

# STUDIU GEODINAMIC PENTRU EVALUAREA IMPACTULUI CLĂDIRILOR ÎNALTE ASUPRA ZONELOR ÎNVECINATE, ÎN CAZ DE SEISM

– Studiu de caz pentru Municipiul Timișoara –

Marin MARIN <sup>1</sup>, Octavian ROMAN <sup>2</sup>

## REZUMAT

În lucrare se prezintă condițiile geologice și geotehnice de pe terenul Municipiului Timișoara, care caracterizează comportarea terenului la sollicitări statice și dinamice. Sunt analizate elementele de interacțiune dintre construcție și teren în regim dinamic și efectele clădirilor înalte asupra construcțiilor învecinate cu număr redus de niveluri.

*Cuvinte cheie:* Condiții de fundare a amplasamentului Timișoarei, microzonare seismică, răspunsul dinamic al fundațiilor, zonă de influență geodinamică

## ABSTRACT

In this paper are presented the geological and geotechnical conditions in the area of Timisoara, which characterize the behavior of the soil at static and dynamic stress. The elements of interaction between the building and the grounding soil are being analyzed and also the effects of tall buildings above nearby small buildings.

*Keywords:* foundation conditions of the site Timisoara, seismic micro zones, dynamic response of the foundations, geodynamic influence zone

## 1. Date generale

Analiza condițiilor geologice și geotehnice dintr-un teritoriu reprezintă o direcție esențială pentru perfecționarea normativelor de calcul și de confirmare a construcțiilor amplasate în zone seismice.

Municipiul Timișoara este amplasat în Câmpia Banatului și este străbătut de Canalul Bega. În general, partea din sudul Canalului Bega până în apropierea de râul Timiș este alcătuit din pământuri nisipoase, în multe zone cu grad redus de îndesare și nivel ridicat al apei subterane.

Partea cea mai înaltă, spre nord, este caracterizată de condiții de teren mai tare, predominant argilos.

Partea superioară a cuaternarului-holocenul acoperă zona Municipiului Timișoara pe o grosime de 10... 20 m, reprezentând acumulările aluvionare constituite din pietriș, nisipuri și argile în general nisipoase și prăfoase.

Grosimea straturilor de teren care trebuie considerate la evaluarea caracteristicilor dinamice ale pământului în diferite amplasamente din oraș de circa 120...150 m până la stratul de microgresie cenușie cu ciment argilos.

## 2. Condiții geotehnice

Condițiile de fundare pe amplasamentul Timișoarei sunt corect ilustrate de harta geotehnică (fig. 1.) în care se disting următoarele zone caracteristice:

1. Zona de sud a orașului este dominată de nisipuri fine-prăfoase, nisipuri fine și mijlocii de grosime minimă 6,0 m, la care se adaugă o serie de „insule”, amplasate atât în estul cât și în sud-vestul localității. Nivelul apei subterane este ridicat, ajungând până la 1...2 m față de nivelul terenului. Existența pe zone întinse a nisipurilor

---

<sup>1</sup>Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Construcții și Economia Construcțiilor – INCERC, Sucursala Timișoara, Romania.

<sup>2</sup>Universitatea „Politehnică” din Timișoara, Facultatea de Construcții, I.G.C.C.T.

fine (uniforme) și nivelul ridicat al apei subterane, în cazul unor cutremure puternice, sunt posibile fenomene de „lichefiere”, cu efecte deosebit de grave asupra construcțiilor din amplasament. De asemenea, în cazul nisipurilor afânate sunt posibile tasări instantanee diferențiate cu efecte negative asupra rezistenței și stabilității construcțiilor.

2. Zona din nordul și parțial vestul orașului este dominată de argile prăfoase pe grosimi ce depășesc 10,0 m, caracterizată printr-o omogenitate relativ bună. Nivelul apei subterane este coborât.

