

# PARAMETRII FIZICI ȘI ELASTICI AI UNOR ROCI SEDIMENTARE DIN ROMÂNIA

ȘTEFAN FLORIN BĂLAN, FLORIN RĂDULESCU

*Institutul Național de Cercetare – Dezvoltare pentru Fizica Pământului  
București – Măgurele*

## 1. INTRODUCERE

Studiile de amplasament, în vederea construirii unor obiective industriale (centrale nucleare, baraje etc.) și civile importante furnizează informații cantitative asupra parametrilor fizici și elastici ai rocilor de fundare, date necesare proiectării antiseismice a construcțiilor respective. Aceste studii implică măsurători seismice *in situ*, precum și determinări de laborator pe probe de roci recoltate din foraje săpate în ariile investigate. Ambele genuri de măsurători vizează determinarea vitezelor undelor elastice (longitudinale și transversale) prin complexul de roci din subsolul construcției, a greutateii volumetrice a acestora și a parametrilor fizici care intervin în calculul principalelor constante elastice (modulul de elasticitate Young, modulul de forfecare și coeficientul Poisson).

Asemenea studii (de teren și laborator) s-au efectuat în cadrul institutului nostru și au vizat amplasamente de centrale nucleare, baraje, precum și zonele unor clădiri civile deja executate (Galați, București). Din volumul considerabil de date obținute cu ocazia acestor lucrări, autorii au selectat rezultatele obținute în cinci asemenea amplasamente din Moldova, Transilvania și din zona seismic activă Timișoara. Valorile parametrilor elastici determinați sunt comparate cu valorile obținute în alte zone, constituite din tipuri de roci asemănătoare.

## 2. CONSIDERAȚII GENERALE

Literatura de specialitate furnizează informații asupra parametrilor elastici ai unor formațiuni geologice, în principal roci dure, de diverse alcătuirii petrografice.

Puține date se referă la roci sedimentare neconsolidate sau puțin consolidate, de vârstă geologică recentă, situate în partea superficială a subsolului. Se constată faptul că atât modulii de elasticitate (Young), cât și modulul de forfecare al rocilor stâncoase au valori mari, iar coeficienții Poisson au valori reduse, proprii rocilor cu elasticitate mare. Valorile acestor parametri sunt cuprinse între limite destul de largi, datorate probabil și diversității remarcabile a structurilor mineralogice specifice rocilor respective (Stamatiu, 1962; Băncilă *et al.*, 1980; Florea, 1983). Evident, aceste particularități fizico-elastice se reflectă și în distribuția valorilor

vitezelor seismice ( $V_p$ ,  $V_s$ ) prin aceste roci, valori cu ajutorul cărora s-au calculat modulii dinamici de elasticitate și coeficientul Poisson.

În teoria elasticității sunt cunoscute relațiile matematice de calcul al acestor parametri elastici, și anume:

$$G_d = \gamma_a V_s^2 \text{ (modulul dinamic de forfecare)}$$

unde  $\gamma_a$  – greutatea specifică aparentă;

$V_s$  – viteza undelor transversale;

$$E_d = 2 G_d (1 + \mu_d) \text{ (modulul dinamic Young)}$$

unde  $\mu_d$  este coeficientul dinamic Poisson, definit astfel:

$$\mu_d = (V_p^2 - 2 V_s^2) / 2(V_p^2 - V_s^2).$$

În cazul măsurătorilor *in situ*, care furnizează vitezele undelor seismice ( $V_p$ ,  $V_s$ ), cu ajutorul acestor relații se pot calcula valorile modurilor dinamici de elasticitate ( $E_d$ ,  $G_d$ ) și valoarea coeficientului dinamic Poisson ( $\mu_d$ ).

Studiile efectuate în acest domeniu au definit și parametrii statici (modulul static, coeficientul Poisson static) și raporturile acestora față de parametrii dinamici. Astfel, între modulul static de elasticitate și cel dinamic s-a admis existența unei relații empirice de forma:

$$E_d \geq E_{st} \alpha$$

unde  $\alpha$  este o constantă care se determină experimental pentru fiecare tip de rocă.

Experiențe pe probe de sare gemă de la Târgu Ocna au indicat un raport  $E_d / E_{st}$  cuprins între 7,1 și 10,3 (Băncilă *et al.*, 1980). Stamatiu (1962) consideră acest raport ca fiind  $E_d / E_{st} \approx 1,5$ . Coeficientul dinamic Poisson (determinat cu ultrasunete) al sării geme de la Târgu Ocna a fost cu 22% mai mare decât cel determinat static (Băncilă *et al.*, 1980).

### 3. MĂSURĂTORI SEISMICE *IN SITU*

Tehnicile seismice de teren au fost cele utilizate în lucrările de refracție și la investigarea găurilor de sondă. Astfel, s-au efectuat investigații seismice de-a lungul unor profile scurte de refracție (de lungime variabilă, funcție de tipul echipamentului utilizat și de numărul de receptori seismici) și măsurători în foraje (*downhole*) și între foraje (*crosshole*).

