

Učinak elastičnosti temelja na dinamičko ponašanje zgrade

Kanat Burak Bozdogan

Ključne riječi

zgrada,
zid,
okvir,
temelj,
dinamički proračun,
elastičnost temelja,
period oscilacija

Key words

building,
wall,
frame,
foundation,
dynamic analysis,
elasticity of foundations,
oscillation period

Mots clés

bâtiment,
mur,
cadre,
fondation,
analyse dynamique,
élasticité des fondations,
période d'oscillation

Ключевые слова

здание,
стена,
рама,
фундамент,
динамический расчет,
гибкость фундамента,
период колебаний

Schlüsselworte

Gebäude,
Wand,
Rahmen,
Gründung,
dynamische Berechnung,
Gründungselastizität,
Schwingungsperiode

K. B. Bozdogan

Izvorni znanstveni rad

Učinak elastičnosti temelja na dinamičko ponašanje zgrade

U radu se polazi od utemeljene tvrdnje da je istraživanje odnosa između tla i konstrukcije važno za realno određivanje ponašanja visokih zgrada. Predložena je približna metoda dinamičkog proračuna zgrade s nosivim sustavom od posmičnih zidova i okvira. Za određivanje perioda horizontalnih oscilacija uzeta je u obzir savitljivost temelja ispod zidova. Predložena metoda prikazana je na dva primjera, pri čemu se rezultati dobro slažu s onima dobivenim metodom konačnih elemenata.

K. B. Bozdogan

Original scientific paper

The effect of foundation elasticity on dynamic behaviour of buildings

The paper starts with the well founded assertion that the study of interaction between soil and structure is important for realistic determination of behaviour of high buildings. An approximate method for dynamic analysis of buildings, with the load bearing system made of shear walls and frames, is proposed. The flexibility of foundations under the walls is taken into account when determining periods of horizontal oscillation. The proposed method is presented on two examples, and the results obtained correspond well with the ones acquired using the finite element method.

K. B. Bozdogan

Ouvrage scientifique original

L'effet de l'élasticité des fondations sur le comportement dynamique des bâtiments

L'ouvrage commence par l'assertion bien fondée que l'étude de l'interaction entre le sol et la construction est importante pour une détermination réaliste du comportement des grands bâtiments. Une méthode approximative pour l'analyse dynamique des bâtiments, avec le système portant composé des murs de cisaillement et des cadres, est proposée. La flexibilité des fondations sous les murs est prise en compte dans la détermination des périodes de l'oscillation horizontale. La méthode proposée est présentée sur deux exemples, et les résultats obtenus correspondent bien avec ceux acquis par la méthode des éléments finis.

К. Б. Боздоган

Оригинальная научная работа

Влияние гибкости фундамента на динамическое поведение здания

В работе исходит из обоснованного утверждения, что исследование взаимодействия между грунтом и конструкцией важно для определения реального поведения высотных зданий. Предложен приблизительный метод динамического расчета здания с несущей системой из разрезных стен и рам. Для определения периода горизонтальных колебаний учитывалась гибкость фундамента под стенами. Предложенный метод показан на двух примерах с хорошим согласованием результатов с результатами, полученными методом конечных элементов.

K. B. Bozdogan

Wissenschaftlicher Originalbeitrag

Leistung der Gründungselastizität auf das dynamische Verhalten des Gebäudes

Im Artikel geht man von der begründeten Behauptung aus dass die Forschung der Verhältnisse zwischen Boden und Konstruktion für die reale Bestimmung des Verhaltens hoher Gebäude wichtig ist. Vorgeschlagen wird eine annähernde Methode der dynamischen Berechnung von Gebäuden mit Tragsystem aus Scherwänden und Rahmen. Für die Bestimmung der Periode der horizontalen Schwingungen ist die Biegsamkeit der Gründungen unter den Wänden in Betracht genommen. Die vorgeschlagene Methode ist an zwei Beispielen dargestellt, wobei die erhaltenen Ergebnisse mit den durch die Methode der endlichen Elemente gewonnenen Ergebnissen gut übereinstimmen.