3. Pe amplasamentul Timișoarei sunt mai multe zone cu succesiuni de argile și nisipuri, sub forma unor lentile de nisip în straturi de nisip. Caracteristica acestor terenuri este neomogenitatea accentuată și nivelul ridicat al apei subterane, reprezentând un risc mărit pentru construcții în cazul acțiunilor seismice.

4. Zone cu umpluturi de grosime mare, cuprinsă între 3...6 m situat în interiorul și în jurul zidurilor cetății, executate pe fondul unor bălți și vechi albii (brațe) ale Begheiului, înainte de asanarea și construcția canalului Bega. Gradul de compactare și neomogenitate a umpluturilor conduc la un risc seismic ridicat.

### 3. Elemente care caracterizează comportarea terenului la solicitări dinamice pe amplasamentul Timișoarei

Pe baza forajelor de adâncime pentru prospecțiuni hidrogeologice și a forajelor geotehnice, pe amplasamentul Timișoarei au fost evidențiate condiții de teren diferite, ilustrate de cele două profile de teren (fig. 1.) și datele din Tabelul 1.

Spectrele de răspuns pentru accelerații rezultate din înregistrările bănățene au ordonatele spectrale maxime în spectrele de accelerații pentru perioade sub 0,5 s ( $\approx 0,25$  s) pentru profilul predominant nisipos din sudul Timișoarei (sud de Canalul Bega, înregistrările prelucrate de la stațiile Fabrica de Tramvaie și IAEM).

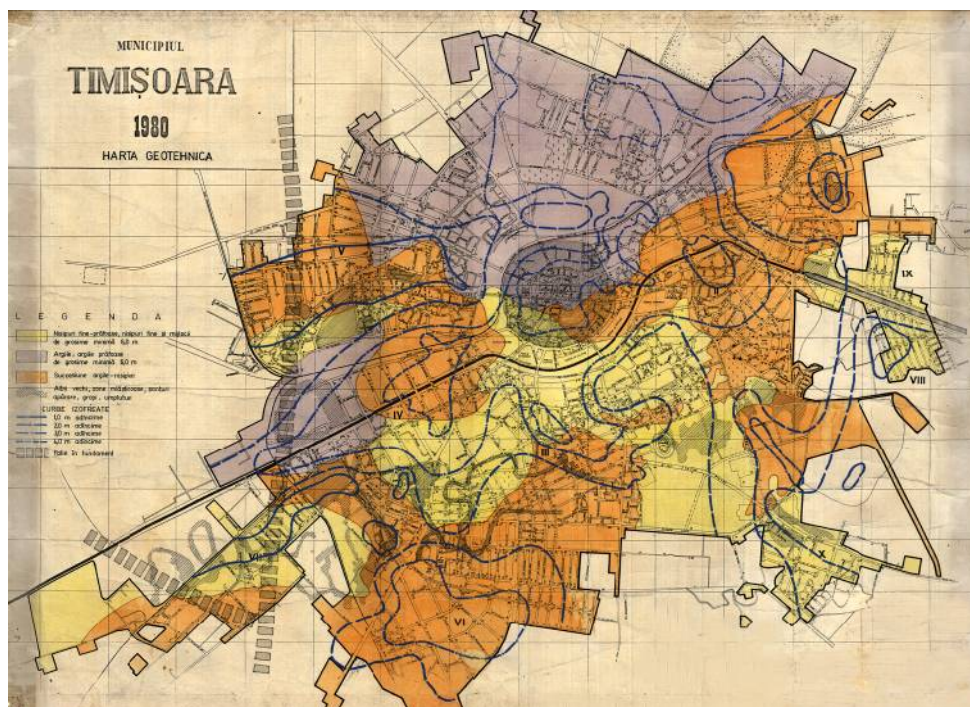
Pentru zona cu terenuri din nordul Timișoarei este posibil ca spectrele de accelerații să aibă ordonatele maxime pentru perioade mai mari de 0,5 s.