Pentru adâncimi mici (până la 10 m) s-au executat observații punctuale cu seismograful monocanal de fabricație canadiană FS-3 (Huntec) și echipamentul Bison (cu acumulare de semnal). În aceste cazuri, undele seismice au fost generate de șocuri aplicate de un ciocan pe o placă de oțel (pentru unda  $P$ ) sau într-o țevă de oțel (pentru unda  $S$ ) (Mândrescu, 1982).

Observațiile de refracție (pe profile scurte) au utilizat următoarele echipamente seismice: stație seismică (în sistem analogic) de fabricație sovietică, Poisk 1–48 KMPV (cu 48 de canale și dublă înregistrare, oscilografică și pe bandă magnetică); stație seismică de reflexie, de fabricație americană, Geospace (cu 24 canale seismice și înregistrare analogică oscilografică și magnetică); stație seismică japoneză, tip OYO (cu 12 canale și înregistrare oscilografică pe hârtie); echipament Nimbus ES 1210F de fabricație americană Geometrics (cu 12 canale seismice).

Distanțele între receptorii seismici au fost de 2, 5 sau 10 m, dispozitivele de înregistrare având lungimi de 230–235 m (pentru aparatura Poisk și Geospace) și 22 m (pentru echipamentele OYO și Nimbus). Recepția undelor seismice s-a făcut cu geofoni (receptori) verticali și orizontali, cu frecvențe proprii de 10 Hz și 20 Hz.

Măsurătorile în găuri de sondă (microcarotaj seismic) au adoptat varianta carotajului invers (cu puncte de generare a energiei seismice plasate în foraje și receptorii seismici la suprafață, în apropierea găurii de sondă). Receptorii au fost plasați la distanțe de 1, 5 și 5 m de foraj, iar pasul punctelor de generare (din foraj) a fost de 2–3 m (Răileanu *et al.*, 1984).

Măsurătorile între foraje (*crosshole*) au plasat sursa seismică într-un foraj, iar receptorul în celălalt foraj, ambele la aceeași adâncime, în așa fel încât drumul undelor seismice de la sursă la receptor să se facă în interiorul aceluiași strat geologic. Pe baza timpilor de parcurs sursă–receptor și a distanței dintre foraje s-au putut determina vitezele undelor seismice  $P$  și  $S$  la respectivul nivel de adâncime.

Generarea undelor seismice pe profilele scurte de refracție s-a făcut prin explozii ale unor cantități variabile de dinamită tip II, cuprinse între 0,1 și 3,3 kg (în excavații de 0,5–1 m adâncime, săpate în sol), funcție de distanțele dintre punctele de generare (de explozie) și dispozitivele seismice de înregistrare (de recepție).

Înregistrările experimentale ale undelor transversale ( $S$ ) s-au realizat cu geofoni (receptori) orizontali. În aceste cazuri, generarea undelor elastice s-a făcut în șanțuri dispuse perpendicular pe direcția profilului sau în găuri de sondă practicate în aceste șanțuri. S-au încercat, de asemenea, șocuri ale unei greutăți, sub forma unei sfere metalice de 50 kg, suspendată la o înălțime de 2 m. Șocurile au fost aplicate pe un perete practicat în sol, dispus perpendicular sau lateral față de direcția profilului (de o parte sau alta a acestuia). Rezultate bune s-au obținut cu o asemenea tehnică de teren în cazul unor studii asemănătoare efectuate pe roci calcaroase din Dobrogea centrală și sudică (Rădulescu *et al.*, 1982).

În cazul măsurătorilor punctuale (cu seismograful monocanal FS–3 și echipamentul Bison), generarea undelor  $P$  s-a făcut cu ajutorul unor șocuri aplicate cu un ciocan (de 5 kg) pe o placă de oțel, plasată de-a lungul profilului seismic (Mândrescu, 1982). Undele transversale ( $S$ ) au fost generate în două moduri: șocuri laterale date cu un ciocan într-un tub de oțel (lung de 1 m și cu diametrul de 50 mm); șocuri laterale aplicate cu un ciocan pe o placă de oțel (de dimensiuni  $300 \times 400 \times 500$  mm), fixată pe sol cu ajutorul unor cuie de oțel.

Prelucrarea datelor seismice s-a făcut în maniera obișnuită: identificarea și corelarea diferitelor unde frontale, construcția hodografilor (curbelor drum–timp) și

a limitelor de refracție (prin metoda „to” și a secțiunilor de timp). Rezultatele finale au fost prezentate sub forma secțiunilor de adâncime, cu indicarea vitezelor la nivelul respectivelor contraste seismice. Pe profilele foarte scurte aceste viteze se pot determina direct pe curbele drum–timp ( $V = \Delta X / \Delta t$ ).

#### 4. TESTE DE LABORATOR

În cadrul Institutului Național de Cercetare–Dezvoltare pentru Fizica Pământului, Departamentul de Seismologie Inginerească, testele de laborator au fost realizate cu ajutorul coloanelor rezonante Drnevich și Hardin.

