Rugalmassági paraméterek nyomásfüggésének vizsgálata kőszén mintákon

KISS ANETT okl. földtudományi mérnök, PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Geofizikai Intézeti Tanszék – SOMOGYINÉ DR. MOLNÁR JUDIT okl. környezetmérnök, tudományos munkatárs, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport; egyetemi adjunktus, Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai-Elektronikai Intézeti Tanszék

Jelen tanulmányban új kőzetfizikai modellt vezetünk be a transzverzális és longitudinális szeizmikus/akusztikus hullámok kőzetnyomásfüggő terjedési sebességének kvantitatív leírására. A modellparaméterek inverziós meghatározása után a modellegyenletek segítségével a sebességek egyszerűen számíthatók a vizsgálni kívánt nyomástartományra. Ezáltal lehetőség nyílik a rugalmassági moduluszok nyomásfüggésének leszármaztatására. A modell alapja, hogy nyomás hatására változik a kőzet pórustérfogata. A bevezetett modell alkalmasságát a nemzetközi szakirodalomban publikált, kőszén mintákon mért sebesség adatok felhasználásával igazoljuk.

Bevezetés

Föld alatti üregek tervezésénél, a bányászati folyamatok és a termelés irányításánál biztonsági, illetve gazdaságossági szempontból is rendkívül fontos az in-situ kőzetfeszültségek ismerete. Különösen fontos ez a mélybányászat területén, függetlenül attól, hogy milyen természetű ásványi nyersanyag kitermeléséről van szó. A kőzetfeszültségek mérésére számos módszer ismeretes, meghatározása történhet közvetlen (körülréselést alkalmazó eljárások) és közvetett módon. Utóbbi eljárások alapja, hogy a kőzetkontinuumban uralkodó feszültségállapot a kőzet számos anyagi jellemzőjére is hatást gyakorol. Így például a rugalmas (pl. nyírási, Young, kompresszió moduluszok) és reológiai paraméterek, az elektromos és mágneses tulajdonságok tükrözhetik a feszültségállapot hatását. Ezeknek a hatásoknak a tanulmányozása kőzetfizikai szempontból is érdekes és fontos. Például a szeizmikus gyakorlat számára igen jelentős kérdés az, hogy a rugalmas hullámok terjedési jellemzőire (leggyakrabban a fázissebességre) hogyan hat a kőzetnyomás. Ha ezt a kapcsolatot ismerjük, akkor lehetőség nyílik a terjedési sebesség és a mélység (amitől a kőzetnyomás elsődlegesen függ) közötti összefüggés becslésére, ami a szeizmikus időszelvény mélységszelvénnyé transzformálásához alapvető fontosságú. A kapcsolat megfordításával pedig lehetőség nyílik a kőzetek feszültségállapotának szeizmikus/akusztikus méréseken keresztül történő indirekt meghatározására. Mindemellett fontos a valódi agyagjellemző paraméterek – a μ, λ Lamé paraméterek és további rugalmassági jellemzők – értékeinek az ismerete. Jelen tanulmányban ezeket a paramétereket új kőzetfizikai modell alapján meghatározott akusztikus terjedési sebességeket felhasználva adjuk meg a kívánt nyomástartományra.

Rugalmassági moduluszok nyomásfüggése

A rugalmassági moduluszok, mint a kompresszió, nyírási és Young modulusz, valamint a Lamé paraméterek fontos és gyakran meghatározott mennyiségek, melyek leírják, milyen mértékben képes egy kőzet adott deformációknak ellenállni. Minél nagyobbak ezek az értékek, annál ellenállóbb az anyag. Gyorsan változó feszültségek esetén, mint amilyenek az akusztikus hullámok terjedése során keletkeznek, a kőzetek tökéletesen rugalmas testként viselkednek. Ez azt jelenti, hogy terhelés hatására alakváltozást szenvednek, de a terhelés megszüntetése után teljes mértékben visszanyerik eredeti alakjukat. Ebben a közelítésben Hooke-testről beszélünk, ahol kis deformációk esetén az alakváltozás a feszültséggel arányos. A Hooke-test általános felírásában a feszültség-alakváltozás kapcsolatát két konstans, a Lamé paraméterek írják le

$$\sigma_{ik} = 2\mu\varepsilon_{ik} + \lambda\Theta\delta_{ik} \quad , \tag{1}$$

ahol σ_{ik} a feszültség tenzor elemeit, ε_{ik} a deformációs tenzor elemeit, Θ a térfogati alakváltozást, δ_{ik} az egységtenzort ($\delta_{ik} = 1$ *ha* $i = k$, $\delta_{ik} = 0$ *ha* $i \neq k$), μ és λ az első és második Lamé paramétert jelenti. A Lamé paraméterek a sebességből is számíthatók a

