

Fúrómagok dinamikus és statikus rugalmassági állandóinak összehasonlítása

Dr. Csókás János*

(13 ábrával, 1 táblázzal)

Aknákat, vágatokat, fúrólyukakat vagy más üregeket biztosító szerkezetek és az üregeket körülvevő kőzetek mechanikailag egymáshozható rendszert alkotnak. A biztosító szerkezetek teherviselő képessége általában jól meghatározható. Ezzel szemben a kőzetösszeletből valamilyen módon vett fúrómag- vagy kőzettömb-mintákból készített próbatesteken meghatározott mechanikai jellemzők csak az összelet egyes részeinek viselkedését jellemzik és csak a laboratóriumi viszonyoknak megfelelő feltételek esetére. A vizsgált próbatest nem modellezi sem méreteiben, sem szerkezeti felépítésében az összelet geológiai és tektonikai viszonyait.

Az üregek biztosításának tervezéséhez és méretezéséhez azonban az üregnyitással előidézett terhelések és alakváltozások ismerete szükséges.

Szilárd kőzetekben ébredő feszültségek közvetlen mérése elvileg lehetetlen, helyette csak kitüntetett síkokra vagy felületekre ható nyomás, továbbá a szabaddá tett síkok és felületek elmozdulása és alakváltozása mérhető (BODONYI, 1976). A mérések eredményeiből következtetéseket lehet levonni az üregek környezetének viselkedéséről és adatok határozhatók meg a tervezés és méretezés számára.

Valamely közeg rugalmas tulajdonságait meghatározó alapvető paraméter a Young-modulus. A rugalmas hullámok terjedési sebessége főleg ettől függ, a többi paraméter, mint a sűrűség, a Poisson-hányados és a többi, kisebb fokban van hatással a sebesség értékekre. A Young-modulus meghatározása tudományos jelentősége mellett nagy gyakorlati értékű is. Gátak, nagy ipari objektumok, aknák, üregek tervezéséhez abból a célból határozzák meg, hogy kiszámíthatók legyenek a megengedett terhelések, továbbá azon kőzetek deformációi és a bennük ébredő feszültségek, valamint a méretek változásai, amelyekre az építkezéseket alapozzák (LINOWSKI, 1968.).

Az utóbbi évtizedben elterjedt a Young-modulus dinamikus meghatározásának szeizmikus módszere, ugyanis elsősorban a kőzetanizotropia miatt, továbbá a kőzet rheológiai tulajdonságainak ismerete nélkül terheléses módszerekkel a statikus modulus csak túl nagy hibával határozható meg.

A kőzetekre ható megengedhető terhelések és deformációk becslése végett gyakorlati jelentősége a modulus in situ meghatározásának van. Tervezéseknél a statikus modulus az elfogadott, mivel a létesítmények elsősorban statikusan hatnak a kőzettömegekre. Ezért indokolt korrelációt keresni a kőzetek dinamikus és statikus rugalmassági modulusa között. Földrendések, robbantások és

* NME Geofizikai Tanszék, Miskolc.

más renetések szeizmikus hatása elleni védekezéshez azonban a dinamikus a használatosabb.

A dinamikus modulus mindig nagyobb, mint az in situ statikus, ugyanis a szeizmikus impulzusoknak igen rövid az időtartama és ami még jellegzetesebb, a szeizmikus impulzushoz kapcsolódó feszültség-szint olyan kicsi, hogy a közeg-részecskék mozgása teljesen rugalmas. Könnyen belátható, hogy a dinamikus és a statikus modulus között bármilyen tapasztalati korreláció a közettömeg minőségéről is szükségszerűen magában foglal valamilyen számszerű becslést.

A dinamikus és a statikus mérések eredménye közötti különbség a feszültség időtartamától származik, tehát a dinamikus vizsgálatok alkalmazhatósága a közetek rheológiai jellegének függvénye.

Dinamikus vizsgálatokkal azonban megoldhatók olyan speciális feladatok, mint pl. a maradék feszültségek és a relaxációs zónák meghatározása. Statikus feladatok megoldása dinamikus mérések útján tehát elsősorban rheológiai problémát jelent. A nyomás-deformáció kapcsolat a rheológia szerint az igénybevétel idejétől függ. A megoldáshoz vezető egyik módszer abból áll, hogy a közeget különböző egyszerű rugalmas tulajdonságú anyagok lineáris kombinációjaként veszik fel, azaz egyszerű anyagegyenletek összegeként írható le. Többek között ilyen pl. a Kelvin-típusú viszko-elasztikus közeg, mely Hooke-féle és Newton-féle közeg kombinációja (LANGER, 1965).

