. A repedezett kőzetek vizsgálatánál a hagyományos mélyfúrás-geofizikai módszerek (fajlagos ellenállás, akusztikus hullámkép, illetve sebesség) mellett a leghatékonyabb és a legjobb felbontást az akusztikus lyuktelevíziós módszer adja (Zilahi et al. 2000). Az 1. ábrán bemutatjuk egy gránitban végzett BHTV mérés 35 méteres szakaszát, az egyes sávok magyarázatát a 3. és 4. fejezetben ismertetjük. Segítségével 1-2 mm széles repedések is kimutathatók, meghatározható az egyes repedések települése (dőlés, dőlésirány), a repedések sűrűsége, a furat iránya és átmérője (akár 144 irányban). A mért és számított adatokból repedésstatisztikák készíthetők, amelyekből tektonikai, illetve geotechnikai információk vonhatók le. Magyarországon a 90-es évek végéig hasonló eszközt csak a szénhidrogén kutatásban használtak. Cégünk a Bátaapáti gránit kutatás keretében szerzett be ilyen műszert, amellyel több ezer folyóméter rendkívül sikeres mérést végeztünk, sőt végzünk ma is, mind a felszínről indított, mind a felszín alatti fúrásokban.

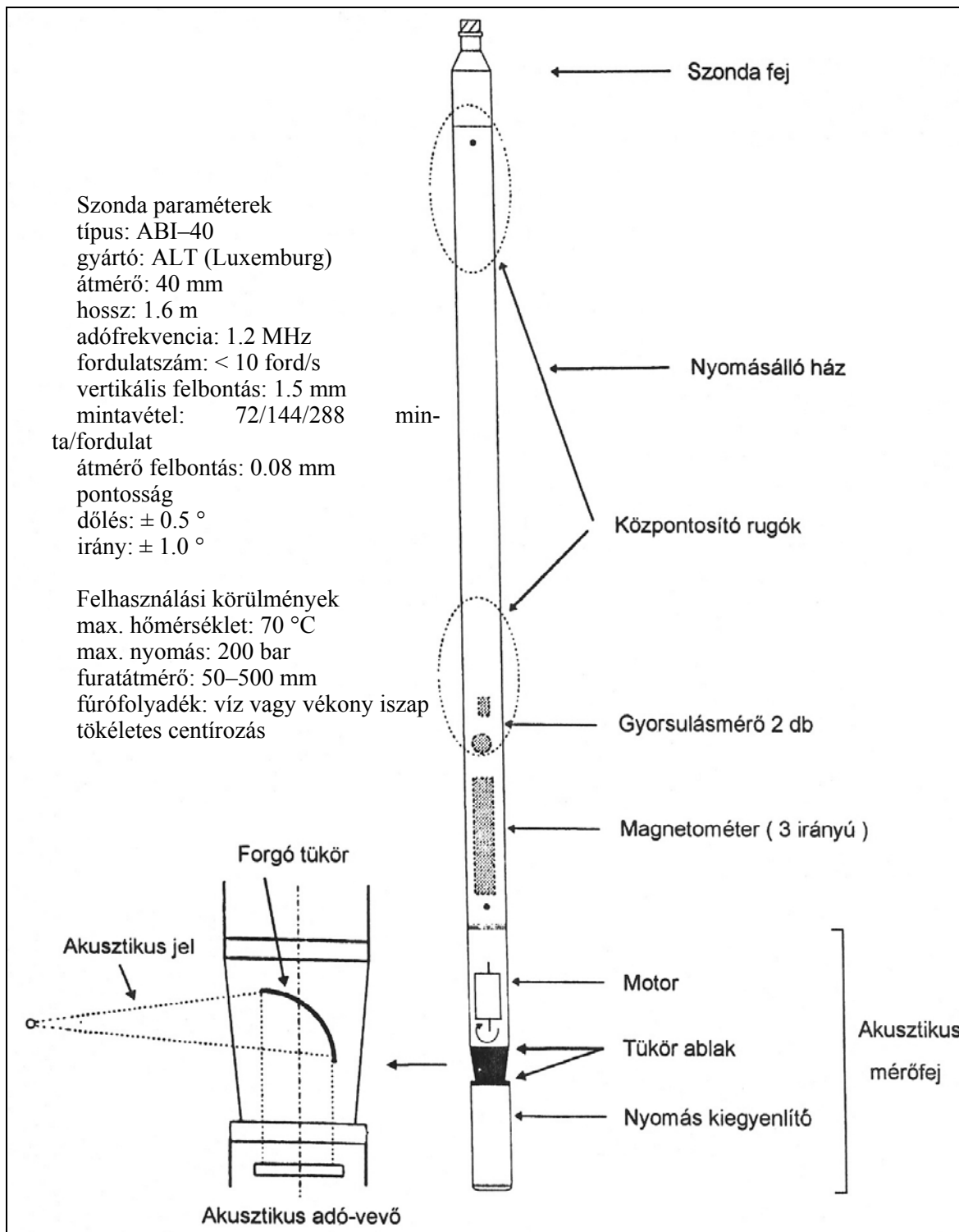


1. ábra. A BHTV mérés és kiértékelés megjelenítése

2 A MÓDSZER ELVI ALAPJAI

A szondával egy szonár (körbeforgó szonikus adó) jelének reflexió idejét (Travel Time — Visszaverődési idő) és amplitúdóját (Amplitude — Amplitúdó) mérjük maximálisan 288 irányban, és a lyukfal síkba kiterített képét színekkel ábrázolva adjuk meg (image). A forgó fej sebessége úgy van méretezve, hogy a — szintén forgó — akusztikus adónak a vizsgálandó felületről visszaverődő jelei — tág átmérőhatárok között is — bejuthassanak a vevőbe.

