

# STUDII PRIVIND DETERMINAREA EXPERIMENTALA A CARACTERISTICILOR DINAMICE ALE TERENULUI DE FUNDARE

Ion SCORDALIU<sup>1</sup>, Eugen LASZLO<sup>2</sup>

1 – Dr. ing., 2 – Fiz., URBAN-INCERC Sucursala Timișoara

**Abstract.** This paper presents a methodology and an experimental study regarding determination of natural periods of vibration and of other dynamic characteristics (dynamic modulus) of foundation grounds, that are necessary for statical and dynamical analysis of constructions behaviour under seismic action. The method is based on “in situ” determination of seismic waves propagation velocity in the foundation ground.

**Keywords:** dynamical characteristics, velocity, seismic wave

## 1. Introducere

Proprietățile dinamice seismice ale terenurilor de fundare și în special rigiditatea lor seismică, precizează mișcarea seismică în amplasament, acest efect al amplasamentului reflectându-se în coeficienții de teren  $S$ , care sunt funcție de proprietățile și structurile geologice ale terenurilor și rocilor, valoarea coeficientului  $\beta$  din expresia încărcărilor seismice depinde de rigiditatea terenului (normală, redusă sau mărită).

Codurile consideră că mișcarea seismică la nivelul fundației este aceeași ca mișcarea seismică în „câmp liber” ca și cum structura nu ar exista, ipoteză valabilă numai pentru structuri rezemate pe terenuri absolut rigide. La structurile rezemate pe terenuri moi deformabile, care reprezintă rezeme elastice, mișcarea seismică a fundației diferă de cea în “câmp liber” și poate avea componente de translație laterală și de rotire deosebit de mari.

Construcțiile rezemate elastic diferă în raport cu cele rezemate rigid și prin cantitatea substanțială de energie disipată în mediul de rezemare, atât prin radiația undelor seismice cât și prin pierderea de energie a terenului ca material, care crește cu intensitatea mișcării vibratorii.

Are loc fenomenul de interacțiune seismică structură -teren exprimat prin răspunsul dinamic al celor două subsisteme (substructuri), structura și “bulbul activ de teren”, constituit din depozitele de teren de sub fundație, fiecare caracterizat prin parametrii lor dinamici.

Efectele interacțiunii consideră mai întâi deformabilitatea terenului manifestată prin deplasări de translație ( $\delta$ ) și de rotire ( $\theta$ ) ale

fundației, urmată de mărirea deplasărilor relative ale maselor structurii, ceea ce conduce la atenuarea răspunsului dinamic, are loc creșterea perioadei fundamentale datorită terenului și modificarea (de obicei creșterea) amortizării efective din cauza energiei disipate terenului.

De astfel în primele, relații pentru calculul încărcării seismice, coeficientul dinamic  $\beta$  s-a stabilit în funcție de perioadele proprii ale structurii ( $T$ ) respectiv a terenului de fundare ( $T_g$ ).

Efectele globale ale interacțiunii depind de caracteristicile dinamice (perioadă, rigiditate, amortizare, etc) ale structurii și terenului (natură, condiții locale tectonice, geologice și geotehnice).

Modificările produse de natura terenului asupra unde seismice, au făcut să se introducă în calculul practic al forțelor seismice anumiți coeficienți de corecție care majorează sau reduc forța dinamică standard. Acești coeficienți se stabilesc în funcție de natura terenului pe baza unor cercetări statistice.

## 2. Aspecte privind propagarea undelor seismice

Energia declanșată din hipocentru se transmite sub formă de unde, care pentru ușurarea modelării teoretice, se consideră ca unde elastice, adică se consideră scoarța terestră ca un mediu perfect elastic. Aceste unde se mai numesc și unde seismice.