Ilyen közegre a deformáció-feszültség egyenlet a következő:

$$\{\varepsilon_{ij} = \frac{\sigma_c}{\mu_H} + \frac{\sigma_c}{\mu_k} + \left(\varepsilon_{0k} - \frac{\sigma_c}{\mu_k} \right) \cdot \exp \left(- \frac{\mu_k}{\eta_k} \cdot t \right) \quad (1)$$

ahol ε_{ij} : a deformáció, $\sigma_c = \sigma_{ij}$: a feszültség, ε_{0k} : a $\sigma_c = \text{konst.}$ feszültség fellépésekor meglévő deformáció: μ_H , μ_k és η_k a Hooke- illetve Kelvin-féle közeg nyírási modulusa illetve viszkozitása.

A dinamikus paraméterek a Hooke—Kelvin-féle közeg Hooke-féle részéből, a statikus paraméterek a járulékos Kelvin-részből adódnak.

Az (1) egyenlet szerint a statikus paramétereknek a dinamikusokhoz viszonyított terhelés alatti időbeli csökkenéséből a viszkozus rész nyírási modulus per viszkozitás, μ_k/η_k paramétere meghatározható.

A mérési eljárások szerint négyféle E rugalmassági állandóról lehet szó az alábbi szerint (LINOWSKI 1968):

Young-modulus E	Mért	
	Labor	in situ
Statikus E_s	E_{s1}	E_{sP}
Dinamikus E_d	E_{d1}	E_{dP}

A meghatározás az alábbi egyenletek alapján történhet:

$$E_d = 2V_s^2 \cdot \rho(1 + \sigma) \quad (2)$$

$$E_s = a \sqrt{F}(1 - \sigma^2) \frac{dP}{d\varepsilon} \quad (3)$$

ahol: E_d : a dinamikus-, E_s : a statikus Young-modulus, V_s : a transzverzális rezgés sebessége a közegben, ρ : a közeg térfogatsűrűsége, σ : a Poisson-hányados, a : az F terhelési felület alakjától függő állandó, ΔP : a terhelés-növekmény, $\Delta \varepsilon$: a deformáció-növekmény.

A (2) és (3) vagy hasonló egyenletek alapján in situ és (3) laboratóriumi kőzetminta vizsgálatokat lehet tervezni.

Bár a fúrómagokon végzett laboratóriumi mérések eredményei korlátozott érvényességűek, azonban gyorsan elvégezhetőek és a tervezésekhez megfelelő tájékoztatást nyújtanak. Ezenkívül a geológiai vizsgálatok céljaira egyébként is szükségesek a fúrómagok, tehát a rugalmassági állandók in situ vizsgálata esetében is hasznos a kőzetmechanikai méréseket laboratóriumban is elvégezni.

Aknatengelyfúrások magmintáinak kőzetmechanikai vizsgálata

Szénbányák nyitásának egyik fontos része az aknák telepítése. Az aknaireg mélyítése folyamán a harántolt kőzetek primér-feszültség-állapota megváltozik, ezért az akna falát omlás és vízbetörés ellen biztosítani kell, a biztosítás méretezéséhez pedig meg kell határozni a számításokhoz szükséges kőzetfizikai és hidrológiai paramétereket.

Az említett mennyiségeket általában a telepítendő akna tengelye mentén mélyített fúrólukból vett kőzetmintákon laboratóriumban szokták meghatározni. A fúrómag azonban egyrészt csak saját magával összemérhető nagyságrendű kőzettérfogatra jellemző, másrészt több jellemzője, így a víztartalma, hőfoka, a benne uralkodó primér kőzetfeszültség, kohéziós erők és mindazok a paraméterek, amelyek ezek függvényei, megváltoznak a magkihozatal, a konzerválás, a szállítás és a magelőkészítés, majd a vizsgálati idő alatt. Általában nem ismeretesek olyan korrekciós eljárások, amelyek segítségével a laboratóriumi adatokból az in situ paraméterek biztosan kiszámíthatók.

A magvétel meglehetősen költséges is.

Mind a módszertani, mind a gazdasági hátrányok jó része elhárul, ha az aknatengelyfúrásokban kőzetmechanikai állandók leszarmaztatása céljából módszertanilag és technikailag kifogástalan mélyfúrású geofizikai szelvényezéseket végeznek és értelmeznek.

Fúrólukak fajlagos ellenállás-szelvényéből mint pl. a nagygyéhazi aknatengelyfúrásoknál használt B2, 73A 0,45M potenciálszonda esetén, melynek a behatolási sugara kb. 0,9 m-nek vehető, a fúróluk tengelyével kooxiális 0,9 m sugarú formáció hengerről állapíthatók meg a formáció effektív paraméterei. Ez minden egy méteres mélységszakaszban kb. 2,5 m³ formáció térfogatot jelent. Ha ugyaninnen 100%-os magkihozattal 0,09 m átmérőjű és 1,0 m hosszú fúrómagmintát sikerült venni, annak térfogata mindössze 0,006 m³. Megjegyezhető még, hogy laboratóriumi vizsgálatokra a vett magok térfogatának csak a tört részét szokták felhasználni.

A fúrólukszelvényezés ezenkívül in situ állapotban történik, továbbá belőle több olyan adat is meghatározható, ami magvizsgálat útján nem lehetséges, ilyenek a réteghőfok, az elektrokémiai potenciálok, nukleáris sajátságok.