A 2. ábrán bemutatjuk a szonda elvi felépítését és ismertetjük a főbb technikai adatait.



2. ábra. A BHTV szonda elvi felépítése és technikai adatai

3 A MÉRÉSEKBŐL NYERHETŐ ALAP INFORMÁCIÓK

A 3. ábrán bemutatunk egy BHTV mérés részletet, amelynek segítségével ismertetjük az elsődlegesen mért paramétereket.

Visszaverődési idő (Travel Time)

A reflexiók idejéből képzett képen csak az akusztikus szempontból nyitott repedések jelennek meg, mivel a zárt repedéseknél a visszaverődési időben nincs különbség (1. sáv)

Amplitúdó

A reflexiók amplitúdójából alkotott képen minden olyan alakzat látható, amely a környezetétől eltérő rugalmassági paraméterekkel rendelkezik, így a zárt repedések is. (4. sáv)

3D ábrázolás

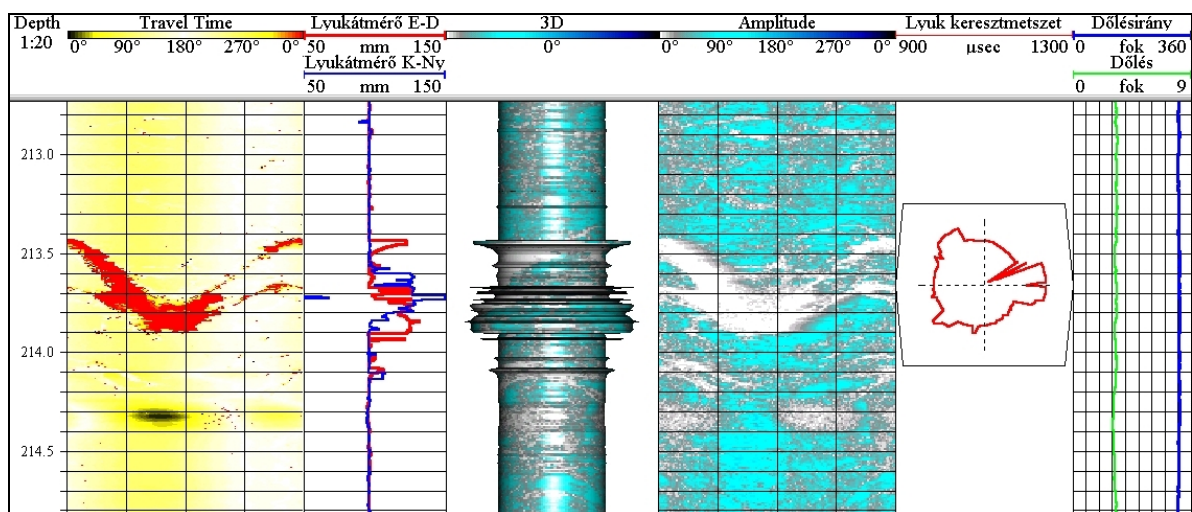
Az amplitúdót — az átmérő figyelembevételével — hengerpaláston is ábrázolhatjuk, és ezt bármilyen nézetből bemutathatjuk (3. sáv)

Lyukferdeség

A szonda méri a fúróluk dőlését és dőlésirányát, amit a 6. sávban ábrázoltunk.

Lyukátmérő

Maximális mintavételi sűrűségnél (288 minta/fordulat) 144 független átmérő érték számítható — az iszapbéli hullámterjedési sebesség ismeretében — minden mélységpontban. Normál esetben a szelvényeken két egymásra merőleges (E-D és K-Ny) átmérőt jelenítünk meg (2. sáv)



3. ábra. A BHTV mérés alap információi

4 A MÉRÉSEKBŐL SZÁRMAZTATHATÓ PARAMÉTEREK

Amplitúdóátlag

A feldolgozás során automatikusan átlagolni lehet minden egyes mélységpontban a visszaérkező jelek amplitúdóját, ezáltal egy folytonos görbe — az amplitúdóátlag szelvény — keletkezik, amely nagyon jól jellemzi a fúrás geotechnikai állapotát (4. ábra 4. sáv).

A szonda által kibocsátott hullám lyukfalról reflektált jelének amplitúdója a kőzetre jellemző akusztikus impedanciával (sebesség*sűrűség) arányos, mert a reflexió koefficiens képletében szereplő másik közeg a fúróiszap, amelynek paramétereit állandónak lehet tekinteni. A fúrás kerületére átlagolt BHTV amplitúdók elvben az akusztikus hullámterjedési sebességgel lesznek arányosak. Ennek jelentősége, hogy a kőzet felületén mért átlagsebesség mélységpontról mélységpontra közvetlenül összevethető a mélyfúrás-geofizikai akusztikus sebesség görbével. Ez a közvetlen összevetés csak a görbealakok hasonlóságát jelenti, mivel a mért amplitúdó a mindenkor fúrólukátmérőtől és a kibocsátott jel erősségétől is függ.

