

CONFORMAREA STRUCTURILOR DUALE SUPUSE ACȚIUNILOR SEISMICE

CONFORMATION OF DUAL STRUCTURES SUBJECT TO SEISMIC ACTIONS

Dr. ing. Anca RUS¹, Dr. ing. Aurel ARDELEA¹, Prof. univ. dr. ing. Carmen BUCUR²

¹ Institutul de studii și proiectări Căi Ferate SA
B-dul Dinicu Golescu, București, Romania

² Technical University of Civil Engineering - Department of Mechanics of Structures
B-dul Lacul Tei, 124, Bucharest, Romania
e-mail: bucurmecanica@yahoo.com

Rezumat: Conformarea sistemelor structurale supuse la acțiuni seismice existente și nou proiectate ridică încă unele probleme. În prima parte a articolului sunt prezentate două clădiri existente la care s-a îmbunătățit comportarea la acțiuni seismice prin transformarea sistemului structural inițial în sistem dual. În partea a doua este prezentată o clădire nou proiectată amplasată în zonă cu nivelul hazardului seismic cel mai ridicat ($a_g=0.32g$), pentru care s-a ales sistemului structural dual și care prezintă diverse particularități neconforme.

Cuvinte cheie: conformare structurala, structuri duale, consolidare, concept de proiectare

Abstract: The conformation of existing and new designed structural systems subject to seismic actions still raise some problems. The first part of the article presents two of the existing buildings with improved behaviour during seismic actions due to the transformation of the structural system into dual system. The second part shows a new designed building placed in an area with the highest seismic hazard level ($a_g=0.32g$) for which dual structures system was selected and that has various non-conforming features.

Keywords: conformation structural, dual structures, reinforcement, concept of design

1. INTRODUCERE

Lucrarea prezintă studii referitoare la conformarea seismică a sistemului structural dual în două situații și anume: (1) construcții existente având un sistem structural (altul decât dual) ce urmează a fi transformat în sistem dual și (2) construcții noi, realizate în sistem dual.

Pentru construcțiile existente obiectivul studiului constă în stabilirea lucrărilor necesare pentru transformarea sistemului lor structural actual în sistem dual cu scopul de a obține reducerea riscului seismic conform noilor cerințe de proiectare. Pentru construcțiile noi, amplasate în zone cu seismicitate mare obiectivul studiului a constat în conformarea structurală pentru clădiri cu regim de înălțime scăzut și prezentând particularități în ceea ce privește dimensiunile în plan sau asimetrii ale maselor care pot conduce la torsiuni semnificative.

Tema abordată - conformarea structurilor de tip dual - se află în atenția specialiștilor, fiind direct legată de nivelul codurilor de proiectare și la rândul ei influențând evoluția în timp a acestora.

2. SCURT COMENTARIU PRIVIND SISTEMUL STRUCTURAL DE TIP DUAL

Sistemul dual este folosit curent la alcătuirea structurilor din beton armat, [10]. Acesta se obține fie prin continuarea pereților structurali cu cadre necontravântuite, fie prin cuplarea mai multor pereți structurali cu grinzi de cuplare. În figura 1 sunt prezentate diferite sisteme structurale duale