A fúrólukszelvényezést egy-egy alkalommal többszáz méteres szakaszon is végezhetik és a szelvényezés időtartama sokkal rövidebb, mint ugyanon mélységszakaszban a magvételé.

A mányi barnakőszéntelepes összlet aknatengelyfúrások magmintái vizsgálatából lehetőség adódott a Bányászati Kutató Intézet Kőzetmechanikai Osztályán mért statikus, valamint a Nehézipari Műszaki Egyetem Geofizikai Tanszékén mért dinamikus kőzetmechanikai paraméterek összehasonlítására és köztük néhány összefüggés felállítására.

A minták szétosztása a kutatóhelyek között a BKI-ben makroszkópos szemléletre azonos magok kettévágása útján történt.

A dinamikus kőzetmechanikai mérések módszertana

Az állandók meghatározása a mérési adatokból a legtöbb esetben olyan képletekkel történik, amelyekben a térfogatsűrűség is szerepel. A két kutatóhelyen mért adatok összehasonlítása az N-63. sz. (Nagygyháza) fúrásból vett mintákon az 1. ábrán, a MÁ-132. (Mány) fúrásból vett mintáké a 2. ábrán látható. Az első pontjainak nagy szórását a rossz konzerválási és szállítási technológia miatt bekövetkezett nedvességtartalom csökkenése okozta. A 2. ábrán a szórás elfogadható annak ellenére, hogy nem azonos, hanem egy minta két darabjának összehasonlításáról van szó.

Aknafalak igénybevétele statikus jellegű, ezért ésszerű az állandókat statikus eljárással meghatározni.

Ezzel szemben laboratóriumban dinamikus eljárásokkal sokkal nagyobb kőzettérfogatok vizsgálhatók mint statikusan és az illető kőzetre jellemzőbb értékekhez jutunk.

Dinamikus eljárásokra fúrólyukban is van lehetőség a magoknál jóval nagyobb térfogatú kőzetre vonatkozóan, ha a kompressziós és a nyírási hullámok sebségét regisztrálják.

A statikus és a dinamikus rugalmassági állandók összehasonlítása útján pedig további kőzettani sajátságokról lehet felvilágosítást nyerni.

A dinamikus Young-modulus és a dinamikus Poisson-hányados meghatározására a Geofizikai Tanszéken készült a 3. ábrán látható berendezés, amellyel két véglapján párhuzamosra fűrészelt fúrómagok dilatációs rezonanciás rezgésbe hozhatók és meg lehet határozni az f_1 (Hz) rezonanciás rezgés frekvenciáját. Az előkészített fúrómagok l hosszúságából és d átmérőjéből, valamint m súlyából kiszámítható a ρ térfogatsűrűségük. Az adatokból a

$$\rho = \frac{4m}{\pi d^2 l} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (4)$$

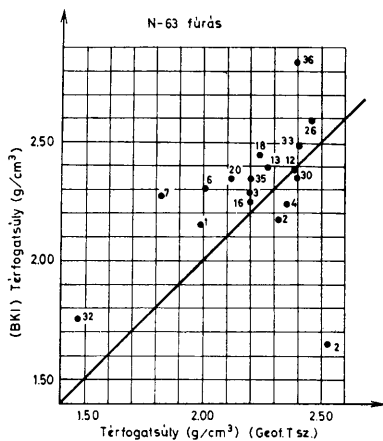
$$V_d = 2lf_1 \quad (\text{m/s}) \quad (5)$$

$$E_d = V_d^2 \cdot \rho \quad (\text{N/m}^2) \quad (6)$$

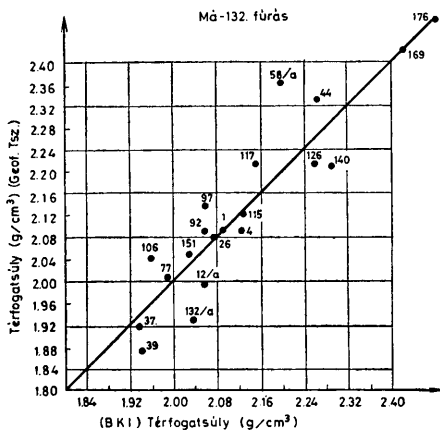
$$E_d = 5,09 \cdot ml d^{-2} f_1^2 \quad (\text{N/m}^2) \quad (7)$$

összefüggések segítségével adódik az E_d dinamikus Young-modulus (HEILAND 1946), ahol V_d a dilatációs rezgés sebessége a fúrómagban.