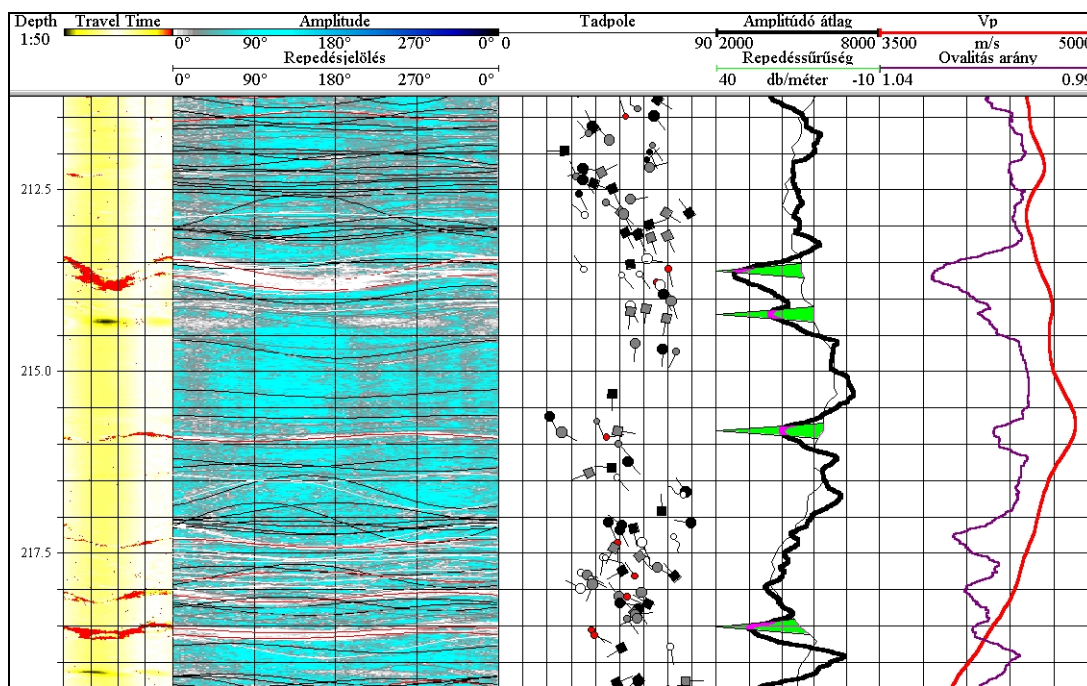
Rétegdőlés (repedések települése)

A mérések feldolgozása során minden egyes azonosítható repedésre szinuszt illesztünk, amelynek amplitúdója a repedés dőlését, minimumhelye pedig az irányát adja meg (4. ábra, 2. sáv). A kiértékelésnél elkülöníthetők a zárt és a nyitott, valamint a teljes és részleges szinuszt adó repedések. A kiértékelés az ún. Tadpole ábrán jeleníthető meg, ahol minden egyes repedés dőlés és dőlésirányán kívül fel van tüntetve a repedés minősítése is (nyitott, zárt, stb.)

Lyukkeresztmetszet (ovalitás arány)

Bár a fúrastechnológia is befolyásolja, de a lyukfal állapota is jellemző lehet a kőzetek mechanikai állapotára, sőt a lyukkeresztmetszetből recens tektonikai feszültségekre is lehet következtetni. A deformálódás többnyire a fúrás keresztmetszetének oválissá válásában nyilvánul meg. A keresztmetszet nagytengelye a legkisebb főfeszültség irányába áll be. A lyukkeresztmetszet vizsgálatára alkalmas eszköz — a sokkarú bőségmérő szondaként is értelmezhető — akusztikus lyuktelevíziós mérés. A lyukkeresztmetszetből az aszimmetrikus kavernák, illetve a lyukkeresztmetszet recens feszültséggel kapcsos-

latos torzulásai is nyomon követhetőek. A lyukkeresztmetszet változásait folyamatos ovalitásszelvényként is megjelenítjük (4. ábra, 5. sáv). Az ovalitás iránya és mértéke (általában 1-2%) jellemző az adott mélységben tapasztalható közetfeszültségtérre. A puhább kőzetek esetében a lyukfal valóban deformálódhat, de a kemény kőzetek esetében csak — a kisebbik feszültség irányában — a lyukfal kavernásodása okozza a fúrás keresztmetszetének torzulását. Ez a jelenség a kipergés (break out), amelyet a BHTV felvételen arról lehet felismerni, hogy a kavernásodás okozta amplitúdó csökkenés és visszaverődési idő növekedés két egymással ellentétes irányban jelentkező sávként jelentkezik. A területen uralkodó tektonikára külön-külön az egyes fúrásokban tapasztalt jelenségekből nem lehet következtetni, több fúrás birtokában azonban már nagyobb valószínűségű következtetések tehetőek.



4. ábra. A BHTV mérés feldolgozása során számított paraméterek

Tadpole — a repedés irányának, szögének és típusának vektoros ábrázolása, a pont helyzete a dőlésszöget, a vektor a dőlésirányt mutatja; kis kör = teljes szinuszt adó repedés; nagy kör = nem teljes szinuszt adó repedés; négyzet = rövid vagy vastag repedés; piros = nyitott repedés; fehér = nagyrészt nyitott repedés; szürke = részben nyitott repedés; fekete = zárt repedés