Autori: **Kanat Burak Bozdogan**, Odjel za građevinarstvo, Sveučilište u Cumhuriyet-u, Turska

1 Uvod

Mnoge su metode razvijene u svrhu statičkog i dinamičkog proračuna građevina sa zidovima i okvirima. Metoda koja se najčešće primjenjuje za približne proračune temelji se na modelu kontinuuma. U literaturi su dostupne brojne studije o metodi kontinuuma: [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [9], [10], [12], [13], [14], [15], [16], [18], [19], [20], [21], [22], [24], [26], [27], [28], [29].

Kada se radi o interakciji tla i konstrukcije treba predvidjeti zajedničko djelovanje tla i konstrukcije. U literaturi nalazimo vrlo mali broj metoda u kojima se obrađuje ova tema, temeljena na modelu kontinuuma.

Oliveto i Santini [17] predložili su metodu dinamičkog proračuna konstrukcija u kojoj se rabi proračunski model kontinuiranog sustava, pri čemu se uzima u obzir uzajamno djelovanje tla i konstrukcije. Kiefer i Leger [8] predložili su metodu dinamičkog proračuna konstrukcija koja se temelji na polukontinuiranom proračunskom postupku, pri čemu se u obzir uzima uzajamno djelovanje tla i konstrukcije. Toutanji [26] analizirao je utjecaj elastičnosti temelja na statičkom proračunu sustava posmičnih zidova i predložio kontinuirani proračunski postupak.

2 Proračunski postupci

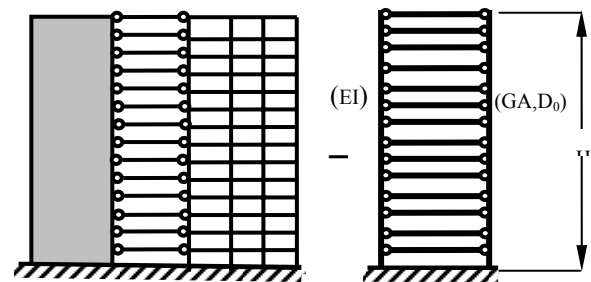
U ovom se radu predlaže približna metoda dinamičkog proračuna, koja uključuje i utjecaj elastičnosti temelja na višekatne građevine, a temelji se na kontinuiranom proračunskom postupku. Prikazane praktične tablice i odnosi za proračunske periode prikladne za dinamički proračun te stvarni odnosi masa za modalni proračun takvih građevina, temelje se na pretpostavci da su karakteristike materijala i geometrijska svojstva građevine ista po čitavoj visini.

Usvojene su sljedeće pretpostavke:

1. Materijal je linearno elastičan
2. Primjenjuje se teorija prvoga reda
3. Međukatne su konstrukcije beskonačno krute u svojoj ravnini
4. Klasična teorija štapnih sustava može se primijeniti na zidove
5. Vertikalni oslonci su ortogonalni.
6. Pretpostavljeno je da su nosivi zidovi (engl. *shear wall*) i okviri tlocrtno raspoređeni simetrično da bi se izbjegla torzija.

Pod horizontalnim se djelovanjem spojeni nosivi zidovi ne ponašaju kao Timošenkova greda niti prema Euler-Bernoullijevoj hipotezi. Ponašanje spojenih zidova ekvivalentno je ponašanju sendvičaste grede koja se

ponaša kao kombinacija Timošenkove i Euler-Bernoullijeve grede (slika 1.).



Slika 1 Fizikalni model građevine od zidova i okvira

Predložena je metoda jednostavna i dovoljno točna za primjenu na razini idejnog rješenja, a i konačnog proračuna.