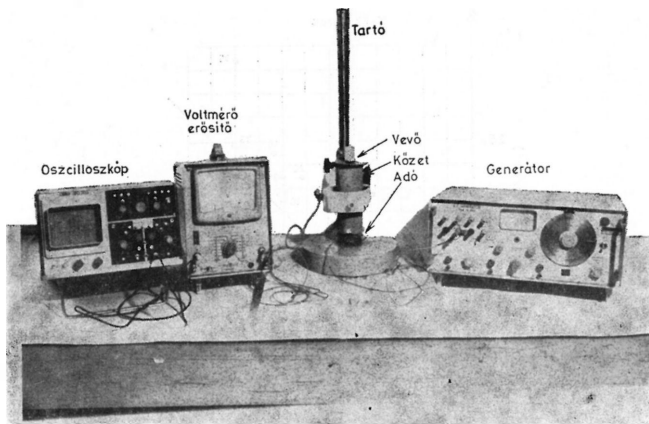
A fúrómagok nedvességtartalma és az E_d rugalmassági állandó közötti kapcsolatot a 4. ábra mutatja. Látható, hogy a $w\%$ nedvesség-súlyarány kis megváltozása különösen a márgák rugalmasságát nagymértékben befolyásolja. Ebből következik, hogy a minták dinamikus mérése vagy az in situ meghatározás ezért is realisabb, mint a fúrómagok statikus vizsgálata.



1. ábra. Térfogatsúlyok összehasonlítása, N-63. fúrás
Fig. 1. Comparison of bulk densities, borehole N-63

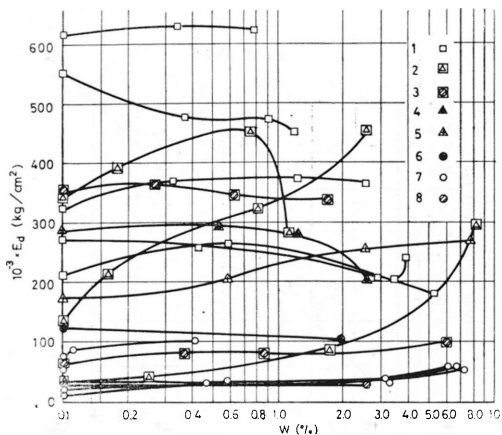


2. ábra. Térfogatsúlyok összehasonlítása, M4-132. fúrás
Fig. 2. Comparison of bulk densities, borehole M4-132



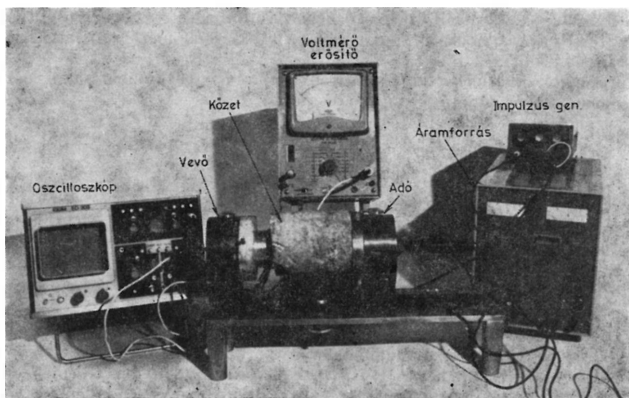
3. ábra. Dilatációs rezonancia-mérő berendezés

Fig. 3. Measuring instrument for the measurement of dilatation resonance



4. ábra. A dinamikus Young-modulusok és a nedvességtartalom kapcsolata. J e l m a g y a r á z a t: 1. Mészkö, 2. Mész-márga, 3. Meszes homokkő, 4. Aleuritos agyagmárga, 5. Meszes agyagmárga, 6. Aleuritos homok, 7. Homok, 8. Homokkő

Fig. 4. Relationship between the dynamic Young moduli and moisture content. Legend: 1. Limestone, 2. Calcareous marl, 3. Calcareous sandstone, 4. Silty clay-marl, 5. Calcareous clay-marl, 6. Silty sand, 7. Sand, 8. Sandstone



5. ábra. Szeizmoszkóp
Fig. 5. Seismoscope

A dinamikus Poisson-hányados meghatározásához készült a Geofizikai Tan-
széken az 5. ábrán látható szeizmoszkóp, amelynek segítségével megmérhető
a fűrómagokban terjedő kompressziós rezgések V_p sebessége. A berendezés
mintatartójára helyezett fűrómag egyik végén longitudinális rezgés-impulzust
indítva, az t idő múlva ér a másik végéhez. Ezt a futási időt lehet egy időmérő
oszilloszkópon leolvasni. A primér hullám sebessége tehát

$$V_p = \frac{l}{t} \quad (\text{m/s}) \quad (8)$$

A σ_d dinamikus Poisson-hányados a fent említett módon meghatározott E_d , ρ és
a primérhullámsebesség ismeretében

$$\sigma_d = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1-e}{2e} + \left[\left(\frac{1-e}{2e} \right)^2 - 4 \frac{1-e}{2e} \right]^{1/2} \right\} \quad (9)$$

egyenletből számítható, ahol

$$e = \frac{V_p^2 \cdot \rho}{E_d} \quad (10)$$

A számítási képlet tehát

$$\sigma_d = f_1^2 \cdot t^2 - 0,25 + [f_1^4 \cdot t^4 - 2,5 f_1^2 \cdot t^2 + 0,5625]^{1/2} \quad (11)$$

A berendezés hitelesítése és a dinamikus rugalmassági állandók meghatározásá-
nak pontossági vizsgálata homogén etalon anyagokon történt (alumínium,
sárgaréz, acél, plexi rúd).