Expresiile vitezelor de propagare ale undelor seismice în ipoteza mediului elastic sunt (Vaicum, 1985):

pentru unde longitudinale (P)

$$-V_p=V_L=\sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}\frac{G}{\rho}} \quad [2.1]$$

pentru undele transversale

$$V_S = V_T = \sqrt{\frac{G^*}{\rho}} \quad [2. 2]$$

Relația de legătură dintre  $V_P$  și  $V_S$

$$V_P = V_S \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}} \quad [2. 3]$$

- pentru undele Rayleigh

$$V_R = p^2 \frac{E^*}{2(1-\nu)\rho} \text{ sau} \quad [2. 4]$$

$$V_R = \frac{E^*}{1-\nu^2} \cdot \frac{1}{M \cdot \gamma} \text{ unde: } E^* - \text{modul de elasticitate}$$

dinamică, iar  $p$  și  $M$  coeficienți funcție de  $\nu$  și  $\gamma$  - greutatea specifică a terenului.

Mișcarea terenului provocată de acțiunea seismică este puternic influențată de prezenta unei clădiri.

Undele seismice transversale (de forfecare) definesc parametrii mișcării care produc cele mai importante efecte dinamice asupra construcțiilor situate la suprafața liberă a terenului.

Considerând pentru depozitul sedimentar, delimitat inferior de roca de bază (suprafață de discontinuitate) iar superior de suprafața liberă a terenului, un model de mediu perfect elastic, omogen, izotrop continuu și uniform (semispațiu elastic) perioada predominantă a depozitului sedimentar superficial are expresia (Valcum, 1985):

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} = \frac{1}{2i-1} \cdot \frac{4H}{V_S} \quad [2. 5]$$

astfel încât perioada predominantă fundamentală rezultă

$$T_1 = T_0 = \frac{4H}{V_S} \quad [2. 6]$$

iar următoarele:

$$T_2 = \frac{4H}{3V_S} ; T_3 = \frac{4H}{5V_S} \quad [2. 7]$$

Se constată că perioadele predominante sunt direct proporționale cu adâncimea depozitului  $H$  și invers proporționale cu viteza de propagare a undelor secundare (transversale de forfecare).

În cazul unui depozit stratificat, constituit din  $n$  strate cu proprietăți și grosimi diferite, dar

omogene, viteza medie de propagare a undelor  $S$  se poate evalua cu relația:

$$V_{Smed} = \frac{1}{H} \sum_{i=1}^n V_{Si} \cdot h_i \quad [2. 8]$$

în care  $V_{Si}$  - reprezintă viteza de propagare a undelor  $S$  în stratul  $i$ ,  $h_i$  grosimea stratului  $i$ , iar  $H$  grosimea întregului pachet.

Perioada predominantă a unui depozit stratificat se calculează cu relația:

$$T_1 = \frac{4H^2}{\sum_{i=1}^n V_{Si} \cdot h_i} \quad [2. 9]$$

Producerea rezonanței seismice în timpul acțiunii unui cutremur este o problemă controversată în rândul specialiștilor, unii considerând că acest fenomen nu se poate produce, alții că el poate avea loc și consecințele sunt extrem de grave, iar cei mai mulți nu se pronunță.

O serie de cercetări efectuate pe baza unui mare număr de seismograme, au arătat că oscilațiile terenului produse de seisme au perioade situate în intervalul de variație al perioadelor proprii ale construcțiilor și deci eventualitatea producerii rezonanței este foarte probabilă și acest fapt trebuie luat în considerație la proiectarea construcțiilor.

Majoritatea metodelor de calcul, necesare unei analize dinamice a răspunsului construcției-masiv de pământ, presupun că pentru condițiile de amplasament să se determine (pe lângă o serie de indici fizici) următorii parametri:

- modulii dinamici de deformații transversale ( $G^*$ ) și liniare ( $E^*$ ) ai pământurilor din amplasament;
- un factor de amortizare, de obicei fracțiunea din amortizarea critică ( $D$ );
- coeficientul lui Poisson ( $\nu$ )

În literatura de specialitate sunt prezentate un mare număr de metode de determinare a modurilor dinamici și a coeficientului de amortizare, care pot fi grupate în modul următor:

1. Procedee de laborator
2. Procedee de teren ("în situ")
3. Procedee seismice

4. Procedee empirice
5. Procedee teoretice

În cadrul procedeelelor seismice determinarea modurilor dinamice se bazează pe relațiile de legătură cu vitezele de propagare ale undelor în teren (Vaicum, 1985):

$$E^* = \rho V_p^2 \quad \text{sau} \quad E^* = \rho V_S^2 \frac{2(1-\nu)}{1-2\nu} \quad [2.10]$$

$$G^* = \rho V_S^2$$

în care:  $\rho$  - densitatea terenului

$V_p, V_S$  - vitezele de propagare ale undelor principale respectiv transversale

$\nu$  - coeficientul lui Poisson

### 3. Aparatură și metodologie experimentală

Metodologia de determinare experimentală a perioadelor proprii ale terenului de fundare și a modurilor dinamice, se bazează pe măsurarea vitezelor de transmitere a undelor de tip seismic în teren.

