Anexa nr. 9 la Contract nr. 21N 11.03/2016

Contractor: INCD Fizica Pământului

Cod fiscal : 5495458 (anexa la procesul verbal de avizare interna nr. ….....)

De acord,

DIRECTOR GENERAL

Dr.Ing. Constantin Ionescu

Avizat,

DIRECTOR DE PROGRAM

Prof.Dr. Gheorghe Mărmureanu

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: 21N 11.03/2016

Proiectul: Seismologia neliniară în caracterizarea complexă a hazardului seismic local (PN 16 35 01 04)

Faza: **II, Influența neliniarității asupra răspunsului seismic al masivului de pământ. Seismologia neliniară în studiile de hazard seismic local pentru amplasamente. Consecințe asupra proiectării construcțiilor.**

Termen: 02.10.2017

1. Obiectivul proiectului:

- Calcularea caracteristicilor dinamice ale pământurilor și rolul lor împreună cu alți parametrii (seismologici, geologici, geofizici, etc.) în evaluarea amplasamentelor;
- Evaluarea comportării stratelor și masivelor de pământuri sub acțiuni dinamice (seismice);
- Cuantificarea influenței neliniarităților parametrilor pământurilor asupra datelor de hazard local;

2. Rezultate preconizate :

- Reducerea riscului seismic, prin *reducerea pierderilor umane și materiale (atât la clădirile sociale sau industriale cât și la bunurile materiale din interiorul acestora)* în

caz de cutremur major, adoptarea unui grad superior de siguranță în proiectare. Creșterea calității vieții din zone dens populate aducând un plus de siguranță în comportarea clădirilor în caz de seism puternic și contribuind la creșterea încrederii populației în fondul locativ construit și în viitor de a face față unui cutremur puternic print-un fond locativ rezistent la seisme puternice.

- Pentru atingerea obiectivului se vor calcula date de hazard seismic local : accelerații, deplasări, viteze, spectre de răspuns, amplificări, factori de amplificare spectrală, la suprafața terenului (amplasamentului) și unde mai este cazul.

3.Obiectivul fazei:

- Studierea și explicarea influenței comportamentului neliniar al masivelor de pământ, în timpul cutremurelor, asupra răspunsului seismic al acestora.
- Seismologia neliniară în studiile de hazard seismic local pentru amplasamente.
- Consecințe a răspunsului neliniar a masivului de pământ pe care se află clădirea asupra proiectării construcțiilor.

4.Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

- Rezultate care arată influența diferitelor grade de neliniaritate a comportării pământurilor în timpul seismelor puternice asupra răspunsului masivului de pământ. Se au în vedere accelerații, spectre de răspuns, spectre de accelerații la diferite valori de amortizare.
- Variația mărimilor care definesc răspunsul masivului de pământ la seisme puternice, datorită comportării neliniare, influențează hazardul local, astfel datele primare care se au în vedere la analiza amplasamentelor. Factorul de amplificare spectrală, mărime importantă de analiză a hazardului local în condițiile seismelor cu originea în regiunea Vrancea.
- Proiectarea clasică consideră structura încastrată în amplasament, deci nu se ia în considerare influența neliniară a acestuia asupra structurii în timpul cutremurelor puternice. Condiderând interacținea dinamică dintre stratele de pământ care alcătuiesc amplasamentul cu structura, în timpul seismelor puternice, vor apărea valori noi ale accelerațiilor și eforturilor în elementele constructive, ceea ce ne propunem să analizăm.

5.Rezumatul fazei:

1. Influența neliniarității asupra răspunsului seismic al masivului de pământ.

1.1. Introducere

Proiectarea antiseismică a construcțiilor de importanță deosebită (social-culturale, adminitrative, industriale, etc.) impune utilizarea unor metode analitice de calcul care să reflecte cât mai corect complexele fenomene ce apar în interacțiunea dinamică (din timpul seismelor puternice) dintre teren și structură. Corectitudinea acestor metode analitice este strict dependentă de exactitatea modelării comportării dinamice a materialelor din amplasament.

Pentru a ilustra prezența și importanţa neliniarităţii în răspunsul seismic al masivului de pământ vom prezenta funcţiile de material: modulul transversal $G=G(\gamma)$ şi amortizarea $D=D(\gamma)$, funcție de starea de deformație γ indusă în masivul de pământ de seisme puternice.

1.2. *Influența modelării*

Este evident că neglijarea neliniarităţii sau a capacităţii de amortizare conduce la erori inadmisibile în evaluarea răspunsului dinamic al masivelor de pământ.

Pentru a se da o imagine în acest sens s-au efectuat calcule comparative (cu programul SHAKE 2000 [1]) pe un acelaşi profil de calcul exemplificat în Figura 1.1 cu acelaşi input seismic, dar modelând comportarea materialului atât cu modelul complet vâsco-elastic neliniar cât şi cu modele simplificate obţinute prin neglijarea neliniarităţii şi/sau a capacităţii de amortizare.

Astfel au fost utilizate următoarele modele :

1) Modelul vâsco-elastic neliniar (MVN), $G=G(\gamma)$; $D=D(\gamma)$,

2) Modelul elastic neliniar (MEN), $G=G(\gamma)$; $D= 0$

3) Modelul vâsco-elastic liniar (MVL) , $G = ct$, $D=ct$,

4) Modelul elastic liniar, (MEL), $G = ct$, $D= 0$

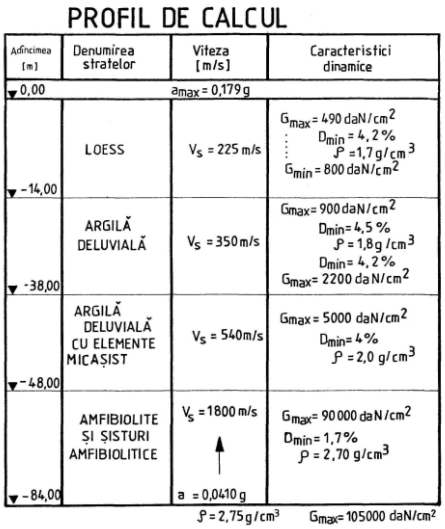


Fig. 1.1

In toate aceste exemple de calcul inputul seismic a fost acelaşi şi a constat în aceeaşi accelerogramă (cu amplitudinea maximă : a_o^{max} = 0,041 g) introdusă la nivelul rocii de bază (cota - 84,00m) din profilul de calcul din Figura 1.1.

