



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI
PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSORU



Fondul Social European
POS DRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
CERCETĂRII
TINERETULUI
ȘI SPORTULUI
CIPOS DRU



Universitatea
"POLITEHNICA"
din Timișoara

UNIVERSITATEA
POLITEHNICA
TIMIȘOARA
FACULTATEA DE CONSTRUCȚII



SOLUȚII DE CONSOLIDARE A CLĂDIRILOR DEGRADATE ÎN TIMP DIN CAUZE DIVERSE

- TEZĂ DE DOCTORAT –
(rezumat)

Conducător științific:

Prof. univ. dr. ing. Marin MARIN

Doctorand:

Ing. Florin-Cătălin Miron

TIMIȘOARA
2014

Tendința la nivel mondial este aceea de creștere a nivelului de siguranță al construcțiilor, conformație arhitecturală, dimensiuni urbane, importanță pentru proprietar sau pentru societate, această creștere efectuându-se în principal prin luarea în considerare a unui nivel superior, al actualului nivel de hazard la acțiunii seismice de proiectare.

Prezenta teză de doctorat este structurată în șapte capitole, după cum urmează:

Capitolul 1 intitulat „*Introducere*” capitol în care se prezintă și se motivează actualitatea și obiectivele tezei de doctorat, descrierea succintă a studiilor tratate în fiecare capitol ce a urmat.

Obiectivele ce se doresc a fi atinse prin prezenta teză de doctorat sunt:

- stabilirea cauzelor care duc la degradarea construcțiilor, eliminarea acestor cauze și propunerea măsurilor de consolidare, a elementelor structurale degradate, în urma evaluării calitative cât și în urma verificării capacității lor portante în conformitate cu standardele și normativele în vigoare.
- să analizeze, prin efectuarea unor calcule cu elemente finite, comportarea unor construcții supuse acțiunii seismice, atât prin calcul liniar elastic pe baza spectrului de răspuns cât și prin calcul dinamic neliniar de tip ”push-over”. Clădirile sunt analizate atât în fază inițială (înainte de consolidare) cât și în fază finală (după consolidare).
- Pentru consolidarea clădirilor folosirea atât a soluțiilor de consolidare clasice (cămășuiri cu beton armat) cât și soluții moderne bazate pe folosirea materialelor polimerice armate cu fibre de carbon. Alegerea soluțiilor de consolidare trebuie să țină cont de interacțiunea construcție-teren.

Capitolul 2 intitulat „*Cauzele degradării construcțiilor*”, descrie principalele cauze care conduc la degradarea elementelor structurale ale construcțiilor, explică importanța cunoașterii și evitării acestora. Deteriorarea aptitudinii pentru exploatare a construcțiilor este caracteristică pentru comportarea in situ a construcțiilor și se manifestă în principal sub aspectul defectelor, al degradării, al disfuncționalităților, al accidentelor și avariilor tehnice. Sunt prezentate greșeli care pot apărea încă din faza de proiectare și execuție, greșelile din această categorie, considerate separate sau în combinație, reprezintă volumul cel mai mare de avarii evitabile. Degradări care apar după o lungă perioadă de timp având ca și cauze neîntreținerea corespunzătoare a construcțiilor, agresivitatea atât la nivelul infrastructurii cât și suprastructurii a diverșilor factori, tasările diferențiate ale terenului de fundare. Degradări care pot apărea în perioade scurte de timp datorate unor acțiuni extraordinare cum ar fi incendiile, alunecările de teren, cutremurele de pământ.

Capitolul 3 intitulat „*Tehnici și mijloace de investigare a elementelor structurale ale clădirilor*” evidențiază tehnicile de investigare nedistructive ale elementelor structurale pentru determinarea caracteristicilor materialelor din care sunt alcătuite acestea. Încercările nedistructive și semidistructive asupra construcțiilor au drept scop determinarea unor proprietăți de comportament, respectiv a unor performanțe ale materialelor componente ale acestora și constau în aplicarea unei acțiuni (de probă) monitorizate, urmate de observarea fenomenelor de reacție și de măsurarea mărimilor ce le caracterizează.