#### 3.1. Aparatura de măsurare și înregistrare a datelor

Pentru determinarea vitezelor de propagare, pentru undele de suprafață de forfecare și compresie s-a utilizat lanțul de măsurare format din (Fig. 1 și 2):

1. Generator sinusoidal cu frecvență reglabilă
2. Amplificator de putere
3. Vibrator electro-dinamic
4. Traductoare de accelerație
5. Aparat de măsurat parametri de mișcare
6. Adaptor pentru nivelul semnalului
7. Calculator echipat cu placă de sunet

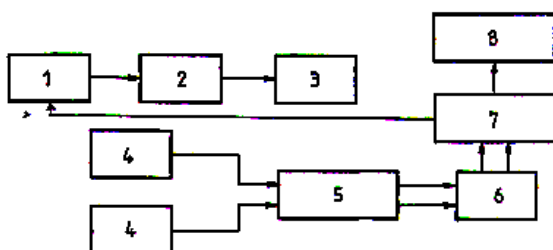


Fig. 1. Schemă bloc –Metoda vibrațiilor

În cazul utilizării șocurilor, aparatura s-a compus din:

1. Echipament pentru generat șocuri
2. Traductori de accelerație
3. Aparat de măsurat parametri de mișcare
4. Adaptor pentru nivelul semnalului

5. Calculator echipat cu placă de sunet
6. Printer

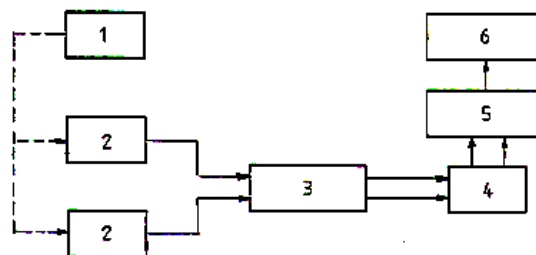


Fig. 2. Schemă bloc –Metoda șocului

#### 3.2. Metoda de măsurare

Metoda standard, pentru determinarea vitezelor de propagare, în medii continue, pentru diferitele tipuri de unde, se bazează pe producerea unor șocuri și măsurarea timpului de propagare între puncte colinare cunoscând distanța dintre ele.

Ideea noii metode, ce se prezintă în lucrare, provine din constatările, după care pentru un anumit mediu cele trei tipuri de unde se caracterizează prin benzi de frecvență disjuncte.

Prin urmare dacă se introduce în mediul experimental o vibrație mecanică sinusoidală cu frecvența ce se găsește în banda caracteristică unui tip de undă și se măsoară viteza ei de propagare, această viteză este egală cu viteza de propagare a tipului de undă respectiv.

Semnalul sinusoidal este ușor de identificat deci confuzia se exclude, dar cel mai de seamă avantaj este că se poate măsura cu precizie mare, faza respectivului semnal, ceea ce este echivalentul cu măsurarea precisă a timpului. Determinările se fac atât pentru undele de compresie sau longitudinale cât și pentru undele de forfecare sau transversale.

Funcția care descrie unda progresivă este

$$Y = A \sin \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{l} \right) \quad [3.1]$$

unde: A-amplitudinea maximă; t-timpul, T- perioada semnalului sinusoidal, x-abcisa punctului în care se face măsurarea (originea fiind punctul în care se generează oscilația); l-lungimea de undă.

În principial metoda vibrațiilor întreținute se bazează pe determinări de faze pentru semnalele celor două diagrame sinusoidale, înregistrate în două puncte de măsurare, aflate la o distanță cunoscută (Fig. 3).