Variaţia neliniară a caracteristicilor materialelor din straturile profilului de calcul din Fig. 1.1, modulul transversal (G) şi amortizarea (D) funcţie de starea de deformaţie a fost realizată în cadrul Institutului Naţional de C – D pentru Fizica Pământului (INCDFP) cu ajutorul coloanei rezonante Drnevich, din dotare.

Principalele rezultate obţinute sunt sistematizate în tabelele 1.1, 1.2 şi 1.3.

După cum era de aşteptat, neglijarea neliniarităţii şi a amortizării conduce la un răspuns (la nivelul solului, cota 0,00 m) artificial amplificat. Astfel, cum se vede în Tabelul 1.1. şi 1.3 în cazul folosit ca exemplu prin neglijarea neliniarităţii (modelul MVL) acceleraţiile maxime cresc cu aproximativ 12 %, faţă de MVN, amplificarea H(iω) cu 33 % (Tabel 3); prin neglijarea amortizării (Model MEN), a_{max} creşte cu 22 % şi H(iω) cu 52 % faţă de MVN, iar neglijând ambele caracteristici (Model MEL) se obţin creşteri şi mai pronunţate: a_{max} cu 32 % şi H(iω) cu 95% faţă de modelul MVN.

De asemenea se observă că neglijarea neliniarităţii conduce şi la o modificare a perioadei fundamentale a masivului de pământ.Tabelul 1.3.

Este evident că aceste modificări artificiale ale răspunsului dinamic al masivului de pământ antrenează erori în evaluarea răspunsului dinamic al structurii pe care masivul o suportă, structură ce interacţionează cu acest masiv. Astfel schematizând structura fundată pe masivul analizat Fig. 1.1, printr-un pendul echivalent [2] cu o amortizare proprie D=5%, în Figura 1.2,

rezultă valorile spectrale maxime ale aceeleratiilor absolute S_a(g) ale vitezelor relative S_v(m/s) din Tabelul 1.2, valori rezultate în urma modelarii materialelor din amplasament cu modelele amintite mai sus. Din acest tabel rezultă că modelarea simplificată a răspunsului dinamic al pământurilor din amplasament conduce la erori în evaluarea răspunsului structural, erori ce pot depăşi procentul de l00 %.

De exemplu în cazul valorilor spectrale S_a, S_v, (D=0%), neglijarea neliniarităţii conduce la erori de ordinul a 84 %, iar dacă se neglijează şi amortizarea, erorile cresc până la 174 %.

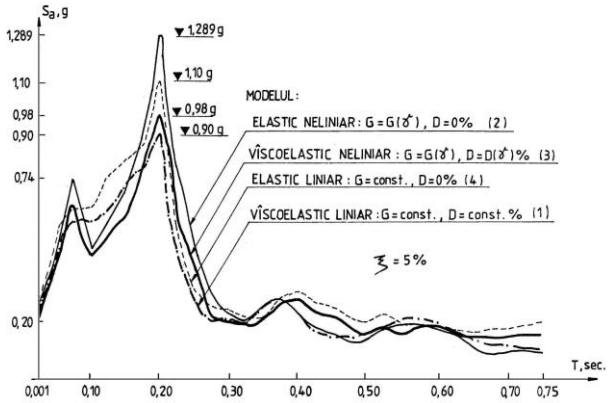


Fig. 1.2

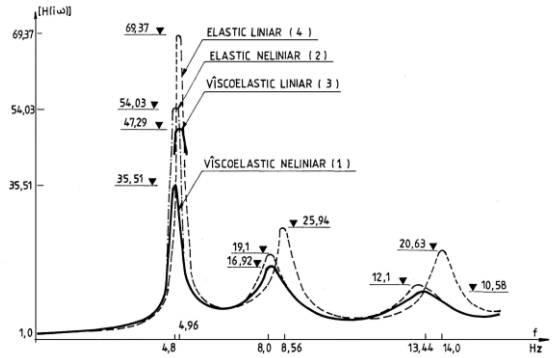


Fig. 1.3

Tabelul 1.1., Valorile acceleraţiilor maxime (a_{max})

Cota [m]	Modelul: MVN	Modelul: MEN	Modelul: MVL	Modelul: MEL
0,0 m	0,20695 g	0,25255 g	0, 23100 g	0,27127 g
-14,5 m	0,08904 g	0,11508 g	0,11509 g	0,14045 g

-38,6 m	0,08751 g	0,l0255 g	0,07463 g	0,09007 g
-49,0 m	0,08284 g	0, 09412 g	0,06762 g	0,07763 g
-64,78 m	0,06427 g	0,06993 g	0,05227 g	0,05707 g

Tabelul 1.2., Valorile spectrelor de răspuns S_a(g) şi S_v(m/s), (Fig. 1.2)

D %	Modelul: MVN			Modelul: MEN		Modelul: MVL		Modelul: MEL	
	T	S_a	S_v	S_a	S_v	S_a	S_v	S_a	S_v
0,0%	0,075	4,079	0,472	4,355	0,51	4,50	0,528	4,95	0,580
	0,200	4,292	l,330	4,550	1,44	7,88	0,245	11,77	3,650
	0,375	0,712	0 ,410	1,096	1,03	0,77	0,459	0,829	0,514
	0,075	0,648	0,067	0,760	0,07	0,69	0,061	0,534	0,069
5 %	0,200	0,980	0,306	1,289	0,37	0,90	0,298	1,l07	0,359
	0,375	0,293	0,180	0,233	0,22	0,23	0,20l	0 ,330	0,181

Tabelul 1.3. Valorile din spectrul de amplificare locală, H(iω), Fig. 1.3,

Perioada T	Modelul: MVN		Modelul: MEN		Modelul: MVL		Modelul MEL	
	T	H(iω)	T	H(iω)	T	H(iω)	T	H(iω)
fundamentală	0,208	35,51	0,208	54,03	0,20l	47,29	0,20l	69,37
armonică I	0,121	16,92	0,123	19,14	0,116	21,13	0,116	25,94
armonică II	0,074	10,55	0,075	12,20	0,071	15,76	0,071	20,63

2.Seismologia neliniară în studiile de hazard seismic local pentru amplasamente.