Capitolul 4 intitulat „*Avarii specifice la elementele construcțiilor și soluții de consolidare ale acestora*”, este compus din cinci subcapitole. Primele două dintre acestea prezintă avarii specifice și metode de consolidare ale infrastructurii construcțiilor. În următoarele două subcapitole sunt prezentate avarii specifice la construcțiile cu structură portantă din pereți din zidărie de cărămidă și avariile specifice la construcțiile în cadre din beton armat, de asemenea sunt descrise soluțiile de consolidare clasice pentru aceste două tipuri de suprastructuri.

Subcapitolul cinci tratează consolidarea elementelor structurale ale construcțiilor prin mijloace moderne de consolidare, cu fibră de carbon.

Capitolul 5 intitulat „*Studiu de caz: Aspecte privind evaluarea seismică a structurilor existente din zidărie de cărămidă conform P100-3/2008*” prezintă analiza structurală și propunerea de măsuri de intervenții la o structură cu pereți portanți din zidărie de cărămidă, realizată în anul 1914, cu funcțiunea de hotel.



Fig. 5.1. Hotel “Palace” din Govora Băi (fațadă principală și fațadă secundară)

Pentru analiza stării de eforturi și deformații ale radierului și ale terenului de fundare s-a folosit Metoda elementelor finite. Pentru această analiză s-a luat în considerare numai o jumătate a radierului general al clădirii, din cauza formei sale în plan.

În programul AxisVM 11 modelarea a fost concepută din două domenii distincte (radierul și pereții de subsol) (Fig. 5.4.). Elementele finite au forma geometrică triunghiulară. Întreagul radier a fost modelat ca și placă pe mediul elastic de tip Winkler, pentru aceasta folosindu-se reazem de suprafață. Modelul Winkler are la bază ipoteza contactului permanent între radierul de fundare și teren și faptul că sub acțiunea încărcărilor, deformațiile terenului în toate punctele de pe suprafața de contact sunt proporționale cu deformațiile radierului, factorul de proporționalitate fiind coeficientul de pat k_s .

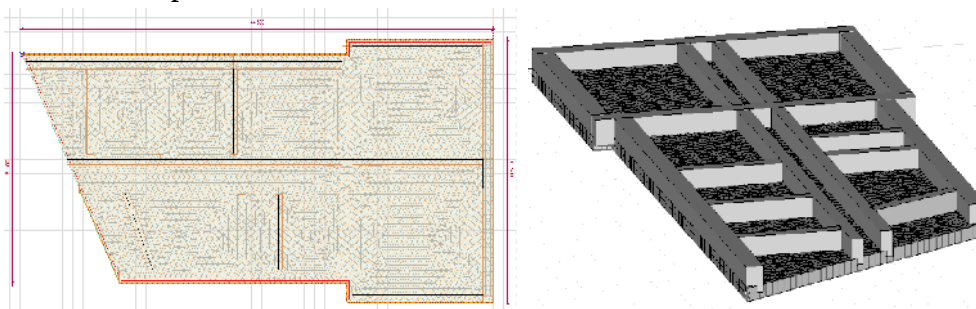


Fig. 5.2. Discretizarea modelului în AxisVM

Din analiza cu elemnte finite a reultat o deplasare pe vericala de 82,40mm (Fig. 5.5.).

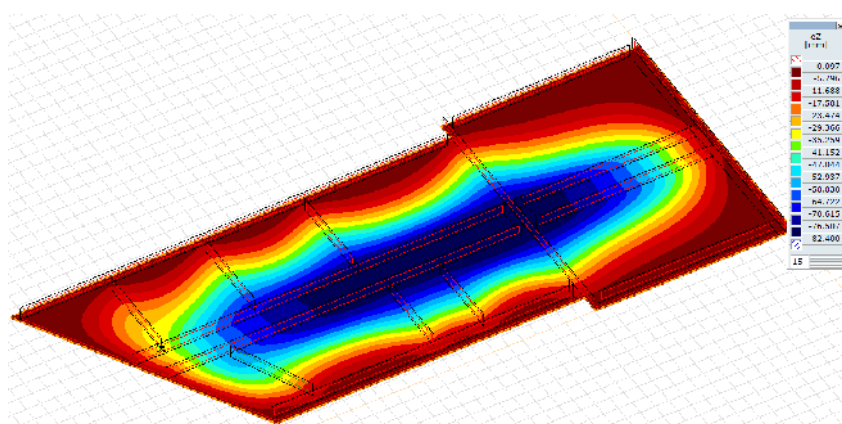


Fig. 5.3 Deplasările pe verticală ale radierului general

În modelarea cu programul FX TNO DIANA, geometria radierului a fost considerată ca și în programul AxisVM11, iar încărcările au fost introduse ca și uniform distribuite pe toată suprafața radierului.