Expresia vitezei de propagare a undei este:

$$V = (x_2 - x_1) \frac{(T - T')}{dt.T}, \text{ în care: } d_t = t_2 - t_1 \text{ (diferența de}$$

timp dintre trecerea prin zero a oscilației în  $x_1$  respectiv în  $x_2$ ).

Se observă că în expresia vitezei de propagare a undei intervin numai mărimi cunoscute ( $x_1, x_2$ ) sau măsurabile ( $T, T', d_t$ )

#### 4. Încercări experimentale

##### 4. 1. Incercari experimentale privind determinarea vitezelor de propagare a undelor in teren, a modulilor dinamici si a perioadelor proprii de vibrare ale straturilor superficiale

Încercările experimentale s-au efectuat pe un amplasament pe care s-au executat trei foraje tubate. Stratificația amplasamentului experimental este prezentată în Fig. 4 și este compusă dintr-un complex de argile nisipoase-prăfoase, nisipuri argiloase-prăfoase, prafuri argiloase nisipoase și argile marnoase.

##### 4. 2. Metode de determinare experimentale

Pentru determinarea vitezelor de propagare a undelor în teren s-au folosit două metode care se bazează pe generarea de unde elastice în teren și înregistrarea simultană în două puncte de observație a timpilor de sosire a undelor directe.

##### a) Metoda verticală

Metoda are această denumire deoarece sursa de șoc are o poziție fixă la suprafața terenului, iar receptorul undelor s-a plasat în adâncime în poziții succesive, situate pe verticala forajului.

Această metodă a permis studiul undelor longitudinale de compresiune-întindere (unde P), cunoscut fiind că acestea determină o mișcare a particulelor pe direcția de propagare.

##### b) Metoda orizontală

Metoda are această denumire deoarece sursa de unde și receptorii se găsesc tot timpul în același plan orizontal, coborând împreună la diferite nivele.

Metoda constă în executarea a două sau mai multe foraje verticale, situate în același plan vertical.

Forajul în care s-a amplasat sursa de unde, s-a executat la 2, 00 m de forajul geotehnic Execuția acestui foraj s-a făcut în paralel cu măsurătorile de viteze, urmărindu-se ca în permanență sursa de unde și captorii să se găsească în același plan orizontal.

Ca sursă de vibrații s-a utilizat un penetrometru dinamic (P. D. U.) la care conul a fost înlocuit cu o placă metalică circulară.

Această metodă a permis determinarea variației în 'situ' a vitezei de propagare ( $V_s$ ) a undelor de forfecare pe adâncimea forajelor.

Într-o altă grupă de încercări, pentru straturile de la partea superioară a forajelor s-au făcut determinări de viteze a undelor primare și secundare utilizând ca sursă de vibrație, un generator de vibrații sinusoidale (vibrator electro-dinamic) cu frecvență variabilă, care a permis modificarea acesteia de la 0 la 500Hz.

