



TEZA DE DOCTORAT

CONTRIBUTII LA CONSOLIDAREA CLADIRILOR EXISTENTE PRIN UTILIZAREA SOLUTIILOR CU ELEMENTE METALICE

Rezumat

DOCTORAND:
ING. NAIMA EZZAKI

CONDUCATOR STIINTIFIC:
PROF.UNIV.HAB.DR.ING. OANA LUCA

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

Mulțumiri:

Mulțumesc doamnei profesoare Oana Luca, pentru calitățile sale de supraveghere, atât științifice, cât și umane, pentru răbdarea de care a dat dovadă în acești mulți ani în care m-am îndoit deseori; pentru ca dansa a fost sursa multor idei și acestea sunt cu adevărat roadele muncii comune prezentate în acest rezumat.

Mulțumesc, de asemenea, domnului profesor Daniel Stoica, pentru răbdare și pentru sprijinul său, pentru că m-a stimulat continuu cu entuziasmul și pasiunea lui nemărginită pentru munca în echipă.

Mulțumesc rudelor mele pentru că m-au susținut mult timp când a fost necesar să abordez subiectul delicat al progresului tezei mele: părinții mei și frații mei surorile mele și prietenele mele (Sylvie, dr. Ahmed, Brun).

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice**Cuprins TEZA**

Lista figurilor.....	2
Lista tabelor.....	4
Prefață.....	7
Capitolul 1: Prezentarea stadiului actual al problemei analizate în România și în lume.....	8
1.1. Privire generală asupra documentelor referitoare la consolidarea la acțiuni seismice.....	8
1.2. Consolidarea cu sisteme de contravântuiri metalice.....	11
1.3. Exemple de consolidare cu sisteme de contravântuiri.....	13
Capitolul 2: Prezentarea metodologiei de lucru.....	19
2.1. Caracteristicile inițiale ale structurilor studiate.....	19
2.2. Aplicarea solicitărilor seismice conform P100 asupra liniilor de rezistență.....	32
2.3. Consolidarea cu sisteme de contravântuire metalice.....	36
Capitolul 3: Prezentarea conținutului analizelor / studiilor efectuate în lucrare și rezultatele obținute.....	39
3.1 Aspecte privind perioada proprie fundamentală.....	39
3.2 Aspecte privind deplasările relative de nivel.....	41
3.3 Aspecte privind forțele tăietoare de bază și momentele încovoietoare de la bază.....	44
3.4 Aspecte privind eforturile maxime din elemente.....	46
3.5 Performanțele sistemelor și modelelor de contravântuire.....	51
3.5.1 Linia de rezistență cu patru niveluri.....	51
3.5.2 Linia de rezistență cu nouă niveluri.....	66
3.5.3 Linia de rezistență cu cincisprezece niveluri.....	68
Capitolul 4: Aspecte privind verificarea concluziilor prin modele de calcul spațiale (3D)	76
4.1. Cu privire la comportarea de ansamblu a clădirilor	76
4.2. Cu privire la pereții structurali din beton armat.....	98
4.3. Concluzii	124
Capitolul 5: Prezentarea concluziilor.....	126
Anexă.....	129
Bibliografie.....	132

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice*PREFAȚĂ*

Lucrarea de față urmărește să pună în evidență prin studiu comparativ eficiența unor sisteme de contravântuire metalice utilizate pentru reducerea vulnerabilităților seismice la clădiri existente cu structură duală din beton armat.

Cu scopul simplificării calculelor, analiza a fost redusă la studiul comportării unor linii de rezistență centrale corespunzătoare unor clădiri cu aceeași distribuție a elementelor în plan, cu patru, nouă și cincisprezece niveluri.

Pentru a obține caracteristici ale elementelor, asemănătoare cu cele ale elementelor clădirilor existente, structurile au fost încărcate inițial cu forțe seismice corespunzătoare codului P13.

Următorul pas a fost de a aplica structurilor anterior dimensionate, solicitări seismice conform codului P100-3:2019 (Cod de evaluare și proiectare a lucrărilor de consolidare la clădiri existente, vulnerabile seismic) în corelație cu P100-1:2013 (Prevederi de proiectare pentru clădiri) astfel obținându-se deficiențele structurilor existente față de exigențele acestor normative.

S-a urmărit corectarea acestor deficiențe de rezistență și rigiditate prin introducerea sistemelor de contravântuire centrice, în formă de X. S-au utilizat opt modele de distribuire a contravântuirilor ce au fost introduse în structurile cu patru, nouă și cincisprezece niveluri. Sistemele de contravântuire folosite ca metode de consolidare sunt de trei tipuri: contravântuiri de tip direct, prinse în nodurile cadrelor de beton armat și contravântuiri de tip indirect constituite din cadre metalice contravântuite interne și externe.

Rolul pereților este de a aduce rigiditate structurii, nu și rezistență deoarece aceștia sunt considerați a fi proiectați într-o perioadă când dimensionarea nu impunea o armare ca cea impusă astăzi. Bulbii de la capetele pereților vor fi considerați stâlpi independenți.

S-a realizat un calcul structural în domeniul liniar elastic cu ajutorul programului ETABS Nonlinear versiunile 9.7.4. și V18.

Modelele structurale au fost analizate din punctul de vedere al schimbării caracteristicilor proprii prin consolidare (perioada proprie fundamentală), din punctul de vedere al deplasărilor relative de nivel și al eforturilor maxime din elementele structurale.

Au fost analizate și performanțele structurale ale liniilor de rezistență consolidate cu sisteme de contravântuiri metalice utilizând secțiuni de tip dublu-T limitate din punct de vedere tehnico-economic.

Liniile de rezistență au fost supuse la acțiuni seismice folosind metoda statică echivalentă pentru zona seismică cu caracteristicile perioada de colț $T_c=1,6s$ și accelerația orizontală de proiectare a terenului $a_g=0,30g$.

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

*CAPITOLUL 1: PREZENTAREA STADIULUI ACTUAL AL PROBLEMEI
ANALIZATE ÎN ROMÂNIA ȘI ÎN LUME*

1.1. Privire generală asupra documentelor referitoare la consolidarea la acțiuni seismice

La momentul actual se găsesc în literatura de specialitate numeroase studii teoretice și teste experimentale despre sistemele de consolidare a elementelor structurale sau a substructurilor. Testele de laborator sunt valoroase pentru studierea tehnicilor de intervenție, însă prezintă limitări datorate dificultăților de a reproduce corect condițiile de rezemare, de a cuantifica efectul folosirii unui model la scară mai mică, cât și de a introduce defectele clădirilor existente (toleranțe în construcție, execuție defectuoasă, coroziunea barelor de armătură cât și deteriorarea betonului). Aceste dificultăți fac ca oportunitatea de a executa teste ce presupun atingerea colapsului pe clădiri existente să fie văzută ca o șansă unică și irepetabilă de a îmbunătăți cunoștințele despre analiza și proiectarea metodelor de consolidare oportunitate ce a apărut în cadrul proiectului ILVA-IDEM realizat în localitatea Bagnoli, Napoli, Italia între 2000-2005. [1]

La nivel internațional există, pe lângă studii și teste, și legislații ce reglementează consolidarea clădirilor existente, după cum urmează:

- FEMA 273 – NEHRP Linii directoare pentru reabilitarea seismică a clădirilor
- Proiectul Codului Noii Zeelande NZDC – Evaluarea și îmbunătățirea performanțelor structurale privind riscul la cutremur al clădirilor
- Raportul SERC – Elaborarea liniilor directorare pentru evaluarea rezistenței și a performanței clădirilor existente și recomandări privind schemele de consolidări pentru asigurarea rezistenței la cutremur
- UNIDO Vol. 4 – Evaluarea rezistenței și a degradărilor post-cutremur a clădirilor în condiții seismice
- Eurocode 8 – Prevederi de proiectare pentru rezistența la cutremur. Partea 1-4: Reguli generale pentru consolidarea și repararea clădirilor

În România Eurocode 8 este transpus prin intermediul reglementării ”P100-3 / Cod de evaluare și proiectare a lucrărilor de consolidare la clădiri existente, vulnerabile seismic”.

Consolidarea structurilor la acțiuni seismice poate fi caracterizată prin câțiva pași cheie. Ca prim pas în vederea consolidării, se vor evalua caracteristicile de bază și capacitatea de rezistență la acțiuni seismice ale clădirii existente. Apoi se decid obiectivele de performanță și nivelul de hazard seismic corespunzător.

Trebuie realizată o evaluare amănunțită a clădirilor existente pentru a determina natura și mărimea deficiențelor ce pot cauza un comportament neadecvat la acțiuni seismice. Această evaluare va ajuta de asemenea să se stabilească dacă sunt necesare modificări locale sau la nivel global. Succesul consolidării depinde de alegerea tehnicii de consolidare care este în funcție de materialul și sistemul structural al clădirii existente. Mai departe, proiectarea și analiza necesită un grad înalt de experiență și finețe comparativ cu cel necesar pentru realizarea unei clădiri noi. Toate documentațiile despre consolidarea structurală conțin scheme generale de reabilitare, dar nu oferă proceduri și detalii specifice de proiectare. Totuși câteva oferă instrucțiuni referitoare la tehnicile comune de consolidare precum cămășuirea, adăugarea de pereți de forfecare și cadre contravântuite.

CAPITOLUL 2: PREZENTAREA METODOLOGIEI DE LUCRU**2.1. Caracteristicile inițiale ale structurilor studiate**

Sistemele structurale ale clădirilor existente studiate au șapte deschideri, șapte travei de șase metri fiecare și o distribuție a elementelor (grinzi, stâlpi și pereți din beton armat) în plan conform schemei din figura 2.1. Înălțimea de nivel este de trei metri.

S-a ales pentru a fi studiată linia de rezistență corespunzătoare axului F, prezentată în elevație în figura 2.2.

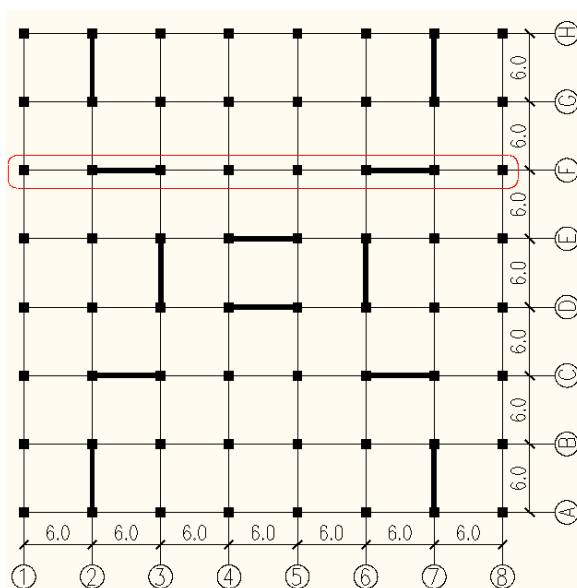


Fig.2.1 Schema distribuției în plan a elementelor structurale

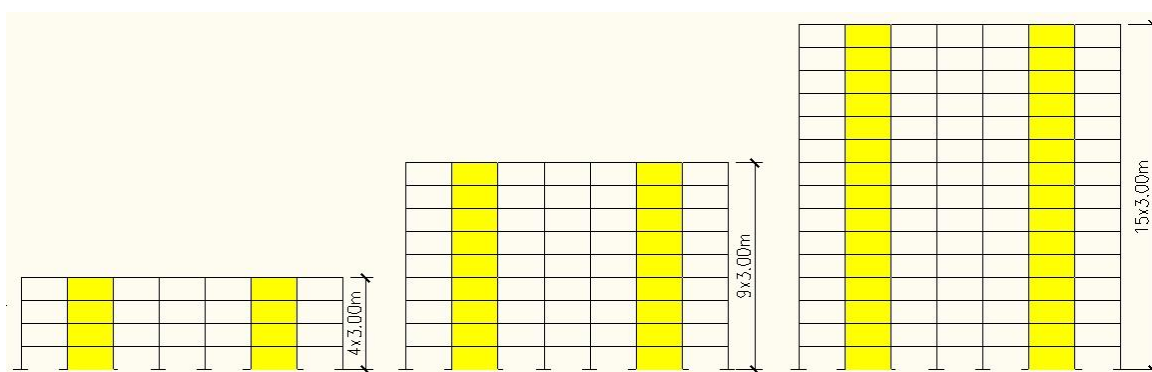


Fig.2.2 Elevația axului F pentru structura cu 4, 9 și 15 niveluri

Pentru a reconstitui legăturile liniilor de rezistență, ca și cum nu ar fi fost separate de clădire, acestea au fost încărcate din punct de vedere gravitațional cu încărcări corespunzătoare traveilor adiacente după regula bisectoarei, figura 2.3. De asemenea în programul ETABS nodurile dintre stâlpi și grinzi au fost blocate la deplasări pe direcția y (direcția perpendiculară pe elevație) și la rotații în jurul axelor x și z. Așezarea liniei de rezistență în funcție de axe este ilustrată în figura 2.4. Totodată, pentru păstrarea caracteristicilor unei clădiri existente s-a lucrat cu materialele de construcție beton clasele C12/15, C16/20 și oțel marca PC52.

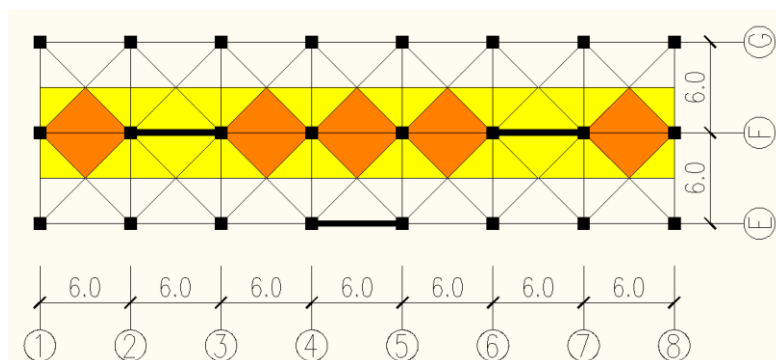
Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

Fig.2.3 Vedere în plan a încărcărilor gravitaționale aferente elementelor liniilor de rezistență

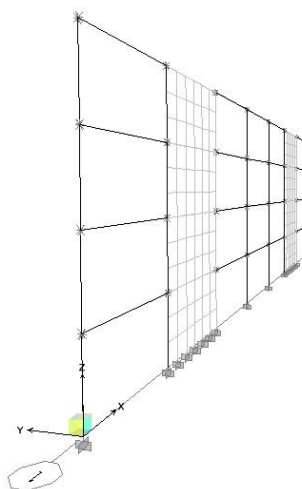


Fig.2.4 Linia de rezistență pentru structura cu 4 niveluri, vedere 3D

Evaluarea forțelor axiale corespunzătoare elementelor verticale și a încărcărilor corespunzătoare grinzilor pentru introducerea în programul Etabs:

Determinarea forței axiale N_1 (stâlpi marginali):

Nr.niveluri clădire	4	9	15
N_1^{total} (kN)	363,06	816,885	1361,475

Determinarea forței axiale N_2 (pereți):

Nr. niveluri clădire	4	9	15
N_2^{total} (kN)	1818,36	4091,31	6818,85

Determinarea forței axiale N_3 (stâlpi centrali):

Nr. niveluri clădire	4	9	15
N_3^{total} (kN)	636,12	1432,27	2385,45

Forțele axiale de compresiune pe nivel corespunzătoare elementelor verticale ale structurii sunt ilustrate în figura 2.5.

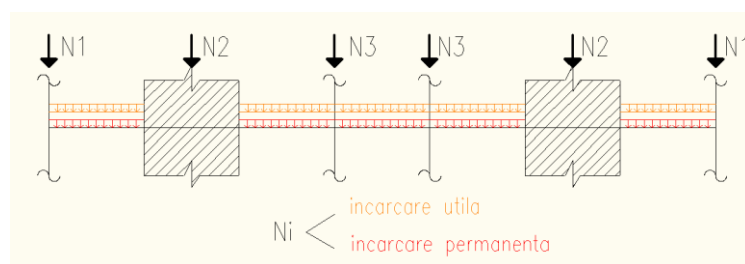
Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

Fig.2.5 Forțele axiale pe nivel corespunzătoare elementelor verticale

Grupările de încărcări au fost considerate conform SR EN 1990/2004.

Încărcarea seismică conform normativului P13 se introduce în programul ETABS prin intermediul coeficientului seismic de bază $c_b = 0,05$.

S-au predimensionat toate elementele structurale, în concordanță cu normele existente în perioada codurilor de tip P13, atât din punct de vedere al secțiunilor de beton dar și ca armături.

Au rezultat:

- La toate clădirile grinzile sunt de 25x60 cm;
- La clădirile cu 4 niveluri – stalpi de 50x50 cm;
- La clădirile cu 9 niveluri – stalpi de 80x80 cm;
- La clădirile cu 15 niveluri – stalpi de 100x100 cm;

Predimensionarea pereților:

- Pentru clădirea cu 4 niveluri se alege $t = 15$ cm;
- Pentru clădirea cu 9 niveluri se alege $t = 20$ cm;
- Pentru clădirea cu 15 niveluri se alege $t = 25$ cm.

Se consideră că inimile pereților sunt armate numai la ultimul nivel și la parter cu două plase legate $\phi 8/20/20$, inimile de la nivelurile intermediare nefiind prevăzute cu armare.

Dimensionarea armăturii longitudinale în grinzi:

- Clădirea cu 4 niveluri - 3 $\Phi 14$ jos și 3 $\Phi 18$ sus
- Clădirea cu 9 niveluri - 3 $\Phi 14$ jos și 3 $\Phi 18$ sus
- Clădirea cu 15 niveluri - 3 $\Phi 14$ jos și 3 $\Phi 20$ sus

Dimensionarea armăturii longitudinale în stalpi:

- Clădirea cu 4 niveluri - 8 $\Phi 22$
- Clădirea cu 9 niveluri - 8 $\Phi 25$ + 4 $\Phi 28$
- Clădirea cu 15 niveluri - 16 $\Phi 30$

Au fost determinate momentele capabile pentru toate elementele structurilor. În figura următoare sunt prezentate momentele încovoietoare maxime și momentele capabile în grinzi și stalpii structurilor existente.

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

	Cladire cu:	4 niveluri	9 niveluri	15 niveluri
Grinzi	Med+,max	67.44	57.26	69.07
	Mrd+	74.81	74.81	74.81
	Med-,max	87.94	92.86	137.93
	Mrd-	123.67	123.67	152.7
Stalpi	Med,max	8.34	58.64	272.34
	Mrd	435	1331.6	3371.9

Fig.2.6 Momentele efective maxime și momentele capabile în grinzi și stâlpi pentru structurile existente supuse acțiunii seismice reprezentate de $c_b=0,05$

Secțiunile stâlpilor și grinziilor și armarea lor sunt ilustrate în figura 2.7.