**Tabelul 1.**

*Structura granulometrică pentru diverse foraje*

| Adâncime de forare [m] | ISIM |     | CET |     | UTT |     | UMT |     |
|------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                        | A %  | N % | A % | N % | N % | N % | N % | N % |
| 50                     | 32   | 68  | 33  | 67  | 80  | 20  | 86  | 14  |
| 100                    | 47   | 57  | 48  | 52  | 77  | 23  | 81  | 19  |

A – argilă; N – nisip



**Fig. 1.** Harta geotehnică a Timișoarei (Marin, 2004)

Datele actuale, din cercetări similare, ne arată că ultimii 50...60 m de la suprafața terenului sunt hotărâtori în definirea amplasamentelor din oraș în ambele situații (zone preponderent argiloase sau nisipoase).

1. Profilul de teren predominant argilos (80 % ... 86 %) în nordul Timișoarei (Calea Torontalului-Calea Aradului-Calea Lipovei);
2. Profilul de teren predominant nisipos (67 %...80%) din zona a canalului Bega.

Pe baza forajelor geologice de care dispunem (peste 50) și a prospecțiunilor geotehnice de pe amplasamentul Timișoarei se pot aprecia următoarele:

- 50...60 m grosimea straturilor care definesc caracteristicilor de comportare a terenului la solicitări dinamice (mișcări seismice);
- densitatea medie a terenului  $\rho = 1,9 \dots 2,0 \text{ g/cm}^3$ ;
- viteza undelor  $V_p = 350 \text{ m/s}$  și  $V_s \cong \cong 200 \text{ m/s}$ ;
- fracțiunea din amortizarea critică  $D = 12 \%$  pentru nisipuri și  $8 \%$  pentru argile, în cazul cutremurelor bătășene  $\gamma = 10^{-2} \dots 10^{-1} \%$ .

Conform datelor de mai sus se obțin următoarele perioade proprii:

- în cazul undelor principale P (de compresie):

$$T_t^P = \frac{4 \cdot H}{(2n-1) \cdot V_p} = \frac{4 \cdot 50}{(2n-1) \cdot 350} = \frac{0,571}{2n-1} \quad (1)$$

rezultă:

$$T_1^P = 0,571 \text{ s}, T_2^P = 0,19 \text{ s}, T_3^P = 0,114 \text{ s} \quad (2)$$

- pentru undele secundare (de forfecare):

$$T_t^S = \frac{4 \cdot 50}{(2n-1) \cdot 200} = \frac{1,0}{2n-1} \quad (3)$$

$$T_1^S = 1,0 \text{ s}, T_2^S = 0,33 \text{ s}, T_3^S = 0,20 \text{ s} \quad (4)$$

Analizând perioadele undelor seismice (P și S) se constată că acestea au un domeniu larg de manifestare de la 0,114 s la 1,0 s, în cazul discontinuității scoarței terestre fenomenul se modifică

substanțial iar prezența construcțiilor complică fenomenul de interacțiune.

Aspectul fundamental îl reprezintă acoperirea domeniului de rezonanță dintre perioadele undelor seismice, ale perioadelor terenului din amplasamentul liber și al construcției împreună cu masa de teren din zona activă din timpul cutremurului.

Rezonanța dintre perioadele undelor seismice și cele ale terenului se produce având la bază factorul de amplificare.

$$H_n = 4 / (2n - 1) \times \pi \times 1/2D \quad (5)$$

Pentru undele principale P (de compresie) în cazul zonei predominant nisipoase:

$$H_1 = \frac{4}{1,3,14} \cdot \frac{100}{2,12} = 5,30, \text{ pentru } T_1^P = 0,571 \text{ s} \quad (6)$$

$$H_{21} = \frac{4}{3,3,14} \cdot \frac{100}{2,12} = 1,77, \text{ pentru } T_2^P = 0,19 \text{ s} \quad (7)$$

Se poate spune că undele seismice cu perioade cuprinse între 0,2 s și 0,6 s vor fi amplificate la suprafața terenului cu un coeficient de 1,77... 5,3, rezultând o valoare medie a coeficientului de amplificare de 3,55. Undele cu valori mai mici de 0,2 s vor fi atenuate.