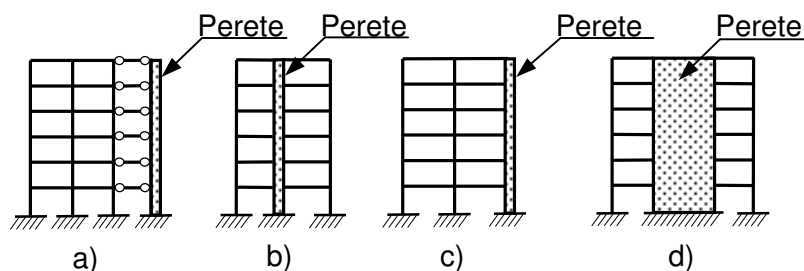


Fig. 1 Alcătuirea sistemului dual

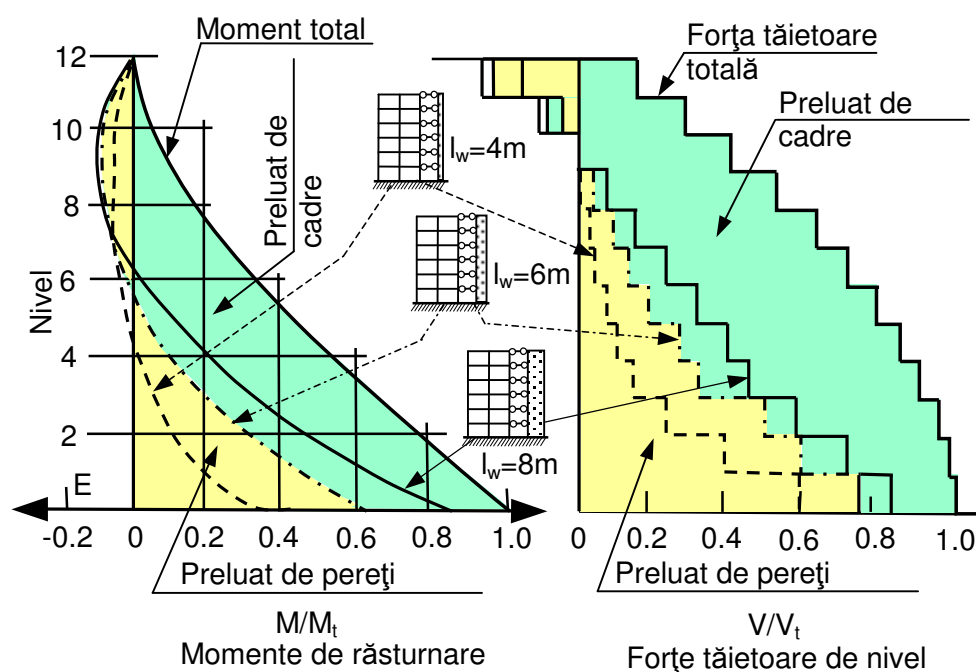


Fig. 2. Distribuția momentelor de răsturnare, calculate static și a forțelor tăietoare de etaj, pe pereții structurali și cadrele unor sisteme duale [6]

Cu toate că acest tip de structuri este folosit relativ des, în literatura de specialitate există puține studii referitoare la răspunsul lor la acțiuni seismice.

Problema principală la studiul unei structuri de tip sistem dual constă în a sesiza corect contribuția fiecărei componente. În figura 2 sunt prezentate rezultatele unui studiu, [6] privind modul de preluare a momentului de răsturnare și al forței tăietoare pentru o structură duală la

care variază lăţimea l_w a peretelui. Încărcarea considerată este forţa seismică echivalentă orizontală.

3. CONSTRUCȚII EXISTENTE - TRANSFORMARE ÎN SISTEM DUAL, CONFORMARE STRUCTURALĂ

În cadrul acestui capitol sunt prezentate două construcții existente la care s-a îmbunătățit comportarea la acțiuni seismice prin schimbarea sistemului structural existent în sistem dual și anume: liceul Nichita Stănescu, oraș Ploiești și corpul E din Ansamblul de clădiri Gara de Nord București, [2, 3, 12].

3.1. Ansamblul constructiv

3.1.1. Liceul Nichita Stănescu, oraș Ploiești

Proiectul clădirii existente a fost realizat în luna iulie 1969, conform Normativ P13 – 62, în vigoare la acea dată, și a fost construită în anii 1960-1970. Construcția este compusă din patru corpuri, dispuse în plan sub forma literei “Z”, despărțite între ele prin rosturi antiseismice de cca. 2,50 cm (fig. 3,a și 3,b). Ansamblul constructiv al liceului este o structura în cadre din beton armat, dispuse pe direcții ortogonale.