U skladu s rečenim, opća jednadžba kretanja, koja pripada sustavima zid - okvir pri podudaranju težišta sa središtem posmika, može se izraziti kako slijedi:

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial z^4} - GA \frac{\partial^2 y}{\partial z^2} + \frac{m}{h} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

U jednadžbi [1] EI je ukupna elastična krutost i jednaka je sumi ukupnih elastičnih krutosti zidova i stupova, GA je ekvivalentna posmična krutost konstrukcije, a ako pretpostavimo da se nul-točke momenata nalaze u sredini stupova i grede, tada se približna posmična krutost za okvire može izraziti kao

$$GA = \frac{12}{h \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{r} \right)} \quad (2)$$

$$s = \sum_{i=1}^n \frac{EI_r}{l} \quad \text{ukupna krutost svih greda na katu}$$

$$r = \sum_{i=1}^m \frac{EI_s}{h} \quad \text{ukupna krutost svih stupova na katu}$$

m - masa konstrukcije

h - visina kata

Ako se homogena parcijalna diferencijalna jednadžba četvrtog reda rastavi, tada se pretvara u dvije homogene diferencijalne jednadžbe drugog reda:

$$Y = X(z) \cdot T(t) \quad (3)$$

$$X^{IV} - \frac{GA}{EI} X^{II} - \frac{m}{hEI} \omega^2 x = 0 \quad (4)$$

$$\ddot{T} + \omega^2 T = 0 \quad (5)$$

Rješenje jednadžbe (4) može se iskazati kao:

$$X = A \cosh(\alpha_n z) + B \sinh(\alpha_n z) + C \cos(\beta_n z) + D \sin(\beta_n z) \quad (6)$$

U jednadžbi (6) jesu

$$\alpha_n = \sqrt{\frac{\frac{GA}{EI} + \sqrt{\left(\frac{GA}{EI}\right)^2 + \frac{4mw^2}{hEI}}}{2}} \quad (7)$$

$$\beta_n = \sqrt{\frac{\sqrt{\left(\frac{GA}{EI}\right)^2 + \frac{4mw^2}{hEI}} - \frac{GA}{EI}}{2}}$$

Ako se uzme u obzir rotacija temelja, tada su rubni uvjeti, koji se primjenjuju na sustave zidova i okvira sljedeći:

$$\begin{aligned} 1) X(0) &= 0 \\ 2) k_\theta X'(0) &= EIX''(0) \\ 3) EIX''(H) &= 0 \\ 4) EIX'''(H) - GAX'(H) &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

gdje je k_θ ukupna rotacijska krutost temelja, a H je ukupna visina konstrukcije. Primjenom tih jednadžbi, jednadžba gibanja može se za rubne uvjete iskazati na sljedeći način:

$$\begin{aligned} \Delta &= 2\alpha_n^2 \beta_n^2 + (\alpha_n^4 + \beta_n^4) \cosh(\alpha_n H) \cos(\beta_n H) \\ &+ \alpha_n \beta_n (\alpha_n^2 + \beta_n^2) \sinh(\alpha_n H) \sin(\beta_n H) \\ &- f \beta_n^3 (\alpha_n^2 + \beta_n^2) \cosh(\alpha_n H) \sin(\beta_n H) \\ &+ f \alpha_n^3 (\alpha_n^2 + \beta_n^2) \sinh(\alpha_n H) \cos(\beta_n H) \end{aligned} \quad (9)$$

U jednadžbi (9) jest:

$$f = \frac{EI}{k_\theta} \quad (10)$$

Rješavanjem jednadžbe (9) dobivaju se periodi za sustav zidova i okvira:

$$T_i = s_i H^2 \sqrt{\frac{m}{(EI)h}} \quad (11)$$

gdje je s_i koeficijent ovisan o parametrima k i p za koje su izrazi:

$$k = H \sqrt{\frac{GA}{EI}} \quad p = \frac{EI}{k_\theta H} \quad (12)$$

Vrijednosti s_i za prva tri oblika vibracija iskazane su u tablici 1. Faktor redukcije je r_f [27], njime se uzima u obzir činjenica da masa građevine nije jednoliko

raspoređena po visini već je koncentrirana na razinama međukatnih konstrukcija. Vrijednosti faktora r_f iskazane su izrazom $\sqrt{n/(n+2,06)}$ gdje je n broj katova.