$$\mu = \beta^2\rho \qquad \lambda = \alpha^2\rho - 2\mu \tag{2}$$

összefüggések alapján, ahol ρ a kőzet sűrűsége, α a longitudinális hullám sebessége, β a transzverzális hullám sebessége. További rugalmassági moduluszok is megadhatók a terhelés és alakváltozás irányától függően. A kompressziós modulusz (K) a hidrosztatikus feszültség és térfogati alakváltozás arányaként adható meg. A nyírási modulusz (G) a nyírófeszültség és nyíró alakváltozás hányadosa, megegyezik az első Lamé paraméter (μ) értékével. A Young modulusz (E) az extenziós feszültség extenziós alakváltozáshoz viszonyított arányát adja meg egytengelyű feszültségállapotban. Ezek a rugalmassági paraméterek is kifejezhetők az akusztikus terjedési sebességekkel az alábbi formulákat alkalmazva

$$K = \rho\left(\alpha^2 - \frac{4}{3}\beta^2\right),$$

$$G = \beta^2 \rho,$$

$$E = \beta^2 \rho \frac{3\alpha^2 - 4\beta^2}{\alpha^2 - \beta^2} \quad . \tag{3}$$

A sűrűség nyomásfüggését a sebességek nyomásfüggéséhez képest elhanyagolhatónak tekintjük, ezért a vizsgálatok során a sűrűséget konstansnak feltételezzük. Látható, hogy a rugalmassági paraméterek nyomásfüggésének leírásához pontosan meghatározott nyomásfüggő sebességek kellenek. Ezek megadására a következő fejezetben új kőzetfizikai modellt vezetünk be.

Sebességek nyomásfüggését leíró kőzetfizikai modell

A kutatók a különböző kőzetekben terjedő akusztikus hullám sebességét különböző terhelés [1] [2] [3], ill. pórusnyomás alkalmazása mellett [4] [5] [6] [7] tanulmányozzák. Ezáltal közismert, hogy a hullámsebesség növekvő nyomás mellett nő. A jelenség kvalitatív magyarázatára számos elgondolás létezik. Ezek közé tartozik *Brace* és *Walsh* [8], valamint a későbbiekben *Yu* és társai [5], *Best* [9], *Hassan* és *Vega* [10], *Sengun* és társai [3] elképzelése, amely szerint a sebesség változása a kőzetekben lévő mikrorepedések nyomás alatti bezáródásával magyarázható. A terjedési sebesség nyomásfüggésének leírására szolgál *Birch* [11] elgondolása is, miszerint a nyomás növekedésével a pórusok térfogata csökken, így növekvő terjedési sebesség mérhető a kőzetmintán.

A kőzetekben terjedő akusztikus hullámsebesség a terhelés kezdeti szakaszában nemlineáris kapcsolatban van a kőzetre ható nyomással [5] [9], amely kapcsolat exponenciális függvénnyel jellemezhető [12] [13]. A longitudinális sebesség nyomásfüggésének jellemzésére számos empirikus modell létezik, azonban ezek fizikai magyarázattal nem szolgálnak a jelenségre [14] [15] [16] csupán a mért adatokhoz illesztett görbe regressziós egyenletét adják meg.