În cazul zonelor predominant argilose situate în partea de nord a Municipiului Timișoara coeficientul de amplificare va crește deoarece fracțiunea din amortizarea critică scade ( $H_{\text{argilă}} > 3,55 = H_{\text{nisip}}$ ).

Una dintre cele mai importante probleme privind proiectarea construcțiilor amplasate în zone seismice o reprezintă selectarea tipului de cutremur. Parcurgerea acestei etape deosebite presupune o cooperare multidisciplinară și corelarea datelor geotehnice, geologice, tectonice și seismotectonice, geofizice, seismologie inginerască etc, precum și evaluarea factorilor de risc.

În regiunea Banat accelerația componentei orizontale  $a_H$  și accelerația maximă reprezintă valori pentru mișcări seismice cu bandă lată și intermediară de frecvențe, având valori relative mici, sau cel mult medii, pentru perioadele de control  $T_c$  (de exemplu,  $T_c \leq 0,6 \text{ s}$ ).

Pentru studiile de perspectivă privind microzonarea seismică trebuie ținut cont că pe teritoriul municipiului Timișoara sunt cel puțin două structuri geotehnice: una în partea de sud, în care predomină nisipurile fine-prăfoase, nisipurile fine și mijlocii de grosime maximă 6,0 m, saturate și pe alocuri cu potențial de lichefiere (zona CET Timișoara) și a doua zonă în partea de nord unde predomină argilele prăfoase, cu grosimea minimă de 6-8 m.

Conform analizelor seismologice ale dalelor culese din cele mai vechi timpuri și până în prezent rezultă faptul că seismicitatea din zona Timișoarei este determinată în principal de cutremurele bănățene, și nu de cele vrâncene.

Studiul condițiilor tectonice și seismotectonice locale evidențiază faptul că în amplasamentul Timișoarei sau în imediata apropiere nu există o falie activă, care să pericliteze rezistența și stabilitatea construcțiilor existente sau viitoare, în mod excepțional.

#### 4. Factori care influențează mișcarea seismică

Principalii factori care influențează mișcarea seismică într-un amplasament (fig. 2) pot fi grupați în patru categorii: (1) factori de sursă, (2) propagarea undelor seismice, (3) factori locali de amplasament, (4) interacțiunea teren-structură. Diferențele dintre caracteristicile cutremurelor de pământ și fenomenele complexe de interacțiune dintre factorii care influențează caracteristicile finale ale unei înregistrări seismice duc la o variabilitate importantă a înregistrărilor.

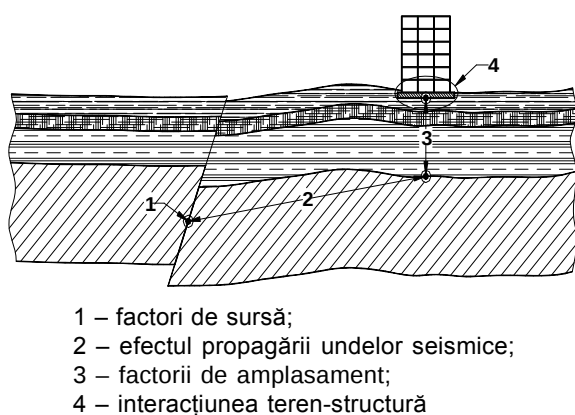


Fig. 2. Principalii factori ce caracterizează mișcarea seismică într-un amplasament