Iz tablice 1. se može vidjeti porast krutosti, a elastičnost temelja uzrokuje znatan porast perioda konstrukcije.

Osne se deformacije ne smiju zanemariti kod visokih i uskih građevina. Iako se ti utjecaji mogu jednostavno uzeti u obzir u diferencijalnoj jednadžbi u statičkom proračunu, oni se teže uzimaju u obzir u dinamičkom proračunu. Ipak, spomenuti utjecaji mogu se uzeti u obzir pomoću efektivne vrijednosti posmične krutosti $(GA)_{ef}$, prema Föpplu i Papkovichu [28].

Vrijedi $(GA)_{efficient} = s_j(GA)$,

gdje su:

$$s_j = \frac{f_{axial}^2}{f_{axial}^2 + f_{shear}^2} \quad (13)$$

$$f_{axial}^2 = \frac{0,313 E_c I_g h}{H^4 m} \quad (14)$$

$$f_{shear}^2 = \frac{1}{(4H)^2} \frac{GAh}{m} \quad (15)$$

I_g - krutost na savijanje stupova u horizontalnoj

$$\text{ravnini } I_g = \sum_{i=1}^n A_{column} t_i^2$$

A_{column} - poprečni presjek i-tog stupa

t_i - udaljenost i-tog stupa od težišta.

Funkcija pomaka se može iskazati kao:

$$X(z) = \begin{bmatrix} \cosh(\alpha_n z) - \cos(\beta_n z) + \frac{f(\alpha_n^2 + \beta_n^2)}{\beta_n} \sin(\beta_n z) \\ + a_n \left[\sinh(\alpha_n z) - \frac{\alpha_n}{\beta_n} \sin(\beta_n z) \right] \end{bmatrix} \quad (16)$$

gdje je:

$$a_n = \frac{\alpha_n^2 \cosh(\alpha_n H) + \beta_n^2 \cos(\beta_n H) - f(\alpha_n^2 + \beta_n^2) \beta_n \sin(\beta_n H)}{\alpha_n^2 \sinh(\alpha_n H) + \alpha_n \beta_n \sin(\beta_n H)} \quad (17)$$

Određivanje parametara značajnih za modalni proračun

Oscilacije ovisne o vremenu sustava zid-okvir nakon uzbude mogu se odrediti iz jednadžbe:

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial z^4} - GA \frac{\partial^2 y}{\partial z^2} + \frac{m}{h} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = P(x, t) \quad (18)$$