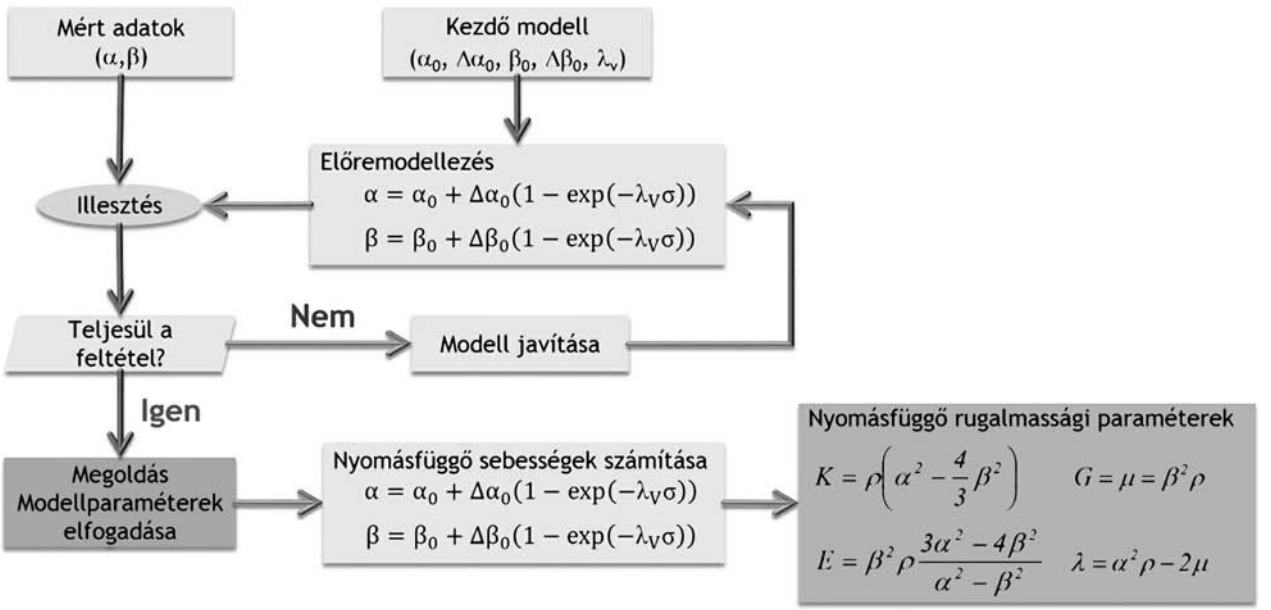
A szeizmikus/akusztikus hullám terjedési jellemzői a kőzetek fontos mechanikai (petrofizikai) tulajdonságairól hordoznak információt. A mechanikai és transzport tulajdonságokat – például a terjedési sebességet, jósági tényezőt, permeabilitást, fajlagos ellenállást, hővezető képességet stb. – jelentősen befolyásolja a kőzettestben uralkodó nyomás. A fentebb ismertetett empirikus megfontolások alapján feltételezett formulák nem tekinthetők fizikai modelleknek, csupán a paramétereinek regressziós illesztése történik, így állnak elő a terjedési sebesség nyomásfüggését leíró egyenletek. Laboratóriumi mérési adatok megfelelő értelmezéséhez olyan kvantitatív modellre van szükség, amely a bemutatott regressziós formulákon túllépve, a hullámterjedéssel kapcsolatos nyomásfüggés fizikai jellemzőit feltárva, fizikai magyarázatot is ad a jelenségre.

A továbbiakban olyan kőzetfizikai modellt mutatunk be, amely leírja a kőzetfeszültség és az akusztikus longitudinális (P) és transzverzális (S) hullám sebességek közötti fizikai kapcsolatot. A modell *Birch* [11] elgondolásán alapszik, miszerint a kőzetminta terhelésével bekövetkező terjedési sebesség növekedést a pórusok záródása okozza. Így a sebesség modell modelltörvénye (4) szerint írható

$$dV = -\lambda_V V d\sigma, \tag{4}$$

ahol dV a pórustérfogat változása, $d\sigma$ a feszültségnövekmény és λ_V arányossági tényező egy új kőzetfizikai paraméter. A negatív előjel mutatja, hogy növekvő feszültség hatására csökken a pórustérfogat.

Szintén lineáris kapcsolatot feltételezve a hullámterjedési sebesség infinitezimális megváltozása (dv – longitudinális vagy transzverzális hullám sebessége) és a dV pórustérfogat változás között felírható a



1. ábra: *Inverziós eljárás algoritmusa a sebességek és rugalmasság moduluszok nyomásfüggésének meghatározására.*

$$dv = -\kappa dV \quad (5)$$

differenciálegyenlet, ahol κ arányossági tényező egy új anyagjellemző paraméter. A negatív előjel arra utal, hogy csökkenő pórustérfogat esetén nő a sebesség.

A (4)-(5) egyenletek egyesítésével és a differenciál egyenletek megoldásával kapjuk a

$$v = C - \kappa V_{0exp}(-\lambda_V \sigma) \quad (6)$$

egyenletet, ahol C integrációs konstans. Feszültségmentes állapotban ($\sigma = 0$) a v_0 terjedési sebesség és a V_0 pórustérfogat mérhető, így a (6) egyenletből C számítható, mivel $v_0 = C - \kappa V_0$. Ezáltal (6) a $\Delta v_0 = \kappa V_0$ jelölés bevezetése mellett a következő alakban írható fel

$$v = v_0 + \Delta v_0 \ (1 - exp(-\lambda_V \sigma)). \quad (7)$$

A fenti egyenletben szereplő Δv_0 mennyiség a maximális és terhelésmentes állapotban mért sebességek közötti különbség, azaz $\Delta v_0 = v_{max} - v_0$, más szóval a feszültségmentes állapotban jelenlévő pórusok által okozott sebességesés [16]. A modell értelmezéséhez szükséges meghatározni a λ_V paraméter fizikai jelentését is. A sebességesés bármely tetszőleges feszültségre kiszámítható a $\Delta v = v_{max} - v$ formula alapján. Δv_0 és Δv összefüggéseit behelyettesítve a (7) egyenlet átírható a

$$\Delta v = \Delta v_0 exp(-\lambda_V \sigma) \quad (8)$$

alakra. σ^* karakterisztikus feszültségnél $-\lambda_V \sigma^*$ és így $\Delta v_0 = \Delta v / e$, azaz a sebességesés a „kezdeti" értékének e-ad részére csökken. Továbbá λ_V kifejezhető, mint a $\Delta v = v_{max} - v$ sebességesés logaritmikus feszültség érzékenysége [17]

$$S(\sigma) = -\frac{1}{\Delta v}\frac{d\Delta v}{d\sigma} = -\frac{d\ln(\Delta v)}{d\sigma} \rightarrow \lambda_V = -\frac{d\ln(\Delta v)}{d\sigma} = S \quad (9)$$