Repedéssűrűség

Az egységnyi (általában 1 m) fúráshosszra eső repedések számából képzett görbe a repedéssűrűség szelvény (4. ábra, 4. sáv). A repedéssűrűség eloszlást többféle módszer alapján is megkaphatjuk: akusztikus lyuktelevíziós mérésből, a magszkenner képből vagy a fúrómagok leírásából származó töredezettségi adatokból. A repedések valódi darabszámát nem lehet pontosan meghatározni az eszközök véges felbontása miatt, csak az adott eszközzel mérhető látszólagos repedésszámot. A magszkenner képből egységnyi hosszban kb. kétszer több repedés jelölhető ki az optikai elven működő szkennerek jobb felbontása miatt, míg a fúrómagok leírása során a darabszám meghatározás sok szubjektivitással és pontatlansággal jár. A repedéssűrűség szelvény jól korrelál az amplitúdóátlag szelvényével, és az egyéb — repedésérzékeny — geofizikai mérésekkel (elektromos, akusztikus). Az erősen töredezett zónákban a repedéssűrűség meghatározás minden módszernél hibás (alulértékelt). A BHTV módszer nem tud elkülöníteni repedéseket kavernáknál, míg a fúrómagra alapozott módszereknél több repedésszámot csökkentő hatás is van: maghiány vagy a rétegnyomás alól felszabadult mag szétesése. Más esetekben a repedésszám nőhet is a felszínre került magoknál, a hajszálrepedések szétnyílása miatt. A nyitott repedéseknél, illetve az erősen töréses zónákban — az amplitúdóátlagot figyelembe véve — korrigálni (növelni) kell a repedésszámot (pl. a maximális repedéssűrűségre) (4. ábra, 4. sáv).

Repedésnyílás-szélesség

A repedésnyílás-szélességről és annak eloszlásáról közvetlen mérés adatunk nincs, mivel még a repedéskimutató eszközökkel is csak kvalitatív információt lehet szerezni (a BHTV esetén a felbontóképesség szab korlátot). A lyuktelevíziós képeken ugyan meg lehet különböztetni vékony és vastag repedéseket, ám ezek nem a repedés tényleges vastagságát mutatják, mert a műszer 1 MHz-es adó frekvenciája valójában maximum 1 mm körüli felbontást tesz lehetővé. Ennek ellenére a jóval vékonyabb repedések nagy része is kimutatható az amplitúdóképen, mert a repedés körül — annak létrejöt-

tével kapcsolatosan — mindig van egy keskeny tönkrementeli zóna, ahonnan a reflexió gyengébb; vagyis a tényleges zavart zóna a legtöbb vékony repedésnél is már a műszer felbontásánál szélesebbnek mutatkozik. A visszaverődési idő képen viszont a felbontás mérete alatti repedések egyáltalán nem látszanak, mégha nyitottak lennének is. A vastagabb repedéseknél — az előbbieik értelmében — általában az várható, hogy a BHTV amplitúdóképen is vastagabbnak mutatkoznak. Így ez egy olyan információ, ami alapján (éppen a mag kivétele miatt) a fúrómag — főleg a nagyobb méretű — repedéseire relatív rangsor állítható fel. A magvizsgálatok erre nem adnak információt, hiszen, ha a repedések nyitottak, a mag szétválik és emiatt a legtöbb esetben megállapíthatatlan a nyílásszélesség.

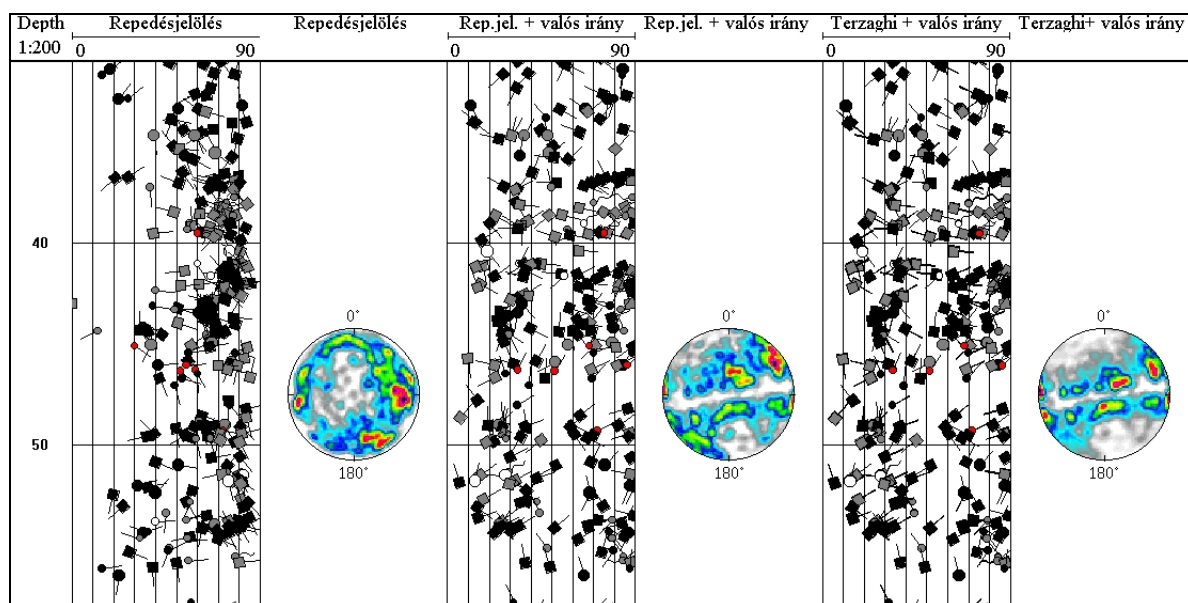
Repedés-kiterjedés

A repedéshosszúságról vagy mélységről még a nyílásszélességéhez hasonló közvetett információt sem lehet szerezni, egyszerűen feltételezzük, hogy a nyílásszélességgel egyenesen arányos. Más méréseket is hasonló logika alapján terjeszthetünk ki a fúrás körüli térbe. Az indikáció vertikális mérete nagy valószínűséggel arányos a horizontális mérettel. Ez a feltételezés, habár nagyon kvalitatív jellegű, apriori ismeretek híján mégsem helyettesíthető mással egy alapvetően rétegzetlen közegben, ami egyszerűen abból a triviális tényből következik, hogy a fúrási információk csak vonalmenti mintavételt jelentenek. A repedések relatív nyílás-szélességére az egyes fizikai paraméterek (pl. elektromos ellenállás, akusztikus paraméterek) egymáshoz való viszonyából következtethetünk.