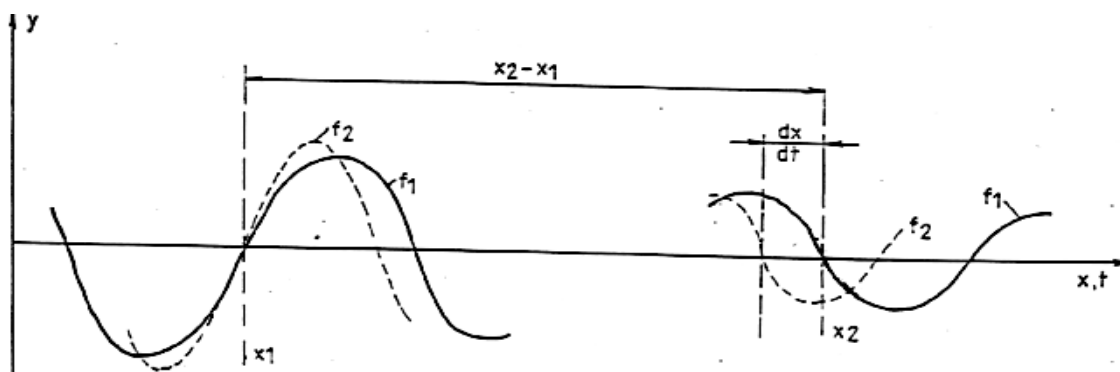


Fig. 3. Schemă de principiu

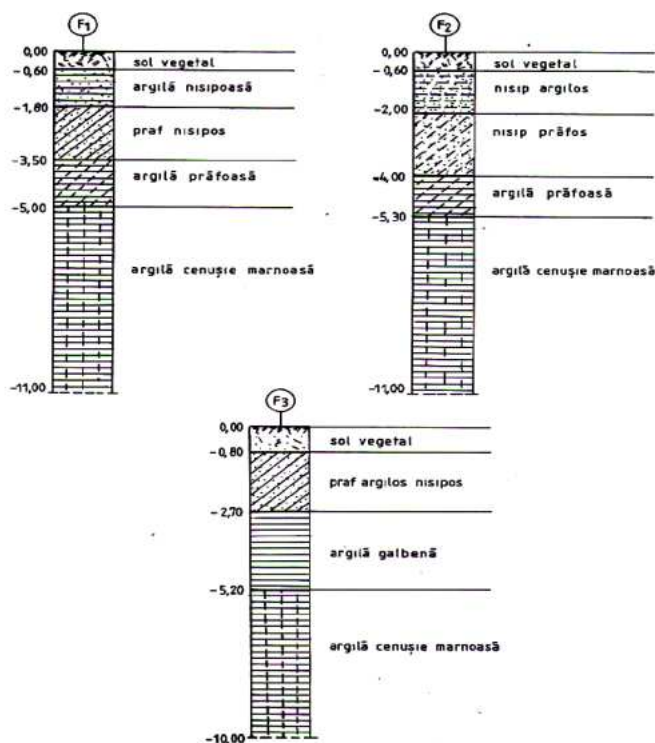


Fig. 4. Foraje geotehnice

Incercările experimentale în cele trei foraje s-au efectuat atât prin metoda verticală cât și cea orizontală, ceea ce a permis compararea valorilor obținute prin cele două procedee pentru fiecare strat component al stratificației.

#### 4. 3. Rezultate experimentale

Valorile vitezelor de propagare a undelor în teren și valorile modulilor dinamici determinați pe baza acestora sunt prezentate în Tabelele 4. 1și 4. 2. și în Fig. 5 și 6.

#### 5. Concluzii

În studiul experimental pentru determinarea vitezelor de propagare a undelor s-au utilizat două metode:

- metoda verticală -care permite determinarea vitezelor de propagare ( $V_p$ ) ale undelor principale;
- metoda orizontală -care permite determinarea vitezelor propagare ( $V_s$ ) ale undelor secundare.

Pentru inducerea în teren a unor unde de tip seismic, s-a folosit un dispozitiv de produs șocuri mecanice și un generator de vibrații sinusoidale.

În urma încercărilor experimentale au rezultat următoarele aspecte:

1. Vitezele de propagare ale undelor de tip seismic în teren sunt funcție de natura stratului și au valori mai mari în straturile mai compacte.

2. Perioadele proprii de vibrație, ale depozitului deluvial depus pe stratul de bază, determinate pe baza vitezelor de propagare a undelor secundare au valorile:

- foraj  $F_1$   $T = 0,132 - 0,144$  sec
- foraj  $F_2$   $T = 0,161 - 0,177$  sec
- foraj  $F_3$   $T = 0,130 - 0,155$  sec

Pe baza valorilor obținute se poate aprecia că frecvența proprie de vibrație a depozitului superficial ce caracterizează amplasamentul este  $T = 0,130 - 0,177$  sec., ceea ce permite formularea concluziei că în cazul acestui amplasament, fenomenul de rezonanță seismică poate apărea în cazul construcțiilor rigide cu perioadă proprie de vibrație  $T < 0,2$  sec.