A Má-132: -z. fúrásból származó kőzetminták σ_s és σ_d összehasonlításának az az eredménye, hogy $\sigma_d > \sigma_s$, ahol σ_s a BKI-ben mért statikus Poisson-hányadost jelenti.

Fúrómagok dilatációs rezonancia frekvenciáin meghatározható az η veszteségi tényező, mely a Q jósági tényező reciproka

$$\eta = \frac{1}{Q} = \frac{\Delta f}{f_1} = \operatorname{tg} \delta \quad (12)$$

ahol Δf a (-3 dB) csillapításnak megfelelő sáv szélesség (6. ábra). A δ a veszteségi szöveget, vagyis a feszültség és a dilatáció közötti fázistolást jelenti konstans rezgési feltételeknél (7. ábra).

A veszteségi tényezővel bevezethető az E^* ún. komplex rugalmassági modulus a következő módon:

$$E^* = E_d = E'(1 + i\eta) = E' + iE'' \quad (13)$$

melyből az E' valós rész a rugalmas (vagy tárolási) modulus. Az E'' komplex rész abszolút értéke $|E''| = E' \cdot \eta$ a csillapítási vagy veszteségi modulus (BRÜEL and KJAER). Ez a paraméter a kőzet belső súrlódására jellemző a mérési frekvencián.

Ha a térfogatsűrűség, valamint longitudinális és transzverzális akusztikus fúrólyukszelvények rendelkezésre állanak, akkor a karotázis szelvényekből K_d dinamikus kompressziómodulus-szelvény szerkeszthető (JESCH, 1976), mivel

$$K_d = \rho \cdot \left[\frac{1}{t_p^2} - \frac{4}{3} \frac{1}{t_s^2} \right] \quad (14)$$

ahol t_p és t_s a longitudinális, illetve a transzverzális hullám futási ideje.

Ha csak térfogatsúly és longitudinális akusztikus szelvényezés történt, akkor az M_d dinamikus merevségi paraméterszelvény elkészítésére van mód, ugyanis

$$M_d = K_d + \frac{4}{3} G_d = \frac{\rho}{t_p^2} \quad (15)$$

Ebből, ha G_d -t máshonnan ismerjük, akkor a dinamikus kompressziós modulus kiszámítható, azaz

$$K_d = \frac{\rho}{t_p^2} - \frac{4}{3} G_d \quad (16)$$

A G_d dinamikus nyírási modulus, melyet Lamé-állandónak illetve merevségi állandónak is neveznek, a következő módon írható fel:

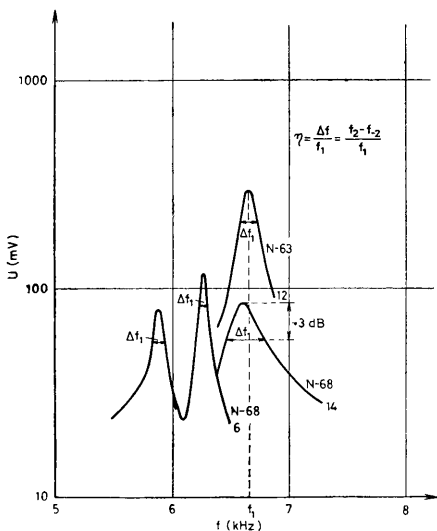
$$G_d = \frac{E_d}{2(1 + \sigma_d)} \quad (17)$$

vagy

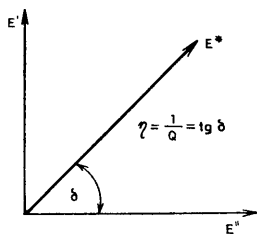
$$G_d = \rho \cdot V_p^2 \frac{1 - 2\sigma_d}{2(1 - \sigma_d)} \quad (18)$$

vagy

$$G_d = \rho \cdot V_s^2 \quad (19)$$



6. ábra. Fűrómagok dilatációs rezonanciája
Fig. 6. Dilatation resonance of cores



7. ábra. Komplex dinamikus rugalmassági állandó
Fig. 7. Complex dynamic elasticity constant

Az egyenletek alapján mind laboratóriumi méréssel, mind fűrólyukszelvényezéssel meg lehet határozni ezt a közzetfizikai paramétert is.