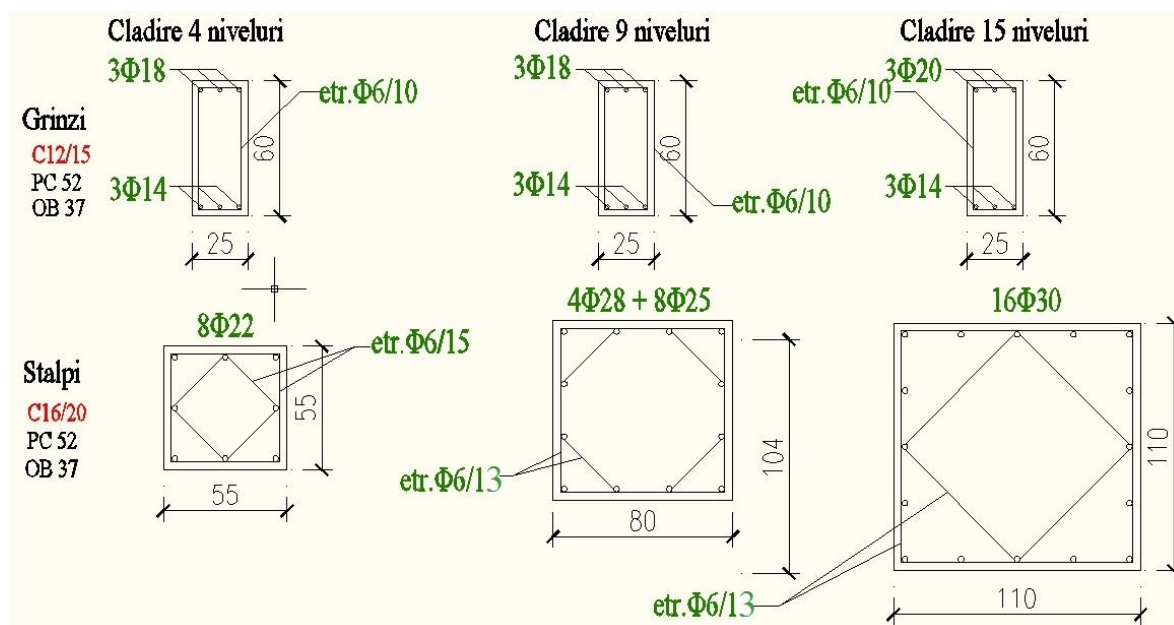


Fig.2.7 Elementele dimensionate ale clădirii existente

2.2. Aplicarea solicitărilor seismice conform P100 asupra liniilor de rezistență

Structurile astfel dimensionate, vor fi solicitate la încărcări seismice conform cerințelor actuale. Forța seismică statică echivalentă se calculează cu expresia din P100-1:2013.

Coeficientul de bază utilizat, c_b are următoarea valoare:

$$c_b = \frac{1 \times 2,50 \times 0,30 \times 0,85}{2,5} = 0,255$$

Perioada proprie fundamentală a liniei de rezistență cu 4 niveluri este $T_1 = 0,1658\text{sec}$

Perioada proprie fundamentală a liniei de rezistență cu 9 niveluri este $T_1 = 0,4597\text{sec}$

Perioada proprie fundamentală a liniei de rezistență cu 15 niveluri este $T_1 = 0,9027\text{sec}$

Deplasările relative de nivel (story drifts) și forțele tăietoare de nivel s-au modificat aplicând forțele seismice cu coeficientul de bază c_b de 4,5 ori mai mare decât cel corespunzător normei P13, după următoarele tabele.

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metaliceTabel 2.1 Deplasările relative de nivel pentru liniile de rezistență acționate de forțe seismice reprezentate de coeficienții de bază $c_b=0,05$; respectiv $c_b=0,255$

Deplasări relative de nivel Structura cu 4 niveluri		Deplasări relative de nivel Structura cu 9 niveluri		Deplasări relative de nivel Structura cu 15 niveluri		Număr nivel
$c_b=0,05$	$c_b=0,255$	$c_b=0,05$	$c_b=0,255$	$c_b=0,05$	$c_b=0,255$	
0.0000344	0.000154	0.000071	0.000318	0.000105	0.000473	1
0.0000496	0.000223	0.000128	0.000575	0.000215	0.000961	2
0.0000544	0.000244	0.000170	0.000763	0.000299	0.001339	3
0.0000539	0.000242	0.000200	0.000898	0.000370	0.001659	4
		0.000220	0.000986	0.000430	0.001926	5
		0.000230	0.001032	0.000478	0.002141	6
		0.000233	0.001044	0.000515	0.002309	7
		0.000233	0.001041	0.000543	0.002432	8
		0.000229	0.001020	0.000562	0.002517	9
				0.000573	0.002566	10
				0.000577	0.002585	11
				0.000577	0.002586	12
				0.000575	0.002574	13
				0.000569	0.002547	14
				0.000560	0.002506	15

Tabel 2.2 Forțele tăietoare de nivel pentru liniile de rezistență acționate de forțe seismice reprezentate de coeficienții de bază $c_b=0,05$; respectiv $c_b=0,255$

Forțe tăietoare de nivel Structura cu 4 niveluri		Forțe tăietoare de nivel Structura cu 9 niveluri		Forțe tăietoare de nivel Structura cu 15 niveluri		Număr nivel
$c_b=0,05$	$c_b=0,255$	$c_b=0,05$	$c_b=0,255$	$c_b=0,05$	$c_b=0,255$	
487.76	2185.18	1209.59	5418.98	2300.06	10304.26	1
437.7	1960.94	1182.14	5296.01	2280.52	10216.71	2
337.6	1512.45	1127.25	5050.06	2241.43	10041.62	3
187.43	839.71	1044.9	4681.15	2182.81	9778.97	4
		935.1	4189.26	2104.64	9428.78	5
		797.86	3574.4	2006.93	8991.04	6
		633.16	2836.56	1889.68	8465.75	7
		441.02	1975.76	1752.88	7852.91	8
		221.42	991.98	1596.55	7152.52	9
				1420.67	6364.59	10
				1225.25	5489.11	11
				1010.28	4526.08	12
				775.78	3475.5	13
				521.73	2337.37	14
				248.15	1111.69	15

Valorile deplasărilor relative și a forțelor tăietoare de nivel s-au multiplicat pentru structurile cu $c_b=0,255$ cu valori aproximativ egale cu 4,5.

Diferența dintre momentele capabile și momentele efective conform noilor cerințe este evidențiată în tabelul 2.3.

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metaliceTabel 2.3 Momentele efective maxime și capabile corespunzătoare încărcărilor seismice reprezentate prin coeficienții seismici $c_b=0,05$ și $c_b=0,255$, ale elementelor structurii

Element	Coeficient de bază	Momente capabile și efective	Valori structură cu 4 niveluri	Valori structură cu 9 niveluri	Valori structură cu 15 niveluri
Grinzi	$c_b=0,05$	Mrd+	74.81	74.81	74.81
	$c_b=0,224$	Med+,max	67.44	99	297
	$c_b=0,05$	Mrd-	123.67	123.67	152.7
	$c_b=0,224$	Med-,max	87.94	186	367
Stâlpi	$c_b=0,05$	Mrd	435	1331.6	3371.9
	$c_b=0,224$	Med,max	68	427	1673

Diferențele dintre forțele tăietoare capabile și forțele tăietoare efective conform noilor cerințe este evidențiată în tabelul 2.4.

Tabel 2.4 Forțele tăietoare efective maxime și capabile corespunzătoare încărcării seismice reprezentată prin coeficienții seismici $c_b=0,05$ și $c_b=0,255$, ale elementelor structurii

Elemente	Coeficient de bază	Forțe tăietoare capabile și efective	Valori structură cu 4 niveluri	Valori structură cu 9 niveluri	Valori structură cu 15 niveluri
Grinzi	$c_b=0.05$	Vrd	121	121	121
	$c_b=0.2244$	Ved,max	103	118	200
Stalpi	$c_b=0.05$	Vrd	125	126	298
	$c_b=0.2244$	Ved,max	79	427	923

Analizând tabelele rezultă că pentru linia de rezistență aferentă clădirii cu 4 niveluri, cerințele noii solicitări sunt acoperite de rezistențele elementelor. Pentru liniile de rezistență aferente celorlalte două clădiri, la care datorită regimului de înălțime, solicitările seismice produc eforturi mai mari decât cele corespunzătoare încărcărilor gravitaționale, capacitatea de rezistență a elementelor este depășită. Rezistențele nodurilor sunt depășite pentru toate tipurile de linii de rezistență. O creștere a forței tăietoare de bază de 4,5 ori valoarea sa, a fost distribuită în elementele structurii prin creșteri de 2-3 ori față de valorile inițiale pentru momentele încovoietoare din grinzi și forțele tăietoare din grinzi și stâlpi, și de până la 8 ori pentru momentele încovoietoare din stâlpi. Din punct de vedere al deplasărilor relative de nivel, deși acestea au crescut, se situează încă sub valorile admisibile. Valorile acestora sunt prezentate în următoarele tabele.

Tabel 2.5 Deplasările relative de nivel din calcul elastic și pentru starea limită ultimă pentru liniile de rezistență acționate de forțe seismice reprezentate de $c_b=0,255$

Deplasări relative de nivel Structura cu 4 niveluri		Deplasări relative de nivel Structura cu 9 niveluri		Deplasări relative de nivel Structura cu 15 niveluri		
Depl.rel.niv	DSL	Depl.rel.niv	DSL	Depl.rel.niv	DSL	DrAdm
0.000154	0.00077	0.000318	0.00159	0.000473	0.00196	0.025
0.000223	0.001115	0.000575	0.002875	0.000961	0.00398	0.025
0.000244	0.00122	0.000763	0.003815	0.001339	0.00554	0.025
0.000242	0.00121	0.000898	0.00449	0.001659	0.00687	0.025
		0.000986	0.00493	0.001926	0.00797	0.025
		0.001032	0.00516	0.002141	0.00886	0.025
		0.001044	0.00522	0.002309	0.00956	0.025
		0.001041	0.005205	0.002432	0.01007	0.025
		0.001020	0.0051	0.002517	0.01042	0.025
				0.002566	0.01062	0.025
				0.002585	0.0107	0.025
				0.002586	0.01071	0.025
				0.002574	0.01066	0.025
				0.002547	0.01054	0.025
				0.002506	0.01037	0.025

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metaliceTabel 2.6 Deplasările relative de nivel din calcul elastic și pentru starea limită de serviciu pentru liniile de rezistență acționate de forțe seismice reprezentate de $c_b=0,255$

Deplasări relative de nivel Structura cu 4 niveluri		Deplasări relative de nivel Structura cu 9 niveluri		Deplasări relative de nivel Structura cu 15 niveluri		DrAdm
Depl.rel.niv.	DSLS	Depl.rel.niv.	DSLS	Depl.rel.niv.	DSLS	
0.000154	0.000219	0.000318	0.000932	0.000473	0.002315	0.008
0.000223	0.00022	0.000575	0.000951	0.000961	0.002352	0.008
0.000244	0.000202	0.000763	0.000953	0.001339	0.002378	0.008
0.000242	0.00014	0.000898	0.000943	0.001659	0.002389	0.008
		0.000986	0.0009	0.001926	0.002389	0.008
		0.001032	0.00082	0.002141	0.002371	0.008
		0.001044	0.000697	0.002309	0.002325	0.008
		0.001041	0.000526	0.002432	0.002248	0.008
		0.001020	0.000291	0.002517	0.002134	0.008
				0.002566	0.001979	0.008
				0.002585	0.00178	0.008
				0.002586	0.001534	0.008
				0.002574	0.001238	0.008
				0.002547	0.000889	0.008
				0.002506	0.000437	0.008

2.3. Consolidarea cu sisteme de contravântuire metalice

Din analiza făcută în subcapitolul anterior rezultă că liniile de rezistență au un deficit de rezistență și nu necesită în mod obligatoriu și îmbunătățirea rigidității. Consolidarea liniei de rezistență asociată clădirii cu patru niveluri își are justificarea în a obține o solicitare mai mică asupra nodurilor, astfel încât rezistența acestora să fie suficientă.

Consolidarea liniilor de rezistență asociate clădirilor cu nouă și cincisprezece niveluri este justificată în primul rând de deficiența de rezistență a acestora și în al doilea rând de o îmbunătățire a rigidității acestora, deoarece deformațiile reduse implică și reducerea riscului deteriorării.

Reabilitarea s-a realizat prin intermediul a trei tipuri de sisteme de contravântuire. Prima oară s-a utilizat sistemul de contravântuire direct, la care transferul eforturilor se face prin nodurile cadrelor de beton armat către diagonalele metalice (numit în continuare Sistemul a). Apoi s-a utilizat sistemul de contravântuire indirect, care este de două tipuri, intern și extern. La acestea transferul eforturilor se face prin contactul dintre elementele orizontale și verticale de beton și metal. Sistemul de contravântuire intern este reprezentat de un cadru de contravântuire metalic introdus în incinta cadrului de beton armat (Sistemul b). Sistemul de contravântuire extern este realizat prin atașarea unui cadru contravântuit la fața cadrului de beton armat (Sistemul c).

Cele trei tipuri de sisteme de contravântuire sunt ilustrate schematizat în următoarele figuri.

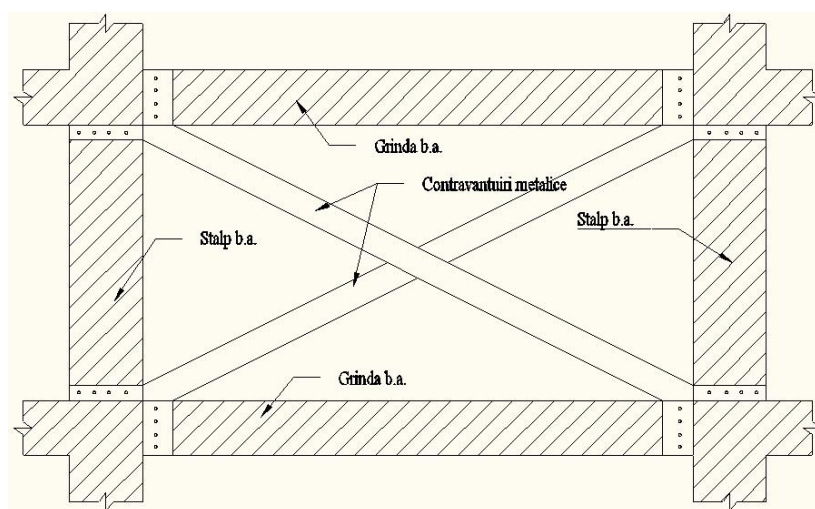
Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

Fig.2.8 Schema Sistemului "a" de contravântuire

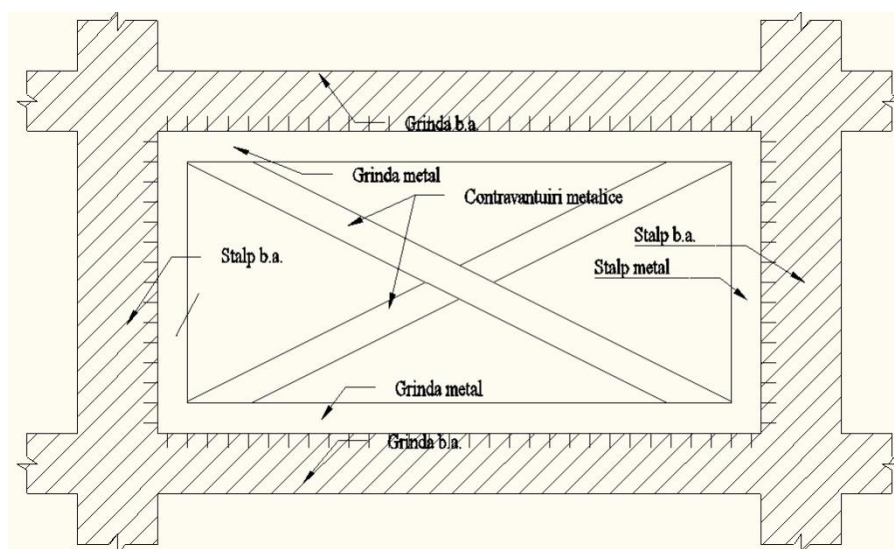


Fig.2.9 Schema Sistemului "b" de contravântuire

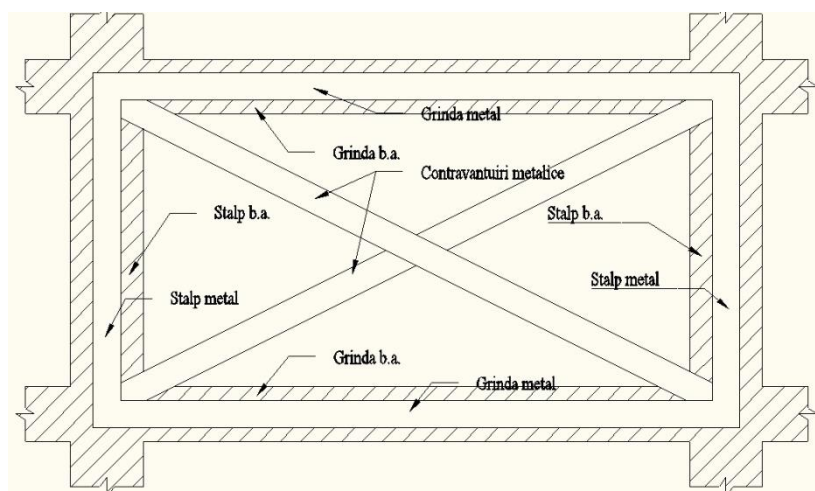


Fig.2.10 Schema Sistemului "c" de contravântuire

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

Au fost realizate opt modele de așezare a sistemelor de contravântuire pentru fiecare dintre cele trei tipuri de contravântuire.