Radierul a fost modelat pe o un paralelipiped de pământ, având dimensiunile suficient de mari, astfel încât întreaga zona activă să poată fi observată (Fig. 5.6.). Radierul a fost definit ca un element spațial din beton. Terenul de fundare a fost modelat după modelul Mohr-Coulomb. Discretizarea modelului spațial a fost realizată cu elemnte tip trapezoidal.

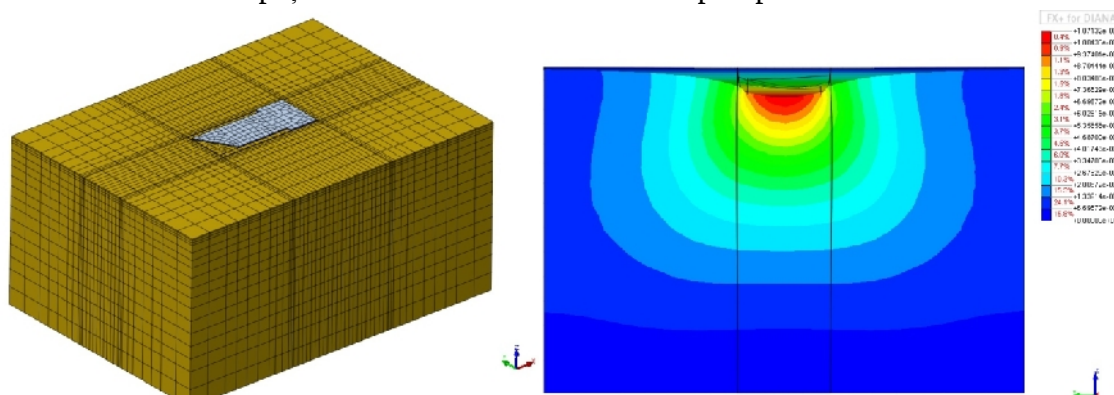


Fig. 5.4. Discretizarea modelului în FX TNO DIANA și deplasările pe verticală ale radierului general

Din analiza cu elemnte finite a reultat o deplasare pe vericala de 10,70cm (Fig. 5.4.).

Făcând o comparație între cele două modele putem observa diferențe și asemănări cum ar fi:

- prima asemănarea ar fi că deplasarea uniformă maximă pe verticală a radierului s-a produs în partea centrală a sa, chiar dacă modul de dispunere al încărcărilor a fost diferit;
- a două asemănare se poate observa și din comportamentul clădirii dealungul timpului, adică în teren nu s-au produs tasări diferențiate și nu există degradări la nivelul radierului;
- diferența principală fiind la deplările verticale. În AxisVM 11 acestea sunt egale cu 8,24cm iar în TNO Diana sunt egale cu 10,70 cm. Această diferență este datorită modelului de calcul diferit al terenului de fundare și distribuția încărcărilor pe radier, pentru modelarea în AxisVM 11 a fost nevoie să se introducă numai coeficientul de pat al terenului de fundare, pe când în modelarea cu TNO Diana s-au introdus toate caracteristicile fizico-mecanice ale terenului de fundare;
- tasarea maximă admisă, conform normativelor, pentru acest tip de clădire din zidărie de cărmidă, cu dimensiunile în plan și numărul de nivele aferent, este de 15cm;

Încadrarea clădirii în clasa de risc seismic

Evaluare calitativă conf. P100-3/2008

Valori ale indicatorului R_1 asociate claselor de risc seismic

Clasa de risc seismic			
I	II	III	IV
Valoare R_1 { $R_1 - 90$ }			
< 30	31 - 60	61 - 90	91 - 100

Valori ale indicatorului R_2 asociate claselor de risc seismic

Clasa de risc seismic			
I	II	III	IV
Valoare R_2 { $R_2 - 90$ }			
< 40	41 - 70	71 - 90	91 - 100