Această aparatură se folosește pentru determinarea experimentală a răspunsului dinamic al masivului de pământ la oscilații armonice. Coloana Drnevich permite exercitarea asupra probei atât prin vibrații torsionale, cât și longitudinale, iar în coloana Hardin proba este sollicitată numai la vibrații torsionale, permițând și modelarea greutateii construcției asupra probei printr-o greutate de circa 10 Kgf.

Pentru realizarea experiențelor pe coloane rezonante se folosesc probe de roci sub formă cilindrică (diametru 3,57 / 7,11 cm și înălțime 8 / 14,2 cm). Proba este extrasă prin foraje de la cotele de interes și este sollicitată la vibrații sinusoidale longitudinale și/sau torsionale. Baza inferioară a probei este fixată, iar la capătul ei superior se atașează dispozitivul electromagnetic de vibrare. Proba împreună cu vibratorul constituie sistemul rezonant și sunt amplasate într-o celulă triaxială în care se creează o presiune de o mărime egală cu cea corespunzătoare adâncimii de prelevare a probei respective, cu ajutorul aerului sau al apei. Vibrațiile sunt produse printr-o excitație sinusoidală (de regulă, poate fi și de altă formă, funcție de scopul urmărit) a vibratorului, frecvența excitației fiind variată până se obține rezonanța sistemului probă – vibrator. Amplitudinea forței excitatoare este variabilă și este controlată de un amplificator puternic al semnalului de intrare în sistem, realizându-se deformații  $\gamma$  la forfecare prin torsiune cuprinse între  $10^{-2}$  și  $10^{-5}$ .

Modelul fizic corespunzător solicitărilor în coloana rezonantă este cel din fig. 1, iar în fig. 2 este prezentată o fotografie a coloanei rezonante Hardin.

Proba este acționată de un moment  $M = M_0 \sin \omega t$  și/ori de o forță longitudinală  $F = F_0 \sin \omega t$ , direct proporțională cu intensitatea semnalului electric de intrare (input).

Mișcările orizontale și/ori verticale sunt măsurate de accelerometre plasate în axul de rotație. Accelerațiile sunt transformate în deplasări, prin împărțirea la  $(2\pi\omega)^2$ , în cazul deplasărilor verticale și la  $3,175(2\pi\omega)^2$ , în cazul deplasărilor orizontale.

Pentru determinarea frecvenței de rezonanță este folosit un osciloscop X – Y, care are pe axa X semnalul de intrare și pe axa Y semnalul de ieșire. Frecvența de excitație este crescută în mod constant până când apare rezonanța dintre probă și sistemul generator, moment în care pe ecranul osciloscopului apare o figură Lissajous. În acest moment este înregistrată frecvența de rezonanță  $\omega_r$  (Hz), accelerația la rezonanță  $A(mv_{rms})$  și intensitatea curentului electric de intrare  $C(mv_{rms})$ .

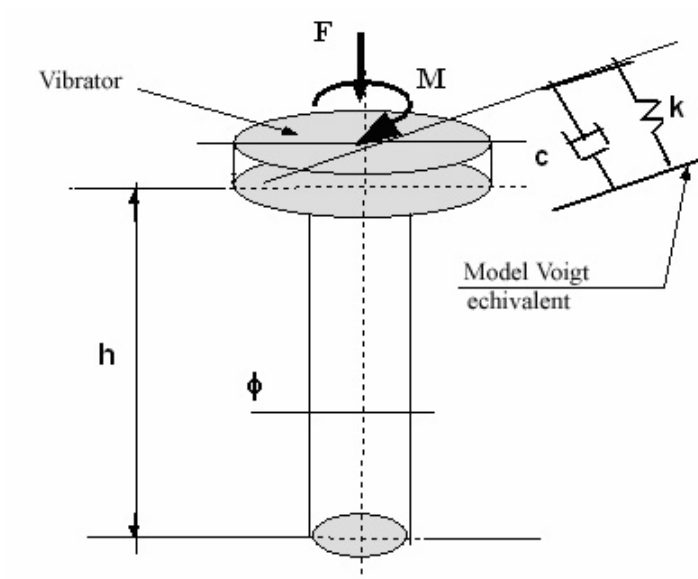


Fig. 1 – Model fizic corespunzător solicitărilor în coloana rezonantă.

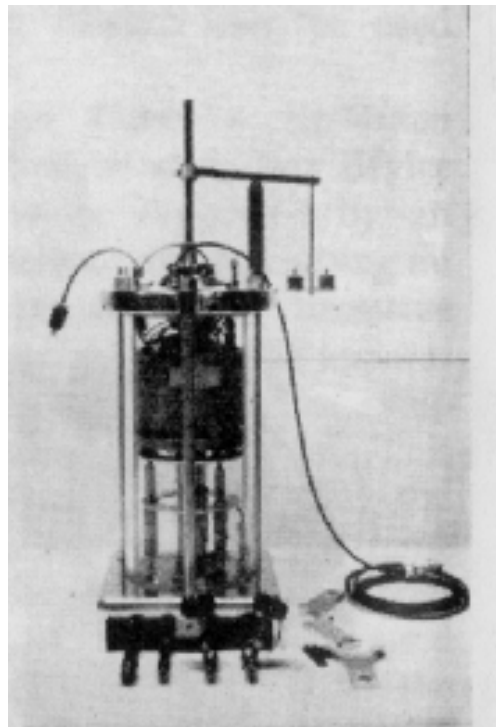


Fig. 2 – Fotografie a coloanei rezonante Hardin.