2.1. *Studii de amplasament*

Pentru studiile de amplasament la construcții publice (social-culturale, administrative, etc) și industriale de importanță majoră trebuie urmați anumiți pași pentru a ne asigura că vom construi ținând cont de toate elementele care pot influența siguranța în exploatare a viitoarei clădiri.

Analiza care va urma se referă la lucrări de construcții la care pentru siguraţă se pot realiza investigații și analize care depășesc nivelul cerut de codurile actuale.

a) Studii geologice – geotehnice detailiate. Sunt necesare pentru a stabili parametrii fizici și chimici ai terenurilor de fundare. Se stabilește roca de bază, stratele de pământ până la aceasta, caracteristicile fizice ale stratelor (densitate, grosime, alcătuire, granulometrie, etc.). Se iau la cunoștiință elemente de litologie, stratigrafie, hidrologie și structura geologică de adâncime a zonei respective.

b)Studii geofizice. Acestea se realizează pentru a calcula vitezele undelor P și S în stratele superficiale.

c) Studii de seismicitate. Se consultă datele din normativele de proiectare seismică la zi, dacă e cazul se verifică dacă au apărut date noi despre seismicitatea din zonă (surse noi, noi legi de atenuare, falii noi față de cele din literatură, etc.).

d)Se aplică procedurile de analiză de hazard care poate fi de mai multe feluri. În general se preferă analiza PSHA (analiza de hazard probabilist), se mai folosește analiza de hazard determinist și neodeterminist funcție de obiectiv, costuri, etc.

e) Analiza condițiilor locale de teren. Răspunsul dinamic al masivului de pământ cu un număr suficient de mare de seismograme pentru a calcula spectrele datorate mai multor seisme și din diferite puncte ale masivului de pământ. Sunt calculate funcțiile de amplificare ale masivului de pământ de la roca de bază la suprafață pentru mai multe inputuri seismice.

2.2. Factorul de amplificare spectrală

2.2.1. Definirea factorului de amplificare spectrală.

Factorul de amplificare spectrală (FAS) este legătura dintre hazardul seismic, efecte seismice locale și comportarea neliniară la cutremure a pământurilor (de fundare a clădirilor). Metoda factorului de amplificare spectrală aplicată regiunilor cu sedimente groase de Quaternar ne va oferi o dovadă a dependenței neliniare a FAS, datorită condițiilor locale de teren, cu magnitudinea. [2].

Se pornește de la un sistem oscilant linear cu un grad de libertate, de masă m, rigiditate k, amortizare ζ, supus la o accelerație la bază $\ddot{a}(t)$, ori la o deplasare absolută a(t) la bază.

Valorile maxime absolute a cantităților x(t) (deplasare), $\dot{x}$(t) (viteză) și $\ddot{y}$(t) (accelerație) care se regăsesc ca răspuns în timpul unui cutremur sunt definite după cum urmează :

$$S_d = |x(t)|_{max} ; \quad S_v = |\dot{x}(t)|_{max} ; \quad S_a = |\ddot{x}(t)|_{max} \qquad (2.1)$$

Cantitățile S_a, S_v și S_d funcții ale perioadei fundamentale de vibrație ne amortizată $T = 2\pi/\omega$ pentru diferite valori de amortizare critică (β = 0%, 2%, 5%, 10%, 20% etc.) se numesc în mod obișnuit răspunsuri spectrale datorită unui cutremur.

Raportul valorilor spectrale maxime de accelerații - S_a, de viteze - S_v și de deplasări - S_d din spectrele de răspuns pentru o fracține din amortizarea critică cu valorile maxime de accelerații $\ddot{y}(t)$, de viteze $\dot{x}(t)$ și respectiv de deplasări x(t), cum au fost ele obținute din procesarea

înregistrărilor seismice, este numit *factorul de amplificare spectrală* pentru accelerații absolute (FAS_a), [2,3].

$$FAS_a = \frac{S_a^{max}}{a_{max}} \quad ; \text{unde } a_{max} = \ddot{y}(t)_{max} \qquad (2.2)$$

pentru viteze relative (FAS_v)

$$FAS_v = \frac{S_v^{max}}{v_{max}} \quad ; \text{unde } v_{max} = \dot{x}(t)_{max} \qquad (2.3)$$

și respectiv deplasări (FAS_d)

$$FAS_d = \frac{S_d^{max}}{d_{max}} \quad ; \text{unde } d_{max} = x(t)_{max} \qquad (2.4)$$

2.2.2. Exemplificarea factorului de amplificare spectrală, (FAS)

Pentru exemplificarea acestei propagări seismice neliniare în medii sedimentare groase de Quaternar vom folosi datele de la câteva stații seismice din zona orașului București : INCERC și Panduri. [2,3,4].

Tabel 2.1 București- Stație seismică INCERC.

Seism	a_{max} [cm/s^2] înregistrat	S^a_{max}[cm/s^2] β=5%	$(FAS)_a$	c	S_a^* [cm/s^2] β=5%	a^* [cm/s^2]
4 martie 1977, M_W=7.4	206,90	650	3,14	1,079	700,98	223,24
30 august 1986 M_W=7.1	96,96	255	2,63	1,292	329,46	125,27
30 mai 1990 M_W=6.9	66,21	225	3,39	1,000	225,0	66,21

Tabel 2.2. București- Stație seismică Panduri.