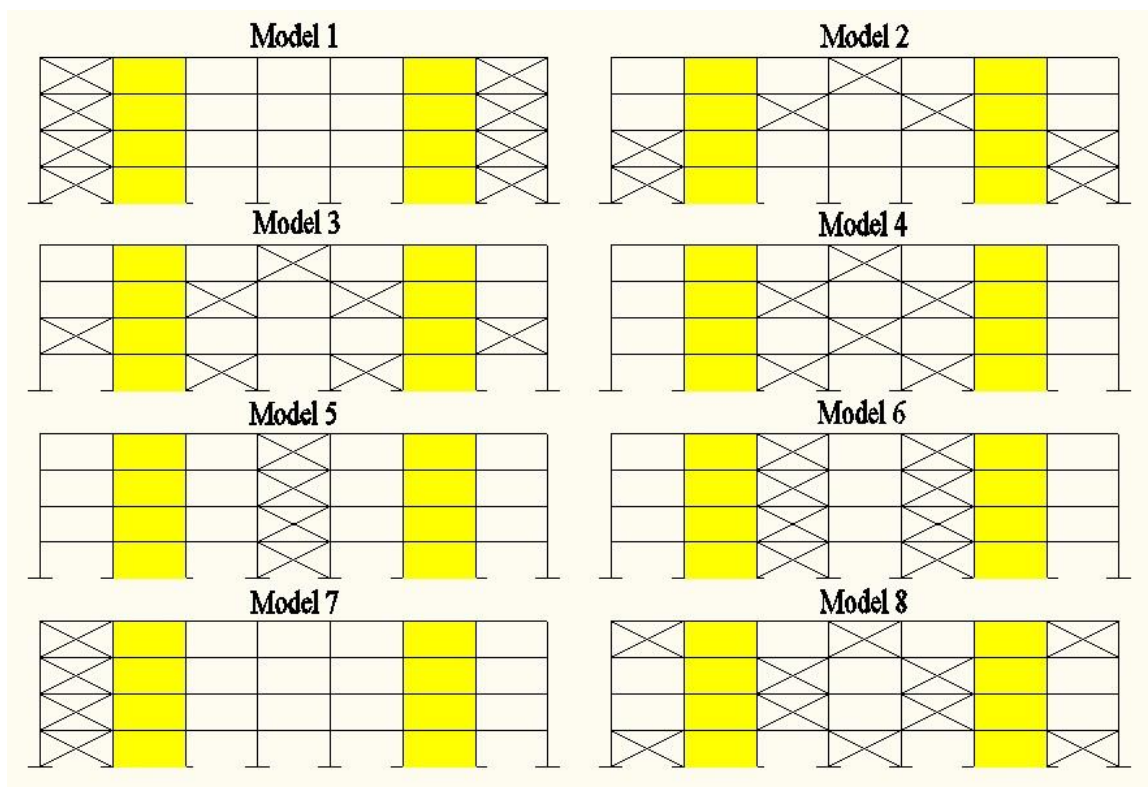


Fig.2.11 Modele de amplasare a contravântuirilor în elevație

Această schemă de amplasare se repetă și pentru nivelurile superioare ale liniilor de rezistență cu nouă și cincisprezece niveluri.

A se observa faptul că numărul de cadre de contravântuire din elevația unei linii de rezistență este diferit de la un model la altul.

Modelul 1 – număr cadre contravântuiri: 8;

Modelul 2 – număr cadre contravântuiri: 7;

Modelul 3 – număr cadre contravântuiri: 7;

Modelul 4 – număr cadre contravântuiri: 6;

Modelul 5 – număr cadre contravântuiri: 4;

Modelul 6 – număr cadre contravântuiri: 8;

Modelul 7 – număr cadre contravântuiri: 4;

Modelul 8 – număr cadre contravântuiri: 10;

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice**CAPITOLUL 3: PREZENTAREA CONȚINUTULUI ANALIZELOR /
STUDIILOR EFECTUATE ÎN LUCRARE ȘI REZULTATELE OBȚINUTE****3.1 Aspecte privind perioada proprie fundamentală**

Caracteristicile proprii ale structurilor și modul de transmitere al eforturilor se modifică prin adăugarea de contravântuiri metalice. În situația activității seismice din România, este avantajoasă o perioadă proprie mică a structurii, cât mai depărtată de perioadele de colț ($T_c=1,6s$; $T_c=1s$) ale spectrelor de răspuns în zonele cu valori de vârf mari ale accelerației terenului.

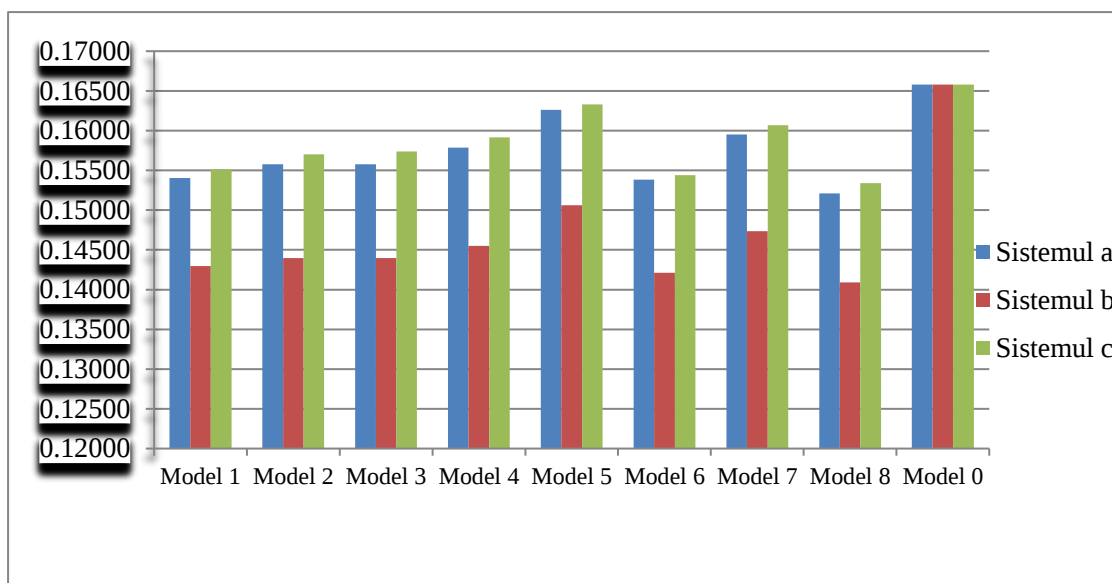


Fig.3.1 Perioade proprii fundamentale T_1 ale liniilor de rezistență cu 4 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire cu secțiunea HE120A, exprimate în secunde

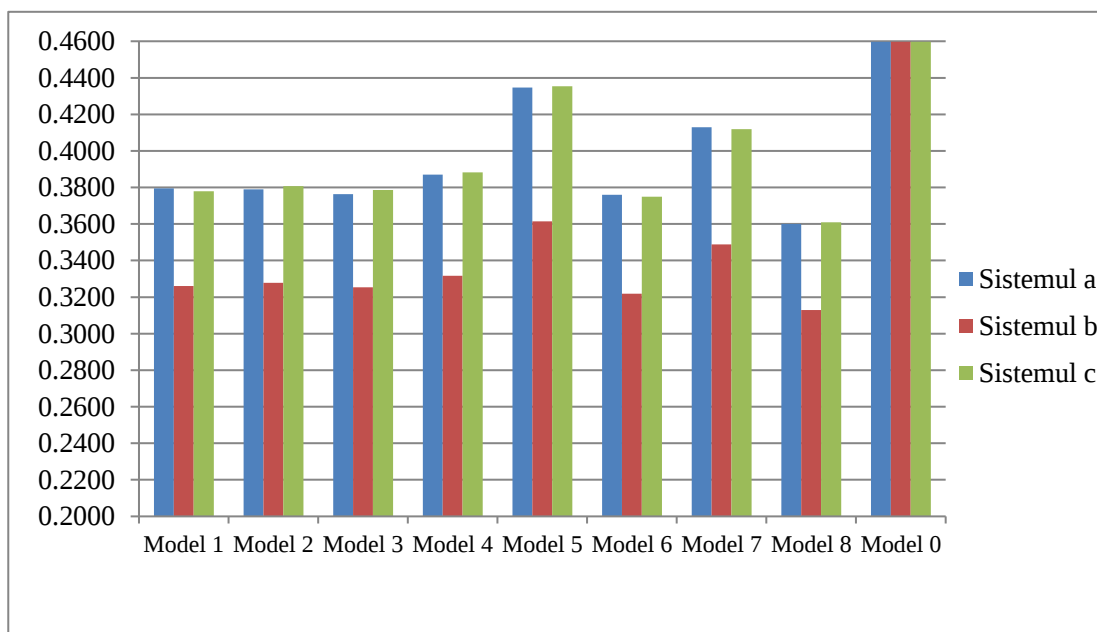


Fig.3.2 Perioade proprii fundamentale T_1 ale liniilor de rezistență cu 9 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire cu secțiunea HE180A, exprimate în secunde

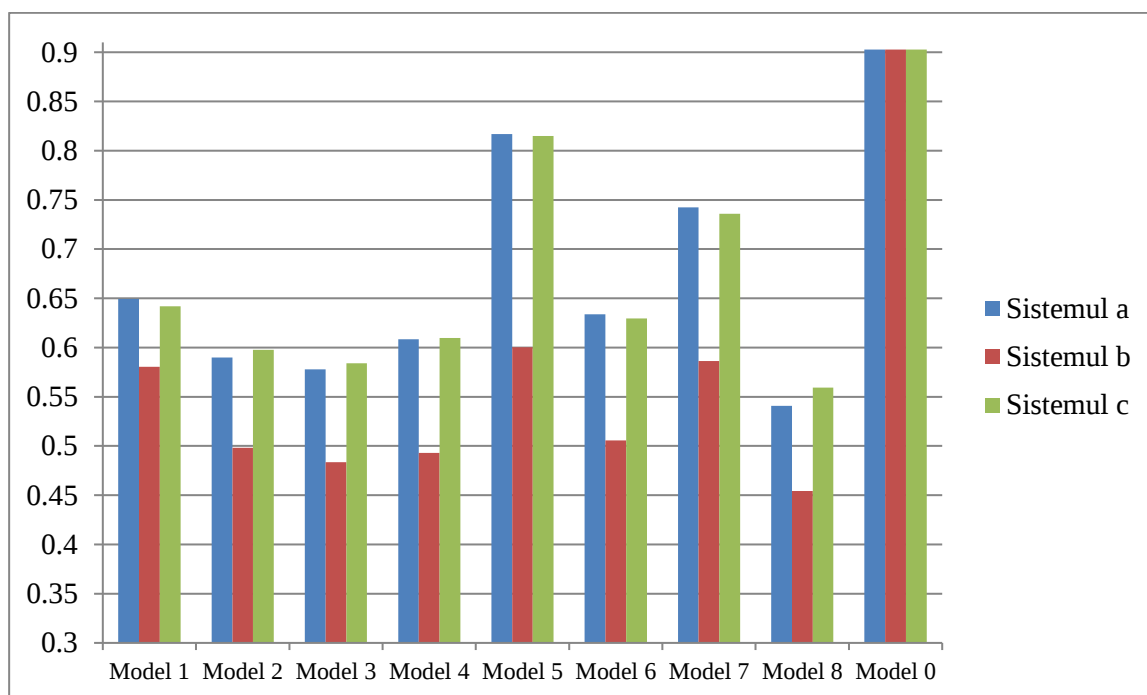
Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

Fig.3.3 Perioade proprii fundamentale T_1 ale liniilor de rezistență cu 15 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire cu secțiunea HE300A, exprimate în secunde

Linia de rezistență asociată structurii cu 4 niveluri înainte de consolidare este caracterizată de o perioadă proprie fundamentală de 0,1658sec. Consolidată cu sistemul de contravântuire direct (Sistemul a), perioada proprie fundamentală scade cu 2..8%. Prin consolidarea cu sistemul de contravântuiri indirect intern (Sistemul b) reducerea perioadei fundamentale este cu 9..15%, iar cu sistemul de contravântuiri indirect extern (Sistemul c) cu 2..7% pentru secțiunea HE120A.

Linia de rezistență asociată structurii cu 9 niveluri înainte de consolidare este caracterizată de o perioadă proprie fundamentală de 0,4597sec. Consolidată cu sistemul de contravântuire direct (Sistemul a), perioada proprie fundamentală scade cu 5..22%. Prin consolidarea cu sistemul de contravântuiri indirect intern (Sistemul b) reducerea perioadei fundamentale este cu 21..32%, iar cu sistemul de contravântuiri indirect extern (Sistemul c) cu 5..22% pentru secțiunea HE180A.

Linia de rezistență asociată structurii cu 15 niveluri înainte de consolidare este caracterizată de o perioadă proprie fundamentală de 0,9027sec. Consolidată cu sistemul de contravântuire direct (Sistemul a), perioada proprie fundamentală scade cu 10..40%. Prin consolidarea cu sistemul de contravântuiri indirect intern (Sistemul b) reducerea perioadei fundamentale este cu 34..50%, iar cu sistemul de contravântuiri indirect extern (Sistemul c) cu 10..38% pentru secțiunea HE300A.

Totodată, din grafice rezultă faptul că Sistemul b de contravântuire este mai eficient în reducerea perioadei fundamentale decât celelalte două sisteme ale căror influențe produc rezultate asemănătoare.

Reducerea perioadei fundamentale proprii este mai accentuată cu cât numărul de niveluri crește. Cu ajutorul modelului 8 de așezare a cadrelor contravântuite se obține cea

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

mai mare reducere a perioadei fundamentale. Cele mai scăzute reduceri se obțin prin consolidare conform modelelor 5 și 7.

Tabel 3.1 Ierarhizarea tipurilor de modele de amplasare a sistemelor de contravântuire cu privire la eficiența în reducerea perioadei proprii fundamentale a structurilor

	Structura cu 4 niveluri	Structura cu 9 niveluri	Structura cu 15 niveluri	Ierarhizare
1	Model 8	Model 8	Model 8	Model 8
2	Model 6	Model 6	Model 3	Model 6
3	Model 1	Model 1;2;3	Model 2;4	Model 3
4	Model 2;3	Model 1;2;3	Model 4;2	Model 2
5	Model 2;3	Model 1;2;3	Model 1	Model 1
6	Model 4	Model 4	Model 6	Model 4
7	Model 7	Model 7	Model 7	Model 7
8	Model 5	Model 5	Model 5	Model 5

3.2 Aspecte privind deplasările relative de nivel

În acest subcapitol vom analiza în ce măsură sunt reduse deplasările relative de nivel prin intermediul consolidării cu contravântuiri metalice. O structură flexibilă și cu o ductilitate bună permite apariția unor deformații mari în structură, fapt ce favorizează lucrul elementelor în domeniul neliniar și apariția de deformații remanente în structură în urma unor mișcări seismice. La modul ideal, o structură rigidă va lucra în domeniul elastic în timpul unei mișcări seismice fapt ce va reduce necesitatea efectuării reparațiilor componentelor avariate în urma seismelor. De asemenea este necesară rigidizarea structurilor existente deoarece în general ductilitatea acestora este scăzută. În baza acestor considerente, se vor urmări modelele și sistemele de contravântuiri cele mai eficiente în reducerea deplasărilor relative de nivel. Deplasările relative de nivel corespunzătoare stărilor limită ultimă și de serviciu sunt inferioare valorilor admisibile pentru fiecare dintre cazuri.

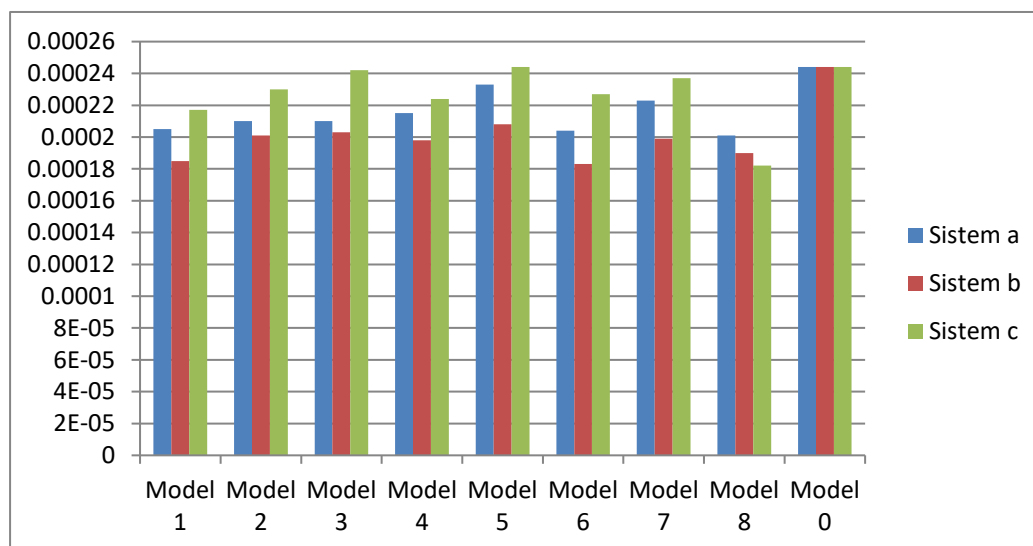


Fig.3.4 Deplasări relative elastice de nivel ale liniilor de rezistență cu 4 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire cu secțiunea HE120A

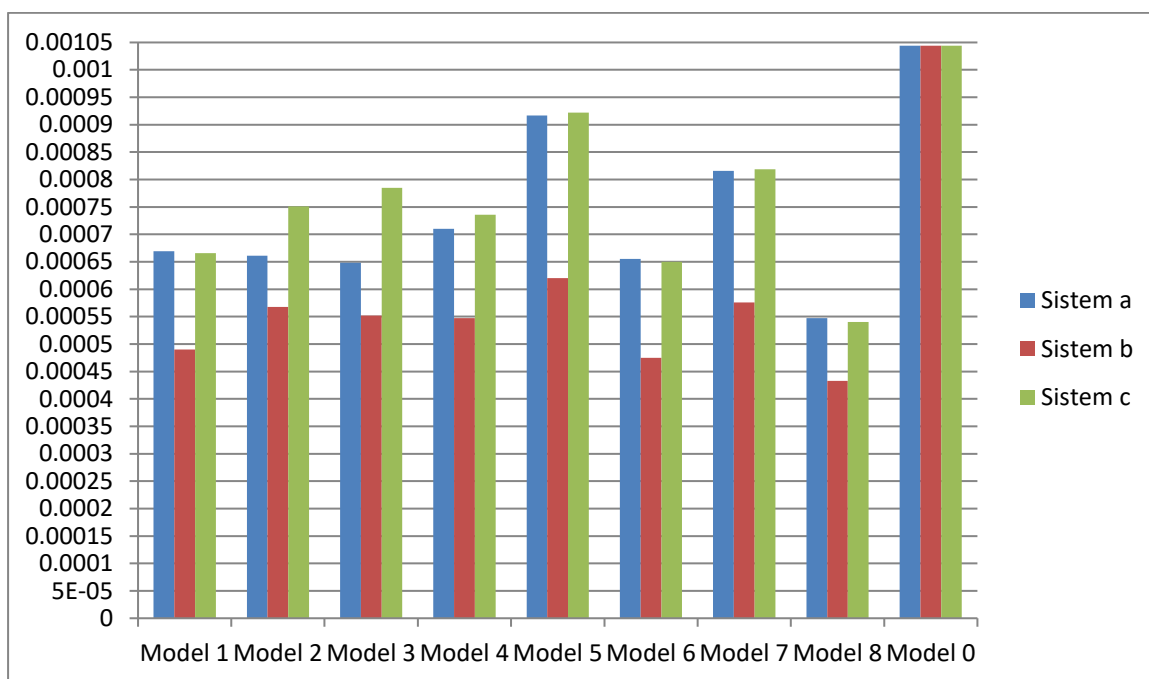
Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

Fig.3.5 Deplasări relative elastice de nivel ale liniilor de rezistență cu 9 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire cu secțiunea HE180A

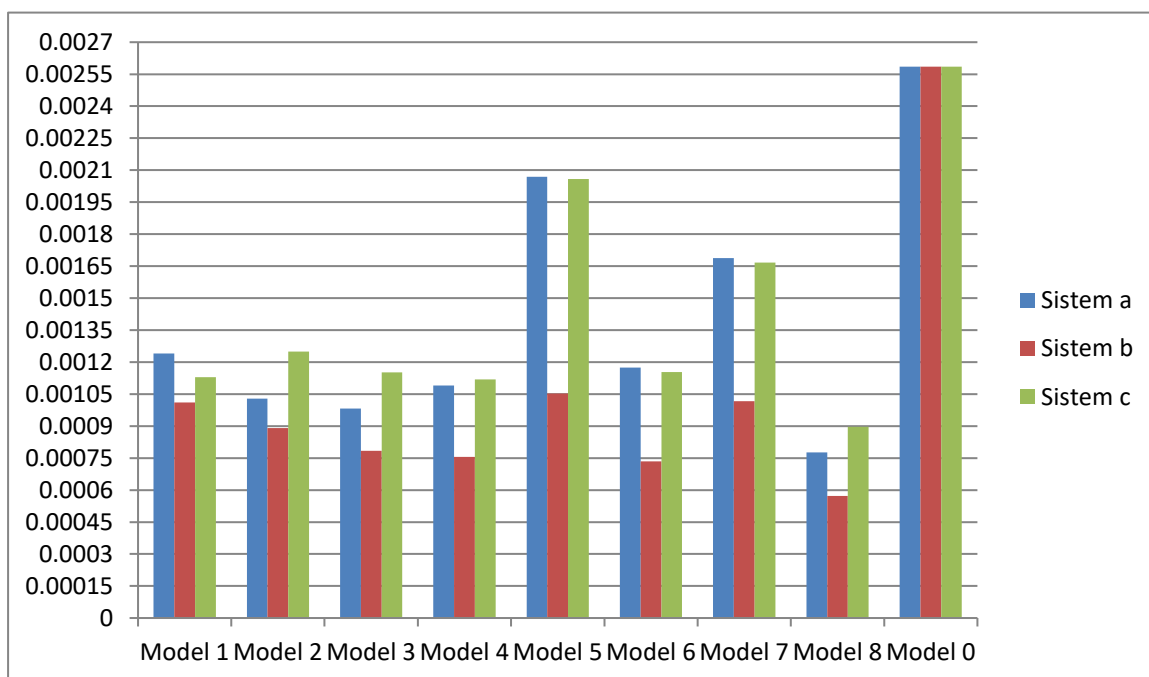


Fig.3.6 Deplasări relative elastice de nivel ale liniilor de rezistență cu 15 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire cu secțiunea HE300A

Linia de rezistență asociată structurii cu 4 niveluri înainte de consolidare are deplasarea relativă elastică maximă este egală cu 0,000244%. Consolidată cu sistemul de contravântuire direct (Sistemul a), deplasarea relativă elastică maximă scade cu 5..18%. Prin consolidarea cu sistemul de contravântuiri indirect intern (Sistemul b) reducerea driftului maxim este cu 15..25%, iar cu sistemul de contravântuiri indirect extern (Sistemul c) cu 0..15%.