5 A REPEDÉSRENDSZEREK STATISZTIKUS VIZSGÁLATA

A repedéseket — egyedi vizsgálatukon és szelvényyszerű megjelenítésükön (pl. amplitúdóátlag) túl — a leghatékonyabban statisztikai módszerekkel vizsgálhatjuk. A tisztán geometriai statisztikai repedezettségi modell a repedéssűrűség eloszlással, repedésirány eloszlással és a dőléseloszlással jellemezhető.

A statisztikai vizsgálatok előtt el kell végezni a repedések valós irányba forgatását (eredetileg a fúrás tengelyéhez vannak orientálva), valamint az ún. Terzaghi korrekciót. A repedések irányeloszlása és dőléseloszlása egyaránt fúrólukirányba eső látszólagos eloszlás, mivel ugyanolyan térbeli repedéssűrűség esetén a fúrólukra merőleges repedések látszólagos repedéssűrűsége a legnagyobb. Ezt lehet részben helyrehozni a Terzaghi korrekcióval (ahol a fúrással párhuzamos repedések számát arányosan megnöveljük), amely természetesen csak nagyobb számú repedés esetén működik megfelelően (5. ábra).

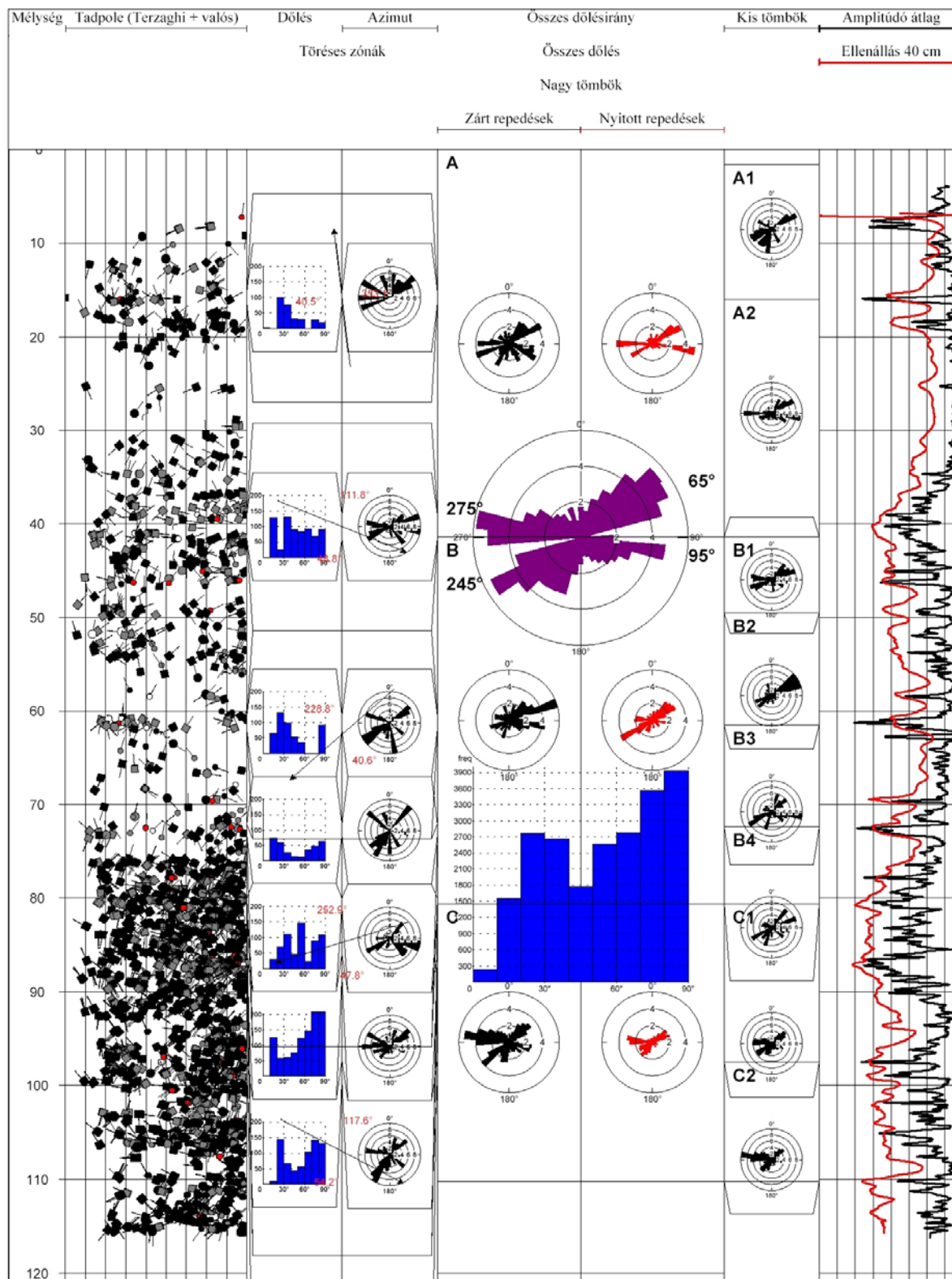


5. ábra. A repedések valós irányba forgatása és a dölések gyakoriságának Terzaghi korrekciója