3. Analizând datele din Tabelele 1 și 2 se constată că valorile obținute prin cele două metode utilizate, sunt diferite. Diferențele procentuale sunt următoarele:

- 7 - 46% - pentru vitezele de propagare
- 7 - 84% - pentru modulii dinamici

Diferențele procentuale diferă de la strat la strat și pot fi explicate prin faptul că în cazul metodei verticale, viteza undelor ( $P$ ), se determină pentru un traseu al undelor perpendicular pe planele de stratificare, iar în cazul metodei orizontale,

determinarea vitezelor de propagare se face pentru trasee paralele cu planele de stratificare. În cazul metodei verticale unda străbate mai multe straturi și în consecință viteza determinată caracterizează un strat sau poate fi o viteză medie pe mai multe strate în funcție de poziția traductorului receptor, în timp ce în metoda orizontală viteza determinată caracterizează un singur strat.

În consecință, în valorile obținute intervine anizotropia terenului în plan vertical și orizontal, ceea ce implică proprietățile diferite ale mediului de propagare a undelor.

Un alt element care poate influența valorile obținute în diverse puncte de măsurare, este umiditatea diferită a diverselor strate știut fiind că gradul de umiditate influențează considerabil valoarea vitezei de propagare a undelor în teren.

## BIBLIOGRAFIE

Scordaliu I., Laszlo E. et al., *Studii privind determinarea experimentală a caracteristicilor dinamice ale terenului de fundare și soluții de disipare a energiei seismice la nivelul teren fundație* (Studiu nepublicat).

Vaicum A. (1985), *Condiții de amplasament în ingineria seismică*, Editura Academiei, București.

**Tabelul 1.** Caracteristici dinamice- metoda vertical (sursă de șocuri)

Denumire strat	Foraj	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	G* [daN/cm <sup>2</sup> ]	E* [daN/cm <sup>2</sup> ]	h <sub>i</sub> [m]	Vs h <sub>i</sub>	T [s]
Argilă nisipoasă	F <sub>1</sub>	1,78	210	116	244	634	1,20	139,2	0,144
Praf nisipos		1,87	220	122	284	738	1,70	207,4	
Argilă prăfoasă		1,89	415	230	1020	2652	1,50	345	
Argilă marnoasă		1,98	880	488	4811	12508	6,00	2928	
Nisp argilos	F <sub>2</sub>	1,80	245	136	339	881	1,40	190,4	0,161
Nisp prăfos		1,84	250	138	357	928	2,00	276	
Argilă prăfoasă		1,83	320	177	585	1521	1,30	230,1	
Argilă marnoasă		2,00	915	508	5266	13691	5,70	2895	
Nisp argilos	F <sub>3</sub>	1,82	240	133	328	852	1,90	252	0,155
Argilă galbenă		1,92	320	177	614	1596	2,50	442,5	
Argilă marnoasă		2,01	918	510	5334	13868	5,80	3590	

**Tabelul 2.** Caracteristici dinamice –Metoda orizontală

Denumire strat	Foraj	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Vp [m/s]	Vs [m/s]	G* [daN/cm <sup>2</sup> ]	E* [daN/cm <sup>2</sup> ]	h <sub>i</sub> [m]	Vs h <sub>i</sub>	T [s]
Sursă de șocuri									
Argilă nisipoasă	F <sub>1</sub>	1,78	243	135	330	860	1,20	162	0,132
Praf nisipos		1,87	198	110	230	598	1,70	187	
Argilă prăfoasă		1,89	486	270	1406	3655	1,50	405	
Argilă marnoasă		1,98	936	420	3564	9266	6,00	2520	
Nisp argilos	F <sub>2</sub>	1,80	201	112	230	598	1,40	156,8	0,177
Nisp prăfos		1,84	171	95	170	442	2,00	190	
Argilă prăfoasă		1,83	396	220	904	2350	1,30	286	
Argilă marnoasă		2,00	1026	470	4508	11720	5,70	2679	
Praf argilos	F <sub>3</sub>	1,82	288	160	475	1235	1,90	304	0,130
Argilă galbenă		1,92	378	210	864	2246	2,50	525	
Argilă marnoasă		2,01	1115	619	7858	20430	5,80	2958	
Sursă de vibrații sinusoidale									
Argilă nisipoasă	F <sub>1</sub>	1,78	287	157	447	1151	1,20	188,4	-
Nisp argilos	F <sub>2</sub>	1,80	222	132	327	795	1,20	158,4	-
Praf argilos	F <sub>3</sub>	1,82	320	183	628	1573	1,90	347,7	-