Seism	a_{max} [cm/s^2] înregistrat	S^a_{max} [cm/s^2] β=5%	$(FAS)_a$	c	S_a^* [cm/s^2)] β=5%	a^* [cm/s^2]
30 august	89.4	295	3.30	1.469	446.36	135.26

1986 M_W=7.1						
30 mai 1990 M_W=6.9	131.3	590	4.49	1.080	653.78	145.61
31 mai 1990 M_W=6.4	33.0	160	4.85	1.000	160.00	33.00

În tabelele 2.1și 2.2, avem următoarele mărimi :

- a_{max} reprezintă *accelerația maximă înregistrată* corespunzând seismelor din coloana 1 și la care corespunde:
- spectrul de răspuns S^a_{max} la amortizarea de 5%,
- factorul de amplificare spectrală, coeficientul c (care este raportul FAS a seismului din 30 sau 31 mai 1990 cu FAS corespunzător seismelor mai puternice, Vrâncene în cazurile studiate);
- S_a^* este accelerația spectrală maximă ;
- a^* este accelerația maximă dacă am avea un răspuns linear la frecvența fundamentală la fiecare site considerat.

Cutremurul din 30 și 31 mai 1990 fiind cel mai slab dintre cele importante, la care avem înregistrări seismice, am considerat că putem avea un răspuns linear. Multiplicând coeficientul c cu a_{max} pentru fiecare eveniment puternic rezultă a^* (accelerații) și după multiplicând cu SAF conform formulei (2.2) rezultă S_a^*. După cum se vede valorile a^* sunt crescătoare în comparație cu valorile de accelerații înregistrate și *coeficientul c este o măsură a răspunsului neliniar al sitului.*

Totodată se observă că factorul de amplificare spectrală are o comportare neliniară cu magnitudinea seismelor. [2,5]. Acest lucru poate fi observat din Tabelul 2.3 (unde sunt prezentate valori medii ale factorilor de amplificare spectrală pentru trei cutremure puternice din Vrancea în secolul XX).

Tabelul 2.3

Amortizare/ seisme	30 August 1986; M_W= 7.1	30 mai 1990; M_W= 6.9	31 mai 1990; M_W= 6.4
β%	$(FAS)_a$ $(FAS)_v$	$(FAS)_a$ $(FAS)_v$	$(FAS)_a$ $(FAS)_v$
2%	4,74 3,61	5,58 3,72	6,22 4,84
5%	3,04 2,69	3,98 2,95	4,76 3,48
10%	2,43	2,56	2,92

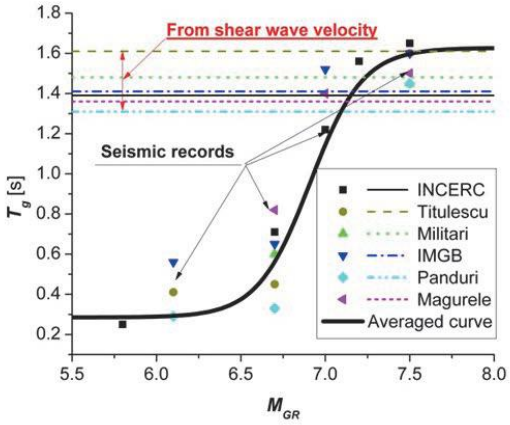
	2,99	2,14	2,69
20%	1,78 1,5	1,82 1,58	2,13 1,86

3. Consecințe asupra proiectării construcțiilor.

Comportarea neliniară a straturilor de pământ în timpul seismelor puternice influenţeză inputul seismic de la suprafață, efectul fiind de filtrare a undelor seismice, crescând amplitudinea în unele domenii de frecvențe și micșorându-le în altele.

În continuare se vor analiza câteva efecte ale neliniarității răspunsului masivului de pământ asupra comportării construcțiilor din timpul seismelor puternice.

3.1. Variația neliniară a perioadei proprii a masivului de pământ cu magnitudinea,



Fig, 3.1. Variația neliniară a perioadelor naturale a depozitelor de pământ cu magnitudinea

În urma înregistrărilor a mai multor seisme din diferite locații, din București s-a construit Fig, 3.1. Înregistrările fiind numai pe teritoriul metropolei București nu avem variații majore în geologia locală.

Cum se vede din figura 3.1 perioada proprie a masivului de pământ are o variație crescătoare neliniară funcție de magnitudinea seismelor, Perioada proprie a masivului de pământ de sub stații, T_g , nu are o valoare unică, este funcție de magnitudine, În figură sunt perioadele a mai multor amplasamente din București : INCERC, Titulescu, Militari, IMGB, Panduri și Măgurele, acestea acoprind o suprafață importantă din oraș, la seisme de magnitudini diferite [6].

Această variație neliniară a T_g are o importată deosebită asupra siguranței construcțiilor, mai ales la seisme puternice, acestea putând-se suprapune cu perioada fundamentală a construcției, ajungând la rezonanță, ceea ce poate duce la degradări ne-structurale, structurale până la distrugerea acesteia, în cazuri rare.