#### 5. Răspunsul dinamic al fundațiilor la mișcarea terenului de fundare

Dacă fundația construcției poate fi privită ca o placă rigidă rezemată pe un mediu elastic (terenul de fundație), aceasta are șase grade de libertate dinamică (trei translații, două rotații în plan vertical și o rotație de torsiune) (fig. 3). În prezent există soluții analitice care dau răspunsul pentru plăci circulare sau dreptunghiulare, supuse unei excitații armonice sau unui impuls instantaneu după fiecare grad de libertate, în ipoteza că tensiunile de contact cu terenul sunt aceleași ca pentru încărcările statice, independent de frecvența oscilației (Newmark și Rosenblueth, 1971). Proprietățile neelastice ale terenului, neomogenitatea diferitelor straturi, precum și ipoteze mai generale privind forma și rigiditatea fundațiilor pot fi prinse în calcul discretizând continuum-ul (terenul de fundație) prin metoda elementului finit.

Din punct de vedere practic, calculul de acest tip sunt utile în primul rând pentru determinarea caracteristicilor dinamice (echivalente) ale resorturilor și amortizorilor cu ajutorul cărora se poate modela global comportarea terenului de fundare. Este de subliniat de asemenea că, metodele de acest fel permit o evaluare directă a amortizării prin radiație.

Metodele simplificate admit înlocuirea terenului de fundare prin câte un resort și câte un amortizor vâcos acționând după fiecare grad de libertate al fundației, presupusă perfect rigidă (fig. 4). Pentru a se ține seama de faptul că fundațiile antrenează în mișcare și o masă de teren învecinat, la masa fundației se adaugă o masă corespunzătoare de teren, precizată prin înălțimea echivalentă  $H_{ech}$  (fig. 5).

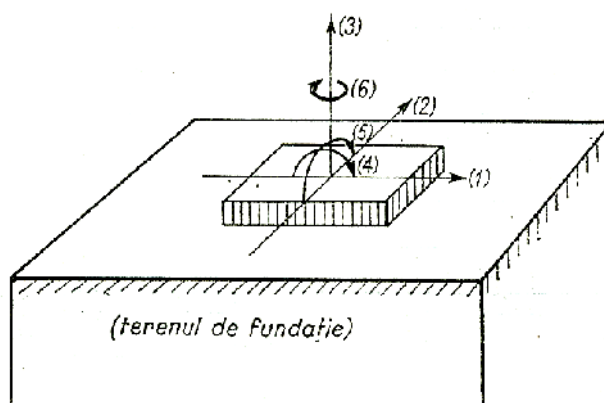


Fig. 3.

Având în vedere că după direcția fiecărui grad de libertate al fundației se dispune de trei constante (rigiditatea elastică a resortului, fracțiunea din amortizarea critică și masa echivalentă de pământ), se poate îmbunătăți modelul de calcul simplificat prin confruntarea rezultatelor cu măsurători „in situ” sau cu cele ale unor calcule bazate pe modele mai complexe.

În mod indicativ, principiile de alegere a celor trei constante ale modelului sunt următoarele:

- Constanta elastică a resortului,  $k$  (rigiditatea fundației), este determinată pentru plăci circulare și dreptunghiulare considerate ca reazeme pe un semispațiu elastic infinit.
- Constantele elastice ale terenului,  $E_p$ ,  $G_p$ ,  $\nu_p$ , sunt presupuse cunoscute. Distribuțiile presiunilor sub talpa de fundație sunt presupuse a fi cele corespunzătoare încărcări statice.
- Coeficientul de amortizare vâscoasă,  $c$ , se alege astfel încât răspunsul calculat să difere cât mai puțin de cel rezultat prin metodele „exacte”.

O corespondență directă cu coeficienții de amortizare ai terenului este dificil de făcut întrucât modelul de calcul presupune o amortizare vâscoasă atât la nivelul maselor structurii, cât și a terenului, pe când fenomenele de amortizare în teren sunt de natură frecării uscate (Coulomb). De asemenea, coeficienții de amortizare trebuie să conțină și amortizarea prin radiație a fundațiilor pe care modelul simplificat nu o poate prinde direct.

