

Kőzettestek geotechnikai osztályozása szeizmikus sebességük alapján

Prónay Zsolt

Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, pronay@elgi.hu

Tildy Péter

Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, pety@elgi.hu

Törös Endre

Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, toros@elgi.hu

ÖSSZEFOGLALÁS: Az alábbi esettanulmányban ismertetett vizsgálatok alapján a szeizmikus, elsősorban az S-hullámterjedési sebességeket javasoljuk a kőzettestek jellemzésére a megszokott kőzetosztályozási rendszerek használata helyett, vagy azok kiegészítéseként. Gránitban kihajtott vágatokban hasonlítjuk össze az ott meghatározott RQD, RMR és Q értékeket az ugyancsak ott mért szeizmikus sebességekkel. A legjobb korrelációt az RQD és az S-sebesség között találtuk, értéke több mint 90 %. A szeizmikus, roncsolásmentes technológia legfőbb előnye a többi kőzetosztályozási rendszer eljárásaival szemben, hogy esetenként vele a vágatokkal, fúrásokkal fel nem tárt kőzettestek is jellemezhetők. A tanulmányban egy szeizmikus tomográfiával leképezett kőzettest belsejének geotechnikai jellemzőit adjuk meg. A vizsgálat eredményei azt is mutatják, hogy a vp/vs arány segítségével a vizsgált összlet hidrogeológiai paraméterei is megjósolhatók.

Kulcsszavak: RQD, RMR, Q, P-sebesség, S-sebesség, szeizmikus tomográfia

1 BEVEZETÉS

A felszín alatt kialakított mérnöki létesítmények tervezéséhez és fenntartásához elengedhetetlenül szükséges az objektumot körülvevő kőzettér geológiai viszonyainak és a kőzetek (kőzettestek) geotechnikai jellemzőinek előzetes és kialakítás közbeni megismerése. A kockázatok csökkentésére, az építés és a földalatti térség biztosítási módjának megtervezéséhez a vágathajtás előtt geológiai és geofizikai vizsgálatokat végeznek, melyek célja a geológiai, hidrogeológiai viszonyok megismerése a váratlan események megelőzésére, többek között az omlás és a vízbetörés megakadályozására.

Többféle kőzettest-osztályozási rendszer ismert, az egyik első a Terzaghi (1946)-tól a legutóbb kifejlesztett RMi (Rock Mass index, Palmström 1995) módszerig. Jelenleg a leggyakrabban használtak az RMR (Rock Mass Rating, Bieniawski, 1973) és a Q (Rockmass Quality, Barton et al. 1974) módszerek.

Természetesen mindegyik osztályozási rendszernek egy adott alkalmazás szempontjából megvannak az előnyei és hátrányai a többi osztályozási rendszerrel szemben. A rendszerek részben hasonló bemenő paramétereket használnak (pl. szilárdsági, repedezettségi jellemzők), de a bonyolultabbakhoz további adatok is kellenek. Ilyenek a kőzefeszültségi adatok, a törések, repedések jellege és ezek távolsága, a víztartalom stb. A különböző osztályozási rendszerek gyakorlati alkalmazása általában feladat függő, de a helyi viszonyoknak és mondhatjuk egy kicsit a megszokásnak is függvénye. Egy-egy módszer megfelelő alkalmazása a bemenő paraméterek nagy gyakorlati tapasztalaton alapuló ismeretét követeli meg alkalmazójától, mindemellett az egyes rendszerek egymásba csak nehezen konvertálhatók.

Mivel a szilárd kőzetekben a rugalmas hullámok (P és S) terjedési sebességét gyakorlatilag ugyanazok a kőzetfizikai paraméterek határozzák meg, mint amelyek a kőzetosztályozási rendszerekben is fellelhetők, ezért a szeizmikus sebesség alapján kialakított rendszer és a hagyományos kőzetosztályozási rendszer között szoros kapcsolat kell, hogy legyen. Ezt a kapcsolatot vizsgálta Barton (1993) is, aki a kőzetekben terjedő szeizmikus P-hullám terjedési sebessége és a Q osztályozási rendszer értékei között 2000 magminta vizsgálatával a következő összefüggést állapította meg:

$$Q=10^{(vp-3500)/1000} \quad (1)$$

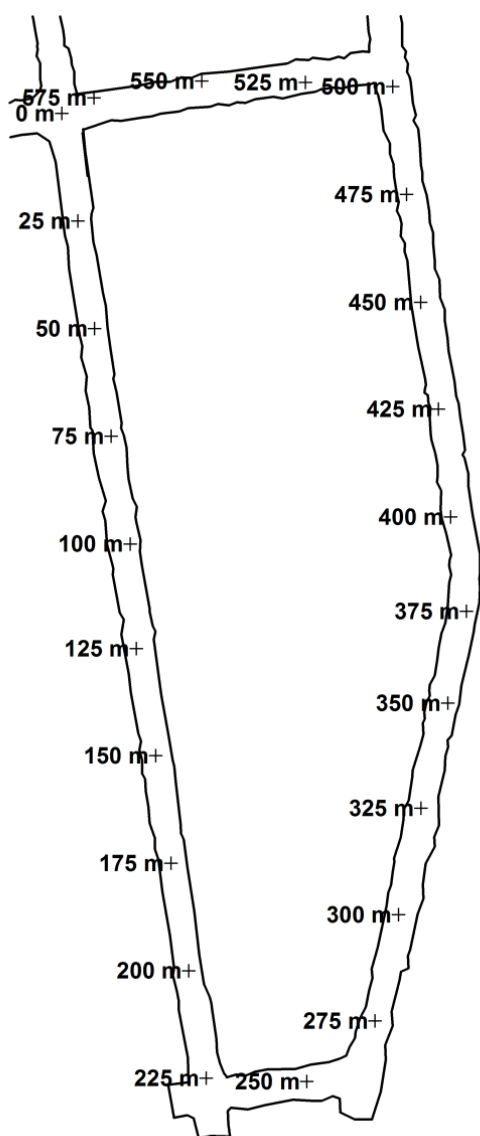
ahol v_p a P-hullám sebessége m/s-ban.

Az összefüggés nyilvánvalóan bizonyos feltételek teljesülése mellett érvényes (pl. ha $RQD > 10\%$), ezért a rendszert megalkotója a későbbiekben tovább finomította, figyelembe véve pl. a kőzetnyomásnak a települési mélység szerinti változását. A Bátaapáti környéki gránitokra alkalmazva vizsgálataink szerint az így felállított összefüggések még további módosításra szorulnak, azaz az összefüggések feltehetőleg pontosan csak a minták származási helyén érvényesek, más geológiai viszonyok között csak jó közelítéssel. Kétségtelen problémái ellenére a szeizmikus mérések szerepe nő a vágathajtást megelőző vizsgálatok során, mert ez a leghasználhatóbb roncsolásmentes módszer a kőzetmechanikai tervezéshez szükséges információk megszerzésére.

2 EREDMÉNYEK

2009. közepén egy felszín alatti kőzettest vágatokkal körülhatárolt (1. ábra) térrészének szeizmikus tomográf átvilágítására kaptunk lehetőséget, amellyel meghatároztuk a szeizmikus P- és S-hullámok terjedési sebességeinek eloszlását az átvilágított terület belsejében. Ez lehetővé tette, hogy a szeizmikus tomográfiából származó sebesség értékeket összehasonlíthassuk a területet határoló vágatokból származó nagyszámú geotechnikai paraméterrel. A vizsgált anyag nagyrészt különböző minőségű és repedeztettségű gránit volt.

A geotechnikai paraméterek és szeizmikus sebességek összehasonlítását sok tényező korlátozta. Ezek közül soroljuk fel a legfontosabbakat:



1. ábra. A mérések helyszínrajza

Általános korlátok:

- Bevetítési távolság: a kőzetzfizikai paraméterek a már kifejtett, a vágat helyén levő gránitra vonatkoztak, míg a szeizmikusak a terület belsejére. A vágat környezetében kialakult az EDZ (ExcavationDisturbedZone) zóna, amit a kőzetzfizikai paraméterek nem vesznek figyelembe.