Rózsadiagram és hisztogram

A dőlésazimutok irány szerinti eloszlását körsdiagramon (más néven: rózsadiagram) ábrázoljuk. Az ábrázoláshoz a kört meghatározott nyílásszögű szeletekre osztjuk. A színezett körcikk sugara a körcikk irányába eső azimutoknak az adott mélységintervallumba eső azimutra normált számával arányos. A rózsadiagramokon általában 10°-os, kis adatmennyiségnél 20°-os felosztást használtunk. Ennél az ábrázolásnál a dőlésértéket nem vesszük figyelembe. (A kapott rózsadiagramokon a földtanban használatosaktól eltérően a repedéseknek nem a csapása, hanem a dölése van feltüntetve, ezért a diagramok

nem szimmetrikusak.) Leggyakoribb iránynak nevezzük, ha egy vagy két szomszédos körcikkekbe határozottan elkülönülő gyakorisági maximum esik. Leggyakoribb irányszektor megjelölést alkalmazzuk, ha a gyakorisági maximum több körcikket fog át, azaz egy bizonyos szögtartományban el Kent.



6. ábra. BHTV iránystatisztikák (jelmagyarázat a 4. ábrán)

A repedés iránystatisztika eredménye erősen függ a kijelölt mélységintervallumtól. A vizsgálandó mélységszakasz geotechnikai szempontú kijelölését ezért hagyományos mérések — elsősorban az elektromos ellenállás és az akusztikus hullámkép — szerint jelöljük ki. Amennyiben a kőzettani minőség szerint kívánjuk a repedésstatisztikai intervallumokat meghatározni, a természetes gamma és a mágneses szuszeptibilitás szelvény változásai szerint célszerű az intervallumokat kijelölni. Az így kijelölt mélységszakaszon elkészített dőlésiránystatisztika jellemző az adott szakaszra. A fő repedésirányok jellemzőek lehetnek a kőzetet ért feszültségtérre. A tektonikai irányok statisztikai szempontból csak kevéssé vannak képviselve, ezért nem szükséges, hogy a leggyakoribb irányok megegyezze-

nek azokkal. A leggyakoribb repedésdőlésirány általában egyszerűen tömbjellemző, nem a kérdéses tektonikai zónára jellemző irány. Egy pszeudo irányított szövetű kőzet esetében a statisztikailag domináns irány még a tektonikai zónákon belül is inkább a kőzetet korábban ért (repedezettséget eredményező) hatásokat tükrözi.

A rózsadiagram csak a repedésirányok eloszlását jelzi, a dőlésszögek gyakoriság eloszlását hisztogramon ábrázoljuk, mert ez az ábrázolás vizuálisabb, mintha egy negyedkörös ábrázolnánk az eloszlást.

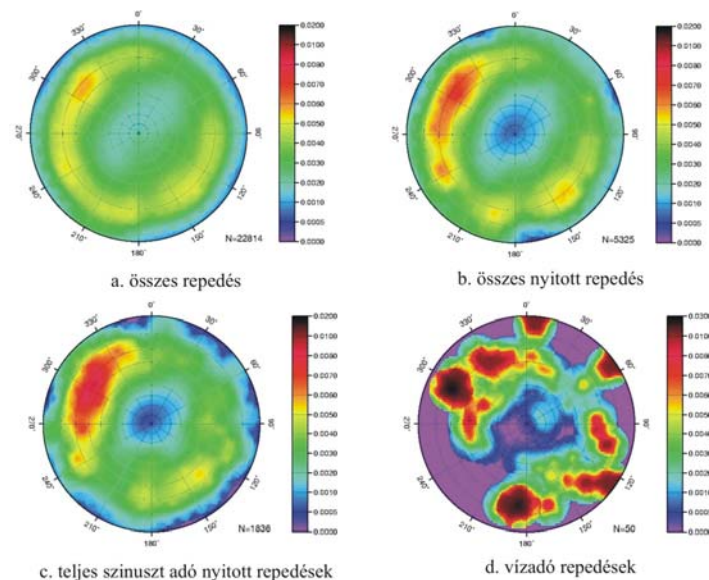
Az 5. ábrán egy 120 méteres gránitban mélyült fúrás statisztikus feldolgozását mutatjuk be. Az első lépésben a fúrást három nagy tömbre osztottuk a hagyományos és a BHTV mérés alapján, majd kijelöltük a főbb töréses zónákat, és ezután az ezek által meghatározott kis tömböket. A statisztikai elemzést mind a három kategóriára és az összes repedésre elvégeztük, majd a 2.-3., a 4.-5., és 6. sávban ábrázoltuk. Az összes dőlés vizsgálata alapján a leggyakoribb irány a 65° – 245° , míg a másodlagos irány a 95° – 275° . Az összes dőlés hisztogramja szerint a leggyakoribb dőlésszögek a 90° és a 30° .

Polárdiagram

A polárdiagramon egy-egy repedéssíkot reprezentáló pontnak a kör alakú diagram középpontjától való távolsága — a szög egyenértékű ábrázolásnál (Wulf plot) a dőlésszöggel lineárisan, míg a terület egyenértékű ábrázolásnál (Schmidt plot) —, a koncentrikus körgyűrűk területével arányos. A pontok az azimut irányában helyezkednek el a körön belül.