Masa adițională de pamant este mai degrabă un parametru suplimentar de corectare a rezultatelor obținute pe baza modelului simplificat. Aceasta se exprimă prin înălțimea  $H_{ech}$  a cilindrului (prisme) de pământ care are ca bază de talpa de fundație.

Pe baza unor considerente de acest fel au fost stabilite relațiile pentru calculul înălțimii prisme de pământ echivalent  $H_{ech}$ , a factorului de amortizare  $c$  și a constantei elastice  $k$  a fundațiilor circulare și dreptunghiulare în plan, redate în tabelul 2 (Newmark și Rosenblueth, 1971). Fundația circulară este considerată de rază  $R$ , iar cea dreptunghiulară de laturi  $B, L$ . Aria tălpii de fundație este notată cu  $A_f$ . Constantele elastice ale terenului de fundare sunt notate  $E_p$ ,  $G_p$ ,  $\nu_p$  – coeficientul lui Poisson, iar densitatea acestuia este notată  $\rho_p$ .

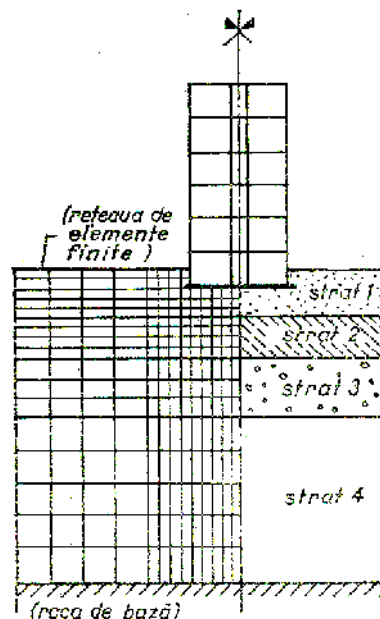


Fig. 4.

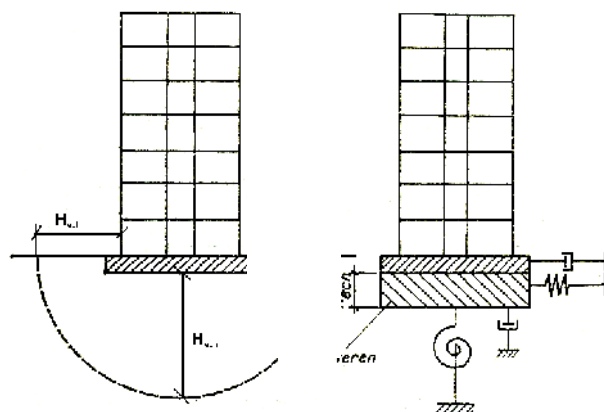


Fig. 5.

## 6. Concluzii

Aplicând relațiile prezentate în capitolul precedent pentru clădirile din amplasamentul Calea Aradului, nr. 4 din Timișoara se obțin dimensiunile maxime ale volumului de pământ ce conlucrează cu fundațiile în timpul cutremurelor ( $H_{ech}$ ).

În mod acoperitor se consideră că efectul geodinamic se manifestă în jurul construcțiilor pe o suprafață ce se extinde pe o distanță egală cu  $H_{ech}$ .

Pentru a se evita efectele geodinamice din timpul cutremurelor ale clădirilor înalte asupra celor cu număr redus de niveluri (pana la  $S + P + 4E$ ) se impune amplasarea acestora în afara zonelor de influență (egala cu  $H_{ech}$  în jurul clădirilor înalte).

În situația actuală distanța maximă a zonei de influență geodinamică este de 13,42 m. În această zonă nu se vor construi clădiri cu număr redus de niveluri (până la  $S + P + 4E$ ).