- Időeltérés: a szeizmikus méréseket a vágathajtás után hónapokkal végeztük. Időközben a víztartalom megváltozott, a gyengült zónákat elinjeztálták.

A tomográfia korlátai:

- Véges felbontás: a szeizmikus mérések felbontását, a sebességet adottnak véve, a hullámhossz határozza meg. A hullámforrás jellemzői és a frekvenciaszelektív csillapodás behatárolják a hasznos frekvenciasávot.

- Egyenetlen sugáreloszlás: a vágatok által meghatározott nem izomorf geometria okozza. Ráadásul a hullámok nem egyes vonalban tejednek, útjukat a sebességeloszlás határozza meg (Fermat-elv), e miatt a kis sebességű helyeket igyekszik elkerülni a hullám.

- A tomográf algoritmus a hibákat a mező szélére, a sugarakkal irány szerint legkevésbé lefedett helyre söpri ki.

- A hosszú sugarutak simító hatása. Az integrált sebességéből kell differenciálisat számolni.

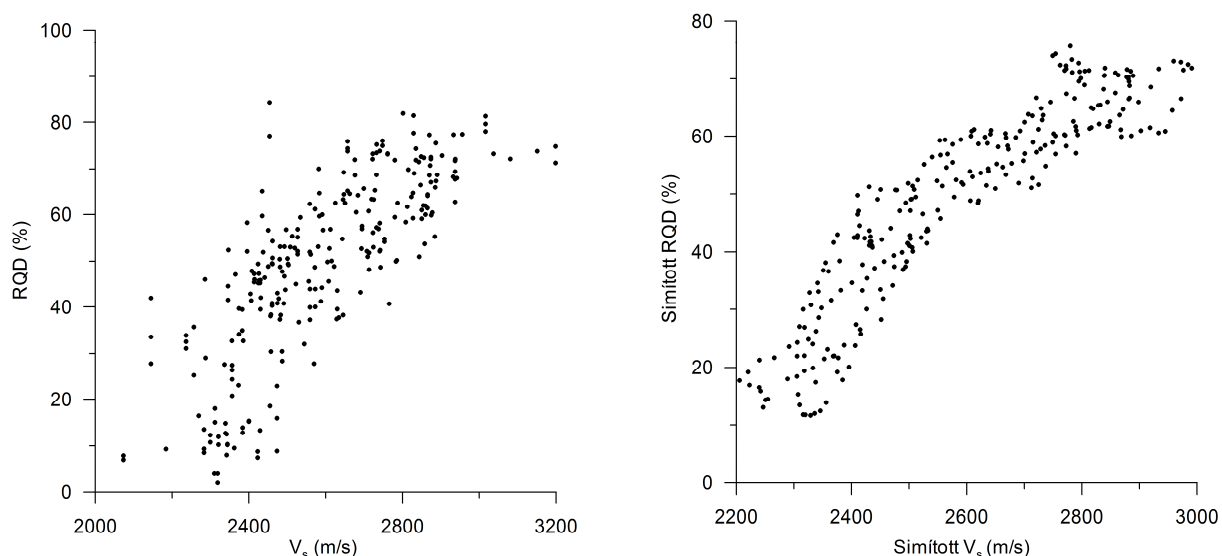
A geotechnikai adatok problémái:

- Az RQD értékek relatívak: a kőzet anyagát nem veszik figyelembe.