Pólussűrűség diagram

A pólussűrűség diagram a polárdiagram egy olyan változata, ahol nem az egyes pontokat, hanem azok területre esésének gyakoriságát ábrázoljuk színkóddal. Használata nagy számú repedés esetén indokolt, mivel az egyes repedéseket reprezentáló pontokat lehetetlen volna külön-külön megjeleníteni. Természetesen a pólussűrűség diagram képe is változik aszerint, hogy melyik ábrázolásmódot választottuk a polárdiagramhoz. A pólussűrűség diagram alkalmas a leggyakoribb repedésdőlés értékek és az azokhoz tartozó leggyakoribb dőlésirányok együttes megjelenítésére. A BHTV repedés-kategorizálás alapja azok nyitottságának mértéke, a kapott információ kötődik a recens feszültségtérhez. A sokféle irányú korábbi feszültségterek által létrehozott repedésrendszerekből a recens feszültség választja ki a nyitottságnak, illetve a zártágnak kedvező irányokat. Ezt a jelenséget a 7. ábrán egy polárdiagram sorozaton mutatjuk be. A kijelölt repedések irányeloszlása (összesen 22814 db repedés) nyolc mélyfúrás összegzése alapján készült.



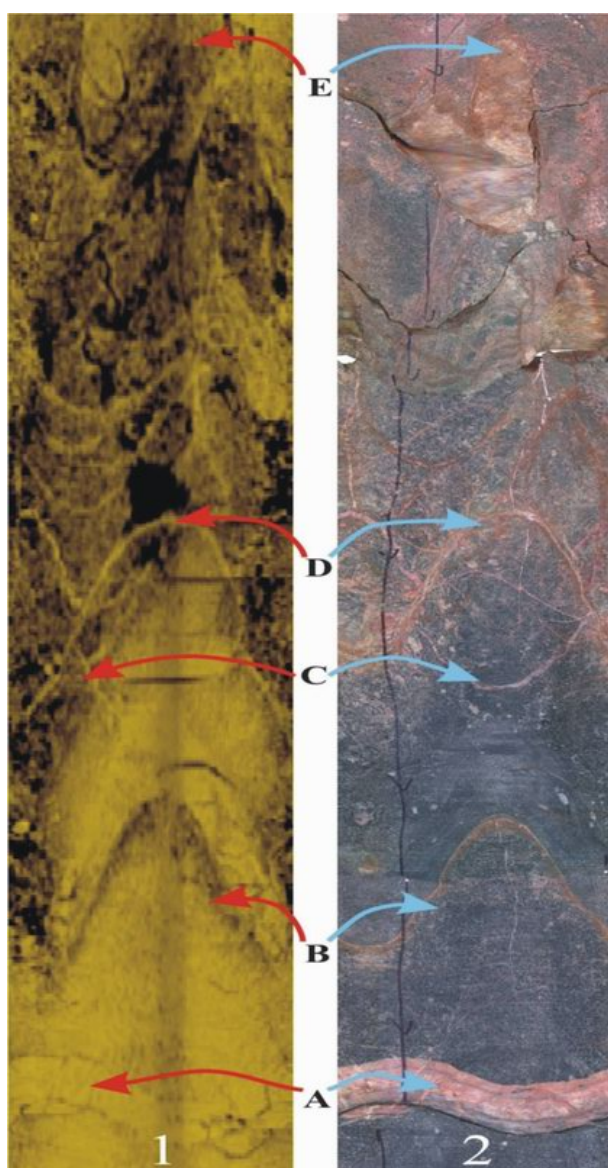
7. ábra. Pólussűrűség diagramok (Schmidt plot) (N = a kategóriába tartozó repedések száma)

Négy pólussűrűség diagramon az összes repedés (7.a ábra), az összes nyitott repedés (7.b ábra), a teljes szinuszt adó nyitott (7.c ábra), valamint a vízázó repedések (7.d ábra) kategóriájának irányeloszlása látható. Az ábrákból megállapítható: a nyitottsági kritérium szigorításával (szűkítjük a mintát) egyre élesebben rajzolódik ki a nyitott repedések fő csapásiránya. Az összes repedés leggyakoribb dőlésszöge 60° – 80° közötti, az összes nyitott és a teljes szinuszt adók repedéseknél a helyzet hasonló. Az irányok erősen szórnak, a leggyakoribbra merőleges irány, vagyis a csapásirány (30° – 210°), éppen csak

megállapítható. Az összes nyitott repedés ábráján ez az irány határozottabbá válik, s ez a trend a csak szabályos repedéseket tartalmazó (teljes szinuszt adó nyitott) repedések polárdiagramján tovább erősödik. A maximumok tehát a szűréssel és a szűrési kritérium erősödésével erősödnek. A legszűkebb adatrendszer a vízadó repedéseké, amely még egyértelműbben jelöli ki fő csapásirányként az ÉÉK–DDNy-i irányt. Más adatok szerint ez az irány megegyezik a területre jellemző főfeszültség irányával (Szongoth et al. 2006).