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

Linia de rezistență asociată structurii cu 9 niveluri înainte de consolidare are deplasarea relativă elastică maximă este egală cu 0,001044%. Consolidată cu sistemul de contravântuire direct (Sistemul a), deplasarea relativă elastică maximă scade cu 12..43%. Prin consolidarea cu sistemul de contravântuiri indirect intern (Sistemul b) reducerea driftului maxim este cu 40..55%, iar cu sistemul de contravântuiri indirect extern (Sistemul c) cu 12..42%.

Linia de rezistență asociată structurii cu 15 niveluri înainte de consolidare deplasarea relativă elastică maximă este egală cu 0,002586%. Consolidată cu sistemul de contravântuire direct (Sistemul a), deplasarea relativă elastică maximă scade cu 20..68%. Prin consolidarea cu sistemul de contravântuiri indirect intern (Sistemul b) reducerea driftului maxim este cu 60..75%, iar cu sistemul de contravântuiri indirect extern (Sistemul c) cu 20..65%.

Totodată, din grafice rezultă faptul că Sistemul b de contravântuire este mai eficient în reducerea drifturilor decât celelalte două sisteme ale căror influențe produc rezultate asemănătoare.

Ierarhizarea modelelor de amplasare a contravântuirilor în funcție de capacitatea de reducere a drifturilor este prezentată în următorul tabel.

Tabel 3.2 Ierarhizarea tipurilor de modele de amplasare a sistemelor de contravântuire cu privire la eficiența în reducerea deplasărilor relative de nivel ale structurilor

	Structura cu 4 niveluri	Structura cu 9 niveluri	Structura cu 15 niveluri	Ierarhizare
1	Modelul 8,6	Modelul 8,6	Modelul 8	Modelul 8
2	Modelul 1,6	Modelul 1,3,6	Modelul 3,4,6	Modelul 6
3	Modelul 1,4,8	Modelul 1,6,8	Modelul 1,2,4	Modelul 1
4	Modelul 2,3,4,6	Modelul 4,2	Modelul 3,4	Modelul 3
5	Modelul 2,3,7	Modelul 1,2,3	Modelul 2,6	Modelul 4
6	Modelul 2,4,7	Modelul 2,3,4	Modelul 1,2	Modelul 2
7	Modelul 3,7	Modelul 7	Modelul 7	Modelul 7
8	Modelul 5	Modelul 5	Modelul 5	Modelul 5

Cele mai eficiente modele de contravântuire pentru îmbunătățirea rigidității structurilor sunt modelele 8, 6 și 1. Astfel rezultă că dispunerea liniară a contravântuirilor pe toată înălțimea structurii, cât și dispunerea neordonată a acestora, însă într-un număr suficient de mare și care să acopere toate deschiderile sunt soluțiile cele mai eficiente în acest scop. Modelele 2, 3 și 4 au rezultate intermediare, iar modelele 5 și 7 au rezultatele cele mai slabe. Acest lucru este datorat în mare parte numărului insuficient de cadre contravântuite. Se observă faptul că amplasarea liniei de contravântuiri în deschiderea laterală este mai avantajoasă decât amplasarea acesteia în deschiderea centrală în cazul modelelor 5 și 7, iar în cazul modelelor 1 și 6 rezultă că este mai avantajoasă o așezare mai centrală.

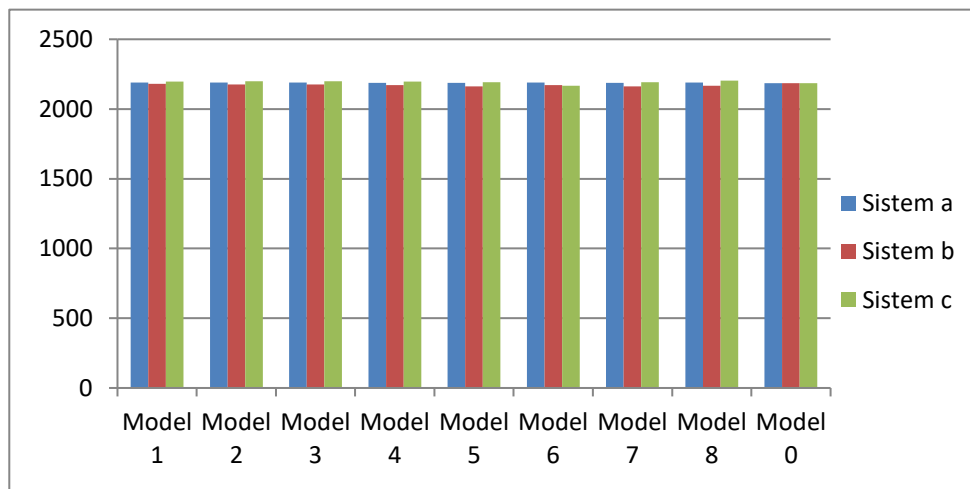
Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice*3.3 Aspecte privind forțele tăietoare de bază și momentele încovoietoare de la bază*

Fig.3.7 Forțe tăietoare de bază ale liniilor de rezistență cu 4 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire cu secțiunea HE120A (kN)

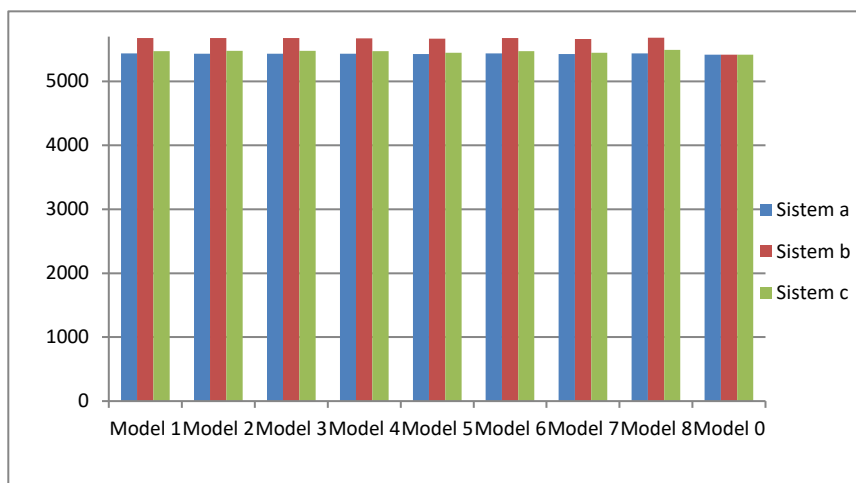


Fig.3.8 Forțe tăietoare de bază ale liniilor de rezistență cu 9 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire cu secțiunea HE180A (kN)

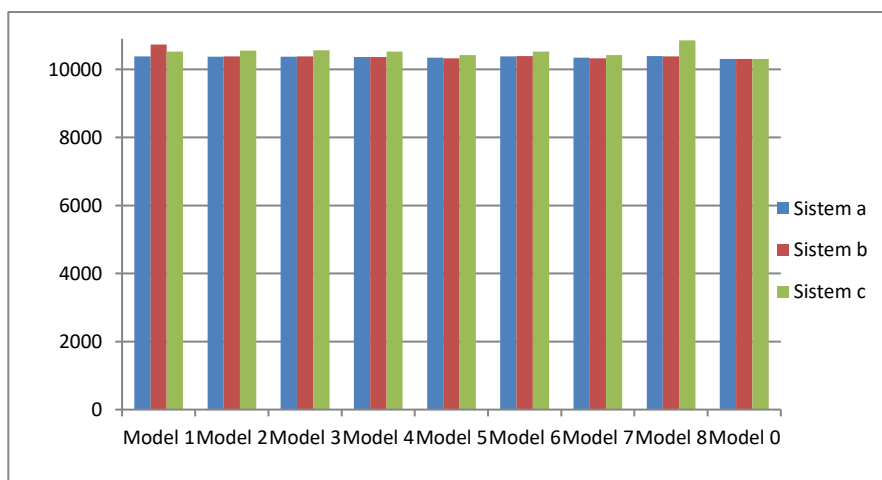


Fig.3.9 Forțe tăietoare de bază ale liniilor de rezistență cu 15 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire cu secțiunea HE300A (kN)

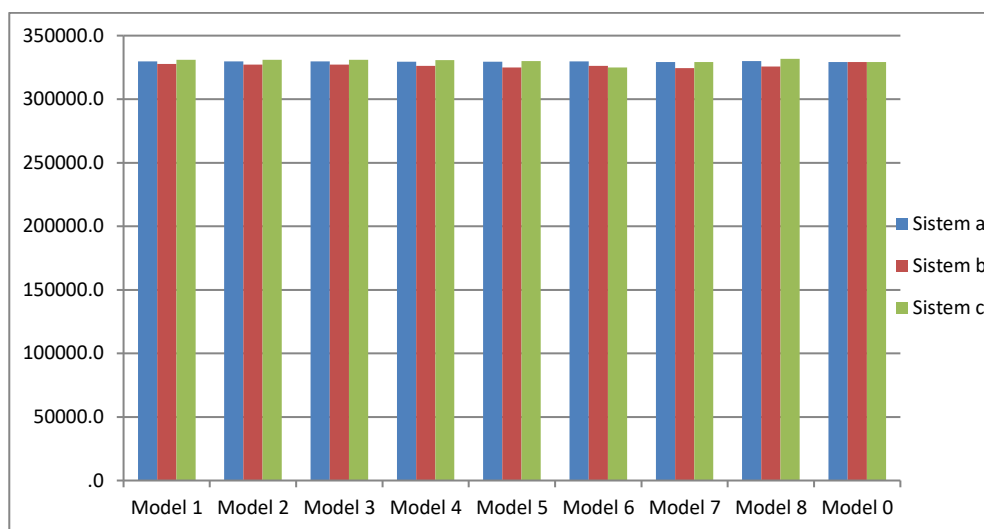
Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

Fig.3.10 Momente încovoietoare de la bază ale liniilor de rezistență cu 4 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire cu secțiunea HE120A (kNm)

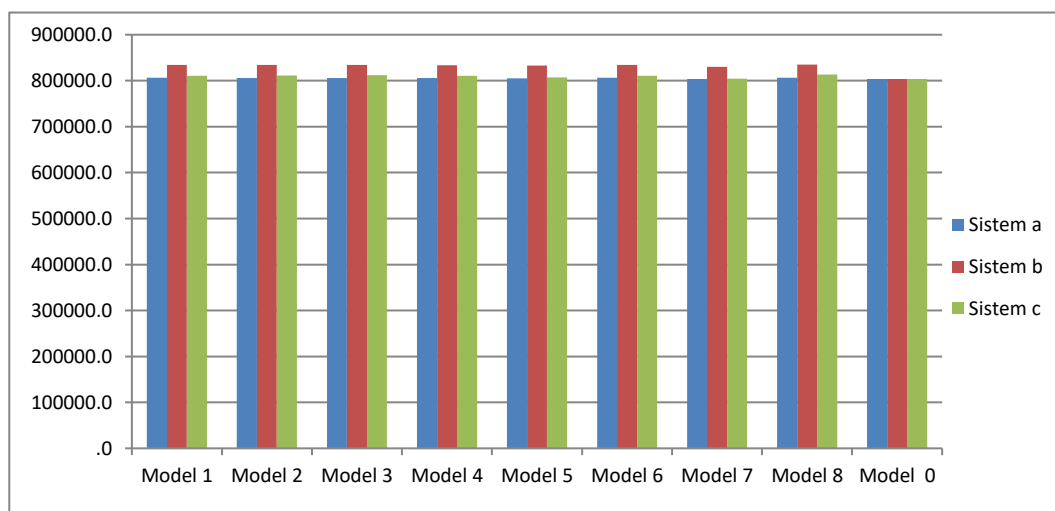


Fig.3.11 Momente încovoietoare de la bază ale liniilor de rezistență cu 9 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire cu secțiunea HE180A (kNm)

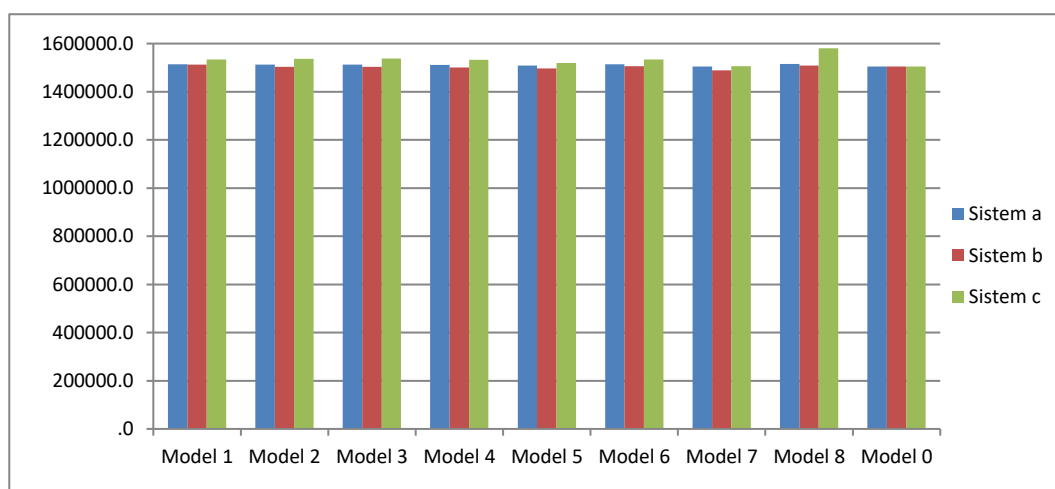


Fig.3.12 Momente încovoietoare de la bază ale liniilor de rezistență cu 15 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire cu secțiunea HE300A (kNm)

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

După consolidarea cu sisteme de contravântuiri metalice, liniile de rezistență nu prezintă creșteri semnificative (creșteri de până la 5%) ale forțelor tăietoare de bază și ale momentelor încovoietoare de la bază efective, deși acestea au rigidități mai bune.

3.4 Aspecte privind eforturile maxime din elemente

În acest subcapitol vom analiza eficiența sistemelor de contravântuire pentru a diminua eforturile din elementele componente ale liniilor de rezistență, adică eforturile din grinzi și din stâlpi. În acest scop vom analiza liniile de rezistență pentru structurile cu nouă și cincisprezece niveluri, deoarece în cazul structurii cu patru niveluri eforturile erau acoperite de capacitățile de rezistență ale structurilor existente. Pentru că se urmărește compararea sistemelor de contravântuire se va lucra cu câte o singură secțiune pentru liniile de rezistență cu același număr de niveluri: HE360A-9 niveluri și HE600A-15 niveluri.