A statikus és a dinamikus kőzetmechanikai paraméterek kapcsolata

A szakirodalomban található olyan regressziós egyenletek, amelyek a statikus és a dinamikus mérésekből számított kőzetparaméterek között fejeznek ki tapasztalati összefüggést (Oyo, 1975, 1976). Ilyen alakú egyenletek

$$\sigma_t = 3,41 \cdot 10^{-3} G_s + 82,1$$

$$E_d = 725 \cdot E_s^{0,794}$$

A dinamikus és statikus Young-modulusok közötti összefüggés kutatása során felvetődött az a gondolat, hogy a dinamikus állandók értéke a dilatációs rezonanciás rezgés frekvenciájától is függhet. Az összefüggést leíró egyenlet például

$$E_d = E'_s \left[1 + \left(\frac{f_1}{f_0} \right)^{3/2} \right] \quad (20)$$

alakú lehet, ahol f_0 a kőzettani „önfrekvencia”, E'_s az $f = 0$ Hz-hez tartozó E_d dinamikus Young-modulus, amely megegyezik a dilatációs rezonanciás rezgés amplitudójának megfelelő E_s statikus modulussal. Ez a megállapítás azért ésszerű, mert az igénybevétel zérus frekvencia felé határértékben dinamikusból statikusba megy át.

Az f_0 és f_1 ismeretében E_d -ből a (20) egyenlettel kiszámítható az E'_s statikus Young-modulus, amint a 8. ábra jobb oldalán az MÁ-132. fúrás mintáira a felső és az alsó grafikon mutatja. Ez az összefüggés azonban, ha f_0 nem ismert, gyakorlatilag nem használható. Az f_0 viszont egy rheológiai kőzettani állandó lehet.

Felmerült az a gondolat is: meg lehet-e határozni dinamikus paramétereiből a σ_c egytengelyű nyomószilárdságot.

A Huber—Mises—Hencky-féle törési elmélet szerint a λ_0 megengedhető tapasztalati fajlagos tiszta alakváltozási munka határértéknél következik be az anyag tönkremenetele (PALOTÁS, 1956) ahol:

$$\lambda_0 = \frac{1 + \nu_s}{\nu_s} \cdot \frac{2\sigma_0^2}{6E_s} = \frac{\sigma_0^2}{6G_s} \quad (21)$$

Ha $\sigma_0 = \sigma_c$ helyettesítést alkalmazunk, azaz a BKI által meghatározott egytengelyű nyomószilárdságot, továbbá ha az ugyancsak ott meghatározott E_s és $\sigma_s = 1/\nu_s$ adatokat használjuk fel, akkor

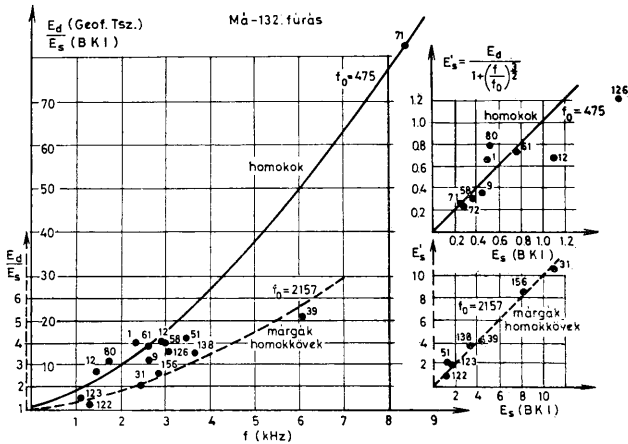
$$\lambda_0 = D\sigma_c^2 \quad (22)$$

egyenlettel leírható összefüggés adódik. A (21) és (22) egyenlet jobb oldalát egyenlővé téve az alábbi kapcsolat vezethető le:

$$\sigma_c = K \left[\frac{E_s}{1 + \sigma_s} \right]^2 = K' \cdot G_s^2 \quad (23)$$

Eszerint a nyomószilárdság a statikus Young-modulusból és a statikus Poisson-hányadosból kiszámítható vagy legalábbis becsülhető.

A (21) egyenletbe (17) egyenlet alapján a BKI-ben mért E_s , $\nu_s = 1/\sigma_s$ és σ_c adatokat behelyettesítve kaphatók a λ_0 számított értékek. A λ_0 számított és



8. ábra. Kőzettani önfrekvencia, f_0 , Má-132. fúrás
 Fig. 8. Petrographic self-frequency, f_0 , Borehole Má-132

σ_c mért adatok kapcsolatát a 9. ábra mutatja. A kiegyenlítő görbe egyenlete

$$\lambda_0 = 3,2 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma_c^{0,7} \tag{24}$$

A (24) és a (21) jobb oldalát egyenlővé téve

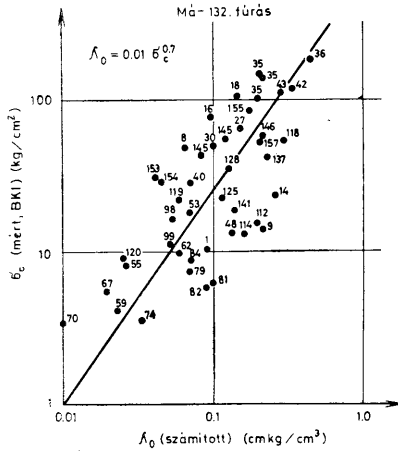
$$\sigma_c = 4,43 \cdot 10^{-3} \left(\frac{E_s}{1 + \sigma_s} \right)^{0,76} = 7,6 \cdot 10^{-3} \cdot G_s^{0,76} \quad (\text{N/m}^2) \tag{25}$$

egyenlet vezethető le. A Má-132. sz. fúrás mintáinak a BKI-ben mért E_s és ν_s értékekből meghatározott G_s értékekre felhordott ugyanott mért σ_c értékek a 10. ábrán láthatók. A kapcsolat törvényszerűnek mondható a vizsgált kőzetekre vonatkozóan.