După aceea se impune o frecvență  $\sqrt{2} \omega_r$  și se înregistrează noua accelerație și intensitatea curentului electric la această frecvență. Aceste valori sunt necesare pentru calcularea proprietăților dinamice ale probei respective: modulii elastici (modulul torsional  $G$  și/ori longitudinal  $E$ ), deformația (torsională  $\gamma$  și/ori longitudinală  $\varepsilon$ ) și amortizarea internă (torsională  $D_t$  și/sau longitudinală  $D_l$ ).

Modulul de torsiune  $G$  se calculează astfel, utilizând datele furnizate de experimentele pe coloana rezonantă Drnevich:

$$G = \rho v_s^2 = \rho (2\pi\omega_r h)^2 \left[ \frac{J}{J_0} - \frac{1}{3} \left( \frac{J}{J_0} \right)^2 + \frac{4}{45} \left( \frac{J}{J_0} \right)^3 \right] \quad (1)$$

Cu aceleași date se poate calcula și deformația specifică  $\gamma$ , care corespunde unui  $G$  dinamic:

$$\gamma = \frac{\phi \cdot k_s \cdot A}{3h\omega_r^2} \quad (2)$$

În ecuațiile (1) și (2) avem:  $J$  = momentul de inerție al probei,  $J_0$  = momentul de inerție al sistemului de vibrare a probei,  $\rho$  = densitatea probei,  $v_s$  = viteza de propagare a undelor transversale,  $\phi$  și  $h$  sunt dimensiunile probei și  $k_s$  ( $\text{Hz}^2/mv_{rms}$ ) este o constantă de calibrare care transformă tensiunea  $A$  a semnalului de ieșire a accelerometrului în mărime mecanică.

Printr-o metodă similară, excitând proba la vibrații longitudinale, se obține modulul dinamic longitudinal  $E$ :

$$E = \rho v_L^2 = \rho (2\pi\omega_r h)^2 \left[ \frac{W}{W_0} - \frac{1}{3} \left( \frac{W}{W_0} \right)^2 + \frac{4}{45} \left( \frac{W}{W_0} \right)^3 \right] \quad (3)$$

Din aceleași date se calculează și  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{k_L \cdot A}{h\omega_r^2} \quad (4)$$

În ecuațiile (3) și (4) avem:  $\varepsilon$  = deformația longitudinală,  $W$  = greutatea probei,  $W_0$  = greutatea sistemului de vibrare a probei,  $\rho$  = densitatea probei,  $v_L$  = viteza de propagare a undelor longitudinale, ( $V_p$ ),  $\phi$  și  $h$  sunt dimensiunile probei și  $k_L$  ( $\text{Hz}^2/mv_{rms}$ ) o constantă de calibrare care transformă tensiunea  $A$  a semnalului de ieșire a accelerometrului în mărime mecanică.

Cu aceleași date experimentale poate fi calculată și funcția de amortizare torsională  $D(\gamma)$  și funcția de amortizare longitudinală  $D(\varepsilon)$ , care caracterizează proprietățile disipative ale rocilor din care sunt alcătuite probele.

## 5. REZULTATELE MĂSURĂTORILOR *IN SITU*

### *Ruginoasa*

Amplasamentul respectiv este situat la est de Pașcani și aparține, geologic, Platformei Moldovenești. Formațiunile de suprafață sunt constituite din depozite ale etajului median al Sarmațianului, denumit Bassarabian. Litologic, acesta este reprezentat de nisipuri, pietrișuri, marne, argile marnoase și calcare oolitice. Sub acest orizont se dezvoltă complexul Volhinian (marne argiloase, nisipuri și gresii oolitice).

Informațiile seismice au fost obținute pe o serie de profile de refracție (înregistrate cu aparatură Geospace și OYO) și, în unele puncte de observație, cu seismograful monocanal FS-3. Pe reprezentările drum-timp ale profilelor de refracție s-au evidențiat cinci strate, caracterizate de valorile vitezelor  $V_p$  prezentate în tabelul 1. Estimarea valorilor vitezelor  $V_s$  și ale densităților aparente ( $\rho_a$ ) a permis determinarea valorilor modulilor dinamici de elasticitate ( $E_d$ ,  $G_d$ ) și ale coeficientului Poisson ( $\mu_d$ ).