Evaluarea prin calcul conf. P100-3/2008

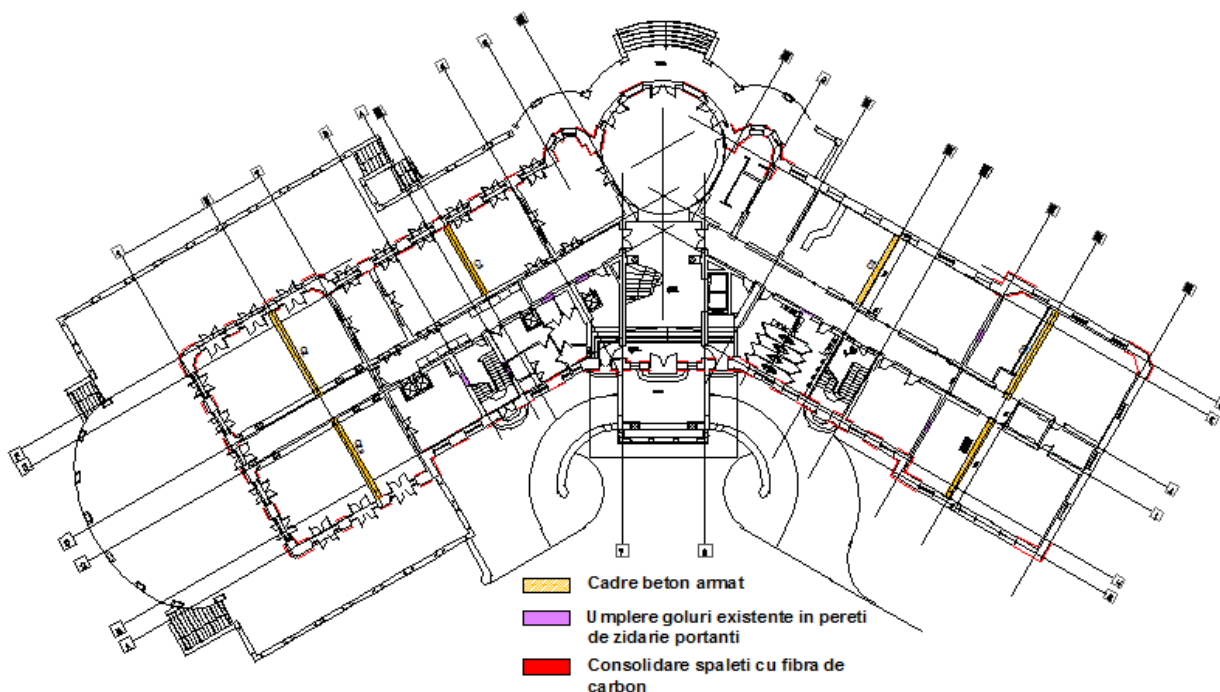
$$F_{b_i} := \gamma_I \cdot a_g \cdot \frac{\beta}{q} \cdot \eta \cdot \frac{m}{g} \cdot \lambda = 1.859 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$S_{\text{Cap}} = 1.3435 \times 10^4 \text{ kN}$$

$$R_3 := \frac{S_{\text{cap}}}{S_{\text{nec}}} = 0.723$$

Coefficient R_3	< 0.4	0.40 - 0.60	0.60 - 1.00	> 1.00
Clasa de risc	I	II	III	IV

Clasa de risc seismic R_s III, care cuprinde construcțiile care sub efectul cutremurului de proiectare pot prezenta degradări structurale care nu afectează semnificativ siguranța structurală, dar la care degradările nestructurale pot fi importante.



PLAN CONSOLIDARI SI AMENAJARI

Fig. 5.5. Plan de consolidări și amenajări

S-a efectuat o analiză liniară elastică, pe baza spectrului de răspuns elastic, în programul AxisVM 11, pentru analiza comportării structurii inițiale și după consolidare.