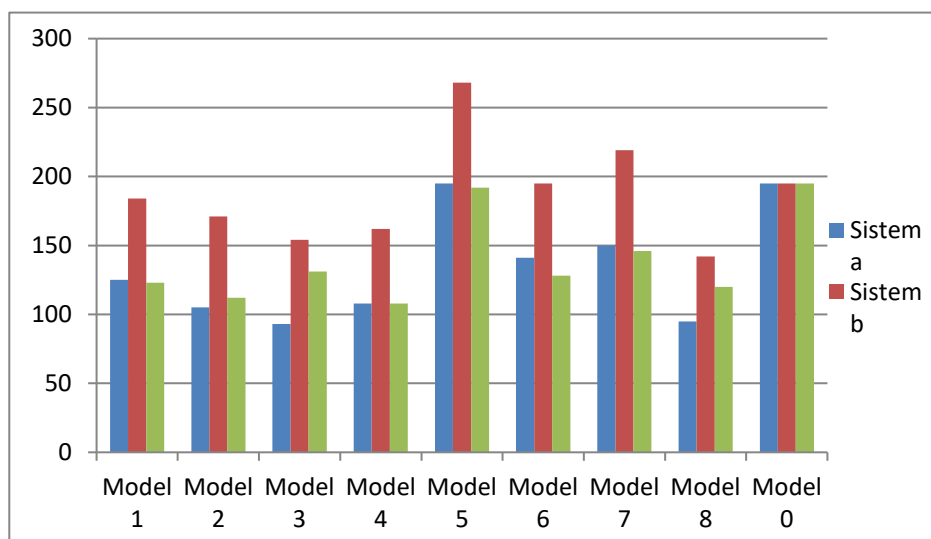


Fig.3.13 Momente încovoietoare maxime în grinziile liniilor de rezistență cu 9 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire

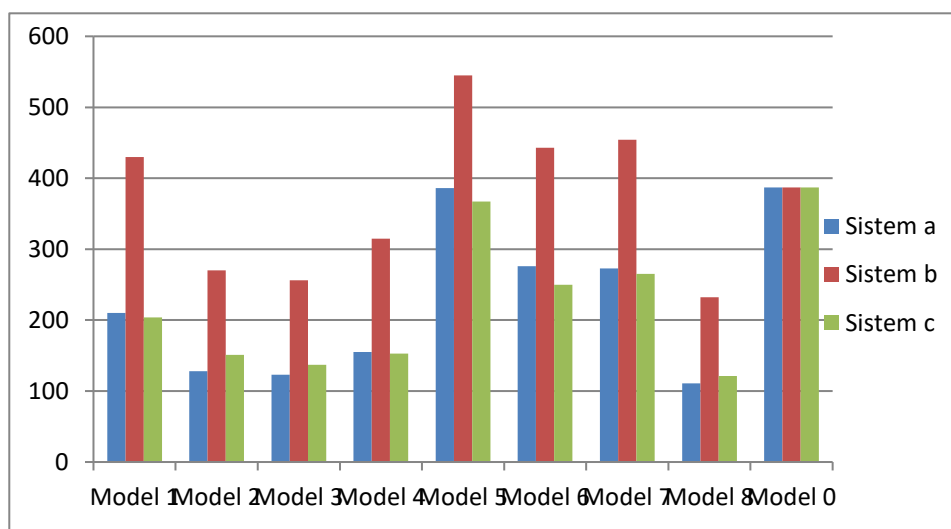


Fig.3.14 Momente încovoietoare maxime în grinziile liniilor de rezistență cu 15 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

O primă observație de făcut este faptul că prin consolidarea cu Sistemul b momentele încovoietoare din grinzi sunt cu mult mai mari decât momentele obținute prin consolidarea cu Sistemul a sau c. Pentru anumite modele (1, 5, 6, 7) momentele încovoietoare sunt mai mari decât cele ale liniei de rezistență neconsolidată. Acesta este reversul medaliei la faptul că cu ajutorul Sistemului b de contravântuire s-a obținut o rigiditate foarte bună a structurilor. Cele mai bune rezultate în vederea reducerii momentelor încovoietoare din grinzi s-au obținut pentru Modelele 3 și 8, însă și modelele 1, 2, 4 oferă rezultate bune. Modelele 6 și 7 nu sunt eficiente pentru reducerea momentelor încovoietoare din grinzi, iar modelul 5 nu are practic nici o influență asupra eforturilor.

Momentele încovoietoare din grinzi sunt reduse cu valori de până la 50% pentru liniile de rezistență cu 9 niveluri și 70% pentru cele cu 15 niveluri (Sistemele "a" și "c") față de momentele încovoietoare inițiale. În cazul Sistemului "b" momentele au crescut cu valori de până la 30% din momentele inițiale.

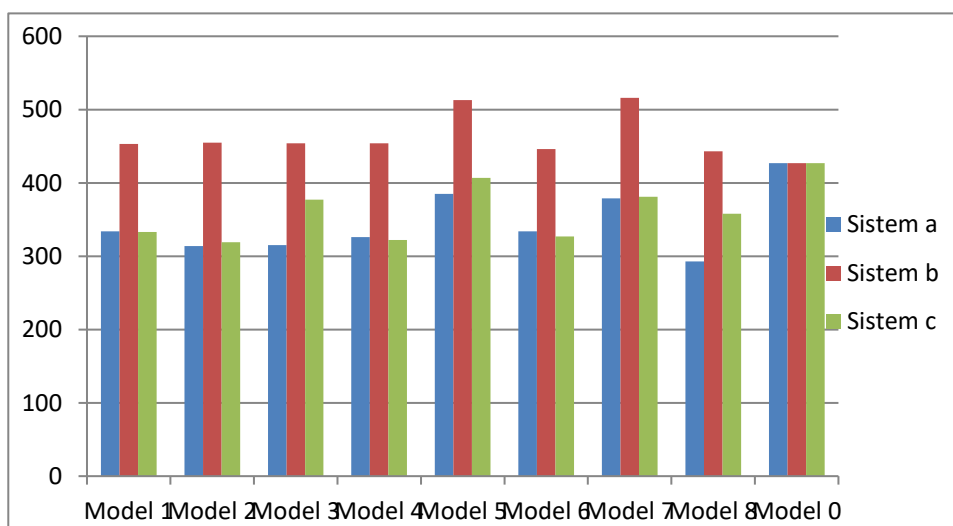


Fig.3.15 Momente încovoietoare maxime în stâlpii liniilor de rezistență cu 9 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire

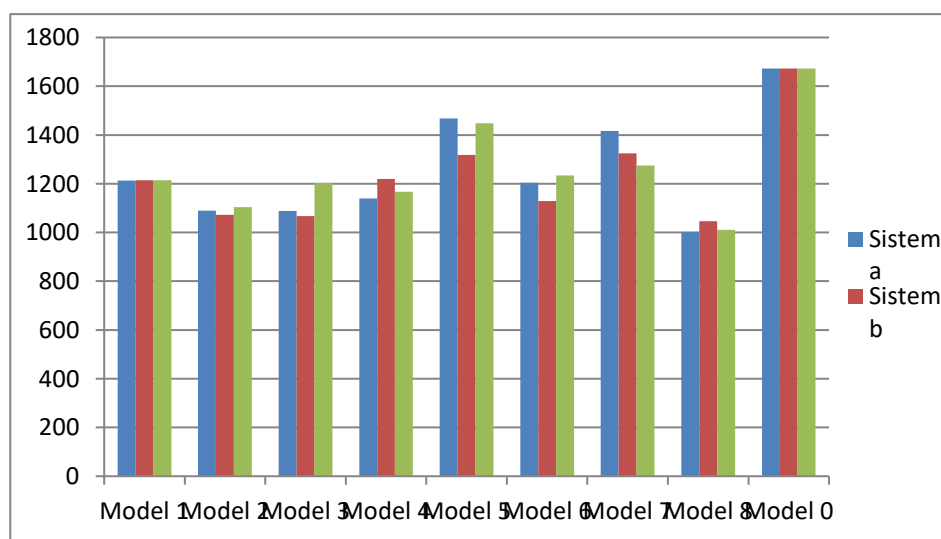


Fig.3.16 Momente încovoietoare maxime în stâlpii liniilor de rezistență cu 15 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

În privința momentelor încovoietoare din stâlpi, influența sistemelor de contravântuire este mai puțin vizibilă decât la grinzi. Situația este diferită în funcție de numărul de niveluri. Pentru liniile de rezistență cu 9 niveluri, momentele încovoietoare din stâlpi sunt reduse sau amplificate asemănător momentelor din grinzi. Liniile de rezistență cu 15 niveluri prezintă o concluzie favorabilă între noul și vechiul sistem structural, astfel toate momentele sunt reduse prin consolidare, indiferent de sistemul sau modelul de realizare a contravântuirii. Momentele din stâlpi au fost reduse cu valori de până la 30-40% (Sistemele "a" și "c") sau mărite cu până la 15% (Sistemul "b" – 9 niveluri).

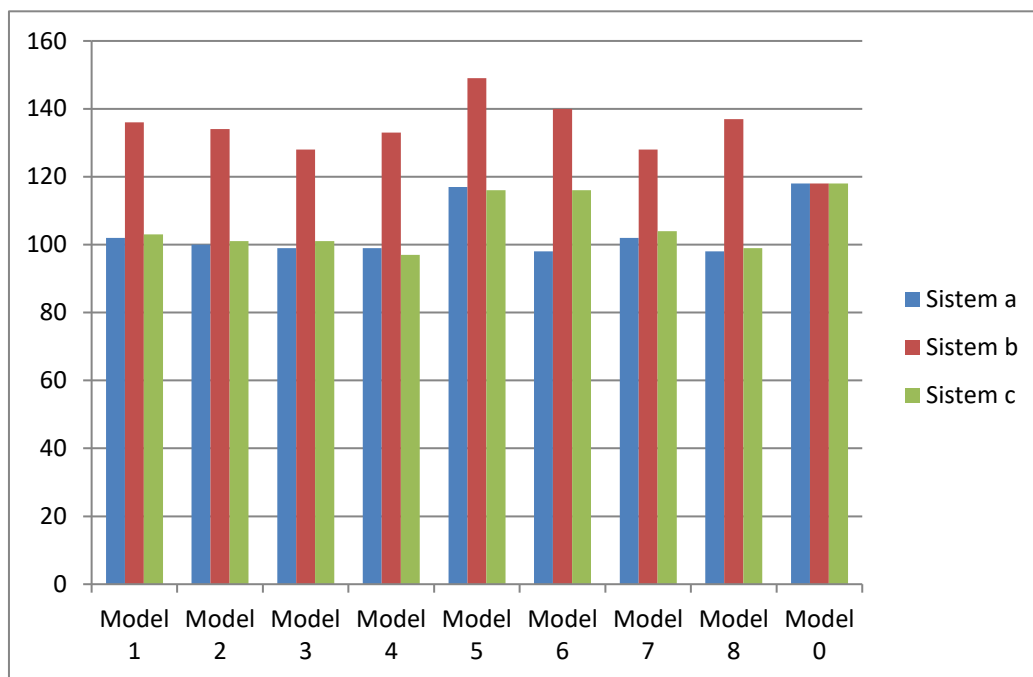


Fig.3.17 Forțe tăietoare maxime în grinziile liniilor de rezistență cu 9 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire

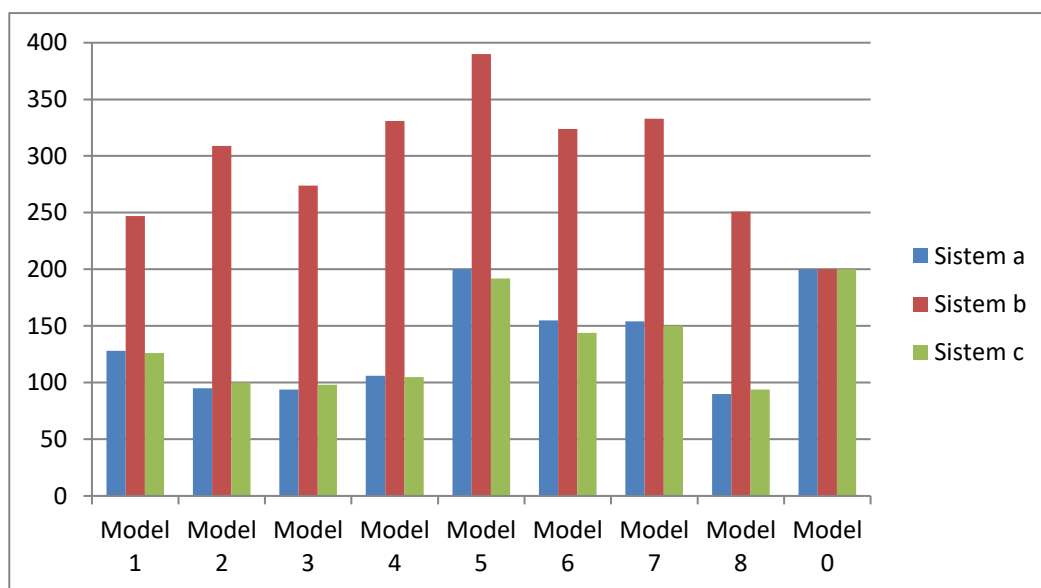


Fig.3.18 Forțe tăietoare maxime în grinziile liniilor de rezistență cu 15 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

În privința forțelor tăietoare din grinzi, pentru Sistemul b de contravântuiri, creșterea forțelor tăietoare este accentuată de creșterea numărului de niveluri. Transferul eforturilor în cazul Sistemelor a și c de contravântuiri sunt benefice pentru forțele tăietoare din grinzi care prezintă scăderi cu până la 50% din valorile inițiale. Modelele 2, 3, 4 și 8 cu așezarea neliniară a contravântuirilor sunt cele mai eficiente în reducerea acestor eforturi cu caracter sensibil pentru structuri. Valorile cu care sunt reduse forțele tăietoare (Sistemele "a" și "c") sunt cam aceleași cu cele cu care sunt amplificate (Sistemul "b") și anume 15% la liniile de rezistență cu 9 niveluri și 40% la cele cu 15 niveluri.

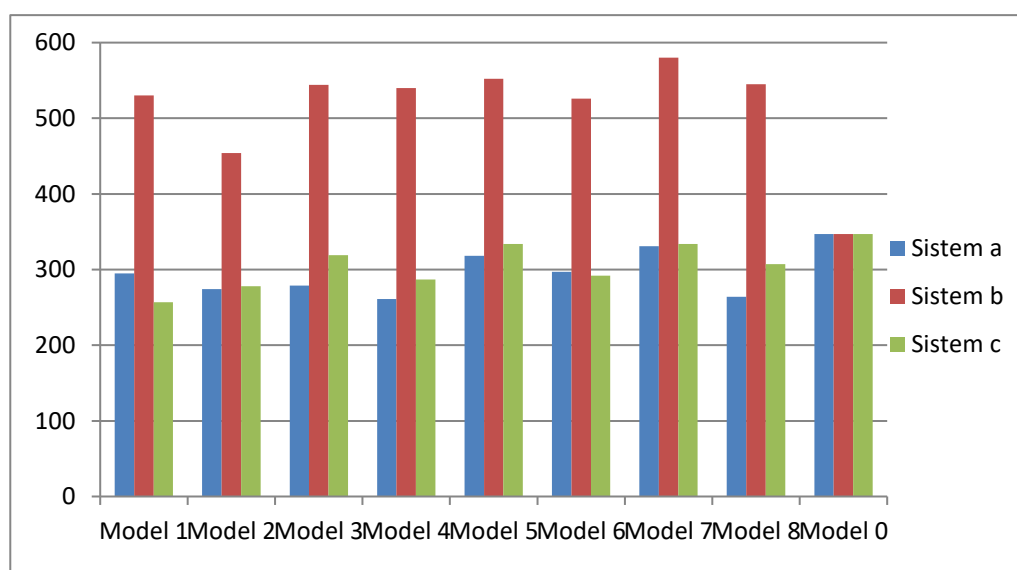


Fig.3.19 Forțe tăietoare maxime în stâlpii liniilor de rezistență cu 9 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire

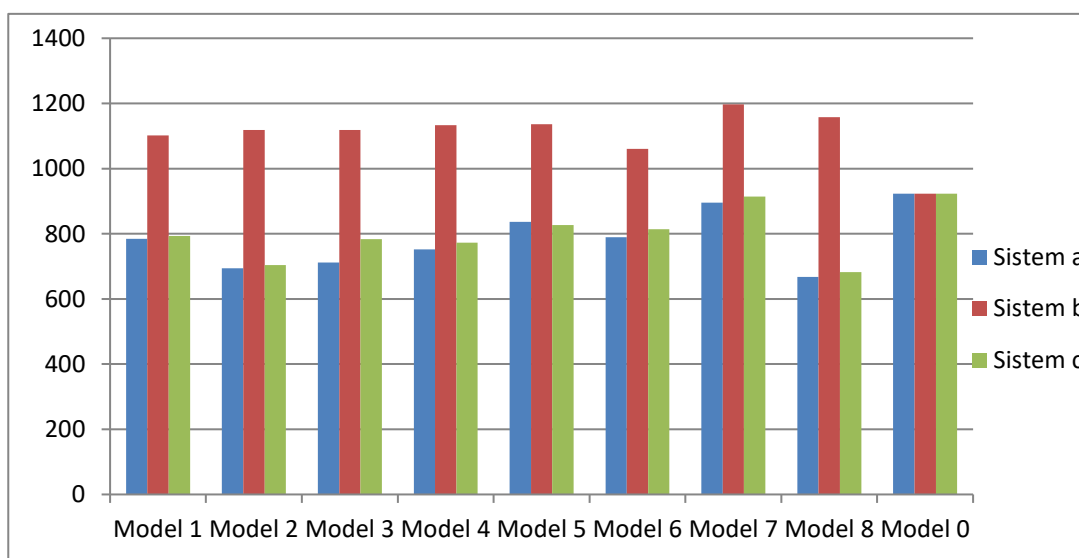


Fig.3.20 Forțe tăietoare maxime în stâlpii liniilor de rezistență cu 15 niveluri în funcție de sistemul de contravântuire

Forțele tăietoare din stâlpi asemenea forțelor tăietoare din grinzi cresc în cazul Sistemului b de contravântuire indiferent de tipul modelului. În privința celorlalte 2 sisteme, forțele tăietoare se reduc însă diferențele nu sunt mari între modele. Totuși modelul 8 pare

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

a fi cel mai eficient și în acest caz. În cazul liniilor de rezistență cu 9 niveluri stâlpii sunt mai încărcăți decât la cele cu 15 niveluri, creșterile de forțe tăietoare maxime sunt cu până la 40% din valorile inițiale și 20% la 15 niveluri. Sistemele "a" și "c" par să aibă o influență constantă cu reduceri de 15-20% din valorile inițiale.

3.5 Performanțele sistemelor și modelelor de contravântuire

Scopul acestui subcapitol este de a afla care sunt performanțele ce pot fi atinse prin consolidarea cu contravântuiri metalice, cu dezideratul reducerii eforturilor din elemente astfel încât să fie acoperite de capacitățile de rezistență ale elementelor existente. Acest lucru se va studia folosind secțiuni de tip dublu T pentru elementele metalice, secțiuni care vor avea ca dimensiuni maxime (înălțimea) dimensiunile laturilor stâlpilor.

CAPITOLUL 4: ASPECTE PRIVIND VERIFICAREA CONCLUZIILOR PRIM MODELE DE CALCUL SPATIALE (3D)

4.1. Cu privire la comportarea de ansamblu a clădirilor

În capitolele precedente, pentru a obține răspunsuri structurale cu privire la rigiditățile la deplasări laterale și capacitățile de rezistență ale structurilor duale din beton armat, pentru clădirile existente, precum și posibilitatea utilizării de sisteme structurale metalice pentru reducerea riscurilor seismice și punerea în siguranță structurală a acestora, s-au utilizat pentru claritate și concizie modele de calcul structural planare (2D), judicios și atent alese și echivalente.

În prezentul capitol s-a dorit verificarea pe modele reale, spațiale (3D) a concluziilor desprinse anterior, pentru unul dintre modelele (tiparele) de dispunere a contravanturilor metalice, cu dimensiunile elementelor componente ale structurii existente descrise anterior. Cu același prilej s-au verificat și pereții structurali din beton armat, având în vedere că elementele structurale de stalpi și grinzi au fost deja verificate.

Calculul s-a realizat pentru cele 3 regimuri de înălțime alese (4, 9 și 15 niveluri) atât pentru structurile clădirilor existente cât și pentru clădirile cu propuneri de intervenție cu contravanturări metalice. S-au realizat comparații între răspunsurile structurale obținute atât la nivel de perioade fundamentale de vibrație cât și deplasări, rotații relative și eforturi sectionale de tip forțe axiale, forțe tăietoare și momente încovoietoare. Marimile considerate în modelare și calcul au coincis cu cele asumate la calculele planare anterioare. În plan se constată că există câte 6 pereți structurali din beton armat, din care, prin simetrie s-a decis să fie detaiați și verificați prin calcul câte 2 (L1 și L3 pe longitudinal, respectiv T1 și T2 pe transversal) conform figurii 4.1.