Tabelul 1

Strat	Adâncime (m)	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$E_d$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$G_d$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\mu_d$	Litologie
1	0-5	550	200	1,80	2050	720	0,424	strat alterație
2	5-10	1 300	500	1,85	13 070	4 625	0,413	pietrișuri
3	10-53	1 800	640	2,10	24 550	8 602	0,427	marnă
4	53-73	2 360	840	2,20	44 302	15 523	0,427	marnă
5	> 73	3 330	1 565	2,40	159 646	58 720	0,358	marnă

### *Izvoare și Dumbrava Roșie*

Ariile investigate se plasează la SE de orașul Piatra Neamț, în zona marginală de dezvoltare a Carpaților Orientali. Ambele amplasamente sunt situate în interfluviul Bistrița – Cracău, zonă în care la suprafață apar formațiuni cuaternare (Pleistocen superior și Holocen inferior), reprezentate prin nisipuri, pietrișuri, bolovănișuri și depozite loessoide. Sub acestea se dezvoltă pânzele de șariaj ale flișului paleogen, constituite din formațiuni aparținând Acvitanianului, Burdigalianului și Helvețianului, cu o litologie variată (argile, gresii, conglomerate, gipsuri).

În situl Izvoare s-au executat șapte profile scurte de refracție și microcarotajul seismic al unui foraj săpat până la adâncimea de 32 m.

Datele de refracție au relevat următoarea structură de viteze ( $V_p$ ,  $V_s$ ), caracterizând cinci strate situate în subsolul regiunii (tabelul 2).

Tabelul 2

Strat	Adâncime (m)	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$Ed$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$Gd$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\mu_d$
1	0–5	320–450	90–150	1,80	422–1164	145–405	0,457–0,437
2	5–10	500–700	170–250	1,80	1 491–3 208	520–1125	0,434–0,426
3	10–18	800–1300	320–500	1,85	5 318–13 070	1 894–4 625	0,404–0,413
4	18–25	1 850–2 200	600–700	1,90	19 713–26 868	6 840–9 310	0,441–0,443
5	> 25	2 900–3 000	850–1 150	2,10	43 088–78 483	15 172–27 772	0,420–0,413

Microcarotajul seismic executat în amplasament a indicat următoarele valori ale vitezelor seismice ( $V_p$ ,  $V_s$ ) și parametrilor dinamici (tabelul 3).

Tabelul 3

Strat	Adâncime (m)	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$Ed$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$Gd$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\mu_d$	Litologie
1	0–4	350	120	1,80	742	259	0,433	pietrișuri și argile galbene
2	4–9	600	210	1,80	2268	793	0,430	pietrișuri și argile galbene
3	9–15	800	350	1,85	6 258	2 266	0,381	pietrișuri și argile galbene
4	15–22	960	400	1,90	8 481	3 040	0,395	argile galbene
5	22–32	2 400	910	2,10	49 248	17 390	0,416	argile

Coroborarea celor două surse a permis stabilirea următoarelor valori ale parametrilor fizici și dinamici corespunzătoare formațiunilor geologice din constituția amplasamentului (tabelul 4).

Tabelul 4

Strat	Adâncime (m)	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$Ed$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$Gd$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\mu_d$	Litologie
1	0–5	350–400	110–130	1,80	627–876	217–304	0,445–0,441	formațiuni
2	5–10	500–800	170–320	1,80	1 491–5 189	520–1 843	0,434–0,408	aluvionare
3	10–14	900–1 200	360–500	1,85	6 730–12 903	2 397–4 625	0,404–0,395	(nisipuri,
4	14–22	1 400–1 850	530–620	1,90	15 114–20 974	5 337–7 303	0,416–0,436	loessuri,
5	> 22	2 000–2 300	650–800	2,10	25 551–38 465	8 872–13 440	0,440–0,431	pietrișuri)
								argile

În amplasamentul Dumbrava Roșie (situat la NV de Izvoare) s-au executat șapte profile scurte de refracție și două microcarotaje seismice (până la adâncimi de 34 m, respectiv, 48 m). Cercetările geologice au evidențiat două domenii sedimentare: unul aluvionar (grosime maximă 29–30 m, constituit din pietrișuri și bolovănișuri) și altul alcătuit din argile marnoase și marne grezoase, cu intercalații de gresii și nisipuri. Microcarotajele seismice au indicat în stratul aluvionar viteze ( $V_p$ ,  $V_s$ ) de 820–1 050 m/s, respectiv, 380–440 m/s, iar în stratul situat sub acesta, valori de 1 760–2 200 m/s, respectiv, 625–825 m/s. În tabelul 5 sunt prezentate informațiile



furnizate de măsurătorile de refracție și valorile parametrilor elastici calculați pe baza acestor date.

Tabelul 5

Strat	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$Ed$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$Gd$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\mu_d$	Litologie
1	600–700	260–300	1,80	3 363–4 493	1 216–1 620	0,383–0,387	nisipuri
2	800–1 100	360–450	1,85	6 582–10 481	2 397–3 746	0,373–0,399	pietrișuri, argile
3	1 800–2 200	660–820	2,10	26 014–40 072	9 147–14 120	0,422–0,419	argile marnoase
4	2 900–3 000						argile

Coroborarea celor două surse de informații a condus la stabilirea următoarelor valori ale parametrilor fizici și elastici ai stratelor din structura de suprafață a amplasamentului (tabelul 6).