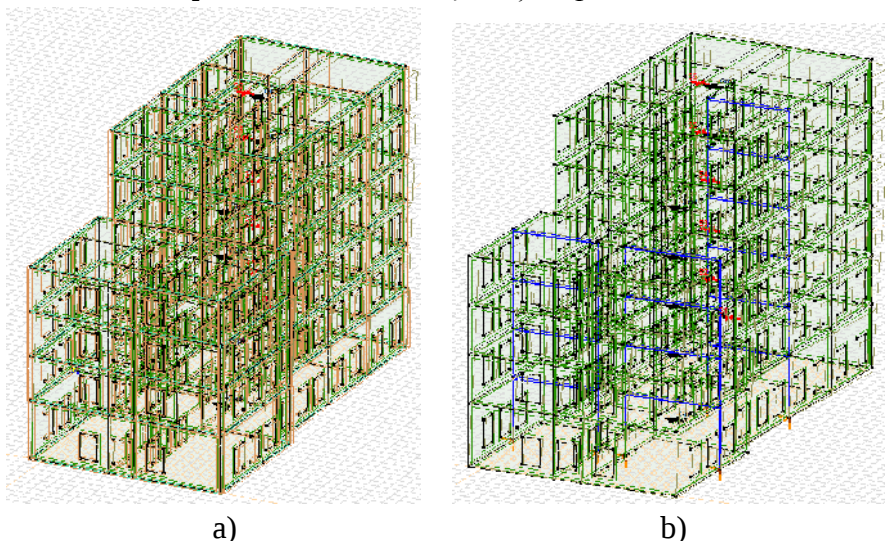


Fig. 5.6. a) Clădire inițială; b) Clădire consolidată

După efectuarea analizei numerice liniar-elastice pe baza spectrului de răspuns elastic, în care factorul de comportare q s-a considerat a fi egal cu 1.5, atât pentru clădirea inițială cât și pentru cea consolidată, s-au obținut următoarele rezultate:

Tabeleul 5.1. Clădire neconsolidată

Mod de vibrație	1
Perioada [s]	0,507
Frecvență [Hz]	1,97
Deplasare laterală [mm]	65,20

Clădire consolidată

Mod de vibrație	1
Perioada [s]	0,483
Frecvență [Hz]	2,07
Deplasare laterală [mm]	40,40

Astfel se poate sublinia că măsurile de consolidare propuse au adus un aport la creșterea rigidității construcției implicit un plus prin reducerea deplasărilor laterale și a deformațiilor.

Capitolul 6 intitulat „Studiu de caz: Aspecte privind evaluarea seismică a structurilor existente din beton armat conform P100-3/2008” prezintă analiza structurală și propunerea de măsuri de intervenții la o structură în cadre din beton armat, realizată în anul 1970, cu funcțiunea de hotel.



Fig. 6.1. Hotel Domogled din Băile Herculane

Evaluarea clădirii la încărcări orizontale

Evaluare calitativă conf. P100-3/2008

Condiții de alcătuire pentru structuri din beton

R1= 65%

Evaluarea stării de degradare a elementelor structurale

R2= 73%

Evaluarea prin calcul conf. P100-3/2008

Metodologia de nivel 2 implică: evaluarea calitativă constând în verificarea listei de alcătuire structurală (mai detaliate decât în cazul metodologiei de nivel 1) dată în anexele corespunzătoare structurilor din diferite materiale și evaluarea cantitativă bazată pe un calcul structural elastic și factori de comportare diferențiați pe tipuri de elemente.

Calculul structural în domeniul elastic poate utiliza una din cele două metode date în P100-1: 2006, în condițiile date de cod, respectiv metoda forțelor seismice statice echivalente sau metoda de calcul modal cu spectre de răspuns. Se consideră spectrele răspunsului elastic, cu ordonatele nereduse prin factorul q .

Calculul structural s-a efectuat pentru Corpul B, cuprins între axele G-N/11-14, cu programul Sap2000 și s-au luat în calcul greutatele permanente, provenite din greutatea proprie a elementelor structurale și nestructurale ale construcției (conf. SR EN 1911-1-1), încărcarea utilă (conf. SR EN 1911-1-1) și încărcarea din zăpadă (conf. CR 1-1-3-2012).