Mivel a reverzibilis tartományban érvényes modell alapja a pórustérfogat változás, amely nem függ a terhelés irányától, a (7) modellegyenletbe a megfelelő sebességeket helyettesítve megadható mind a longitudinális (α), mind a transzverzális (β) hullám terjedési sebességének nyomásfüggése

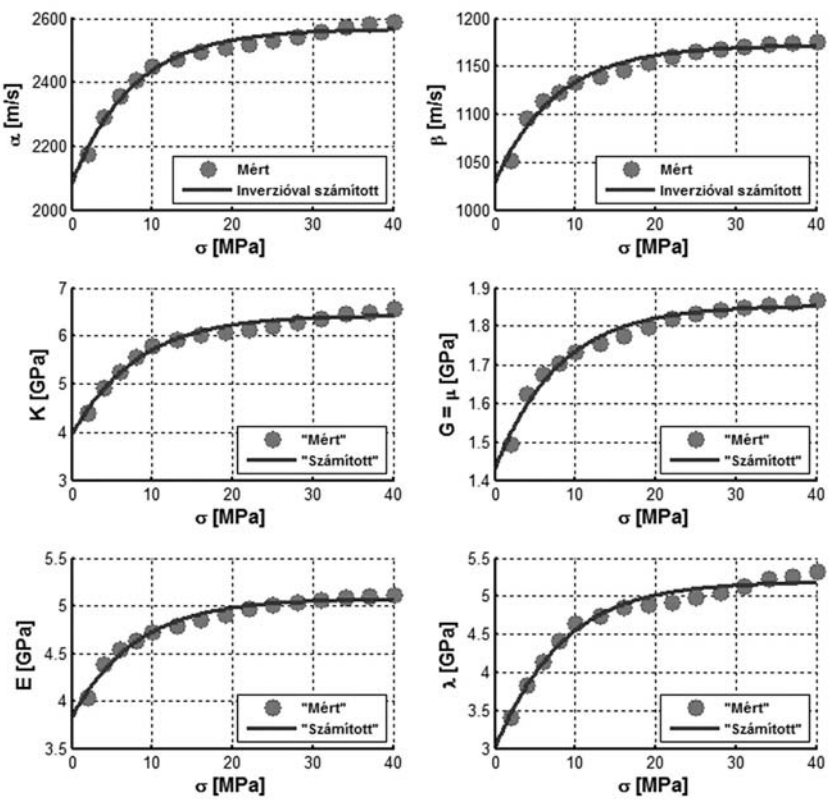
$$\alpha = \alpha_0 + \Delta\alpha_0 \ (1 - exp(-\lambda_V \sigma)),$$

$$\beta = \beta_0 + \Delta\beta_0 \ (1 - exp(-\lambda_V \sigma)) \ . \quad (10)$$

A fenti egyenletekből is látható, hogy λ_V közös paraméter, ezért ha P és S hullámsebesség adatok is rendelkezésre állnak, feldolgozásukra együttes inverziós eljárást alkalmazhatunk.

1. táblázat: *A feketekőszén minták szakirodalomban közölt adatai [5].*

Minta	Hossz [mm]	Átmérő [mm]	$\rho_{száraz}$ [g/cm^3]	Porozitás [%]
15	43,7	60,8	1,35	2,9
16	64,8	60,8	1,37	2,1
22	49,8	60,7	1,36	1,7