Tabelul 6

Strat	Adâncime (m)	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$Ed$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$Gd$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\mu_d$	Litologie
1	0–14	500–750	200–300	1,80	2 023–4 549	720–1 620	0,405–0,404	nisipuri
2	14–29	800–1 300	350–530	1,85	6 258–14 548	2 266–5 196	0,381–0,400	pietrișuri argile
3	29–47	1 800–2 200	650–800	2,10	25 285–38 250	8 872–13 440	0,425–0,423	argile marnoase

#### Făgăraș – Beclean

Amplasamentul situat la SV de orașul Făgăraș, pe valea Dejanului (un afluent sudic al Oltului), este poziționat pe un teren constituit din depozitele cuaternare fluviatile ale Pleistocenului superior (pietrișuri și nisipuri). Sub acestea s-a interceptat un complex marnos aparținând Pleistocenului mediu.

Pe acest amplasament s-au efectuat studii seismice (de refracție) complexe (cu mai multe echipamente de înregistrare: Geospace, OYO, Nimbus, FS–3), două microseismo-carotaje (până la adâncimi de 36 și 43 m) și măsurători seismice între foraje (*crosshole*). Astfel, înregistrările seismice executate cu echipamentele Nimbus și Oyo, precum și cele cu seismograful monocanal FS–3 (Mândrescu, 1982) au indicat următoarele domenii de variație ale vitezelor  $V_p$  și  $V_s$  în adâncime, inclusiv valorile modulilor dinamici de elasticitate (tabelul 7).

Tabelul 7

Strat	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$Ed$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$Gd$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\mu_d$	Litologie
1	350–600	150–185	1,80	1 138–2 477	405–871	0,405–0,422	aluviumi
2	840–1 250	310–350	1,85	6 322–12 044	2 266–4 262	0,395–0,413	aluviumi
3	1 600–2 200	435–620	2,10	20 118–36 488	7 064–12 776	0,424–0,428	marne

Rezultatele măsurătorilor *crosshole* din tabelul 8 indică date comparabile cu datele seismicii de refracție.

Tabelul 8

Strat	Adâncime (m)	Crosshole		$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$Ed$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$Gd$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\mu_d$	Litologie
		$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)					
1	9	1 610	660	2,00	24 376	8 712	0,399	marnă slab stratificată
2	20,5	1 800	760	2,15	34 546	12 418	0,391	marnă cu intercalații nisipoase
3	30,5	2 064	850	2,30	46 461	16 617	0,398	Marnă tufacee
4	43	2 184	880	2,40	52 149	18 585	0,403	marnă

### Zona Timișoara

Din punct de vedere geologic, subsolul acestei regiuni este alcătuit din formațiuni cuaternare (Pleistocen și Holocen), constituite dintr-o alternanță de argile, nisipuri și pietrișuri, iar în partea inferioară a Pleistocenului superior se dezvoltă și depozite marnoase (care sunt predominante în Pleistocenul inferior). În arealul orașului Timișoara (în zona râului Bega), secțiunea geologică până la adâncimea de aproximativ 75 m indică prezența a cinci orizonturi nisipoase, între care se intercalează complexe argilo-marnoase (Pascu, 1984). Carotajele acustice executate în trei foraje săpate în vestul și nord-vestul orașului au furnizat informații asupra vitezelor seismice până la adâncimi mari de 1 260–2 020 m. În partea superficială (până la adâncimi de 200 m) s-au estimat valorile vitezelor ( $V_p$ ,  $V_s$ ) pe baza analogiei cu formațiuni asemănătoare litologic (tabelul 9).

Tabelul 9

Strat	Adâncime (m)	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$Ed$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$Gd$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$\mu_d$	Litologie
1	0–3	340	120	1,80	739	259	0,428	strat alterație
2	3–18	650	250	1,80	3179	1125	0,413	nisipuri (Holocen sup.)
3	18–68	900	360	1,85	6730	2397	0,404	pietrișuri, nisipuri, argile nisipoase (Holocen sup.)
4	68–128	1500	560	1,90	16908	5958	0,419	pietrișuri, nisipuri (Holocen inf.)
5	128–200	1800	680	2,00	26 190	9 248	0,416	pietrișuri, nisipuri (Pleistocen)

## 6. REZULTATELE TESTELOR DE LABORATOR

În tabelul 10 sunt prezentate rezultatele determinărilor de laborator efectuate cu coloana rezonantă Drnevich. În afara celor trei amplasamente pe care s-au efectuat și măsurători *in situ* (Izvoare, Dumbrava Roșie și Făgăraș – Beclean), pentru comparație au fost prezentate și valorile modulului de forfecare al unor roci asemănătoare ca litologie și vârstă geologică din constituția unor zone situate în apropierea localităților Victoria, Adjud și Fundulea. Pe baza densităților aparente și a modulului de forfecare s-au calculat vitezele undelor transversale.