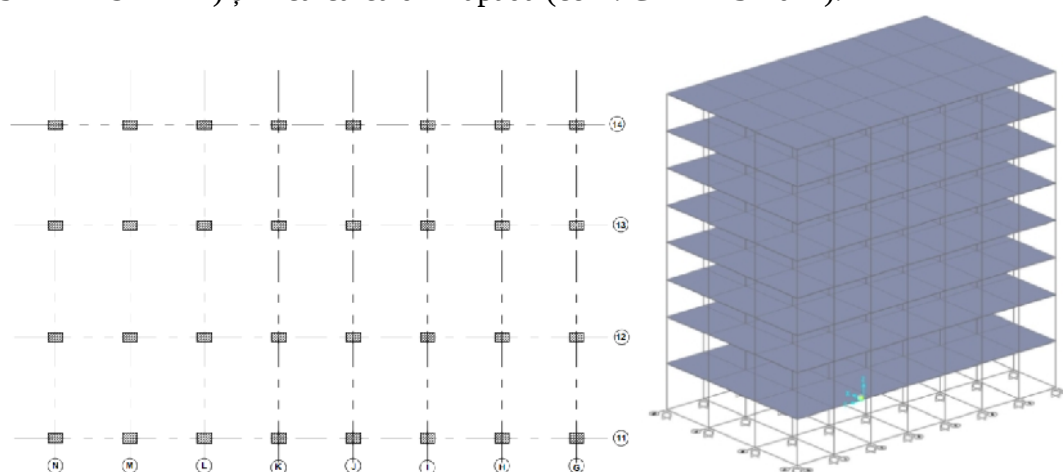


Fig. 6.2. Vedere în plan și vedere 3-D a Corpului B

După efectuarea analizei numerice liniar-elastice pe baza spectrului de răspuns elastic, în care factorul de comportare q s-a considerat a fi egal cu 1, s-a calculat indicatorul R_3 pentru verificarea la moment încovoietor a elementelor structurale ale clădirii, asociat claselor de risc seismic, conform P100-3/2008. Rezultatele acestor calcule sunt prezentate mai jos sub formă de tabel.

Tabelul 6.1. Verificarea la moment încovoietor a elementelor structurale

Element	Moment capabil [kNm]	Factor de comportare q	Moment efectiv [kNm]	R_3
Stâlp	237	3	271	0,875
Grindă transversală	99	2,5	129,5	0,760
Grindă longitudinală	110,4	2,5	171	0,646

În conformitate cu cele prezentate mai sus clădirea se încadrează în **clasa de risc seismic Rs III**, care cuprinde construcțiile care sub efectul cutremurului de proiectare pot prezenta degradări structurale care nu afectează semnificativ siguranța structurală, dar la care degradările nestructurale pot fi importante.

Măsuri de consolidare propuse

- Consolidarea fundațiilor existente prin realizarea unor cuzineți noi , legați cu grinzi de echilibrare antiseismice și realizarea de fundații noi pentru diafragmele de beton propuse;
- Consolidarea prin cămășuire cu beton armat a diafragmelor și cadrelor de la subsol;
- Consolidarea stâlpilor cu pânză de carbon , pe înălțimea parterului și etajului 1;
- Consolidarea cu lamele de carbon a pereților despărțitori din zidărie de cărămidă (corpA+B) pe toată înălțimea clădirilor;
- Consolidarea grinzilor cu pânze de carbon la parter și etajul 1;

Teste experimentale

S-au efectuat 4 teste la smulgere pentru verificarea aderenței pânzei de carbon, prin intermediul rășinii, pe stratul suport din zidărie de cărămidă, prin determinarea rezistenței la smulgere.