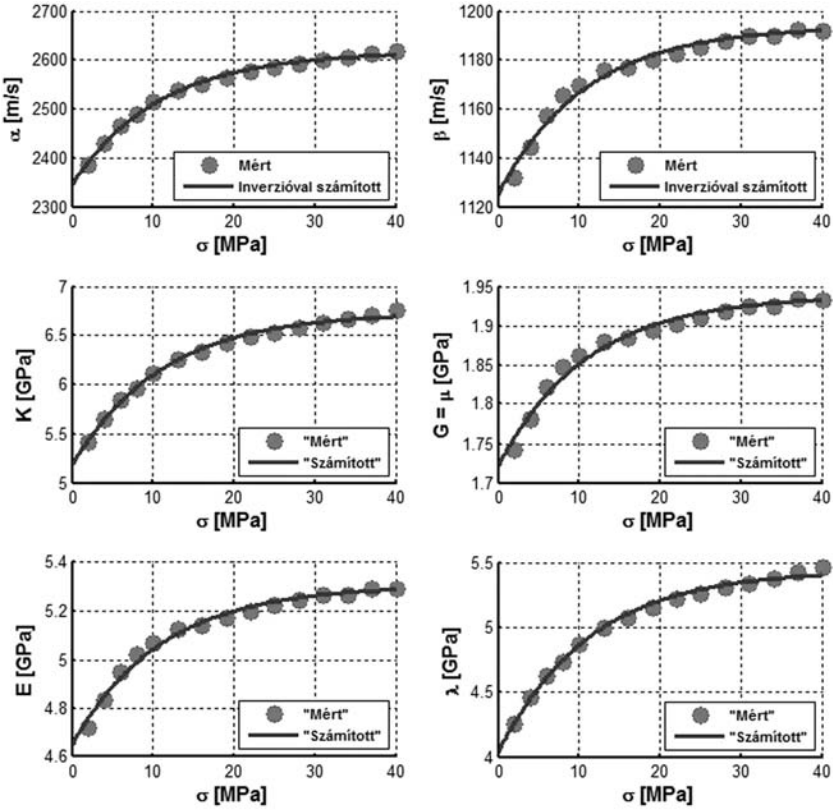
2. ábra: *Akusztikus terjedési sebességek és rugalmassági paraméterek nyomásfüggése a 15-ös minta esetén. (Mért sebesség adatok: Yu és társai [5])*

Gyakorlati alkalmazás

A kőzetfizikai modellt – gyakorlatban való alkalmazhatóságának igazolása céljából – szakirodalomban publikált, laboratóriumban, nyomás alatt feketekőszén mintákon mért akusztikus sebesség adatokon [5] vizsgáltuk. Mindegyik kőzetminta esetében a hullámsebességek mérése az impulzus átviteli módszerrel [18] történt. A kiválasztott 15, 16 és 22-es jelű késő-perm korú homogén feketekőszén minták központi részén mikrosávos mintázatot figyeltek meg. A mérés során alkalmazott nyomástartomány 2-40 MPa volt konstans atmoszférikus pórusnyomás mellett. A mintavételezés a rétegzésre merőlegesen történt. Az *1. táblázatban* látható a minták szakirodalomban publikált néhány jellemző adata.

Adatok feldolgozása

A felállított kőzetfizikai modell megteremti annak a lehetőségét, hogy a kőzet paramétereinek ismeretében a modellegyenletek segítségével tetszőleges nyomásnál meg tudjuk határozni a terjedési sebesség értékeket. A geofizikai inverzió terminológiájával fogalmazva a (10) egyenletek a direkt feladat megoldását jelentik. Azonban a bennük található modellparamétereket nem ismerjük, hanem közvetett módon, a mérési adatok inverziós feldolgozásával határozzuk meg. Az eljárás algoritmusát az *1. ábra* szemlélteti. Első lépésként a modellparamétereknek adunk egy kezdeti értéket, melyekkel megoldjuk a direkt feladatot az előremodellezés keretén belül. Az így kapott számított adatokat iteratív úton közelítjük a mért értékekhez, amíg a kívánt stop kritériumot (mért és számított adatok közötti minimális eltérést) el nem érjük. A feldolgozás során linearizált geofizikai inverziós eljárást, a legkisebb négyzetek elvét [19] alkalmazzuk. Az utolsó iterációs lépésben elfogadott modellparaméterekkel a sebességek kiszámíthatók a vizsgált nyomástartományra.



4. ábra: *Akusztikus terjedési sebességek és rugalmassági paraméterek nyomásfüggése a 22-es minta esetén. (Mért sebesség adatok: Yu és társai [5]*

A nyomásfüggő sebességek ismeretében a (2)-(3) összefüggések alapján megadhatók a rugalmassági paraméterek.

A minősített inverziós eljárásnak köszönhetően nem csak a modellparamétereket, hanem azok becslési hibáit is megadjuk. Az i-edik paraméter hibáját a