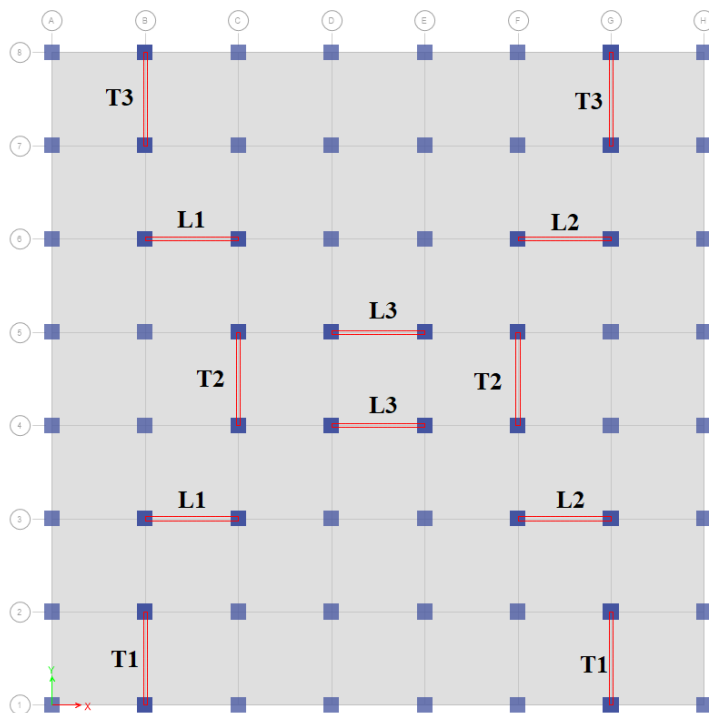


Figura 4.1. – Schiță cu privire la pozițiile peretilor structurali și numerotarea lor

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

Tabelul 4.1. – Raspunsuri la nivel de sistem structural pentru cladirea cu 4 niveluri					
Caracteristica	Cladire existenta		Cladire cu contravanturi		Δ [%]
	Nenormalizat	Normalizat	Nenormalizat	Normalizat	
T1 (sec)	0.265		0.231		12.51%
T2 (sec)	0.240		0.210		
T3 (sec)	0.238		0.209		
ux (mm)	5.960	14.900	4.920	12.300	22.36%
uy (mm)	6.030	15.075	4.950	12.375	
θx (‰)	0.573	1.433	0.420	1.050	
θy (‰)	0.581	1.453	0.422	1.055	
Forta taietoare (kN)	14774		14833		0.40%
Tabelul 4.2. – Raspunsuri la nivel de sistem structural pentru cladirea cu 9 niveluri					
T1 (sec)	0.651		0.510		23.86%
T2 (sec)	0.610		0.456		
T3 (sec)	0.604		0.455		
ux (mm)	44.170	110.425	24.060	60.150	144.41%
uy (mm)	45.150	112.875	23.960	59.900	
θx (‰)	1.974	4.935	10.610	26.525	
θy (‰)	2.021	5.053	1.057	2.643	
Forta taietoare (kN)	37675		37925		0.66%
Tabelul 4.3. – Raspunsuri la nivel de sistem structural pentru cladirea cu 15 niveluri					
T1 (sec)	1.232		0.812		39.47%
T2 (sec)	1.188		0.689		
T3 (sec)	1.172		0.676		
ux (mm)	174.040	435.100	55.540	138.850	69.10%
uy (mm)	179.510	448.775	52.930	132.325	
θx (‰)	4.714	11.785	1.517	3.793	
θy (‰)	4.872	12.180	1.462	3.655	
Forta taietoare (kN)	69816		70867		1.51%

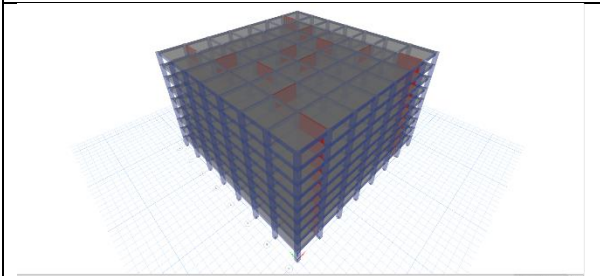
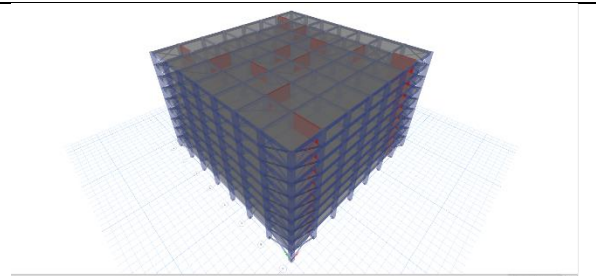
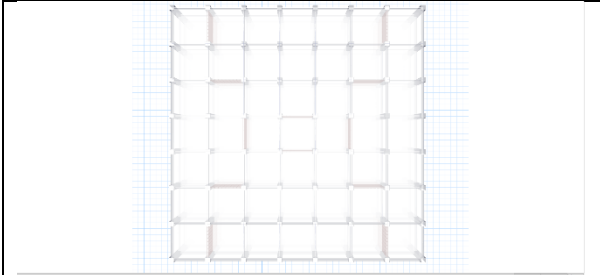
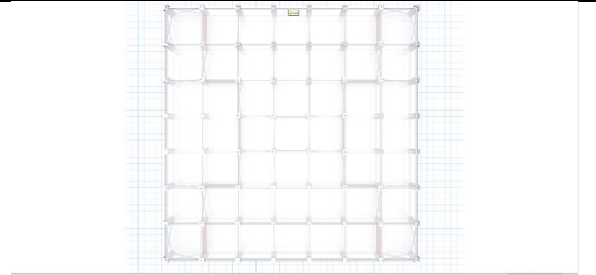
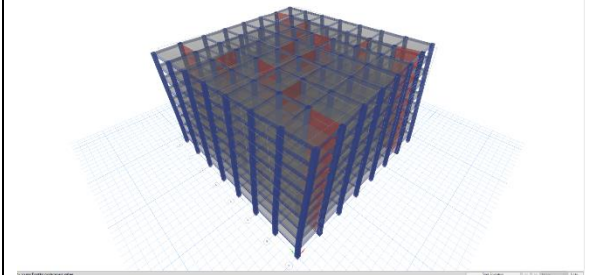
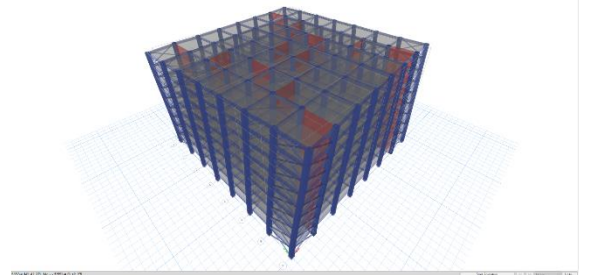
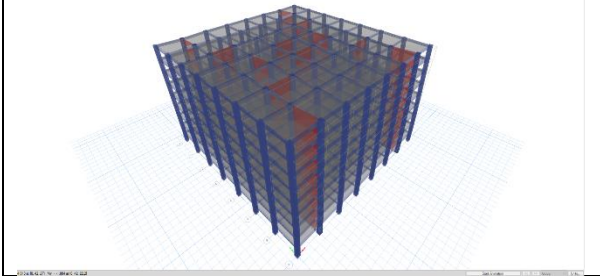
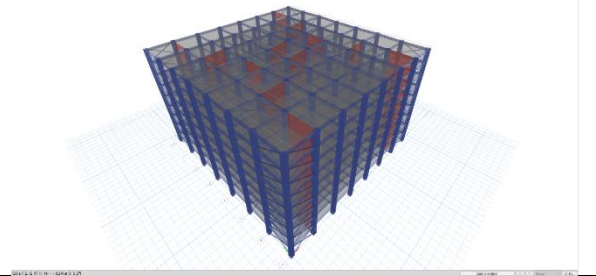
Tabelul 4.4. – Diferente medii procentuale constatate in urma calculelor efectuate	
Caracteristici	Diferente medii Δ_{med} [%]
Perioade fundamentale	25.28
Rotiri relative de nivel	78.62
Forta taietoare de baza	0.86

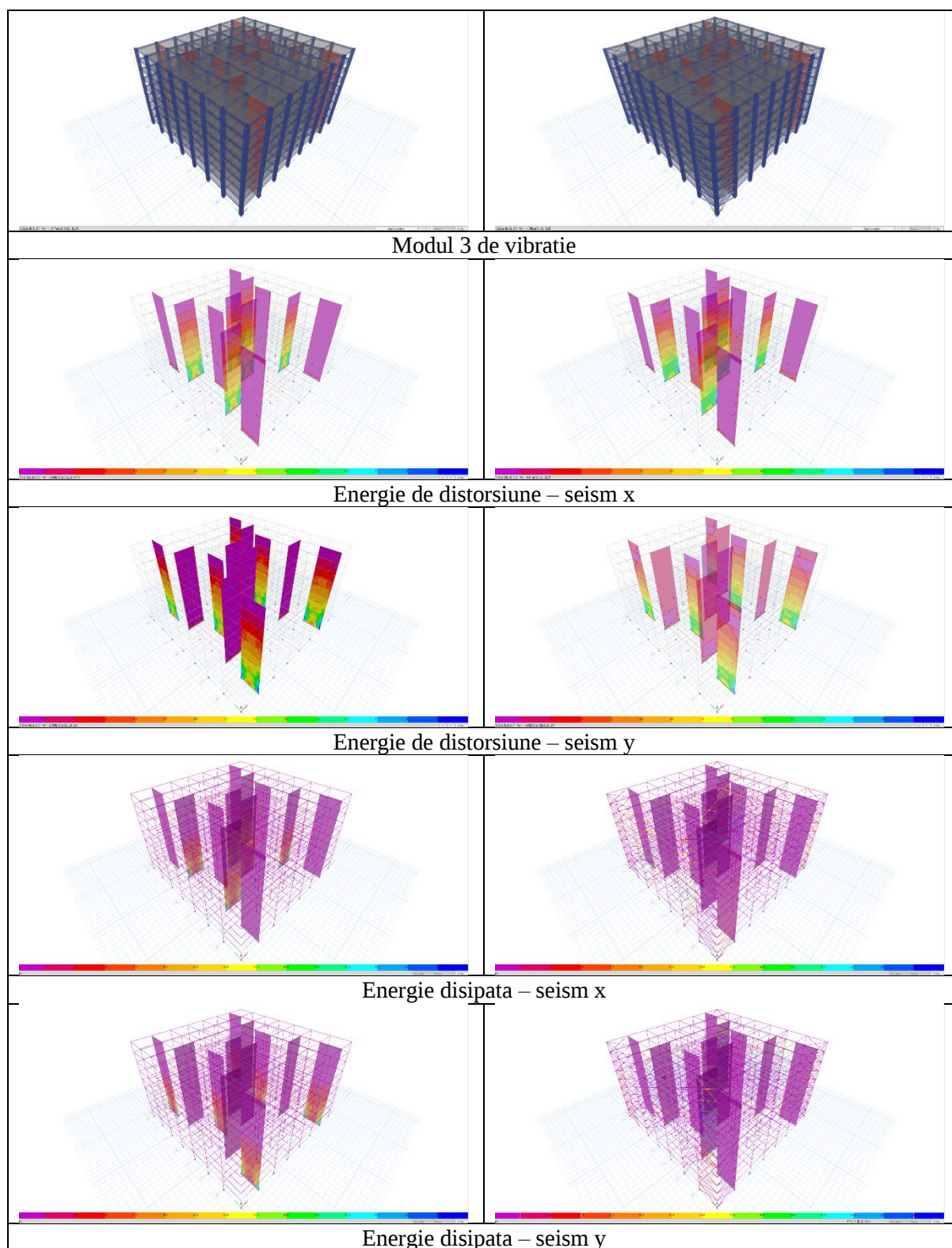
Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

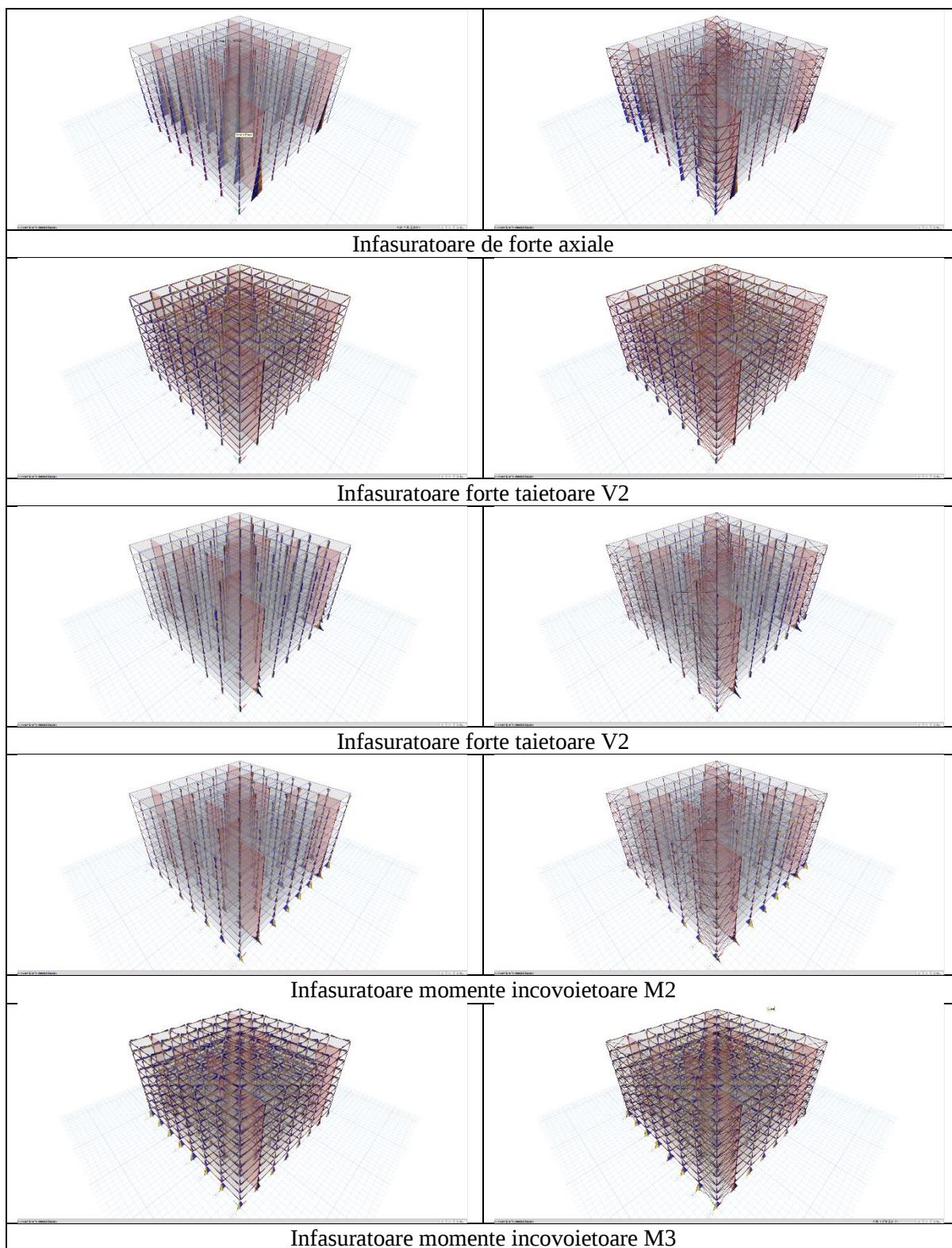
În tabelele 4.1, 4.2, 4.3 și 4.4 sunt prezentate separat dar și ca medie, răspunsurile structurale obținute. Asadar, se constată că în medie, răspunsurile la nivel structural s-au îmbunătățit pentru fiecare dintre cele 3 regimuri de înălțime, după cum urmează:

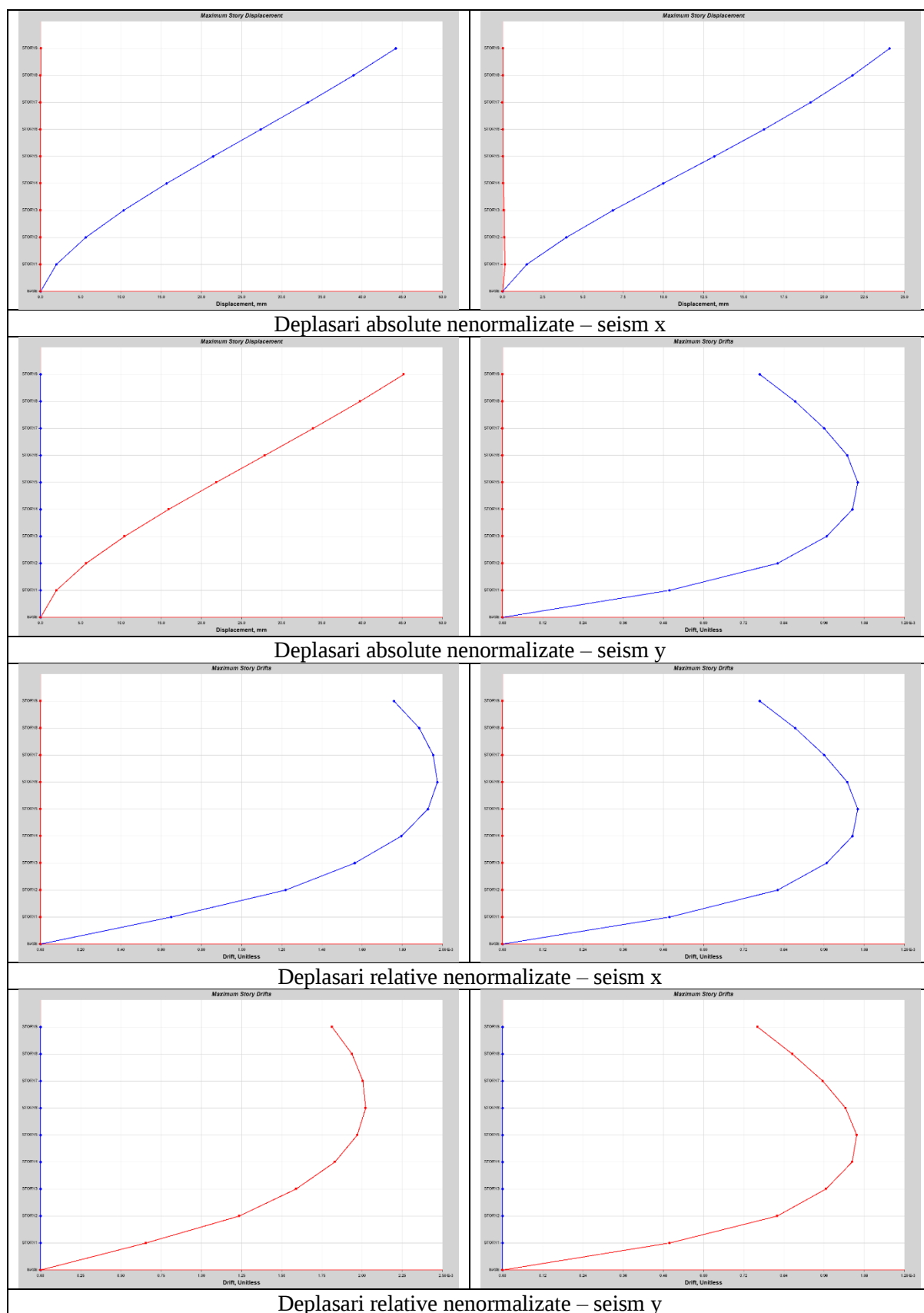
- Rigiditățile relative de nivel s-au îmbunătățit conducând atât la perioade fundamentale de vibrație cu circa 25.28% mai mici pentru structura cu intervenții față de cea inițială dar și la rotații relative de nivel mai mici cu circa 78.62% pentru structura cu intervenții față de cea inițială;
- Forțele tăietoare de bază, prin adăugarea contravanturilor, din cauza maselor suplimentare aduse, au crescut infim, cu cca 0.86% (sub 1%).