Tabelul 6.2. Etapele testului de verificare a aderenței prin smulgere

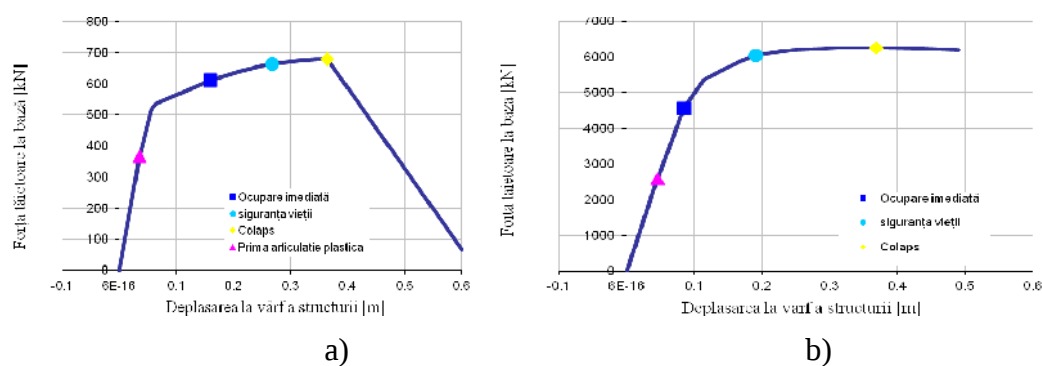
<i>Etapa I: tăierea carotei circulare.</i>	
<i>Etapa II: aplicarea rășinei pe suprafața pastilei metalice și lipirea acesteia pe carota circulară.</i>	

Etapa III: aplicarea forței de smulgere cu ajutorul aparaturii extractor (Elcometer 106/6).	
Etapa IV: smulgerea carotei și indicarea valorii de smulgere.	

Analiza numerică a comportării structurii inițiale și a structurii după consolidare

S-a efectuat o analiză statică neliniară de tipul push-over pentru determinarea comportamentului structurii, cu ajutorul programului SAP2000.

În **Varianta I** cadrul a fost analizat în ipoteza de încastrare rigidă la nivelul cotei ± 0.00 (datorită rigidității mari a sistemului de fundare a clădirii).



**Fig. 6.3. Curba efort-deplasare, deplasare pe direcția transversală;
a) clădire neconsolidată; b) clădire consolidată**

În **Varianta II** considerând construcția (fundații-suprastructură) în interacțiune laterală cu terenul de fundare folosind modelul Winkler pentru teren, simularea interacțiunii teren-infrastructură s-a realizat prin legături de tip „springs” pe direcția orizontală.

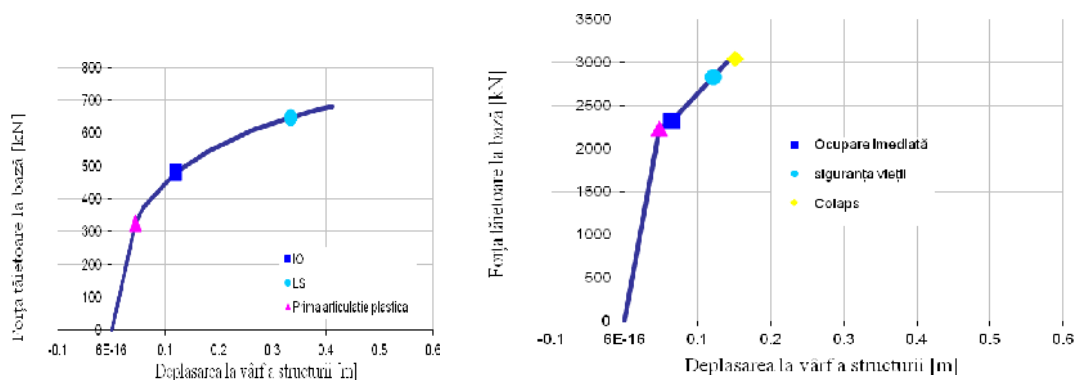


Fig. 6.3. Curba efort-deplasare, deplasare pe direcția transversală;
a) clădire neconsolidată; b) clădire consolidată

Tabelul 6.3. Tabel centralizator

	Forța tăietoare de bază	Forța corespunzătoare apariției primei articulații plastice	Deplasare	Modul 1 de vibrație	
				Perioadă	Frecvență
	[kN]	[kN]	[m]	[sec]	[Hz]
Domeniul elastic	1132				
Varianta I (încăstrare rigidă la nivelul cotei ±0.00)					
Clădire neconsolidată		367	0,035	0,93	1,07
Clădire consolidată		2586	0,044	0,25	4,03
Varianta II (considerând construcția fundației-suprastructură)					
Clădire neconsolidată		326	0,038	1,05	0,95
Clădire consolidată		2227	0,048	0,49	2,04

Comparând rezultatele obținute în cele două variante de calcul, putem observa ca nu sunt mari diferențe.