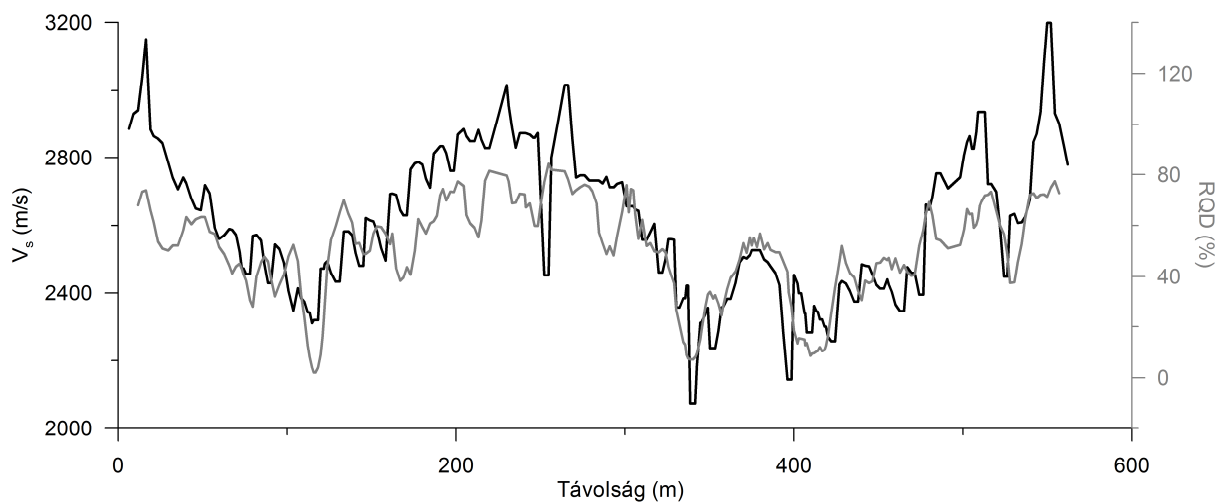
- Becsült és diszkrét értékeket is használ.

- Irány és skálafüggő értékeket adnak.

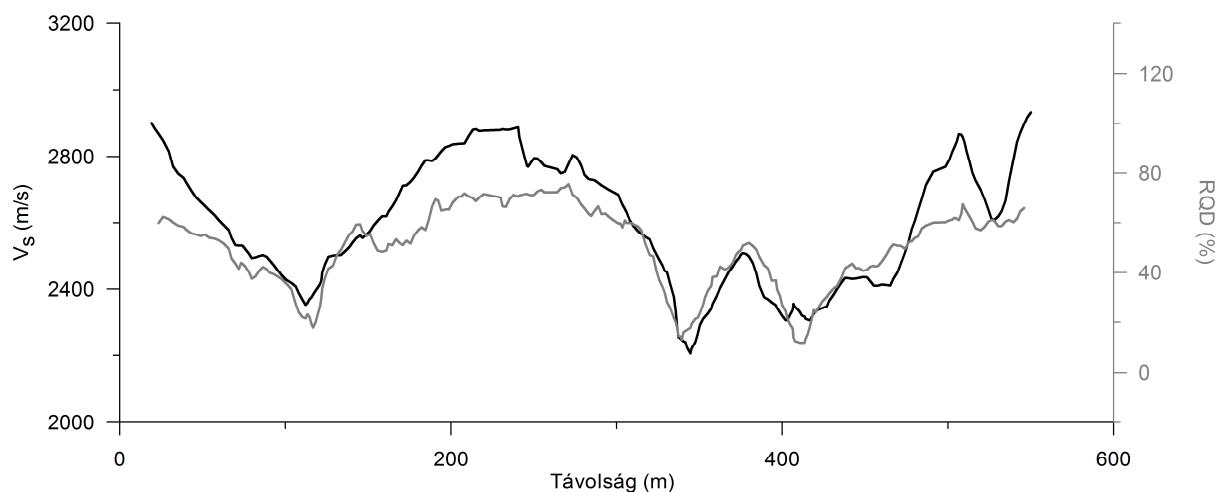
A szeizmikus sebességek és a kőzettest osztályozási paraméterek összehasonlítása során első lépésben a sebességek és a kőzettest osztályozási paraméterek direkt kapcsolatát vizsgáltuk (2. ábra), amit természetesen az összes fent felsorolt hiba terhelt. A simítás a bevetítési távolság változásából származó eltéréseket csökkentette, ezzel a v_s -RQD függvény eredetileg szóró adatai egy sávvá sűrűsödtek. Ugyanez látható helyről-helyre körben a vágatok mentén a 3. és 4. ábrán.