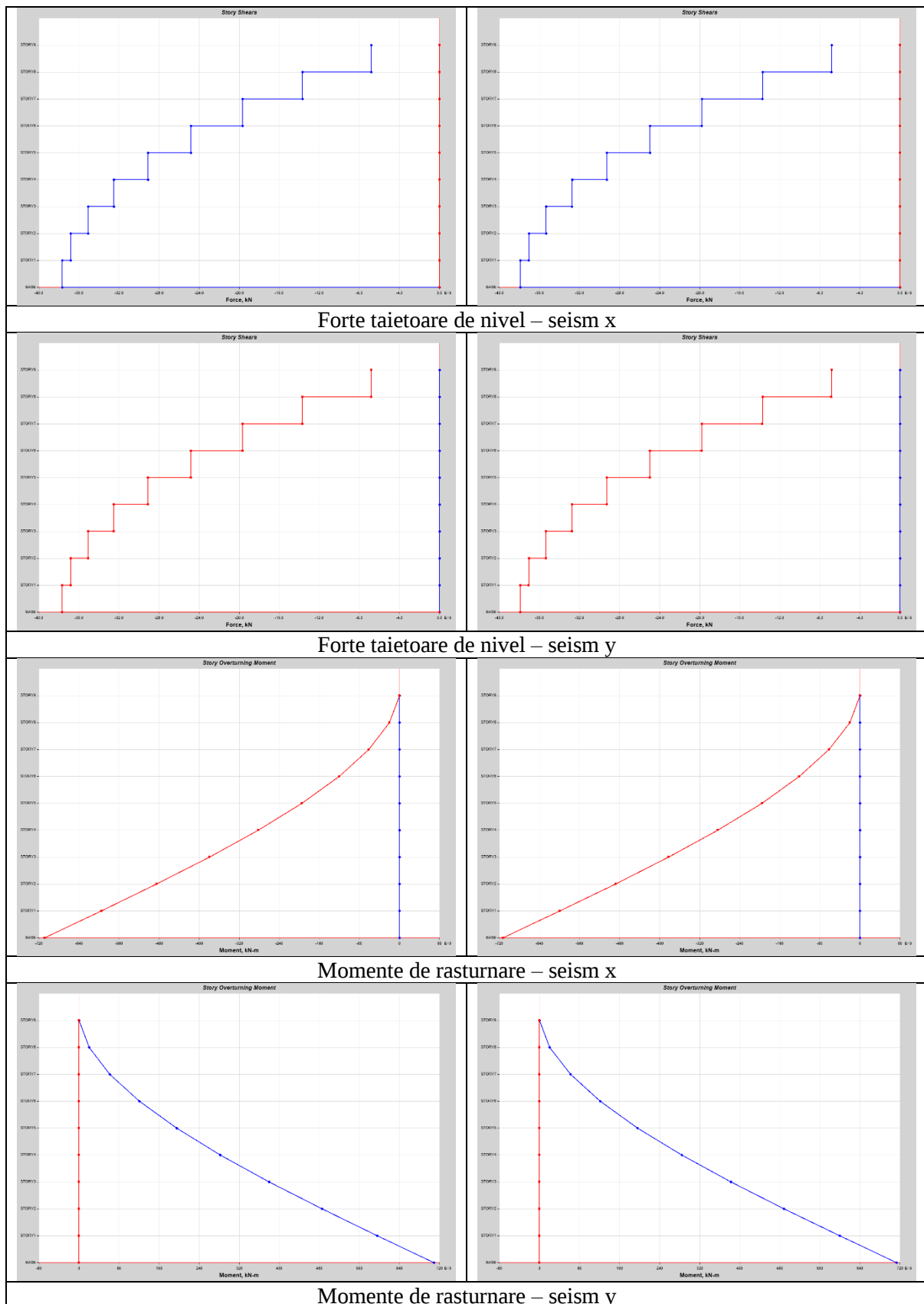
În rezumat, în mod aleator, se prezintă răspunsurile structurale ale clădirii cu 9 niveluri.

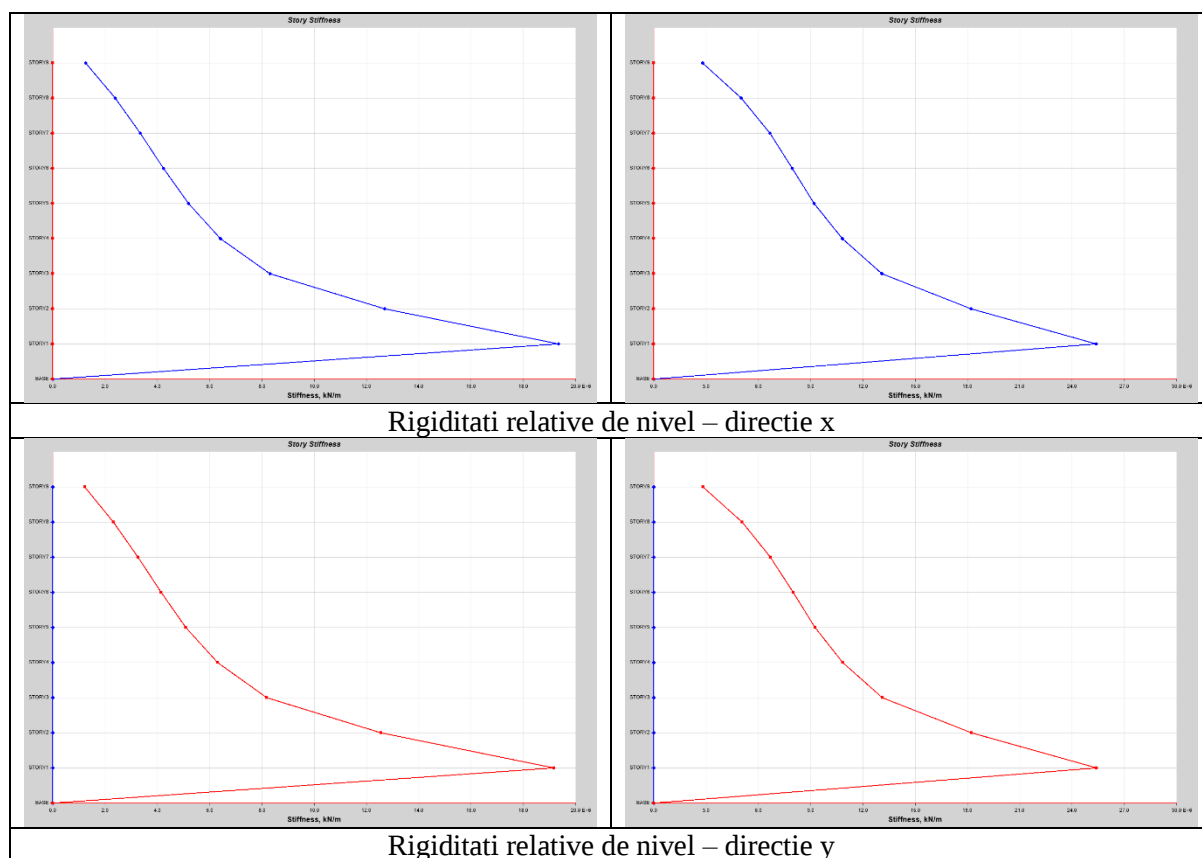
Tabelul 4.6. – Răspunsuri structurale pentru clădirea cu 9 niveluri	
Model 3D clădire existentă inițial	Model 3D clădire existentă cu consolidare
	
Model vedere 1	
	
Model vedere 2	
	
Modul 1 de vibrație	
	
Modul 2 de vibrație	

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

În urma consultărilor răspunsurilor obținute la nivel de sisteme structurale, parțial redate în tabelele 4.5, 4.6 și 4.7 se constată o îmbunătățire netă a comportării structurilor pentru clădirile existente după realizarea intervențiilor de punere în siguranță structurală bazate pe contravanturări metalice, conform celor descrise și stabilite în capitolele anterioare.

4.2. Cu privire la peretii structurali din beton armat

În tabelele 4.8-4.4.13 sunt prezentate sub formă grafică diferențele de eforturi sectionale de tip forțe axiale, forțe tăietoare și momente încovoietoare pentru cazurile tipice de peretii structurali menționate mai înainte, pe direcție longitudinală respectiv transversală (având în vedere că există câte 2 tipuri diferite de peretii din punct de vedere al poziției în plan și comportării, pe fiecare dintre cele două direcții principale ale clădirii (longitudinală și transversală)). În tabelul 4.14 sunt prezentate grafic diferențele eforturi pe peretii structurali existenți la clădirea cu contravanturări față de situația inițială, exprimate în procente, iar în tabelul 4.15 sunt prezentate diferențele medii procentuale.

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

Tabelul 4.10 – Comparatii intre eforturile sectionale pe pereti la cladirile cu 9 niveluri		
Pereti structurali longitudinali		
Peretele structural longitudinal L1		
Forte axiale de nivel [kN]	Forte taietoare de nivel [kN]	Momente incovoietoare de nivel [kNm]
Valori pentru seism stanga-dreapta		
Peretele structural longitudinal L2		
Valori pentru seism stanga-dreapta		

Tabelul 4.14 Diferente eforturi pe peretii structurali existenti la cladirea cu contravantuiri fata de situatia initiala, exprimate in [%]	
Cladire cu 9 niveluri	
Perete L1	Perete L3

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

Tabelul 4.15 – Diferente medii exprimate in [%]						
Pereti structurali directie longitudinala						
Regim de inaltime	Perete L1; L2			Perete L3		
	ΔN	ΔV	ΔM	ΔN	ΔV	ΔM
4	8.95	19.21	39.54	0.11	16.31	44.76
9	23.76	56.61	111.66	1.34	19.10	123.81
15	2.83	31.51	104.08	1.23	35.61	106.28
Pereti structurali directie transversala						
Regim de inaltime	Perete T1; T3			Perete T2		
	ΔN	ΔV	ΔM	ΔN	ΔV	ΔM
4	10.39	24.63	37.92	0.91	25.06	37.78
9	42.93	37.03	175.23	0.44	32.13	150.91
15	105.56	58.36	164.64	1.48	58.64	164.74

În calculele pe modele spațiale (3D), se constată o similaritate perfectă cu concluziile desprinse în urma studiilor planare pentru liniile de rezistență alese ca modele planare (2D) pentru elementele structurale constitutive și implicit pentru pereții structurali din b.a.:

- Pentru pereții marginali apar suplimentar creșteri sau scăderi mai mari ale forțelor axiale, în funcție de sensul acțiunii seismice;
- Pentru pereții centrali diferențele de forțe axiale sunt în general sub 1.5%, datorită simetriei;
- În schimb, la toți pereții, indiferent de poziția simetrică în planul clădirii, se constată reduceri medii semnificative ale forțelor tăietoare (între 19.10 și 58.64%) respectiv ale momentelor încovoietoare din planul peretilor structurali (între 37.78 și 164.74%).

Verificarea peretilor structurali existenti, s-a realizat cu programul de calcul Sekon®, realizat la Departamentul de Constructii Civile, Inginerie urbana si Tehnologie din UTCB. Rezultatele sunt prezentate in tabelele care urmeaza (tabelele de la 4.16-4.27).

În urma verificărilor realizate pentru fiecare tip de perete, pentru ambele sensuri ale seismului de pe direcția pe care aceștia sunt dispuși, pentru fiecare regim de înălțime, au rezultat ca măsurile de reducere a riscului seismic și de punere în siguranță prin introducerea de contravanturi, în concordanță cu concluziile prezentate în capitolele anterioare și în completarea acestora, sunt eficiente pentru structurile existente ale acestor clădiri, inclusiv pereții ajungând să lucreze în concordanță cu cerințele teoretice și conform codurilor în vigoare.

Pentru pereți s-au acceptat dimensiunile și armarile din figura 4.2.

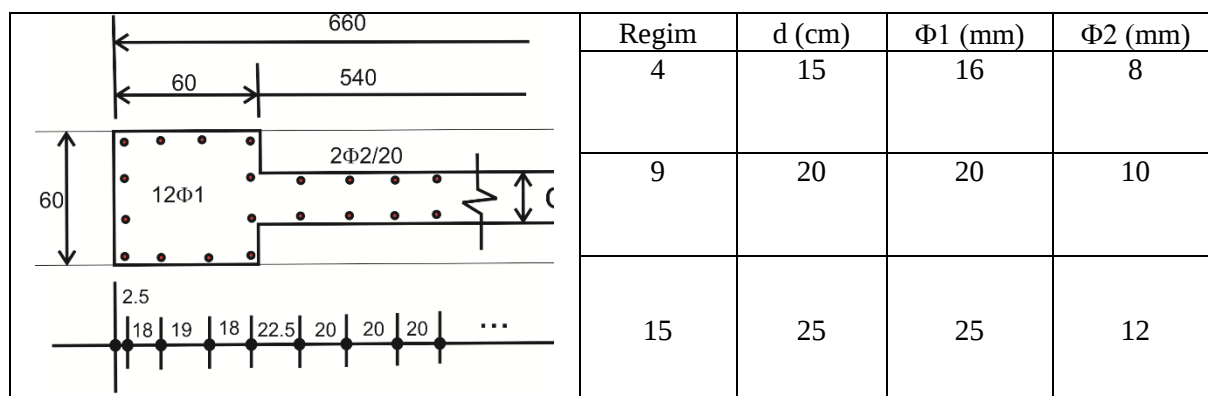
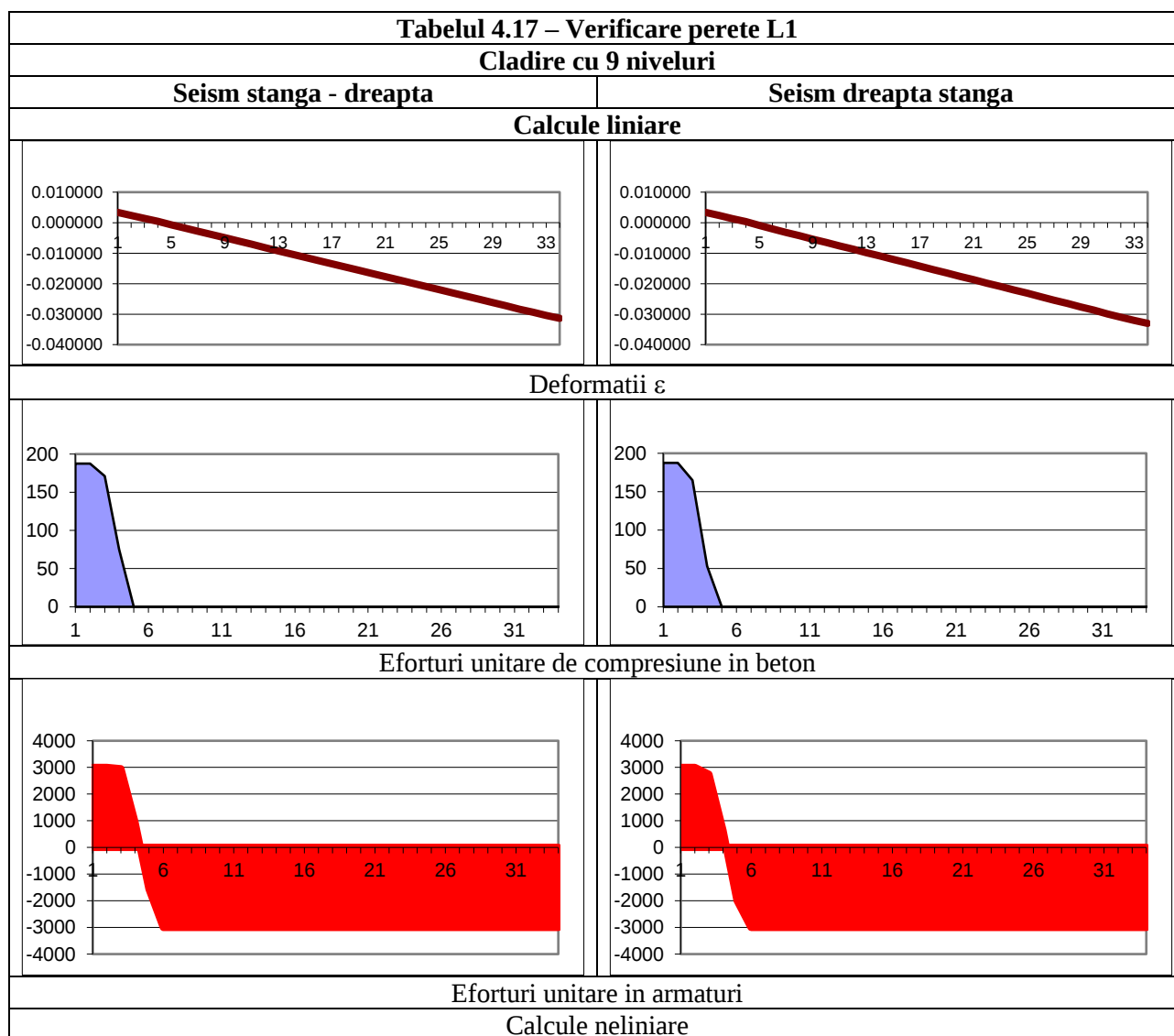
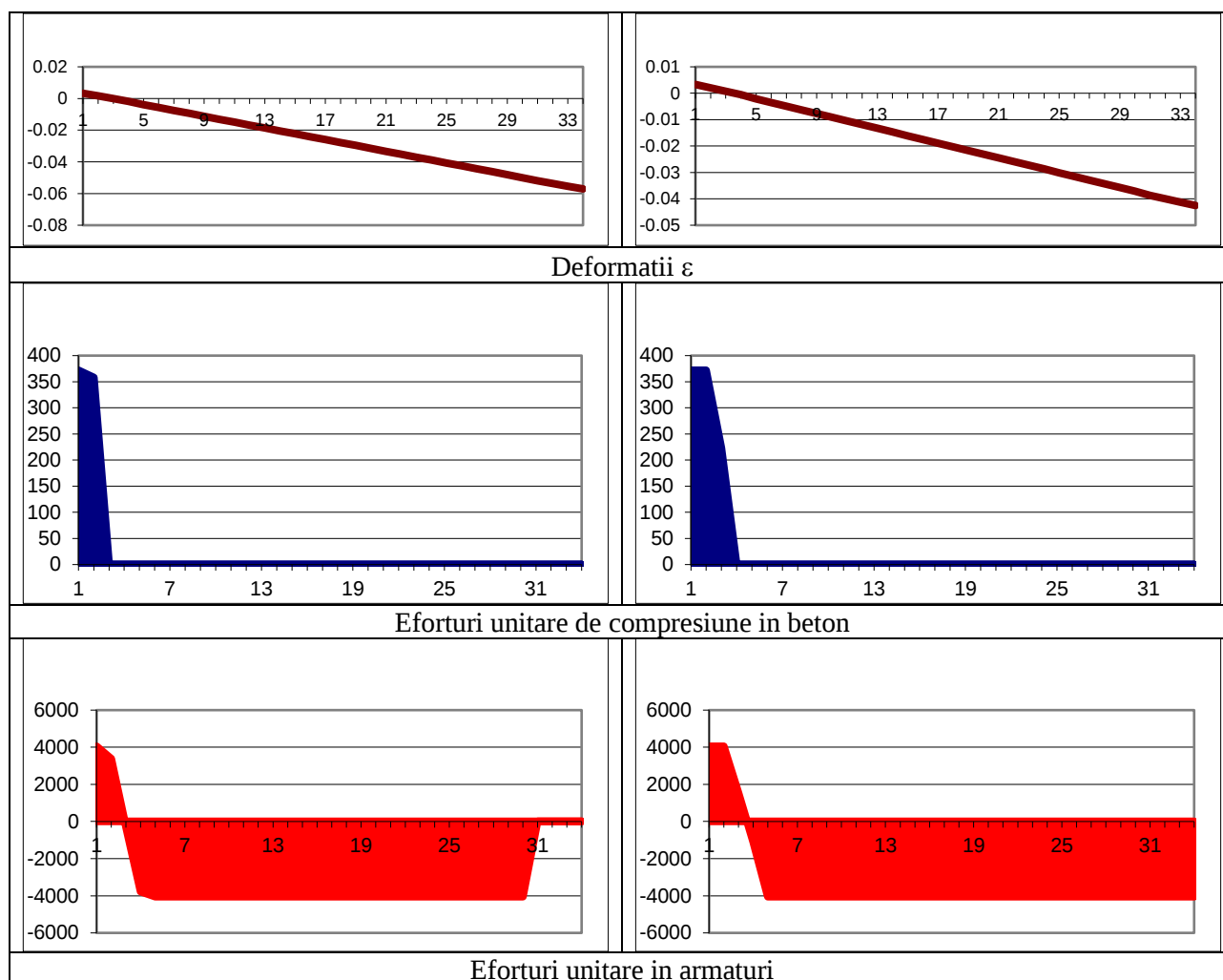
Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