3.2. *Variația neliniară a PGA (Peak Ground Acceleration) cu magnitudinea*

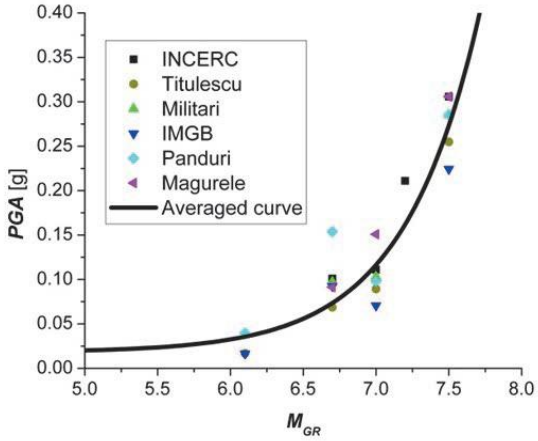


Fig. 3.2. Variația neliniară a PGA cu magnitudinea

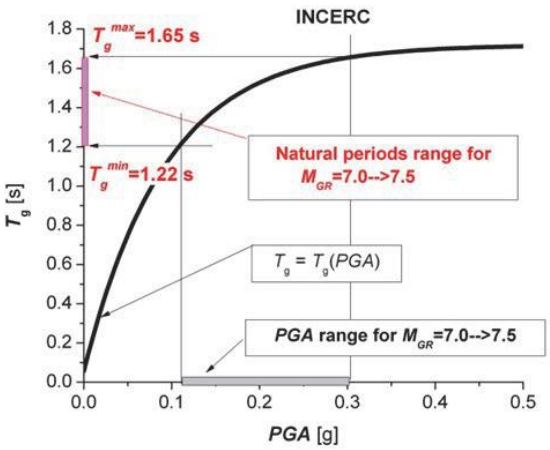
Folosind aceleași înregistrări seismice ca la paragraful anterior pe aceleași stații din metropola București se constriește Fig.3.2.

Figura 3.2 ne confirmă neliniaritatea comportării masivului de pământ la seisme puternice care duce la o variație neliniară a PGA funcție de magnitudine seismelor.

3.3. *Corelația neliniară dintre PGA și perioada de oscilație a terenului*

Un rol important în apariția rezonanței dintre structură și terenul de fundare aparține nivelului de încărcare seismică (subliniat în termeni de magnitudine sau PGA), deoarece numai evenimentele puternice (cu $M_{GR} > 7$ în cazul seismelor din regiunea Vrancea) pot conduce la daune structurale importante, Astfel, pentru evitarea rezonanței în condiții de siguranță, este necesar să se definească pentru fiecare amplasament un interval de valori a perioadei naturale care să corespundă cutremurelor puternice, În intervalul de magnitudine $M_{GR} = 7 – 7,5$, care sunt considerate valori distructive, corespunzând cutremurelor din Vrancea, cea mai mare valoare fiind magnitudinea maximă așteptată [4], cu valori PGA atribuite de aproximativ ~ 0,1g până la 0,3g, în aceste condiții perioadă naturală periculoasă fiind cuprinsă între 1,22s și ~ 1,65s [6] pentru site-ul INCERC, Recomandarea este de a evita construirea imobilelor cu aceste caracteristici de frecvanță, care ar putea duce la rezonanță.

În figura 3.3 se definește o zonă periculoasă de rezonanță pentru amplasamentul INCERC, [6] .



Fig, 3.3. Zonă periculoasă de rezonanță

Curba $T_g = T_g$ (PGA) din Fig. 3.3. pentru situl INCERC s-a realizat astfet [7] :

- S-a realizat profilul geotehnic al sitului INCERC având datele specifice fiecărui strat de pământ;
- Pentru fiecare strat de sol s-au construit curbele de variație a modulului transversal G = G(γ) și amortizării D = D(γ) cu ajutorul coloanei rezonante;
- Prin metoda simulării numerice s-au calculat funcțiile $T_n^i = T_n^i$ (PGA) pentru fiecare strat *i*;
- Pentru calcularea perioadei naturale medii a întreg masivul de pământ constituit din *i* strate cu grosime h_i aplicăm formula :

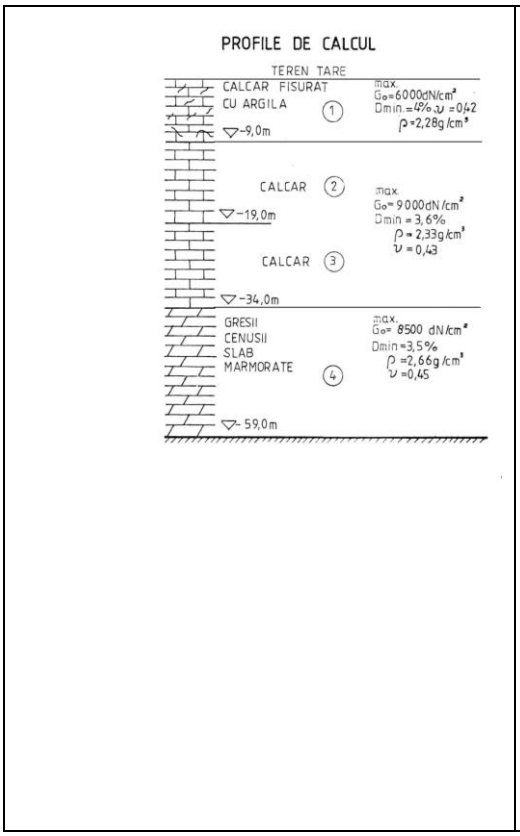
$$T_n^{av}(\mathrm{PGA})\,\big|_{\mathrm{PGA=ct}} = \sum h_i\, T_n^i(\mathrm{PGA})\,\big|_{\mathrm{PGA=ct}} \,/\, \sum h_i$$

T_n^{av} s-a notat cu T_g .

3.4. *Influența neliniarității asupra eforturilor din structură*

Pentru exemplificare vom considera un turn metalic cu înălțimea de 40m cu subsol, fundații, etc., cu profil geotehnic de calcul în Fig. 3.4 și turnul în Fig. 3.5.

Cutremurul de calcul folosit este sub forma spectrului de răspuns de proiectare pentru o fracţiune critică de amortizare de 5%, Spectrul folosit la exemplu este de forma prezentată în Fig. 3.4 dreapta, inputul seismic a fost acelaşi în toate variantele folosite.