2. ábra. Az S-sebesség és az RQD kapcsolata a teljes adatsoron



3. ábra. Az S-sebesség és az RQD kapcsolata pontról pontra

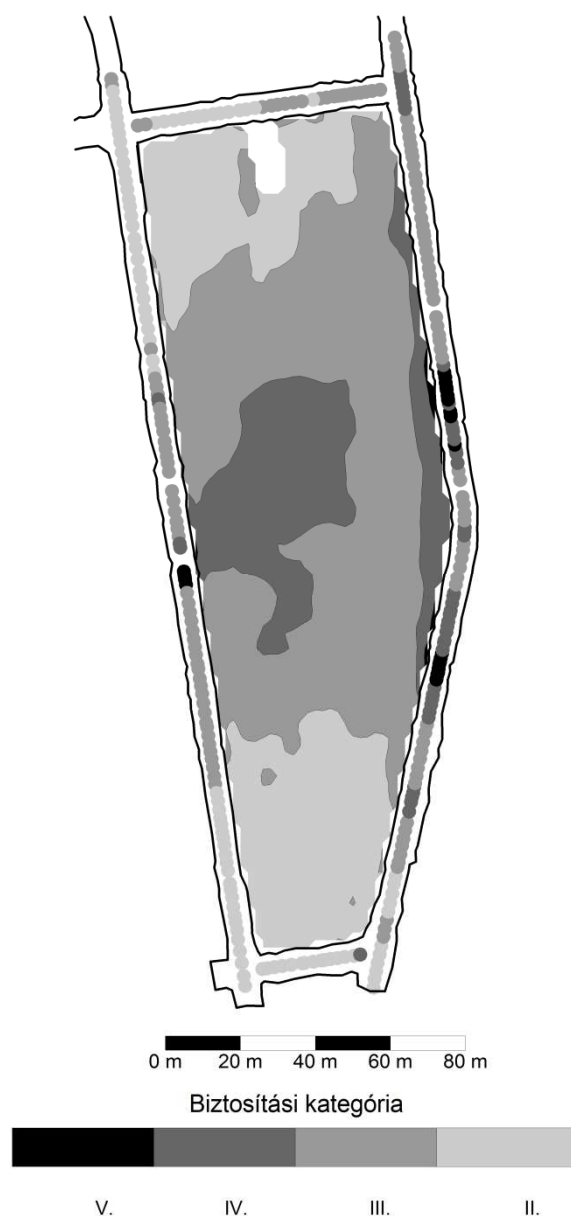


4. ábra. A simított S-sebesség és RQD kapcsolata pontról pontra

Általában elmondható, hogy a szeizmikus sebesség függ a kőzet anyagától, repedezettségétől, folyadék- vagy gáztartalmától és a feszültségtől. A vizsgálatok eredményeképpen megállapíthatjuk, hogy az S-sebességet elsősorban a repedezettség befolyásolja. A vágat mentén celláról cellára sorban elvégzett korreláció értéke az S-sebesség és az RQD között 78 %, míg a simított adatokon 90 % fölötti, addig P-sebesség esetén értéke 64 % és 78 %. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy az S-sebességekből az RQD 90% pontossággal megjósolható. Az egyes paraméterek közötti korrelációs értékek az 1. táblázatban láthatók.

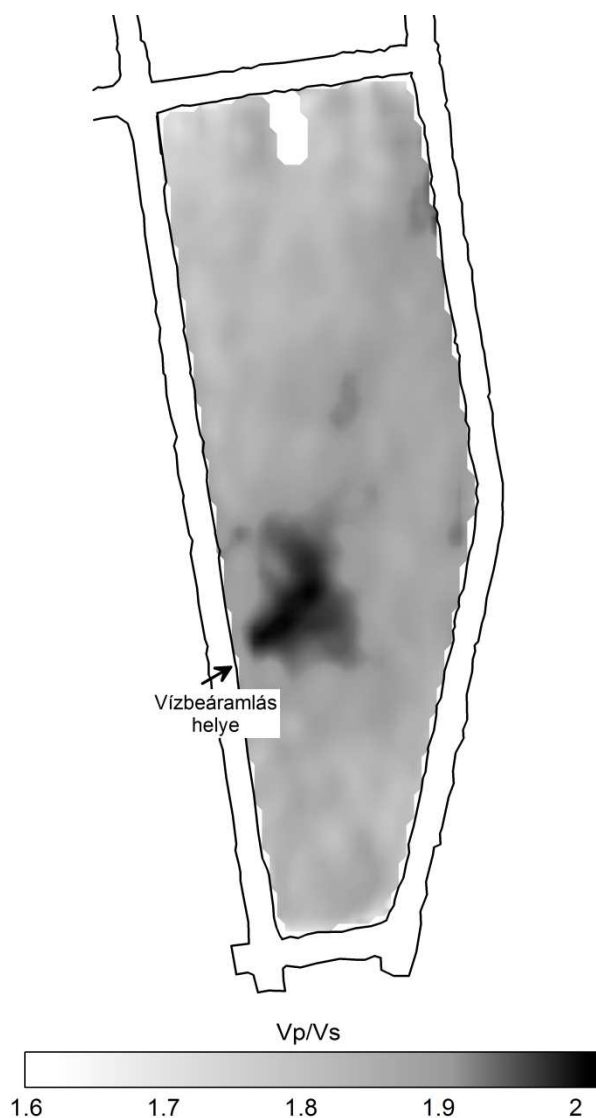
1. táblázat. A sebességek és a geotechnikai paraméterek korrelációja