Tablica 1. Vrijednosti s za početna tri oblika vibracija, ovisne o p i k

k	p = 0,1			p = 0,2			p = 0,3		
	s ₁	s ₂	s ₃	s ₁	s ₂	s ₃	s ₁	s ₂	s ₃
0	2,1171	0,3246	0,1132	2,4048	0,3451	0,1173	2,6627	0,3575	0,1194
0,1	2,1123	0,3245	0,1132	2,3983	0,3449	0,1173	2,6542	0,3573	0,1194
0,3	2,0749	0,3235	0,1131	2,3478	0,3438	0,1172	2,5891	0,3560	0,1193
0,5	2,0061	0,3215	0,1128	2,2562	0,3414	0,1170	2,4729	0,3535	0,1190
0,9	1,8135	0,3148	0,1121	2,0079	0,3337	0,1161	2,1675	0,3450	0,1182
1	1,7607	0,3126	0,1119	1,9418	0,3312	0,1159	2,0884	0,3423	0,1179
1,5	1,5069	0,2995	0,1103	1,6336	0,3161	0,1142	1,7298	0,3259	0,1161
2	1,2945	0,2837	0,1082	1,3870	0,2981	0,1119	1,4529	0,3066	0,1137
2,5	1,1291	0,2668	0,1057	1,1982	0,2792	0,1091	1,2458	0,2864	0,1108
3	0,9988	0,2500	0,1029	1,0528	0,2606	0,1060	1,0886	0,2667	0,1067
3,5	0,8950	0,2340	0,0998	0,9383	0,2431	0,1027	0,9660	0,2482	0,1042
4	0,8106	0,2291	0,0966	0,8460	0,2270	0,0993	0,8680	0,2313	0,1006
4,5	0,7406	0,2055	0,0933	0,7700	0,2123	0,0958	0,7878	0,2160	0,0970
5	0,6817	0,1932	0,0901	0,7064	0,1991	0,0923	0,7209	0,2022	0,0933
5,5	0,6313	0,1820	0,0868	0,6522	0,1872	0,0888	0,6643	0,1899	0,0898
6	0,5877	0,1719	0,0837	0,6057	0,1765	0,0855	0,6158	0,1788	0,0864
6,5	0,5497	0,1628	0,0807	0,5651	0,1668	0,0823	0,5737	0,1688	0,0831
7	0,5161	0,1545	0,0777	0,5296	0,1580	0,0793	0,5369	0,1598	0,0800
8	0,4597	0,1400	0,0723	0,4701	0,1428	0,0736	0,4755	0,1443	0,0742
9	0,4142	0,1279	0,0674	0,4223	0,1302	0,0685	0,4265	0,1313	0,0690
10	0,3767	0,1175	0,0630	0,3832	0,1194	0,0639	0,3865	0,1203	0,0643
11	0,3453	0,1087	0,0591	0,3506	0,1103	0,0599	0,3532	0,1110	0,0602
12	0,3186	0,1010	0,0555	0,3230	0,1024	0,0562	0,3251	0,1030	0,0565
13	0,2957	0,0943	0,0524	0,2994	0,0954	0,0529	0,3011	0,0960	0,0532
15	0,2584	0,0832	0,0469	0,2610	0,0840	0,0473	0,2622	0,0844	0,0475
20	0,1961	0,0640	0,0369	0,1975	0,0644	0,0372	0,1980	0,0646	0,0373
30	0,1321	0,0436	0,0256	0,1325	0,0437	0,0257	0,1327	0,0438	0,0258
50	0,0797	0,0265	0,0158	0,0798	0,0265	0,0158	0,0799	0,0265	0,0158
60	0,0665	0,0221	0,0132	0,0666	0,0220	0,0132	0,0666	0,0221	0,0132
70	0,0570	0,0190	0,0113	0,0571	0,0190	0,0113	0,0571	0,0190	0,0114
80	0,0499	0,0166	0,0099	0,0500	0,0166	0,0099	0,0500	0,0166	0,0099
90	0,0444	0,0148	0,0088	0,0444	0,0148	0,0089	0,0444	0,0148	0,0089
100	0,0400	0,0133	0,0080	0,0400	0,0133	0,0080	0,0400	0,0133	0,0080

U slučaju seizmičke uzbude:

$$P(x, t) = -m\ddot{X}_g(t) \quad (19)$$

Ako se u jednadžbi (18) obave potrebne promjene na temelju ortogonalnosti oblika vibracija dobiva se:

$$M_j T'' + w_j^2 M_j T = P_j(t) \quad (20)$$

gdje su

$$M_j = \int_0^H \frac{m}{h} x_j^2 \quad (21)$$

$$P_j = -\int \frac{m}{h} \ddot{X}_g(t) X(j) \quad (22)$$

Primjenom tog odnosa, iz tablice 2. mogu se dobiti koeficijenti efektivnog sudjelovanja mase ovisne o parametrima k i p (12) koji su značajni za modalni proračun.