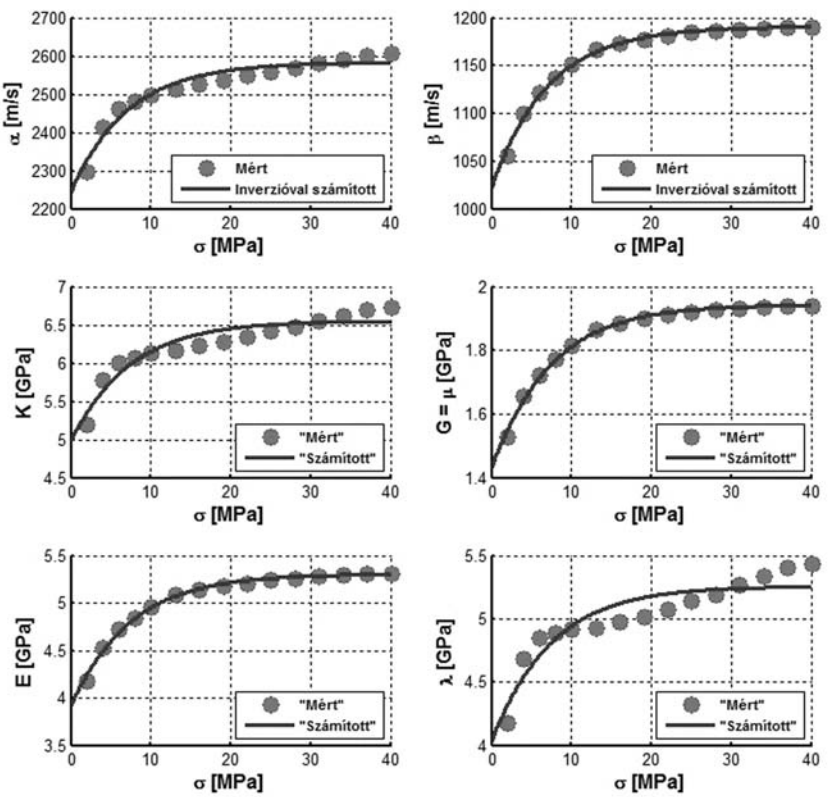
$$\sigma_{m_i} = \sqrt{\mathrm{cov}(\vec{m})_{ii}}$$

(i = 1,2,...M)

formulával határozzuk meg, ahol $cov(\vec{m})$ a kovariancia mátrixot és M a modellparaméterek számát jelöli. A paraméterek korrelációs kapcsolatának jellemzésére az átlagkorrelációt alkalmazzuk

$$S = \sqrt{\frac{1}{M(M-1)} \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{M} \left(corr(\vec{m})_{ij} - \delta_{ij} \right)^2},$$

ahol $corr(\vec{m})$ a korrelációs mátrix, δ a Kronecker-delta szimbólum ($i = j$ esetén 1, egyébként 0). Ha S 1-hez közel áll, akkor ez a becsült paraméterek szoros kapcsolatára utal. Az inverz probléma megoldásának pontossági mérőszámaként minden



3. ábra: *Akusztikus terjedési sebességek és rugalmassági paraméterek nyomásfüggése a 16-os minta esetén. (Mért sebesség adatok: Yu és társai [5])*

minta esetében meghatározzuk a relatív adattérbeli távolságot (RMS)

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}\left(\frac{d_k^{(m)} - d_k^{(sz)}}{d_k^{(m)}}\right)^2} \cdot 100\%,$$

amely megmutatja, hogy a becsült modell alapján számított adatok hogyan illeszkednek a mért adatokhoz. Az egyenletben N az adatok száma, $d_k^{(m)}$ és $d_k^{(sz)}$ a k-adik nyomásértéknél mért és számított adat. A rugalmassági paraméterek esetében a mért, illetve számított sebességek alapján meghatározott „mért" és „számított" adatok közötti távolságot is vizsgáltuk.

Eredmények

Mindhárom minta – 15, 16, 22 – esetében az *1. ábrán* bemutatott eljárást alkalmaztuk. A bemutatott kőzetfizikai modell paramétereinek inverziós meghatározása után kiszámítottuk a rugalmassági moduluszok értékét a vizsgált nyomástartományra. A 15-ös minta eredményeit a *2. ábra*, a 16-os minta eredményeit a *3. ábra*, míg a 22-es minta eredményeit a *4. ábra* mutatja grafikusan. A sebességek esetében a szimbólumok a mért értékeket, a görbék pedig az inverzióval becsült modellparaméterekkel, a (10) egyenletek alapján számított sebesség értékeket jelölik. A rugalmassági moduluszok esetében a szimbólumok értékeit a mért sebességekből, a görbék értékeit a számított sebességekből határoztuk meg. Láthatjuk, hogy az adatfeldolgozás eredménye összhangban van a szakirodalomban elfogadott nemlineáris (exponenciális) sebesség-nyomás függvénnyel. A becsült modellparamétereket és azok becslési hibáit, valamint az adattérbeli távolság, illetve átlagkorreláció értékeket a *2. táblázat* tartalmazza. A mért és számított adatok közötti eltérés kicsi (RMS=0,20-0,56%), a paraméterek közötti korreláció közepes-erős (S=0,52-0,78). A *3. táblázatban* feltüntetjük a „mért", valamint a „számított" sebességekből meghatározott rugalmassági paraméterek közötti relatív távolságot. Látható, hogy a származtatott paraméterek esetében is minimális az eltérés (RMS=0,43-2,41%). A bemutatott eredmények igazolják, hogy a kőzetfizikai modell jól működik a gyakorlatban.