Tabelul 2.

| Gradul de libertate                    | $H_{ech}$ (cm)   | $c$ (kgf.s/cm)                 | Rigiditatea $k$ (kgs/cm)                     |                                              |
|----------------------------------------|------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
|                                        |                  |                                | Fundații circulare                           | Fundații dreptunghiulare                     |
| 1. <i>Translație verticale</i>         | $0,27\sqrt{A_f}$ | $5,42\sqrt{k\rho_t H_{ech}^3}$ | $\frac{4G_t R}{1-\nu_t}$                     | $\frac{E_t \sqrt{A_f} C_s}{1-\nu_t^2}$       |
| 2. <i>Translație în plan orizontal</i> | $0,05\sqrt{A_f}$ | $41,1\sqrt{k\rho_t H_{ech}^3}$ | $5,8\pi G_t R \frac{1-\nu_t^2}{(2-\nu_t)^2}$ | $\frac{E_t \sqrt{A_f} K_T}{1-\nu_t^2}$       |
| 3. <i>Rotire în plan vertical</i>      | $0,35\sqrt{A_f}$ | $0,97\sqrt{k\rho_t H_{ech}^5}$ | $2,7G_t R[\nu = 0]$                          | $E_t K_\phi \frac{1}{\sqrt{A_f}(1-\nu_t^2)}$ |
| 4. <i>Torsiune</i>                     | $0,25\sqrt{A_f}$ | $3,76\sqrt{k\rho_t H_{ech}^5}$ | $\frac{16G_t R^3}{3}$                        | $1,5EJK_T \frac{1}{\sqrt{A_f}(1-\nu_t^2)}$   |

Tabelul 3.

| Raportul<br>$L / B$ | $C_s$ | $K_T$         |       |       |       |       | $K_\phi$ |
|---------------------|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|----------|
|                     |       | $\nu_t = 0,1$ |       |       |       |       |          |
| 1,0                 | 1,06  | 1,00          | 0,938 | 0,868 | 0,792 | 0,704 | 1,984    |
| 1,5                 | 1,07  | 1,01          | 0,942 | 0,864 | 0,770 | 0,692 | 2,254    |
| 2,0                 | 1,09  | 1,02          | 0,945 | 0,870 | 0,784 | 0,686 | 2,510    |
| 3,0                 | 1,13  | 1,05          | 0,975 | 0,906 | 0,806 | 0,700 | 2,955    |
| 5,0                 | 1,22  | 1,15          | 1,050 | 0,050 | 0,850 | 0,732 | 3,700    |
| 10,0                | 1,41  | 1,25          | 1,160 | 1,040 | 0,940 | 0,940 | 4,981    |

Tabelul 4.

| Gradul de libertate                    | $H_{ech}$ (cm)<br>$P + 14E A_c = 830 \text{ m}^2$ | $H_{ech}$ (cm)<br>$P + 8E A_c = 1470 \text{ m}^2$ |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1. <i>Translație verticală</i>         | 777,87                                            | 1035,19                                           |
| 2. <i>Translație în plan orizontal</i> | 144,05                                            | 191,70                                            |
| 3. <i>Rotire în plan vertical</i>      | 1008,35                                           | 1341,90                                           |
| 4. <i>Torsiune</i>                     | 720,25                                            | 958,50                                            |

## BIBLIOGRAFIE

- Haida, V., Marin, M., Mirea, M., *Mecanica pământurilor*. Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2004
- Păunescu, M., Pop, V., Sillion, T., *Geotehnică și fundații*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
- Păunescu, M., Marin, M., *Soluții moderne pentru fundații directe*. Editura Facla, Timișoara, 1986
- Manoliu, I., *Fundații și procedee*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983
- Marin, M., Păunescu, M., *Sistem de izolare a construcțiilor împotriva acțiunilor dinamice și procedeu de realizare*. Brevet R.S.R., nr. 82885, 1983