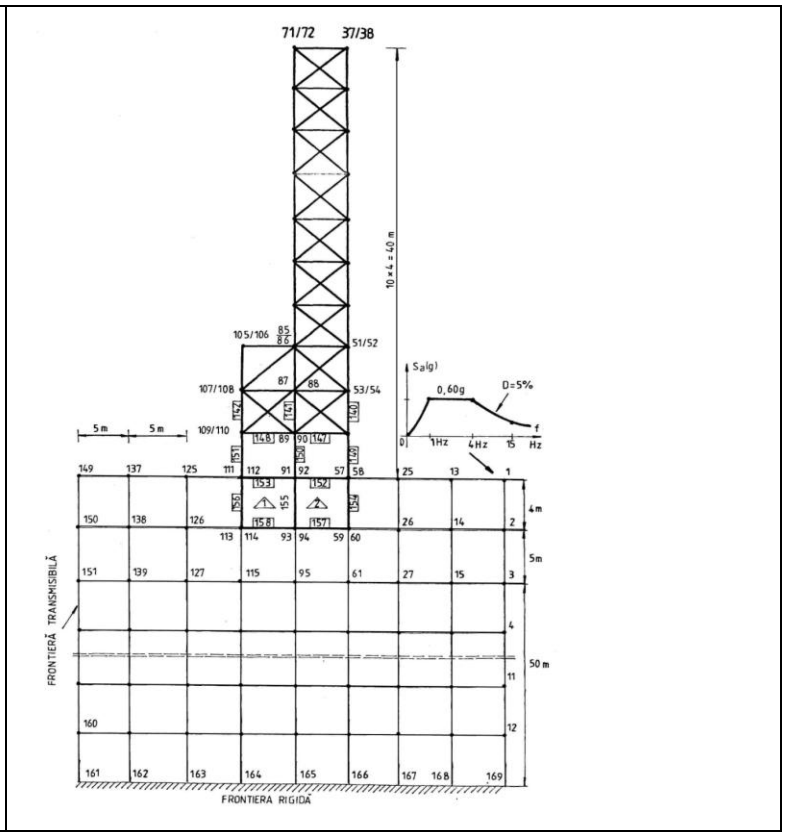


Fig 3.4 Fig. 3.5.

3.4.1. Structura încastrată în terenul de fundare

Primele calcule le vom face pentru structura încastrată în terenul de fundare cu programul SAP, rezultând următoarele valori caracteristice :

- perioada de vibraţie în modul 1 : 0,65 secunde;
- perioada de vibraţie în modul 2 : 0,198 secunde;
- deplasarea orizontală a nodului 71 : 0,l0l m ;
- acceleraţia orizontală a nodului 71 : 1,04 g;
- acceleraţia orizontală a nodului 85 : 0,39 g;
- acceleraţia orizontală a nodului 89 : 0,22 g;
- eforturile M (moment), N (forţă axială),T (forţă tăietoare) în barele structurii: 140, 141, 147, 149, 150 și 151 sunt date în Tabelul 3.1. Aceste elemente ale structurii au fost ales pentru rolul lor important în menţinerea stabilităţii structurii.

Tabelul 3.1. Eforturile M (moment), N (forţă axială),T (forţă tăietoare) în barele turnului metalic încastrat în teren

Bara	M_{ij} (KNm)	M_{ji}(KNm)	N_{ij}(KN)	T_{ij}(KN)
140	171,6	66,5	5739	33,1

141	71,5	17l,0	3994	29,9
147	850,4	1083,0	290l	386,6
149	782,0	102l,0	6146	450,6
150	1773,0	1964,0	3257	934,1
151	948,0	1212,0	2952	540,2

3.4.2. Considerarea comportării neliniare a masivului de pământ în calculul eforturilor din structură

Vom repeta calcularea eforturilor din barele menționate în Tabelul 3.1 (140, 141, 147, 149, 150 și 151) consierând structura amplasată într-un teren tare, între acest teren și structură va exista o interacține sol – structură. S-a ales un teren tare (alcătuit din calcare și gresii cenușii slab marmorate) pentru a ne apropia cât mai mult de situația încastrării și a reieși cât mai clar influența comportării neliniare a depozitului de pământ în care este situat turnul.

Se folosește un model vâsco-elastic neliniar în care modulul de torsiune (G) și amortizarea (D) sunt funcții de starea de deformație γ indusă de inputul seismic, în cazul de față. Profilul geotehnic al terenului ales se poate vedea în Fig. 3.4.

Cu ajutorul coloanei rezonante Drnevich, aflată în dotarea Institutului Naţional de C-D pentru Fizica Pamântului, ”Departamentul de Cercetare – Dezvoltare – Inovare în Științele Pământului”, s-au determinat funcţiile modul de torsiune dinamică, $G = G(\gamma)$ şi funcţiile de amortizare, $D = D(\gamma)$, pentru fiecare tip de rocă (pământ) întâlnită în unul din stratele profilelor de calcul.

Calcularea sistemului teren –structură cu modelul vâsco-elastic neliniar aplicat masivului de pământ pe care se află structura a fost realizată cu programul Flush. Inputul seismic este același ca la situația încastrării structurii în teren.

În urma acestor calcule rezultă următoarele rezultate :

a) Accelerații în (g) la nodurile importante în structură :

Nodul 71 avem accelerația : 0,8700 g

Nodul 85 avem accelerația : 0,2647 g

Nodul 89 avem accelerația : 0,2266 g

b) Eforturile în aceleași bare ale structurii în care acestea au fost calculate în ipoteza încastrării acesteia în teren se pot vedea în Tabelul 3.2 în ipoteza terenului modelat vâsco-elastic neliniar :

Tabel 3.2. Eforturi în structură cu terenul modelat vâsco-elastic neliniar

Bara	$M_{ij,}$ (KNm)	$M_{ji,}$(KNm)	$N_{ij,}$(KN)	$T_{ij,,}$(KN)
140	180,4	51,9	-5396,0	5,41
141	70,7	-177,0	3533,0	-27,0
147	-472,5	-756,9	-418,0	-245,0
149	-1159,0	791,6	-5678,0	-469,0
150	1700,0	-1626,0	2469,0	-829,0
151	-1569,0	-1241,0	3357,0	-694,0