2. táblázat: *Minősített inverziós eljárással a sebességmodell alapján becsült modellparaméterek. Zárójelben a paraméterek becslési hibája. RMS és átlagkorreláció az inverzió pontosságának, valamint a modellparaméterek megbízhatóságának jellemzésére.*

Minta	P hullám			S hullám		RMS	S
	α_0	$\Delta\alpha_0$	λ	β_0	$\Delta\beta_0$	[%]	[-]
	[m/s]	[m/s]	[1/MPa]	[m/s]	[m/s]		
15	2084 (±23)	484 (±21)	0,1303 (±0,0107)	1029 (±7)	143 (±7)	0,55	0,66
16	2244 (±27)	339 (±26)	0,1402 (±0,0174)	1023 (±10)	168 (±8)	0,56	0,78
22	2345 (±6)	272 (±5)	0,0922 (±0,0045)	1125 (±2)	69 (±3)	0,2	0,52

3. táblázat: *„Mért" és „számított" rugalmassági moduluszok adattérbeli távolságai*

Minta	RMS [%]			
	K	G=μ	E	λ
15	1,46	0,97	0,97	1,67
16	2	0,53	0,6	2,41
22	0,43	0,43	0,41	0,49

Összefoglalás

A nyomásfüggés jelenségének megértése fontos információt szolgáltat a kőzetek feszültség állapotának szeizmikus/akusztikus méréseken keresztül történő indirekt meghatározásához. A kőzetfeszültségek áttételes hatásai közül a rugalmas hullámok terjedését jellemző sebességet emeltük ki. Ezt a jelenségkört a nemzetközi szakirodalom részletesen tárgyalja, azonban az effektus mögött álló fizikai hatásokat kvantitatív módon leíró kőzetfizikai modellekkel ritkán találkozhatunk. A cikkben kőzetfizikai modellt vezettünk be a longitudinális és transzverzális szeizmikus/akusztikus hullámok kőzetnyomásfüggő terjedési sebességének kvantitatív leírására. Ezáltal lehetőség nyílt a rugalmassági moduluszok nyomásfüggésének leszármaztatására. A modell alapja, hogy nyomás alatt változik a kőzet pórustérfogata. A bevezetett modell alkalmasságát a nemzetközi szakirodalomban publikált adatok felhasználásával igazoltuk.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást a K109441 számú OTKA projekt támogatta.

IRODALOM

[1] *Wyllie M.R.J., Gregory A.R. & Gardner G.H.F.* (1958): An experimental investigation of factors affecting elastic wave velocities in porous media. Geophysics 23/3,459-493.

[2] *Stacey T.R.* (1976): Seismic assessment of rock masses. Symp. on Exploration for Rock Engineering, Johannesburg, 2, 113-117.

[3] *Sengun N., Altindag R., Demirdag S. & Yavuz H.* (2011): P-wave velocity and Schmidt rebound hardness value of rocks under uniaxial compressional loading. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 48, 693-696.

[4] *Nur A. & Simmons G.* (1969): The effect of saturation on velocity in low porosity rocks. Earth and Planetary Science Letters 7, 183-193.

[5] *Yu G., Vozoff K. & Durney D.W.* (1993): The influence of confining pressure and water saturation on dynamic elastic properties of some Permian coals. Geophysics 58/1, 30-38.

[6] *Darot M. & Reuschlé T.* (2000): Acoustic wave velocity and permeability evolution during pressure cycles on a thermally cracked granite. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 37, 1019-1026.

[7] *He T. & Schmitt D.R.* (2006): Velocity measurements of conglomerates and pressure sensi-

tivity analysis of AVA response. SEG Annual Meeting, New Orleans.

[8] *Brace W. F. & Walsh J. B.* (1964): A fracture criterion for brittle anisotropic rock. Journal of Geophysics Research 69, 3449-3456.

[9] *Best A. I.* (1997): The effect of pressure on ultrasonic velocity and attenuation in near-surface sedimentary rocks. Geophysical Prospecting 45, 345-364.

[10] *Hassan A. &Vega S.* (2009): A study of seismic velocities and differential pressure dependence in a Middle East carbonate reservoir. SEG International Exposition and Annual Meeting, Houston.

[11] *Birch F. (1960):* The velocity of compression waves in rocks to 10 kilobars, Part 1. Journal of Geophysics Research 65, 1083-1102.

[12] *Singh R., Rai C. & Sondergeld C.* (2006): Pressure dependence of elastic wave velocities in sandstones. SEG Annual Meeting, New Orleans.