Primjenom koeficijenata efektivnog sudjelovanja mase, iz dinamičkih se odnosa mogu proračunati i druge nepoznanice u vezi s konstrukcijom.

Tablica 2. Faktor efektivnog sudjelovanja mase za različite vrijednosti p i k

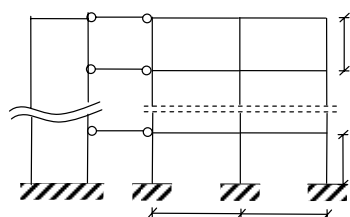
k	p=0,1			p=0,2			p=0,3		
	s ₁	s ₂	s ₃	s ₁	s ₂	s ₃	s ₁	s ₂	s ₃
2,5	0,7200	0,3600	0,0050	0,7500	0,4500	0,0003	0,7700	0,4900	0,0003
5,0	0,7560	0,2100	0,0110	0,7700	0,2500	0,0040	0,7800	0,2600	0,0020
7,0	0,7700	0,1550	0,0160	0,7800	0,1700	0,0010	0,7900	0,1700	0,0070
10,0	0,7800	0,1200	0,0230	0,7900	0,1200	0,0180	0,7980	0,1200	0,0160
15,0	0,7900	0,1000	0,0300	0,8000	0,1000	0,0260	0,8030	0,1000	0,0200
20,0	0,8000	0,0900	0,0300	0,8040	0,0900	0,0290	0,8060	0,0900	0,0200
30,0	0,8000	0,0900	0,0300	0,8100	0,0910	0,0300	0,8100	0,0920	0,0300

3 Numerički primjeri

Predložena će se metoda prikazati na dva numerička primjera. Rezultati su uspoređeni s rezultatima dobivenim programom SAP 2000.

3.1 Prvi primjer

U ovom se primjeru razmatra građevina sa zidovima i okvirima prikazana na slici 2. Karakteristične vrijednosti dane su uz sliku. Visina svakog kata je 3,0 m. Proračun slobodne oscilacije proveden je za razne brojeve katova i dobiveni su rezultati uspoređeni sa SAP 2000 (tablica 3.).



Masa svih katova
m = 2600
Stupovi 30/60
Grede 25/50
Zidovi 20/150
E = 3 x 10⁹

Slika 2. Shema konstrukcije višekatnice (1. primjer)

Tablica 3. Usporedba rezultata

Kat	Metoda	p = 0	p = 0,1	p = 0,3	Točnost (p = 0)	Točnost (p = 0,1)	Točnost (p = 0,3)
10	SAP 2000	1,04	1,07	1,09	99,05 %	95,33 %	93,58 %
	iz ove studije	1,05	1,12	1,16			
15	SAP 2000	1,69	1,74	1,75	98,22 %	98,28 %	96,57 %
	iz ove studije	1,66	1,77	1,81			
20	SAP 2000	2,42	2,46	2,48	98,35 %	98,78 %	98,39 %
	iz ove studije	2,38	2,49	2,54			
30	SAP 2000	4,16	4,21	4,22	98,08 %	99,29 %	99,76%
	iz ove studije	4,08	4,18	4,23			

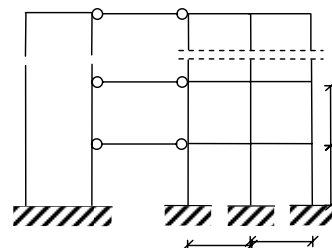
Tablica 4 Usporedba rezultata

Kat	Metoda	p = 0	p = 0,1	p = 0,3	Točnost (p = 0)	Točnost (p = 0,1)	Točnost (p = 0,3)
10	SAP 2000	0,72	0,78	0,85	95,83 %	98,72 %	0,00%
	iz ove studije	0,69	0,77	0,85			
15	SAP 2000	1,36	1,46	1,54	92,65 %	94,52 %	97,40 %
	iz ove studije	1,26	1,38	1,50			
20	SAP 2000	2,20	2,33	2,43	90,00 %	92,70 %	95,88 %
	iz ove studije	1,98	2,16	2,33			
30	SAP 2000	4,49	4,68	4,79	88,20 %	92,09 %	96,03 %
	iz ove studije	3,96	4,31	4,60			