	RQD	RMR	Log(Q)	RQD _{smoothed}	RMR _{smoothed}	Log(Q _{smoothed})
Vs	78,4%	74,0%	58,1%			
Vp	63,8%	60,8%	42,1%			
Vs _{smoothed}				91,1%	89,6%	87,8%
Vp _{smoothed}				76,9%	76,4%	80,0%



5. ábra. S-sebességből számított biztosítási kategóriatérkép és a ténylegesen alkalmazott kategóriák

A kőzettest osztályozási kategóriák célja, elsősorban az RMR-é és Q-é, az hogy segítségükkel meghatározható az adott helyen a biztosítás módja. Mivel a kőzettest osztályozás és a sebességek kapcsolatát sikerült meghatározni, megvizsgáltuk, hogy mi az összefüggés közvetlenül a kőzetbiztosítás és az S-sebesség között. Megállapítottuk, hogy közvetlenül a sebességből meghatározni a kőzetbiztosítási kategóriákat semmivel sem megbízhatóbb, mint hagyományosan az RMR-ből vagy Q-ból. Az S-sebességekből számított biztosítási kategória térkép az 5. ábrán látható.



6. ábra. v_p/v_s arány kapcsolata a víztartalommal

Az előadás bemutatja a v_p/v_s arány és a hidraulikai paraméterek összefüggését is. Mivel, a P-hullámmal ellentétben, az S nem terjed folyadékokban és gázokban, ezért sebessége gyakorlatilag független a folyadéktartalomtól, ezért a v_p/v_s a víztartalommal arányos. A 6. ábrán látható anomália közlében, a nyíllal jelölt helyen a vágatban erős vízbeáramlást észleltek, amit a mérés idejére a vágat közvetlen környezetében már elinjektáltak.

HIVATKOZÁSOK

Barton N; Lien, R.; Lunde, J. 1974: Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech. Rock Engng.* 7: 183-236.

Barton N., 1993, *Application of Q-system and index tests to estimate shear strengths and deformability of rock masses*, Workshop on Norwegian Method of Tunnelling., New Delhi, 66-84.

Bieniawski, Z.T. 1973: *Engineering classification of rock masses*. *Trans S. African Inst. Civil Eng.* 15: 335-344.

- Bieniawski, Z.T. 1976. *Rock mass classification in rock engineering*, In: Exploration for rock engineering, proc. of the symp., (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town: Balkema.
- Bieniawski, Z.T. (1989): *Engineering rock mass classification* Wiley 251 p
- Deere, D.U. 1964: Technical description of rock cores for engineering purposes. *Rock Mechanics and Engineering Geology*. 1: 17-22
- Deere, D.U.; Deere, D.W., 1988: *The rock quality designation (RQD) index in practice*, In *Rock classification systems for engineering purposes* (ed. L. Kirkaldie). ASTM Special Publications 984, 91-101, Philadelphia, Am. Soc. Test. Mat.
- Palmstrom, A. 1995: RMI – a rock mass characterization system for rock engineering purposes. Univ. Oslo, Norway, p. 400. (www.rockmass.net)