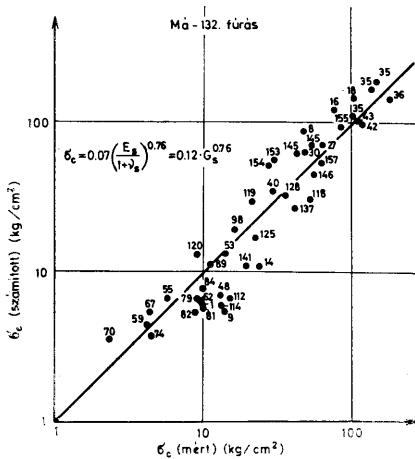
Ugyanezen kőzetmintáknak a BKI-ben mért és a (25) egyenlettel számított σ_c értéke egymásnak megfelelően felhordva a 11. ábrán látható.

A Má-133. sz. fúrásból származó minták számított és a BKI-ben mért σ_c adatait a 12. ábra mutatja. Laboratóriumi statikus Young-modulus és Poisson-hányados illetve az ezekből számított G_s nyírási modulus értékből tehát a σ_c egytengelyű nyomószilárdság az elmondottak szerint levezetett (25) egyenlet segítségével kiszámítható egy kőzetprovinciára.

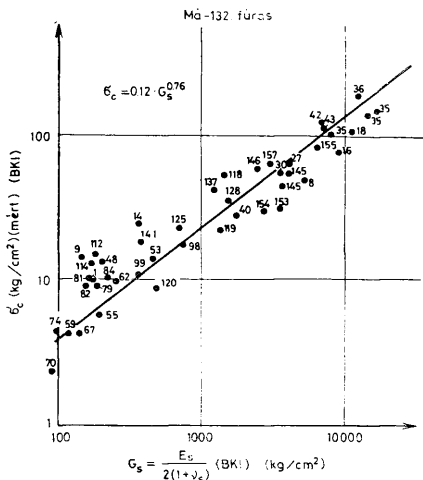
Abból kiindulva, hogy a σ_c nyomószilárdság és a G_s statikus nyírási modulus között a (25) egyenlet összefüggést ad, célszerű megvizsgálni σ_c és a dinamikus G_d nyírási modulus kapcsolatát is.



9. ábra. A fajlagos tiszta alakváltozási munka és a nyomószilárdság kapcsolata. Má-132. fúrás
Fig. 9. Relationship between specific pure deformation and compressive strength. Borehole Má-132



10. ábra. A merevségi modulus és a nyomószilárdság kapcsolata. Má-132. fúrás
Fig. 10. Relationship between the rigidity modulus and compressive strength. Borehole Má-132



11. ábra. Mért és számított nyomószilárdság kapcsolata. Má-102. fűrész
Fig. 11. Relationship between measured and calculated compressive strength

A mért E_d és az f_1/f_0 -ra korrigált E'_s összefüggéshez (20) hasonlóan felírható:

$$G'_s = \frac{G_d}{1 + [f_1/f_0]^{3/2}} \quad (26)$$

$G'_s = G_s$ helyettesítéssel keressük az f_0 értékeket a kőzetek csoportosítása céljából. G_s a (25)-ből σ_c ismeretében számítható.

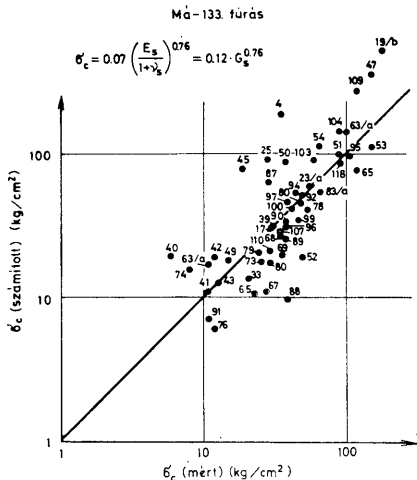
A G_s és σ_c értékek összehasonlításából az állapítható meg, hogy a kőzetminták G_d dinamikus nyírási modulusát is a saját f_1 dilatációs rezonancia- és saját „kőzettani önfrekvenciájá”-ra kell korrigálni a (26) egyenlet szerint, úgy, hogy f_0 értékét a kőzet kötöttségének megfelelően kell megválasztani.