3.2 Drugi primjer

U ovom se primjeru razmatra isti sustav zidova i okvira kao u prvom primjeru ali s različitim presjecima zidova. Karakteristične vrijednosti dane su na slici 3. Usporedba rezultata je u tablici 4.

Masa svih katova
m = 2600
Stupovi 30/60
Grede 25/50
Zidovi 30/300
E = 3 x 10⁹



Slika 3. Višekatnica od zidova i okvira (2. primjer)

4 Zaključak

U ovom radu prikazana je metoda dinamičkog proračuna pravilnog konstrukcijskog sustava sastavljenog od

zidova i okvira koji leži na elastičnoj podlozi. Ova metoda pokazuje da elastičnost temelja bitno utječe na dinamičke karakteristike građevine. Kada rotacijska popustljivost temelja oslabi, smanjuju se i prirodne frekvencije oscilacija. Primjeri pokazuju dobro slaganje s rezul-

tatima dobivenim primjenom metode konačnih elemenata. Predložena je metoda jednostavna i dovoljno točna za provedbu i za faze idejnog rješenje konstrukcije i za konačne proračune. Metoda je prikladna za primjenu na bilo kojem programu.

LITERATURA

- [1] Balendra, T.; Swaddiwudhipong, S.; Quek, S. T.; Lee, L.S.; (1984) : *Free Vibration of Asymmetric Shear Wall-Frame Buildings*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 12, pp.629-650.
- [2] Basu, A.; Nagpal, A.K.; Bajaj, R.S.; Guliani, A.; (1979): *Dynamic Characteristics of Coupled Shear walls*, ASCE, Journal of Structural Division, Vol. 105, pp:1637-1651
- [3] Boutin, C.; Hans, S.; Ibraim, E.; Roussillon, P.; (2005): *In Situ Experiments and Seismic Analysis of Existing Buildings*, Part II : Seismic Integrity Threshold, Earthquake Engineering And Structural Dynamics, 34, p:1531-1546
- [4] Geourgoussis, K.G.; (2006) : *A Simple Model For Assessing and Modal Response Quantities In Symmetrical Buildings*, The Structural Design of Tall and Special Buildings, 15, p.139-151.
- [5] Heidebrecht, A. C.; Stafford Smith, B.; (1973): *Approximate Analysis of Tall Wall-Frame Structures*, Journal of Structural Division, ASCE, 99(2), 199-221
- [6] Hoenderkamp, J.C.D.; (2001): *Elastic Analysis of Asymmetric Tall Building Structures*, The Structural Design of Tall Buildings, 10, p.245-261.
- [7] Hoenderkamp, J.C.D.; (2002) : *A Simplified Analysis of High-Rise Structures with Cores*, The Structural Design of Tall Buildings, 11, p.93-107.
- [8] Kiefer, A.; Leger, P.; (1999): *Semi Continuum Seismic Analysis of Soil-Building Systems*, Engineering Structures, 21: 332-340
- [9] Kuang, J.S.; Ng, S.C.; (2000): *Coupled Lateral –Torsion Vibration of Asymmetric Shear Wall Structures*, Thin Walled Structures 38(2), p.93-104.
- [10] Li, Gq.; Choo, Bs.; (1996): *A Continuous-discrete Approach to the Free Vibration Analysis of Stiffened Pierced Walls on Flexible Foundations*. International Journal of Solids and Structures, 33(2), pp: 249-263
- [11] Matlab V7.1 (2004): *Users Manual*, Mathworks Inc., USA
- [12] Michel, C.; Hans, S.; Gueguen, P.; Boutin, C.; (2006): *In Situ Experiment and Modelling of RC-Structure Using Ambient Vibration and Timoshenko Beam*, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 3-8 September .