Tabelul 10

Locație	Adâncime (m)	Litologie	$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	$Gd$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$V_s$ (m/s)
Izvoare	28	marnă	2,05	1 185	240
Izvoare	31	marnă	2,09	1 560	278
Izvoare	44	marnă cenușie	2,40	1 346	236
Dumbrava Roșie	20	marnă vânăță	2,41	2 900	346
Dumbrava Roșie	28	marnă vânăță	2,18	1 148	229
Făgăraș-Beclean	3	nisip cu pietriș	1,80	479	163
Făgăraș	3	argilă cu nisip	1,96	330	129
Făgăraș	6	nisip cu pietriș și bolovăniș	1,95	456	152
Făgăraș	15	marnă	2,19	1 565	267
Făgăraș	19	marnă grezoasă	2,18	1 456	258
Făgăraș	31	marnă grezoasă	2,19	1 685	277
Victoria	17	nisip și pietriș	2,07	1 246	245
Victoria	40	marnă	2,19	2 042	305
Adjud	24	argilă marnoasă	2,18	812	193
Fundulea	5	argilă galbenă	2,03	1 466	268

## 7. CONCLUZII

Datele prezentate se referă la formațiuni de vârstă recentă, cuaternară (cele de la Izvoare, Dumbrava Roșie, Făgăraș – Beclean și Timișoara) și sarmațiană (Ruginoasa). Din punctul de vedere al compoziției granulometrice, acestea se încadrează în categoria rocilor necoezive (bolovănișuri, pietrișuri, nisipuri de diferite tipuri) și coezive (argile, argile marnoase, marne, marne grezoase).

În toate zonele investigate se remarcă existența la suprafață a unui strat subțire de alterație, caracterizat de valori reduse de propagare a undelor seismice. Acest strat superficial, cu o grosime de 3–5 m, are viteze  $V_s$  cuprinse între 90 și 200 m/s și moduli de elasticitate transversali reduși de 145–720 daN/cm<sup>2</sup>. Greutățile specifice aparente au, de asemenea, valori mici de 1,70–1,80 g/cm<sup>3</sup>. Particularitățile (grosime, viteze) acestui strat de alterație (denumit, în prospecțiunea seismică, ZVM – zonă de viteză mică) sunt importante în tehnologiile prospecțiunii seismice de reflexie din cauza întârzierilor introduse în procesul de propagare al undelor reflectate până la suprafață. Acest fapt conduce la efectuarea unor lucrări suplimentare

legate tocmai de cunoașterea configurației acestui strat de-a lungul profilelor pe care se execută observațiile seismice. S-a constatat, astfel, subțierea stratului de alterație în zona văilor și îngroșarea acestuia pe dealuri (și existența unui strat intermediar, cu viteze ceva mai mari).

Particularitățile fizico-elastice ale acestui strat se regăsesc și în determinările de laborator, pe probele recoltate de la mică adâncime din punctele Făgăraș și Beclean (argilă cu nisip, nisip cu pietriș și bolovăniș, nisip cu pietriș). Vitezele  $V_S$  au valori de 129–163 m/s, modulul  $G_d$  330–479 daN/cm<sup>2</sup> (tabelul 10). Rocile respective reprezintă formațiuni aluvionare de vârstă cuaternară (Pleistocen superior). Pe amplasamentul Beclean se remarcă sub acest strat de alterație existența unui strat intermediar cu viteze  $V_S$  de 310–350 m/s și moduli  $G$  cu valori mai mari 2 200–4 200 daN/cm<sup>2</sup>, după care urmează așa zisa „rocă vie”, reprezentată de marne, cu viteze  $V_P$  de 1 600–2 200 m/s și greutate specifică aparentă de 2,10 g/cm<sup>3</sup>.

Pietrișurile sarmațiene (de la Ruginoasa) și cele cuaternare (de la Izvoare și Dumbrava Roșie) au parametri elastici cu valori mai mari:  $E_d = 6\,200\text{--}14\,500$  daN/cm<sup>2</sup>;  $G_d = 2\,200\text{--}5\,200$  daN/cm<sup>2</sup>;  $\mu_d = 0,381\text{--}0,413$ . În privința determinărilor de laborator, o probă recoltată de la Victoria (nisip și pietriș) de la o adâncime de 17 m a furnizat un modul  $G_d$  cu valoarea de 1 246 daN/cm<sup>2</sup> (cărui îi corespunde o viteză  $V_S$  de 245 m/s) (tabelul 10).

Pietrișurile și nisipurile holocene din zona Timișoara au proprietăți elastice asemănătoare celor menționate anterior. Vitezele undelor seismice prin aceste roci au valori de 900–1 500 m/s ( $V_P$ ) și 360–560 m/s ( $V_S$ ). Modulii de elasticitate corespunzători acestor viteze au valori de 6 700–16 900 ( $E_d$ ) și 2 400–5 950 ( $G_d$ ). Coeficientul Poisson ( $\mu_d$ ) este cuprins între 0,404 și 0,419.

Sub pachetul de formațiuni necoezive (bolovănișuri, pietrișuri, nisipuri) se dezvoltă, în toate amplasamentele, roci cu elasticitate mai mare, cum ar fi: marne, marnă vânată, argile galbene, argile marnoase, marne cu intercalații nisipoase, marne grezoase. Măsurătorile *in situ* evidențiază parametrii elastici ai acestor tipuri de roci cu valori mari; astfel, modulul lui Young are valori cuprinse între 8 500 daN/cm<sup>2</sup> (Izvoare) și 52 000 daN/cm<sup>2</sup> (Făgăraș – Beclean), iar modulul  $G_d$  între 3 050 daN/cm<sup>2</sup> și 18 500 daN/cm<sup>2</sup>.