4. BIBLIOGRAFIE

1/ Gustavo A. O., SHAKE 2000, ”A Computer program for the 1-D Analysis of Geotechnical Earthquake Engineering Problems”, GeoMotions, LLC, Lacey, Washington, USA, 2012,

2/ Mărmureanu G., Mişicu M., Cioflan C., Bălan F.S., Apostol B.F., ”Nonlinear Seismology-The Seismology of the XXI Century”**,** in Lecture Notes of Earth Sciences, Perspective in Modern Seismology, vol.105, Springer Verlag, Heidelberg, Germany, pp 47-67, 2005,

3/ Cioflan C. O., Mărmureanu A., Mărmureanu G., ”The quantitative evidence of the soil nonlinear behavior during of strong Vrancea earthquakes in real/nonlinear seismology**”**, *Reports in Physics*, vol. 63, pp. 839–851, 2011,

4/ Marmureanu G. Cioflan C.O.. Marmureanu A., ”Researches on local seismic hazard(microzonation) of Bucharest metropolitan area, Microzoning maps with accelerations, fundamental periods and intensities for maximum Vrancea earthquake magnitude of 7,5 on Richter scale”, Tehnopress Ed.Iasi, 2010, ISBN: 978-974 702-809-9; 472 pages,

5/ Marmureanu G., Cioflan C.O., Marmureanu A. ”Nonlinear seismology a reality,The quantitative data”, EGU General Assembly, April 22-27,2012,Section NH4, Vienna, Austria,

6/ Bălan S. F., Apostol B. F., Bratosin D., ”Practical Consequences of the Site Natural Period Evaluation in Nonlinear Regime”, 17-th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM, Applied and Environmental Geophysics, SGEM, ISBN 978-619-7105-98-8, ISSN 1314-2704, DOI: 10.5593/sgem2017/11, p: 319-326 Albena, BG, 27,06 – 6,07, 2017.

7/ Bratosin D., Mărmureanu G., Bălan S.F., ”Resonance in the Nonlinear Site-Structure Oscillating System” , 5-th National Conference on Earthquake Engineering & 1st National Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Bucharest, Romania, June 19-20, 2014.

6.Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii şi propuneri pentru continuarea proiectului

Rezultate :

Neglijând neliniaritatea în cazul modelului vâsco-elastic liniar, acceleraţiile şi amplificările maxime cresc cu 12%, respectiv cu 33%, faţă de cele obţinute în cazul folosirii modelului vâsco-elastic neliniar; prin neglijarea amortizării din modelul elastic neliniar acceleraţiile şi amplificările cresc cu 22%, respectiv, 52%, faţă de valorile obţinute cu modelul vâsco-elastic neliniar, iar în cazul neglijării şi amortizării şi neliniarităţii din modelul elastic liniar se obţin creşteri artificiale şi mai pronunţate de 32% pentru acceleraţiile maxime şi de 95% pentru simplificările maxime faţă de acelaşi model vâsco-elastic neliniar. Perioada fundamentală a terenului suferă o modificare de numai 4%. De asemenea, neglijarea neliniarităţii conduce la

erori de circa 84% în evaluarea spectrului de răspuns (acţiune) al acceleraţiilor absolute şi vitezelor relative şi dacă se neglijează şi amortizarea, erorile cresc până la 174%.

Factorul de amplificare spectrală are o comportare neliniară invers proporțională cu magnitudinea seismelor. Coeficientul *c* este o măsură a răspunsului neliniar al sitului, rezultate care se poate vedea foarte clar în Tabelele 2.1 și 2.2 pentru câteva stații seismice din București la seismele din 1986 și 1990.

Efectul comportării neliniare a masivului de pământ în timpul seismelor puternice are rezultate concrete asupra datelor de proiectare a construcțiilor.

Necesitatea de a defini pentru fiecare site un interval de valori a perioadelor naturale corespunzător cutremurelor puternice. De exemplu, pentru site-ul INCERC, în intervalul magnitudinii M_{GR} = 7 – 7,5 cu valori PGA atribuite de aproximativ ~ 0,1g până la 0,3g recomandarea este de a evita proiectarea clădirilor cu interval de periode naturale între 1,22s și ~ 1,65s.

Eforturile în structură sunt influențate de luarea în considerare a comportării neliniare a masivului de pământ la solicitări externe, în cazul de față, seisme.

Valorile acceleraţiilor maxime în toate punctele principale ale structurii flexibile din sistemul teren-structură, pe un teren modelat vâsco-elastic neliniar sunt mai mici decât cele calculate în ipoteza încastrării structurii în teren, astfel la nodul 71 (0,87g față de 1,04 g la încastrare, cu 16,3% mai mic), la nodul 85 (0,2647g față de 0,39g la încastrare, cu 32,12% mai mic).

Urmărind eforturile (momente cap bară M_{ij}, M_{ji}, forțe axiale, N_{ij} și tăietoare, T_{ij}) din unele bare verticale ale structurii (stâlpi) (140, 141, 147, 149, 150 și 151) în ipoteza încastrării ei în teren și cea de interacțiune cu un teren modelat vâsco-elastic neliniar observăm următoarele situații foarte interesante din punct de vedere al proiectării în Tabelul 6.1:

Tabel 6.1.