- [13] Miranda, E.; (1999): *Approximate Lateral Drift Demands in Multi –Story Buildings Subjected to Earthquakes*, ASCE Journal of Structural Division, 125:No:4, p.417-425
- [14] Miranda, E.; Reyes, J.C.; (2002): *Approximate Lateral Drift Demands in Multi –Story Buildings with Non-uniform Stiffness*, Journal of Structural Division, ASCE, 128 No:7, p.840-849
- [15] Miranda, E.; Taghavi, S.; (2005) : *Approximate Floor Acceleration Demands in Multistorey Buildings*, I.: Formulation, Journal of Structural Division, ASCE , 131:No:2, p.203-211
- [16] Nollet, J.M.; Stafford Smith, B.; (1993): *Behavior of Curtailed Wall-Frame Structures*, Journal of Structural Division, ASCE , 119:No:10, p.2835-2853
- [17] Oliveto, G.; Santini, A.; (1996): *Time Domain Response of a One Dimensional Soil Structure Interacting Model Via Complex Analysis*, Engineering Structures, 18:425-436.
- [18] Potzta, G.; Kollar, L.P.; (2003): *Analysis of Building Structures by Replacement Sandwich Beams*, International Journal of Solids and Structures vol:40, pp.535-553
- [19] Rafezy, B.; Zare, A.; Howson, P.W.; (2007): *Coupled Lateral-Torsional Frequencies of Asymmetric, Three Dimensional Frame Structures*, International Journal of Solids and Structures, 44, p.128-144 .
- [20] Reionoso, E.; Miranda, E.; (2005): *Estimation of Floor Acceleration Demands in High Rise Buildings During Earthquakes*, The Structural Design of Tall and Special Buildings, 14, p.107-130
- [21] Rosman R.; (1964): *Approximate analysis of shear walls subject to lateral loads*. Proceedings of the American Concrete Institute 61(6), 717-734
- [22] Taghavi, S.; Miranda, E.; (2005): *Approximate Floor Acceleration Demands in Multistorey Buildings, II.: Applications*, Journal of Structural Division, ASCE, 131:No:2, p.212-220
- [23] Tarjan, G.; Kollar, P.L.; (2004): *Approximate Analysis of Building Structures with Identical Stories Subjected to Earthquakes*, International Journal of Solids and Structures, 41 (5-6), p.1411-1433
- [24] Stafford Smith, B.; Crowe, E.; (1986): *Estimating Periods of Vibration of Tall Buildings*, J.Struct.Eng., ASCE , 112 (5), p.1005-1019
- [25] Swaddiwudhipong, S.; Lee, L.S.; Zhou, Q.; (2001): *Effect of Axial Deformation on Vibration of Tall Buildings*, The Structural Design of Tall Buildings, 10, p.79-91.
- [26] Toutanji, H.; (1997): *The Effect of Foundation Flexibility on The Interaction of Walls and Frames*, Engineering Structures, 19(12), p 1036-1042
- [27] Wang, Y.; Arnaouti, C.; Guo, S.; (2000): *A Simple Approximate Formulation for the First Two Frequencies of Asymmetric Wall-Frame Multi-Storey Building Structures*, Journal of Sound and Vibration, 236(1), p.141-160.
- [28] Zalka, K.A.; (2001): *A Simplified Method For Calculation of the Natural Frequencies of Wall-Frame Buildings*, Engineering Structures, 23, p 1544-1555
- [29] Zalka, K.A.; (2002): *Buckling Analysis of Buildings Braced by Frameworks, Shear Walls and Cores*, The Structural Design of Tall Buildings, 11, p.197-219.