Capitolul 7 intitulat „*Concluzii și contribuții personale*” evidențiază concluziile generale în urma cercetărilor efectuate în cadrul tezei de doctorat, concluziile particulare aferente fiecărui studiu de caz în parte, contribuțiile personale ale autorului și valorificarea rezultatelor obținute pe parcursul programului de cercetare doctorală.

➤ **În urma efectuării Studiului de caz I „Hotel Palace” rezultă următoarele concluzii:**

- Pe baza evaluării calitative și evaluării prin calcul, clădirea analizată se încadrează în clasa III de risc seismic care cuprinde construcțiile care sub efectul cutremurului de proiectare pot prezenta degradări structurale care nu afectează semnificativ siguranța structurală, dar la care degradările nestructurale pot fi importante;
- Analiza efectuat cu două programe (AxisVM 11 și FX TNO Diana), folosind metode de calcul diferite pentru fiecare program în parte, a arătat că tasările care s-au produs dealungul timpului se încadrează în limitele admise de normative pentru acest tip de clădire;
- Încercările, pe elementele consolidate (șpaleți din zidărie), la smulgere pentru verificare aderenței pânzelor de carbon pe suprafața stratului suport din zidărie de cărămidă au arătat ca stratul suport a fost cel care a cedat, asta însemnând că tehnologia de aplicare a fibrei de carbon și a rășinii a fost executată corect, obținându-se rezultate foarte bune;

- Analiza numerică, cu ajutorul elementelor finite, a clădirii inițiale și a clădirii consolidate au arătat o mai bună comportare în urma aplicării măsurilor de consolidare prin micșorarea perioadei proprii de vibrații a clădirii și a deplasării sale la vârf;
- **În ceea ce privește Stuiul de caz II „Hotel Domogled” se subliniază următoarele aspecte:**
 - Pe baza evaluării calitative și evaluării prin calcul, clădirea analizată se încadrează în clasa III de risc seismic care cuprinde construcțiile care sub efectul cutremurului de proiectare pot prezenta degradări structurale care nu afectează semnificativ siguranța structurală, dar la care degradările nestructurale pot fi importante;
 - S-au stabilit măsuri de consolidare care îmbunătățesc rigiditatea construcției la încărcări seismice;
 - În urma încercărilor, pe elementele consolidate (pereți de contravântuire), la smulgere pentru verificare aderenței pâzelor de carbon pe suprafața stratului suport din zidărie de cărămidă s-a constatat ca stratul suport a fost cel care a cedat, asta însemnând că tehnologia de aplicare a fibrei de carbon și a rășinii a fost executată corect;
 - Analiza de tip pushover arată o comportare mai bună a clădirii consolidate, acest lucru fiind evidențiat prin apariția primei articulații plastice la o forță aproximativ egală cu dublul forței de bază din domeniul elastic și prin scăderea perioadei proprii de vibrație;

Ca și contribuții personale menționez:

- concretizarea conceptelor teoretice sub forma a două studii de caz privind evaluarea din punct de vedere seismic și elaborarea soluțiilor de consolidare, unul fiind o construcție cu structură din pereți portanți din zidărie de cărămidă (cu o vechime de peste 100 de ani), iar cel de-al doilea implicând o construcție cu structură în cadre din beton armat;
- propunerea măsurilor de consolidare, s-au folosit soluții de consolidare mixte. La primul studiu de caz ”Hotel Palace” din localitatea Govora Băi, s-au dispus cadre transversale de contravântuire din beton armat și pânze de carbon impregnate cu rășini pe șpaletii din zidărie de cărămidă, iar la cel de-al doilea studiu de caz ”Hotel Domogled” din localitatea Băile Herculane s-a propus cămășuire cu beton armat a diafragmelor și a cadrelor subsolului, consolidarea cu fibre de carbon a cadrelor parterului și etajului 1, consolidarea cu fibre de carbon a pereților interiori din zidărie pentru contravântuirea cadrelor;
- modelarea cu două programe de calcul a radierului din beton armat prin două modele de calcul diferite pentru fiecare program în parte;
- efectuarea unei analize statice neliniare de tip ”push-over” în vederea observării comportării construcției după consolidare și compararea cu situația inițială înainte de consolidare;
- elaborarea curbelor efort-deplasare și evidențierea unei mai bune comportări a construcției după consolidare.