6 A FÚRÓMAGOK ORIENTÁCIÓJA

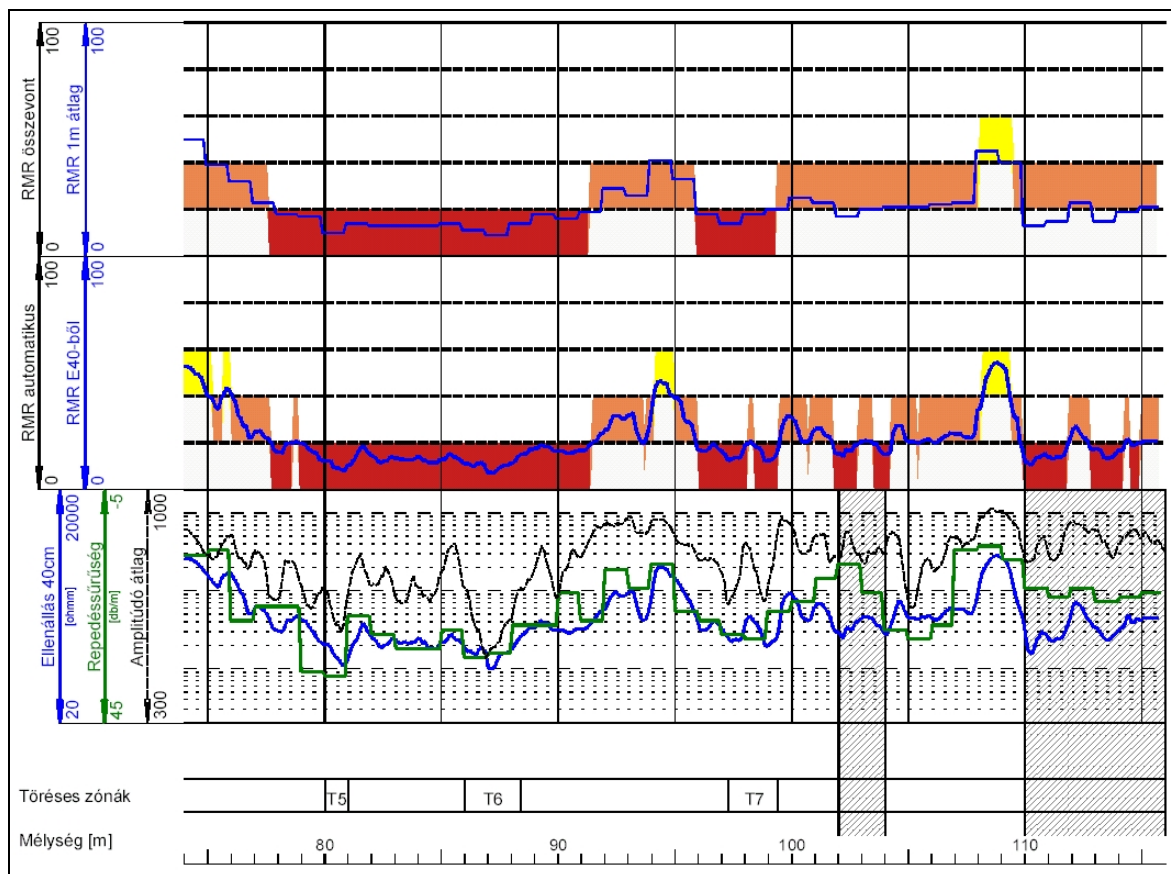
Az akusztikus lyuktelevíziós mérés a fúrólukban történik, a fúróluk falát képezi le. Láthatóak rajta a különböző törések, közethatárok, néhol a palásság is. A mérés eredménye térben orientált. Az IMAGEO magszkennert digitális, nagy felbontású, a látható fény spektrumában felvett fotót készít a fúrómag teljes felületéről (Maros & Pásztor 2001). Ez a mérés azonban térben nem orientált, ezért a magszkennelt képeket a lyuktelevíziós képeken látható jellegzetességek alapján orientálni kell. Ez úgy történik, hogy a magszkennelt képeket forgatjuk, és mélységben eltoljuk mindaddig, míg a lyuktelevíziós képpel fedésbe nem kerülnek. Ennek eredményére láthatunk egy példát a 8. ábrán, amelyen megjelöltük a fedésbe hozáshoz szükséges, azonosítható közös jelenségeket.



8. ábra. A magszkennelt kép orientációja a BHTV kép alapján (1 – BHTV, 2 – IMAGEO)

7 KÖZETTEST OSZTÁLYOZÁS

A BME Építőanyagok és Mérnökgeológiai Tanszék által szervezett konferencián (Szongoth & Szücsi 2007) bemutattuk a fúrásban végzett fajlagos ellenállás mérésre alapozott kőzettest osztályozást. A BHTV mérés lehetőséget ad a kizárólag az ellenállás szelvény alapján végzett osztályozás korrigálására (javítására) olyan helyeken, ahol az ellenállás görbe és a repedéssűrűség, illetve amplitúdóátlag szelvény nincs összhangban egymással. A 9. ábrán egy gránitban mélyült fúrásban mutatjuk be, hogy az ellenállásgörbéből közvetlen kapott RMR osztályozást (Gálos & Vásárhelyi 2006) 102-104 és 110-116 m között egy osztállyal javítottuk a BHTV-ből származó információk alapján.



8. ábra. Az elektromos módszerrel alapuló kőzettest osztályozás

8 IRODALOM

- Gálos M., Vásárhelyi B. 2006. *Kőzettestek osztályozása az építőmérnöki gyakorlatban*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1-144
- Maros, Gy., Pásztor, Sz. 2001: *New and oriented core evaluation method: ImaGeo* -- European Geologist No. 12., pp. 40-43.
- Szongoth G., Zilahi-S. L., Szücsi P., Galsa A., Bánné Györi E. 2006. *A felszíni kutatás fúrásainak összesítő mélyfúrás-geofizikai értelmezése*. Kézirat, Geo-Log Kft. Budapest. 1-72
- Szongoth G., Szücsi P. 2007. Kőzettest osztályozás mélyfúrás-geofizikai mérésekből. In: Török Á., Vásárhelyi B. *Mérnökgeológia Kőzetmechanika 2007*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 175-183
- Zilahi-Sebess L., Mészáros F., Szongoth G. 2000: A gránit töréses öveinek jellemzése mélyfúrás-geofizikai adatok alapján az Üveghutai telephelyen. *A Magyar Állami Földtani Intézet évi jelentése 1999-ről*, Budapest 267-281