A Má-132. és a Má-133. fűrész kőzetmintáira σ_c (BKl) és G'_s (Geofizikai Tanszék) adatai a 13. ábrán láthatók. A két kőzetparaméter kapcsolatát leíró regressziós egyenlet

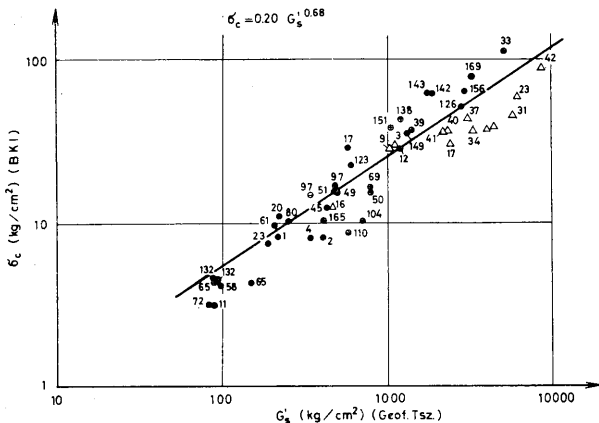
$$\sigma_c = 5,1 \cdot 10^{-3} \cdot G_s^{0,68} \quad (\text{N/m}^2) \quad (27)$$

A (27)-et összehasonlítva a (25) egyenlettel, a megegyezés szembetűnő.

A (20) egyenletből kitűnik, hogy a fűrészmagminták szokásos méreténél, kötöttebb kőzetek esetében, ahol magas az f_1 dilatációs rezonancia frekvencia, az f_1/f_0 frekvenciakorrekció nem jelentős, tehát a dinamikus úton meghatározott E_d rugalmassági állandó frekvenciára korrigált E'_s értékét f_0 értékének pontossága nem nagyon befolyásolja, ezért E'_s jól megközelíti a statikus Young-modulust.



12. ábra. Mért és számított nyomószilárdság kapcsolata. Má-133. fúrás
Fig. 12. Relationship between measured and calculated compressive strength. Borehole Má-133.



13. ábra. Egytengelyű nyomószilárdság — dinamikus nyírási modulus kapcsolata. Má-132. és Má-133. fúrás
Fig. 13. Relationship between uniaxial compressive strength and the dynamic shear modulus. Boreholes Má-132 and Má-133

Ugyanez vonatkozik G'_s -re is.

A vizsgált kőzetmintákéhoz hasonló litológiai viszonyok között tehát f_0 értékét az alábbi táblázat szerint megválasztva a dinamikus E_d és σ_d kőzetparamétereiből, valamint az f_1 dilatációs rezonancia-frekvenciából a σ_c egytengelyű nyomószilárdság kiszámítható vagy legalábbis becsülhető.

I. táblázat

Kőzetek	f_0 (Hz) „kőzettani önfrekvencia”
Laza homokok	600
Homokok	1200
Homokkövek, márgák	2200

Irodalom — References

- BODONYI J. (1976): Kőzetmechanika III. rész. Kutatási segédlet. Kézirat. Budapest, Bányászati Kutató Intézet
- LINOWSKI, H. (1968): On the Relation between Dynamic and Static Moduli of Elasticity (Young's moduli). Acta Geophysica Polonica. XII. (1) p. 53.
- LANGER, M. (1965): Das Probleme des Zusammenhanges zwischen dynamisch und statisch ermittelten Materialkennwerten in Anwendung auf den Felsohlbau. Felsmechanik und Ingenieurgeologie Suppl. II. Springer Verl. Wien, p. 110—119.
- HELLAND, C. A. (1946): Geophysical Exploration. Prentice-Hall, Inc. New York, p. 463.
- BRÜEL and KJAER: Measurement of the Complex Modulus of Elasticity: A Brief Survey. Application Notes.
- JESCH, A. (1976): Kőolaj és Földgáz (BKL) 6. sz.
- Dresser Industries, Inc.: Log Interpretation.
- Dresser Industries, Inc.: Log Review 1. 1974. USA p-6-1.
- Oyo Technical Note, TN-14, Oyo Co., Tokyo, 1976. nov.
- Oyo Technical Note, TN-14, Oyo Co., Tokyo, 1975. okt.
- PALOTÁS L. (1956): Mérnöki Kézikönyv I. 2. kiadás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 516. o.

Comparison of dynamic and static elasticity constants of core samples

J. Csókás

The mechanical constants of test-pieces made of core and rock slab samples characterize, when analyzed under laboratory conditions, only some parts of a geological rock sequence. On account of the anisotropy and heterogeneity of rocks, furthermore without the knowledge of rheological characteristics, the static elasticity moduli are determinable only with too large error when loading tests are used. It is the in situ determinations that are of practical significance. Rock mechanical constants can be inferred from well-logging materials as well. Dynamic procedures enable the laboratory testing of much greater rock volumes than it is the case with static ones. Consequently, more characteristic values can thus be obtained. The dynamic elasticity constants can be used for the calculation of the static value and the compression strength can be estimated.