Figura 4.2 – Dimensiuni si armari longitudinale pereti din beton armat

In rezumat se prezinta ca exemplu un perete pentru cladirea cu 9 niveluri.



Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

4.3. Concluzii

În urma calculelor efectuate pe modele spațiale (3D) - pentru unul dintre studiile de caz dezvoltate prin calcule planare (2D) pe linii de rezistență judicios alese în capitolele anterioare, pentru a se obține răspunsuri structurale clare și coerente – au arătat o corelație strânsă a rezultatelor cu concluziile desprinse anterior.

La nivel de rigidități relative de nivel la deplasări orizontale, traduse în (a se consulta tabelul 4.4):

- perioade fundamentale de vibrație – se constată că acestea scad în medie cu circa 25.28%;
- rotații relative de nivel – se constată că acestea scad în medie cu circa 78.62%.

În calculele pe modele spațiale (3D), se constată o similaritate perfectă cu concluziile desprinse în urma studiilor planare pentru liniile de rezistență alese ca modele planare (2D) pentru elementele structurale constitutive și implicit pentru pereții structurali din b.a.:

- Pentru pereții marginali apar suplimentar creșteri sau descreșteri mai mari ale forțelor axiale, în funcție de sensul acțiunii seismice;
- Pentru pereții centrali diferențele de forțe axiale sunt în general sub 1.5%, datorită

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

simetriei;

- In schimb, la toti peretii, indiferent de pozitia simetrica in planul cladirii, se constata reduceri medii semnificative ale fortelor taietoare (intre 19.10 si 58.64%) respectiv ale momentelor incovoietoare din planul peretilor structurali (intre 37.78 si 164.74%).

Din verificarile efectuate pentru toate tipurile de pereti structurali (din punct de vedere al pozitiei in planul stucturii de rezistenta), de pe ambele directii principale ale cladirii (longitudinala si transversala), in ambele sensuri ale seismului de pe directia pe care acestia sunt dispusi, pentru fiecare regim de inaltime, au rezultat ca masurile de reducere a riscului seismic si de punere in siguranta orin introducerea de contravantuiri, in concordanta cu concluziile prezentate in capitolele anterioare si in completarea acestora, sunt eficiente pentru structurile existente ale acestor cladiri, inclusiv peretii ajungand sa lucreze in convordanta cu cerintele teoretice si conform codurilor in vigoare.

In programul de calcul Sekon se introduc: dimensiunile sectiunilor de beton ale peretilor structurali, pozitiile tuturor armaturilor, eforturile sectionale de tip forte axiale, forte taietoare si momente incovoietoare. Se obtin: lungimile zonelor comprimate si eforturile capabile atat pentru comportarea liniara cat si pentru cazul comportarii neliniare.

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice*CAPITOLUL 5: PREZENTAREA CONCLUZIILOR*

Atunci când se dorește reducerea vulnerabilităților seismice a clădirilor existente din beton armat cu structură duală, prin aplicarea de contravântuiri metalice, este important să se analizeze structura existentă și să se găsească punctele slabe ale acesteia. Clădirea poate avea deficiențe privind rigiditatea și/sau rezistența. Diferitele sisteme de contravântuire sau de așezare a contravântuirilor în elevație oferă rezultate diferite privind îmbunătățirea rezistențelor și a rigidității și de aceea contravântuirile pot suplini lipsurile clădirii sau pot accentua aceste deficiențe.

În ceea ce privește studiul de față, structurile au prezentat deficiențe de rezistență. Deplasările relative de nivel au valori sub valorile admisibile. Acest lucru se datorează existenței pereților care conferă rigiditate liniilor de rezistență. Pe de altă parte, din cauza rigidității, pereții se comportă ca niște concentratori de eforturi, accentuând lipsa de rezistență a elementelor componente ale liniei de rezistență.

Pe parcursul lucrării au existat două linii de comparație. Pe de o parte au fost comparate rezultatele oferite de sistemele de contravântuire "a", "b" și "c", iar pe de altă parte au fost comparate modelele de amplasare a contravântuirilor 1→8.

Rigiditatea liniilor de rezistență poate fi caracterizată de perioada proprie fundamentală și de deplasările relative de nivel. Sistemul "b" de contravântuire a avut rezultatele cele mai bune în reducerea perioadelor proprii și a deplasărilor relative de nivel. Sistemele "a" și "c" au avut influențe asemănătoare, cu mici diferențe: Sistemul "a" a redus mai mult ca Sistemul "c" perioadele proprii, iar Sistemul "c" a redus mai mult deplasările relative de nivel.

Având în vedere momentele încovoietoare și forțele tăietoare din grinzi și stâlpi Sistemele "a" și "c" au fost cele mai eficiente în reducerea lor. Sistemul "b" a avut o influență mult mai mică în reducerea eforturilor, în unele cazuri eforturile rezultate au fost mai mari decât cele ale structurii neconsolidate, în special forțele tăietoare au prezentat valori crescute față de cele inițiale.

În concluzie Sistemele de tip "a" și "c" pot avea o utilizare mai largă deoarece produc îmbunătățiri legate și de rezistență și de rigiditate, în timp ce folosirea unui Sistem de tip "b" implică o atenție sporită pentru că deși oferă rezultate foarte bune privind rigidizarea, provoacă creșteri ale eforturilor elementelor de beton armat.

Comparând modelele de așezare a contravântuirilor în elevație a rezultat că modelul 8 a fost cel mai eficient atât în reducerea eforturilor cât și în îmbunătățirea rigidității. De aici se poate trage concluzia că utilizarea unui număr cât mai mare de cadre contravântuite amplasate dezordonat în toate deschiderile liniei de rezistență oferă rezultate foarte bune indiferent de tipul deficienței structurii existente. Modelele 1 și 6 au avut rezultate bune în îmbunătățirea rigidității, iar modelele 2, 3, 4 au avut rezultate bune în reducerea eforturilor. Astfel o amplasare liniară a cadrelor contravântuite atât în deschiderile centrale cât și în cele laterale este eficientă pentru rigiditate, iar o amplasare dezordonată a cadrelor contravântuite permite mai degrabă reducerea eforturilor. Pentru reducerea eforturilor este importantă prezența cadrelor contravântuite în toate deschiderile, informație dată de faptul că modelul 4 a avut rezultate mai slabe decât modelele 2 și 3.

Modelele 5 și 7 au avut cele mai slabe performanțe în îmbunătățirea rezistenței și a rigidității structurilor. Acestea conțin cel mai mic număr de cadre contravântuite și sunt amplasate liniar în câte o deschidere, influența lor asupra liniei de rezistență fiind de cele mai multe ori prea mică sau nulă. Comparate între ele a rezultat că modelul 7 a avut rezultate

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

mai bune privind rezistența și rigiditatea, fapt datorat amplasării cadrelor contravântuite lângă perete, ansamblul acestora oferind o rigiditate mai bună decât dacă contravântuirile nu au fost legate de pereți. De asemenea forțele tăietoare din stâlpi au fost mai mari în cazul modelului 7.

Urmărind performanțele atinse de sistemele și modelele de contravântuire analizate în scopul de a reduce eforturile până la valori aflate sub valorile capacităților grinzilor, stâlpilor și a nodurilor a rezultat că o mare provocare a fost ca verificarea capacității nodurilor să fie satisfăcută.

Pentru liniile de rezistență cu patru niveluri, verificarea diagonalei comprimate de beton a nodului a fost satisfăcută în cazul modelelor 3, 4, 5, 6 și 8 pentru toate tipurile de sisteme de contravântuire, cu observația că în cazul Sistemului "b" forțele tăietoare din stâlpi au ajuns la valori mai mari decât capacitățile lor la forță tăietoare. Rezistența nodurilor era singura deficiență a liniilor de rezistență cu patru niveluri. Verificarea etrierilor din nod nu a fost satisfăcută în general indiferent de numărul de niveluri, deoarece numărul etrierilor din nod a fost insuficient. În unele cazuri această verificare a fost satisfăcută deoarece cerința de rezistență este dependentă de forța axială din stâlpi.

În cazul liniilor de rezistență cu nouă niveluri verificarea diagonalei comprimate din nod a fost satisfăcută doar pentru combinația modelul 8-Sistemul "c". Liniile de rezistență consolidate cu sistemele "a" și "c" au redus eforturile din stâlpi și grinzi sub valorile rezistențelor, cu excepția forței tăietoare maxime din stâlpi. Pentru Sistemul "c"-modelele 5 și 7 și momentele încovoietoare maxime din grinzi au depășit capacitățile la încovoiere. În cazul Sistemului "b" a fost atins scopul doar pentru momentele încovoietoare din stâlpi și grinzi pentru unele modele. La modelul 7 a fost depășită capacitatea la compresiune a stâlpilor de lângă pereți.

Capacitatea la compresiune a stâlpilor a fost depășită stâlpii-bulbi ai liniilor de rezistență cu cincisprezece niveluri la modelele 1, 5, 6 și 7. Folosind modelele 2, 3, 4 și 8 momentele încovoietoare și forțele tăietoare din grinzi au fost reduse sub valorile rezistențelor aferente.

La structurile cu regim mare de înălțime trebuie avute în vedere în general proceduri combinate de consolidare, ca de exemplu sisteme de contravântuiri și camașuiri, pereți de umplutură sau de pereți de forfecare.

Ca direcții de cercetare viitoare pot fi abordate teme ce implică analiza eficienței conlucrării între sistemele de contravântuire și un alt sistem de consolidare.

În urma calculelor efectuate pe modele spațiale (3D) - pentru unul dintre studiile de caz dezvoltate prin calcule planare (2D) pe linii de rezistență judicios alese în capitolele anterioare, pentru a se obține raspunsuri structurale clare și coerente – au aratat o corelație stransă a rezultatelor cu concluziile desprinse anterior.

La nivel de rigidități relative de nivel la deplasări orizontale, traduse în (a se consulta tabelul 4.4):

- perioade fundamentale de vibrație – se constata ca acestea scad în medie cu circa 25.28%;
- rotiri relative de nivel – se constata ca acestea scad în medie cu circa 78.62%.

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice

În calculele pe modele spațiale (3D), se constată o similaritate perfectă cu concluziile desprinse în urma studiilor planare pentru liniile de rezistență alese ca modele planare (2D) pentru elementele structurale constitutive și implicit pentru pereții structurali din b.a.:

- Pentru pereții marginali apar suplimentar creșteri sau scăderi mai mari ale forțelor axiale, în funcție de sensul acțiunii seismice;
- Pentru pereții centrali diferențele de forțe axiale sunt în general sub 1.5%, datorită simetriei;
- În schimb, la toți pereții, indiferent de poziția simetrică în planul clădirii, se constată reduceri medii semnificative ale forțelor tăietoare (între 19.10 și 58.64%) respectiv ale momentelor încovoietoare din planul pereților structurali (între 37.78 și 164.74%).

Din verificările efectuate pentru toate tipurile de pereți structurali (din punct de vedere al poziției în planul structurii de rezistență), de pe ambele direcții principale ale clădirii (longitudinală și transversală), în ambele sensuri ale seismului de pe direcția pe care aceștia sunt dispuși, pentru fiecare regim de înălțime, au rezultat ca măsurile de reducere a riscului seismic și de punere în siguranță prin introducerea de contravanturi, în concordanță cu concluziile prezentate în capitolele anterioare și în completarea acestora, sunt eficiente pentru structurile existente ale acestor clădiri, inclusiv pereții ajungând să lucreze în concordanță cu cerințele teoretice și conform codurilor în vigoare.

Din toate teoriile moderne, bazat pe observațiile post-seisme, din încercările pe pereți efectuate în laboratoare și din calculele numerice, putem indica o strânsă legătură între ductilitatea capabilă și raportul dintre înălțimea secțiunii transversale a perețului (lungimea perețului) și înălțimea zonei comprimate a acestuia, în fiecare secțiune de calcul, pentru calculele neliniare.

Perete/Varianta	L1	L2	T1	T2
4 niveluri	27.5	27.5	27.5	26.4
9 niveluri	17.4	15.4	14.1	15.4
15 niveluri	10	11.4	8.6	11.4

Asadar ductilitatile capabile se observa ca sunt cuprinse între 8.6 și 27.5, valori compatibile cu ceea ce se cunoaste despre pereții structurali din beton armat.

Contribuții la consolidarea clădirilor existente prin utilizarea soluțiilor cu elemente metalice**BIBLIOGRAFIE SELECTIVA**

- [1] Mario D’Aniello – Steel Dissipative Bracing Systems for Seismic Retrofitting of Existing Structures: Theory and Testing
- [2] Dr. Durgesh C Rai, Department of Civil Engineering Indian Institute of Technology Kanpur, Kanpur - Review of Documents on Seismic Strengthening of Existing Buildings
- [3] Elizabeth A. Jones, James O. Jirsa – Seismic Strengthening of a reinforced concrete frame using structural steel bracing
- [4] M.A. Youssef, H. Ghaffarzadeh, M. Nehdi - Seismic performance of RC frames with concentric internal steel bracing
- [5] Viswanath K.G, Prakash K.B., Anant Desai - Seismic Analysis of Steel Braced Reinforced Concrete Frames
- [6] Marc Eric Badoux – Seismic retrofitting of seismic reinforced concrete structures with steel bracing systems
- [8] P100-3:2019 Cod de proiectare seismică - Partea a III-a - Prevederi pentru evaluarea seismică a clădirilor existente
- [9] P100-1:2013 Cod de proiectare seismică – Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri
- [10] SR EN 1993-1-1 Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri
- [11] CR 0-2012 - Cod de proiectare. Bazele proiectării construcțiilor
- [12] CR 1-1-3/2012 - Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii zăpezii asupra construcțiilor
- [13] CR 1-1-4/2012 - Cod de proiectare. Evaluarea acțiunii vântului asupra construcțiilor
- [14] SR EN 1992-1-1:2004/NB:2008 - Proiectarea structurilor din beton. Reguli generale și reguli pentru clădiri. Anexa națională
- [15] SR EN 1993-1-1:2006/NA:2008 - Proiectarea structurilor de oțel. Reguli generale și reguli pentru clădiri. Anexa națională
- [16] CR2-1-1.1-2013 - Cod de proiectare a construcțiilor cu pereți structurali de beton armat
- [17] NE 012-1-2007 - Cod de practică pentru executarea lucrărilor din beton, beton armat și beton precomprimat - Partea 1: Producerea betonului
- [18] SR EN 1991-1-1:2004/NA:2006 - Acțiuni asupra structurilor. Acțiuni generale - Greutăți specifice, greutăți proprii, încărcări utile pentru clădiri. Anexa națională
- [19] SR EN 1993-1-3:2008/NB:2008 - Proiectarea structurilor de oțel. Reguli generale – Reguli suplimentare pentru elemente structurale și table formate la rece. Anexa națională
- [20] SR EN 1993-1-8:2006/NB:2008 - Proiectarea structurilor de oțel. Proiectarea îmbinarilor. Anexa națională
- [21] Ezzaki N., Stoica D., Rece L., Modrea A - Reducing the seismic vulnerability for RC buildings by using steel bracing elements – Romanian Journal of Transport Infrastructure - DOI: <https://doi.org/10.2478/rjti-2019-0005> - Published online: 12 Nov 2019
- [22] Rece L., Ezzaki N., Stoica D., Jeflea V. - The use of tuned mass dampers for reducing structural vulnerabilities during the side movements of buildings with reinforced concrete frames - Romanian Journal of Transport Infrastructure 2019 - DOI: <https://doi.org/10.2478/rjti-2019-0004> - Published online: 12 Nov 2019
- [23] Ezzaki N., Stoica D., Rece L., Legendi A., - The use of damper systems in buildings with reinforced concrete structures - [CBU International Conference Proceedings ...](#); Prague, Vol. 7, (2019). DOI:10.12955/cbup.v7.1474