Determinările de laborator indică valori mult mai reduse pentru modulul dinamic transversal ( $G_d$ ). Astfel, la Izvoare, probele de marnă recoltate de la adâncimi de 28–44 m au avut valori ale lui  $G_d$  de 1 185–1 560 daN/cm<sup>2</sup> (tabelul 10). La Dumbrava Roșie, o marnă vânată (situată la adâncimea de 20 m și având o greutate specifică de 2,41 g/cm<sup>3</sup>) are un modul transversal de 2 900 daN/cm<sup>2</sup> (viteza  $V_S$  corespunzătoare este de 350 m/s). Studiul seismic *in situ* a indicat viteze  $V_S$  ceva mai mari (~ 420 m/s).

La Ruginoasa, la adâncimi mai mari de 73 m, a fost interceptată o marnă consolidată cu viteze  $V_P$  de 3 300 m/s și  $V_S$  de 1 565 m/s, iar modulul longitudinal de elasticitate de 159 000 daN/cm<sup>2</sup> ( $E_d$ ); coeficientul Poisson este de 0,358, valoarea cea mai scăzută a rocilor investigate. Această marnă are parametrii elastici comparabili cu cei ai calcarelor jurasice din Dobrogea centrală, de la Celea Mare și Topalu, care apar la suprafață sau se dezvoltă în adâncime (Rădulescu *et al.*, 1982). Diferențele apar

în cazul coeficientului Poisson, care are valori de 0,310–0,315 (mai mici comparativ cu cele determinate pentru marnele sarmațiene din amplasamentul Ruginoasa).

În situl Făgăraș, probele de marnă și marnă grezoasă (de la adâncimi de 15–31 m) au indicat modulul  $G_d$  cu valori de 1 456–1 685 daN/cm<sup>2</sup> (tabelul 10). O valoare ceva mai mare (2 042 N/cm<sup>2</sup>) s-a determinat la Victoria, pentru o marnă situată la 40 m adâncime (greutate specifică 2,19 g/cm<sup>3</sup>).

*Primit în redacție: 3 octombrie 2006*

*Acceptat pentru publicare: 29 ianuarie 2007*

#### BIBLIOGRAFIE

- BĂLAN, ȘT. (coordonator), CORNEA, I., MĂRMUREANU, GH., BĂLAN, ȘT.F., ONCESCU, M. (1987), *Introducere în mecanica fenomenelor seismice și inginerie seismică*, Ed. Acad. R.S.R., București.
- BĂNCILĂ, I., FLOREA, M.N., FOTĂ, D., GEORGESCU, M., LAZĂR, L.F., MOCANU, GH., MOLDOVEANU, T., MUNTEANU, A., PRIVIGHETORIȚĂ, C., VĂDUVA, C., ZAMFIRESCU, F. (1980), *Geologie Inginerească*, vol. I, Editura Tehnică, București, 594 p.
- FLOREA, M.N. (1983), *Mecanica rocilor*, Editura Tehnică, București, 332 p.
- MÂNDRESCU, N. (1982), *Măsurători seismice în amplasamente CNA în Transilvania și Moldova*, Raport Arhivă INCDFP.
- OROS, E. (1991), *Cutremurele de pământ din Câmpia Banatului*, Editura Graffiti, 29 p.
- OROS, E. (1989), *Distribuția vitezelor undelor elastice longitudinale determinate din carotaje acustice, în sectorul sudic al Depresiunii Panonice*. Raport contract 30.86.3/1989, Arhiva INCDFP.
- PASCU, M.R. (1984), *Apele subterane din România*, Ed. Tehnică, București, 412 p.
- RĂDULESCU, F., RĂDUCANU, M., RĂILEANU, V., DRAGU, S., POMPILIAN, A., ȘOVA, A. (1982), *Parametrii elastici ai unor masive calcaroase din Dobrogea*, St. Cerc. Fiz., **34**, 2, 141–154.
- RĂILEANU, V., BĂLĂ, A., MATECIUC, D. (1984), *Studii seismice în amplasamentul Făgăraș*, Raport Arhivă INCDFP.
- STAMATIU, M. (1962), *Mecanica rocilor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 874 p.

### PHYSICAL AND ELASTIC PARAMETERS OF SOME SEDIMENTARY ROCKS FROM ROMANIA

ȘTEFAN FLORIN BĂLAN, FLORIN RĂDULESCU

(ABSTRACT)

The paper presents the results of the *in situ* measurements and laboratory tests for sedimentary rocks investigated in five sites from Moldova (Ruginoasa, Izvoare, Dumbrava Roșie), Transylvania (Făgăraș – Beclean) and active zone Timișoara. The elastic parameters (Young modulus, shear modulus, Poisson coefficient), determined on the basis of the seismic waves velocity ( $V_P$ ,  $V_S$ ), resulted from *in situ* and laboratory measurements, are presented.

*Cuvinte cheie:* teste geofizice, teste de laborator, modul de forfecare, modul Young, vitezele undelor seismice ( $V_P$ ,  $V_S$ ).