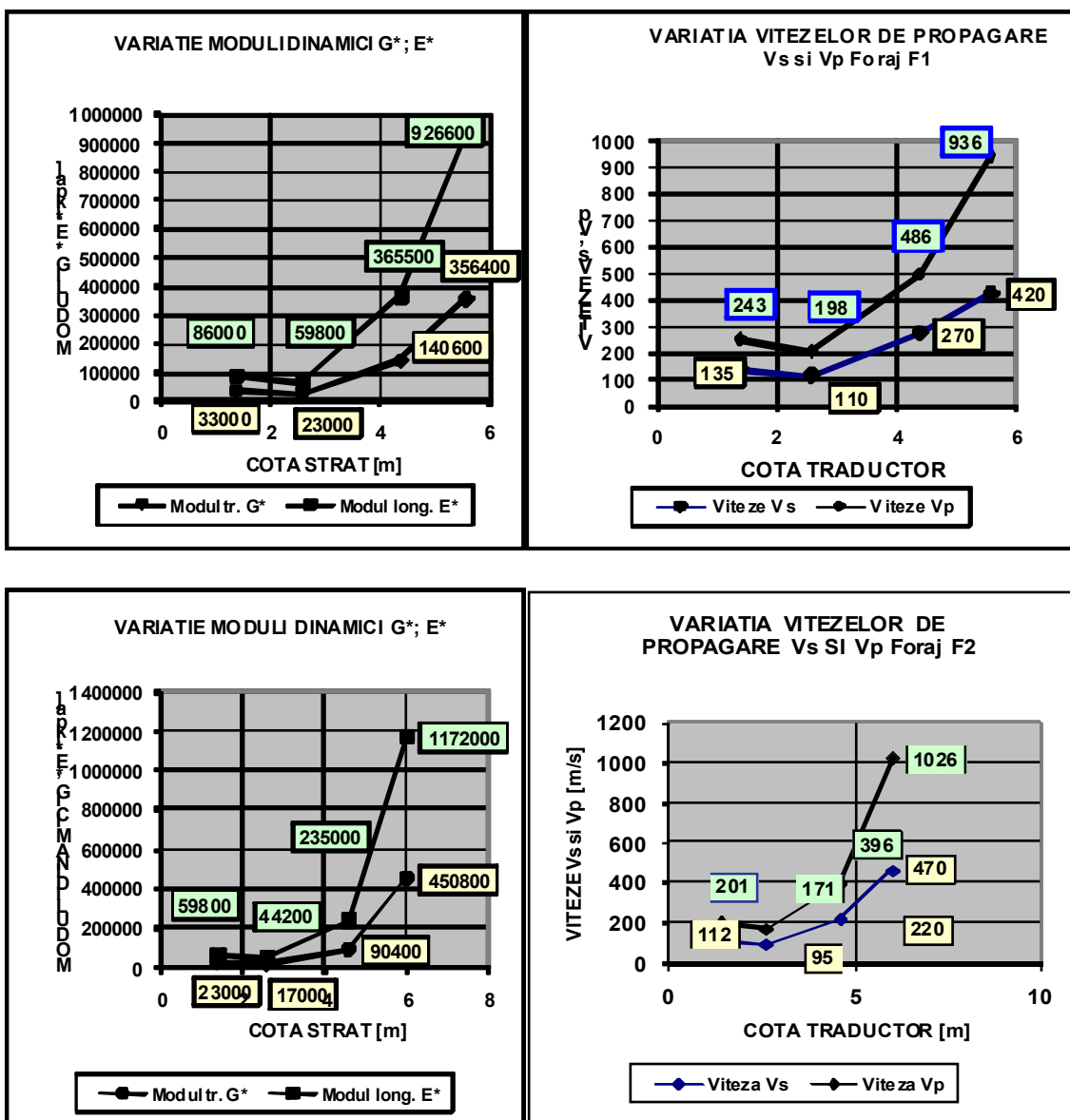
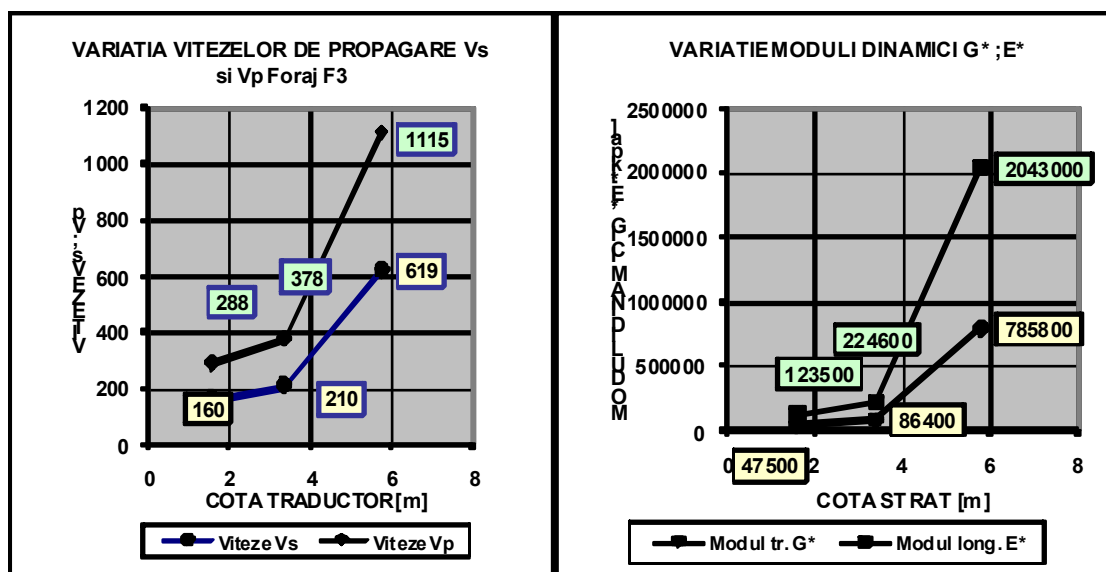