[13] *Han T., Best A. I., Sothcott J. & MacGregor L.M.* (2011): Pressure effects on joint elastic-electrical properties of reservoir sandstones. Geophysical Prospecting 59, 506-517.

[14] *Wepfer W. W. & Christensen N. I.* (1991): A seismic velocity-confining pressure relation, with applications. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 28, 451- 456.

[15] *Wang Q., Ji S. C., Salisbury M. H., Pan M. B., Xia B. & Xu Z. Q.* (2005): Pressure dependence and anisotropy of P-wave velocities in ultrahigh-pressure metamorphic rocks from the Dabie-Sulu orogenic belt (China): Implications for seismic properties of subducted slabs and origin of mantle reflections. Tectonophysics 398, 67- 99.

[16] *Ji S., Wang Q., Marcotte D., Salisbury M.H. & Xu Z.* (2007): P wave velocities, anisotropy and hysteresis in ultrahigh-pressure metamorphic rocks as a function of confining pressure. Journal of Geophysical Research 112, B09204.

[17] *Dobróka M. & Somogyi Molnár J.* (2012): The pressure dependence of acoustic velocity and quality factor - New petrophysical models. Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica 47/2, 149-160.

[18] *Toksöz M. N., Johnston D. H. & Timur A.* (1979): Attenuation of seismic waves in dry and saturated rocks: I. Laboratory measurements. Geophysics 44/4, 681-690.

[19] *Menke W.* (1984): Geophysical data analysis – Discrete inverse theory. Academic Press, Inc. London Ltd.

KISS ANETT a Miskolci Egyetemen szerzett BSc földtudományi-mérnök diplomát 2010-ben. Ezt követően Németországban egy kőzetfizikai laboratórium munkatársaként dolgozott. 2013-ban MSc földtudományi-mérnök oklevelet szerzett a Miskolci Egyetemen, geofizikus mérnök szakirányon. 2013-ban tanulmányokat kezdett a Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskolában, kutatási tématerülete a kőzetfizikai modellfejlesztés. Jelenleg tudományos segédmunkatárs beosztásban dolgozik a Miskolci Egyetem Geofizikai Intézeti Tanszékén.

SOMOGYINÉ DR. MOLNÁR JUDIT 2009-ben szerzett környezetmérnöki oklevelet környezetgeofizikus-mérnök szakirányon a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karán. 2013-ban szerzett PhD fokozatot. 2011-2013 között tudományos segédmunkatársként dolgozott a Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékén. 2013-tól tudományos munkatárs beosztásban dolgozik az MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoportban. Emellett 2015 szeptemberétől egyetemi adjunktus a Miskolci Egyetem Elektrotechnikai-Elektronikai Tanszékén. Kutatómunkát kőzetfizikai modellfejlesztés témakörében végez.

Inászó az elfeledett város

Dr. Füst Antal ezt a címet adta legújabb bányászatról (is) szóló írásának. A mű több egyszerű regénynél, hiszen olvasásával a nógrádi nagyüzemi bányászkodás előtörténetébe nyerhetünk bepillantást. Cselekménye akkor játszódik, amikor még az itteni szén híre és áhítata egészen a bécsi Kamarilláig illetve a Budai Helytartó Tanácsig nyúlt. Birtoklásáért neves üzletemberek vetélkedtek.

A könyv írása közben a szerző olyan tárgyi emlékeket és dokumentumokat, bányászati és történelmi szakmai relikviákat talált és oszt meg velünk, melyek ugyan most magántulajdonban vannak, de méltó helyük lenne országos múzeumainkban is.

A regény meséje körbe fonja Inászó történetét. Kezdve a korai időktől, melyben fejlődő Királyi Mezőváros volt, mely később a tatárjárás során elpusztult. Szunnyadó álmából a szén tette várossá másodszor, később a vesztét is okozva. Ahogyan azt is tudjuk az elvégzett kutatások alapján (Nógrádi Szénbányák), hogy a szén java ma is ott van. Az új technológiákkal felébreszthető évmilliós álmából.

S ha akár csak részben is valósággá válik a regénybeli cigányasszony jóslata, Inászó újra a figyelem központja, újra város lehet!

Dr. Csongrády Béla és dr. Füst Antal

A könyv bemutatóin nagy érdeklődés kíséri a szerzőt (akinek ez már a negyedik bányászati tárgyú regénye) és művét. Reméljük, hogy sok hasonló témájú tervéből ugyanilyen intenzitással számosat valóra vált! Ehhez a munkához kívánunk jó egészséget és jó szerencsét!

A könyv megvásárolható a Salgótarjáni Bányamúzeumban, vagy a salgótarjáni könyvesboltban.

Livo László