		$M_{ij,}$ (KNm)	$M_{ji,}$(KNm)	$N_{ij,}$(KN)	$T_{ij,,}$(KN)
Stâlp 140	Model vâsco-elastic neliniar	180,4	51,9	-5396,0	54,1
	Structură încastrată	171,6	66,5	5739	33,1
Stâlp 141	Model vâsco-elastic neliniar	70,7	-177,0	3533,0	-27,0
	Structură încastrată	71,5	17l,0	3994	29,9
Stâlp 147	Model vâsco-elastic neliniar	-472,5	-756,9	-418,0	-245,0
	Structură încastrată	850,4	1083,0	290l	386,6
Stâlp 149	Model vâsco-elastic neliniar	-1159,0	791,6	-5678,0	-469,0
	Structură încastrată	782,0	102l,0	6146	450,6
Stâlp 150	Model vâsco-elastic neliniar	1700,0	-1626,0	2469,0	-829,0

	Structură încastrată	1773,0	1964,0	3257	934,1
Stâlp 151	Model vâsco-elastic neliniar	-1569,0	-1241,0	3357,0	-694,0
	Structură încastrată	948,0	1212,0	2952	540,2

În Tabelul sintetic 3.3 pentru stâlpii de la baza turnului în cazul considerării interacțiunii cu terenul modelat vâsco-elastic neliniar comparat cu situația încastrării se observă o paletă foarte mare de valori diferite între cele două situații, chiar eforturi inverse (cu semn schimbat) și uneori mai mari în cazul considerării neliniarității în terenul de fundare.

Stadiul realizării obiectivului fazei :

Obiectivele propuse în cadrul fazei II a proiectului **PN 16 35 01 04** au fost îndeplinite integral.

Concluzii:

S-au făcut cercetări originale privind influenţa modelării comportării mecanice a pământurilor din fiecare strat asupra răspunsului seismic al masivului de pământ, urmărind variația valorilor de accelerații la cote diferite din masiv : 0,0 m, -1,45 m, -38,6 m, -49,0 m și -64,78 m, spectrele de răspuns și de viteze (amortizări de 0% și 0,5%) și spectre de amplificare locală la mai multe armonici. Modelând comportarea materialului atât cu modelul complet vâsco-elastic neliniar G=G(γ); D=D(γ), cât şi cu modelele simplificate : elastic neliniar, G=G(γ); D= 0, vâsco-elastic liniar , G = ct, D=ct, și elastic liniar, G = ct, D= 0, obţinute prin neglijarea neliniarităţii şi/sau a capacităţii de amortizare, se observă din rezultatele prezentate mai sus că neglijarea neliniarităţii şi a amortizării conduce la un răspuns, la nivelul terenului, artificial amplificat.

Studiile de amplasament , mai ales la construcțiile publice sau industriale complexe necesită studii suplimentare opționale complexe care să asigure un grad de siguranță sporit acestora la seismele puternice.

Factorul de amplificare spectrală (FAS) este mărimea care face legătura dintre hazardul seismic, efecte seismice locale și comportarea neliniară la cutremure a pământurilor. Variațiile lui sunt specifice seismelor din regiunea Vrancea.

Masivele de pământ supuse acțiunilor dinamice (seisme) pot fi asimilate cu sisteme neliniare care sunt alcătuite din materiale cu caracteristici dinamice care depind de nivelul de încărcare dinamic și comportamentul în timpul rezonanței determină schimbări importante în proprietățile lor dinamice. Materialele site-ului au o rigiditate degradabilă în funcție de nivelul tensiunii și o creștere a nivelului de încărcare duce la o scădere a rigidității și la o creștere a valorilor perioadei naturale. Prin urmare, rigiditatea și perioada naturală sunt invers proporționale .

Perioada naturală a unui masiv de pământ variază funcție de magnitudinea seismului și de PGA și sunt direct proporționale.

Importanța conștientizării în proiectare a unui interval de magnitudini de seisme puternice periculoase pentru un grup de clădiri dintr-o localitate, care au o perioadă fundamentală aproximativ egală cu cea a sitului pe care se află.

Concluzia Tabelului 6.1 este că neliniaritatea comportării masivelor de pământ sub sarcini dinamice (seismice) trebuie luată în considerare deoarece poate da valori mai mari ori cu acține inversă în unele elemente de structură (în cazul discutat mai sus stâlpi) comparată cu rezultatele din metodele clasice care consideră structura încastrată în teren. Schimbarea semnului unui efort structural dintr-o grindă sau stâlp poate avea efecte foarte grave materializate prin fisuri importante sau chiar ruperea elementului respectiv, în timpul seismului, cu efecte negative la clădirile unde avem limite de deformații pentru siguranța persoanelor sau proceselor tehnologice.

Astfel, ținând seama în procesul proiectării de elementele descrise mai sus, se pot realiza clădiri mai sigure la acținea cutremurelor puternice Vrâncene.

Diseminare :

- Bălan S. F., Apostol B. F., Bratosin D., ”Practical Consequences of the Site Natural Period Evaluation in Nonlinear Regime”, 17-th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM, Applied and Environmental Geophysics, SGEM, ISBN 978-619-7105-98-8, ISSN 1314-2704, DOI: 10,5593/sgem2017/11, p: 319-326 Albena, BG, 27,06 – 6,07, 2017. *Lucrarea va fi indexată ISI.*
- Bălan Ș. F., Apostol F. B., ”Site Studies for Seismic Risk Mitigation in Urban Areas” 6th National Conference on Earthquake Engineering & 2nd National Conference on Earthquake Engineering and Seismology; ISSN 2559 – 3943, ISSN-L 2559-3943, p: 2010- 208; Editura: Compress Bucuresti, 14-17 June 2017, Bucharest, RO, Editura.
- Balan S. F., Apostol B. F., Ionescu C., ”Brief Overview of using nonlinear seismology in analysis of the soil deposits effects on structure location”; trimisă la World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium WMESS, Praga Septembrie 2017**.** *Lucrarea va fi indexată ISI.*
- Cioflan C.O., Radulian M., Ionescu C., Bălan S.F., Apostol F.B., ”Practical Insights on Seismic Risk Evaluation from Site-Structure Dynamic Behaviour Perspective for Bucharest Urban Area”, The 17th International Balkan Workshop on Applied Physics, IBWAP 2017, July 11-14, Constanta, Romania, (poster). *Lucrarea a fost trimeasă spre publicare, prin workshop, pentru o revistă indexată ISI din România.*

Responsabil proiect,

Dr. Ing. Ștefan Florin Bălan, CS I