Fig. 5. Diagrame de variație pe adâncime - metoda orizontală (sursă șocuri)



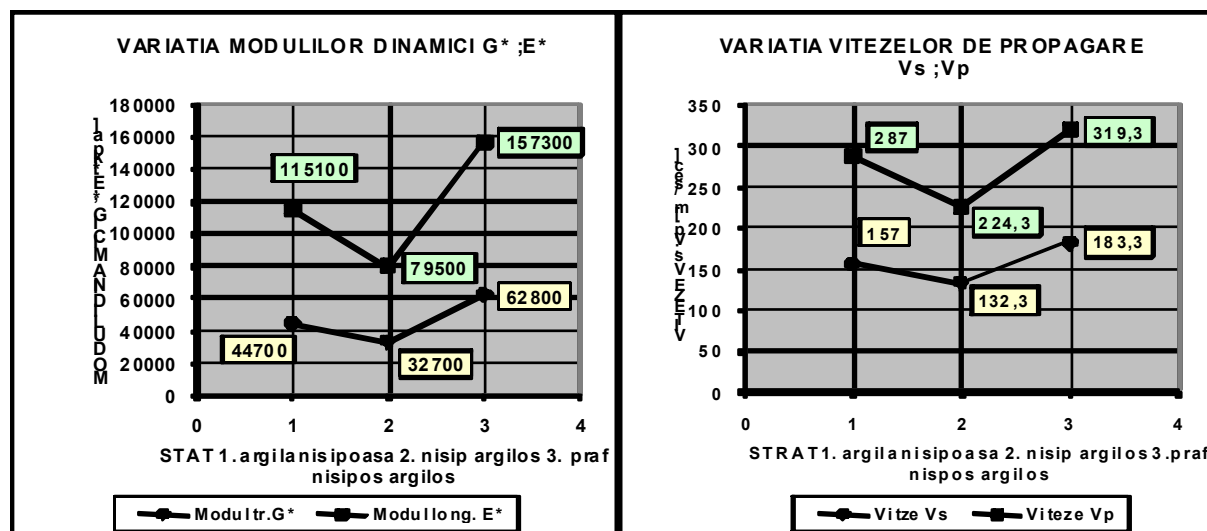


Fig. 6. Diagrame de variație –metoda orizontală (strat 1) –vibrații