Fig. 3a, b. Fotografii cu corpul studiat (fațade și imagine din timpul lucrării de consolidare)

Din punct de vedere calitativ, construcția corespunde numai parțial cerințelor de conformare antiseismică, cele mai importante deficiențe constau în dimensiunile secționale mici și armarea transversală insuficientă la stâlpii cadrelor din beton armat. Ca urmare a acțiunii cutremurelor din 1977, 1986 și 1990, clădirea a avut avarii importante ca fisuri în numeroși pereți din zidărie și chiar fracturarea unor stâlpi de la corpurile A și B. Reparațiile superficiale la pereți și consolidările „strict locale”, ale stâlpilor avariați, au stabilizat construcția dar nu au dus la asigurarea acesteia la acțiunea unor cutremure majore. Construcția se încadrează în clasa de risc seismic R_s I, corespunzând construcțiilor la care sunt așteptate prăbușiri la incidenta cutremurului de intensitate corespunzătoare zonei seismice de calcul (B).

3.1.2 Corpului E din Ansamblu de clădiri Gara de Nord București

Corpul E1 este o construcție executată în perioada 1932-1934, cu regim de înălțime D+P+I+II+(III+IV–parțial). Structura este cu zidărie portantă simplă (ZNA) și accidental cadre din beton armat, cu planșee din beton armat în anumite locuri și cu planșee cu structură mixtă lemn și stuf; compartimentare deasă, predominant tip fagure. Corpul E2 este o construcție executată înainte de 1940, cu regim de înălțime P+I (fig. 4,a și 4,b). Alcătuirea structurii este mixtă, din cadre spațiale din beton armat și zidărie portantă confinată (ZC), planșeul peste parter este din beton armat, planșeul peste etaj este parțial din beton și din lemn și scara din beton armat monolit [12].



Fig.4.a,b Fațadele Corp E din Ansamblul Gara de Nord București [Expertiza tehnică 2010, 12]

Pe baza observațiilor vizuale au fost constatate următoarele: construcția se află într-o stare avansată de degradare. Se constată fisuri pe ambele fațade, la ancadramentul ferestrelor (în spațiile dintre golurile geamurilor), fisuri deschise la pereții interiori și în pardoseli. Se constată urme de igrasie pe pereți atât datorită lipsei izolației hidrofuge, cât și datorită instalațiilor sanitare defecte și uzate. În subsol există o degradare accentuată a acoperirii de beton, armaturile sunt într-o stare avansată de corodare. Turnul de la etajul IV, structural alcătuit din zidărie portantă, este într-o stare avansată de degradare.

3.2. Soluții de intervenție

3.2.1. Liceul Nichita Stănescu, oraș Ploiești

Conform expertizei s-au analizat două variante de intervenții structurale. Varianta recomandată constă în demolarea pereților interiori de 25cm grosime de la parter și etaj I și transformarea lor în pereți structurali de beton armat.

3.2.2. Corpul E din Ansamblul de clădiri Gara de Nord București

Soluția propusă implică modificarea sistemului structural prin consolidare generală pe D+P+2E cu pereți structurali din beton armat (inclusiv fundațiile subsolului), adică transformarea în sistem dual a Corpul E1.

3.3. Modele de calcul

3.3.1. Liceul Nichita Stănescu, oraș Ploiești

Modelul de calcul al structurii este alcătuit spațial. Elementele finite folosite sunt unidimensionale și bidimensionale. Construcția este considerată încastrată în teren la primul nivel. Calculul structurii la acțiunea forțelor laterale și verticale a fost efectuat folosind programul de calcul ROBOT MILENIUM [18].

Clasa de importanță și de expunere la cutremur pentru această clădire se alege III și este caracterizată de valoarea factorului de importanță $\gamma = 1,00$. Pentru tipurile de structură în cadre și sistem dual valoarea factorului de comportare "q" pentru o clasă de ductilitate M (medie) este, $q=3,5$ $\alpha_u/\alpha_1 = 4,725$ ($\alpha_u/\alpha_1=1,35$ pentru clădiri cu mai multe niveluri și deschideri).

În tabelele 1 și 2 sunt sistematizate unele din elementele răspunsului structural.

Tabelul 1

Caracteristici dinamice								
Cazul structurii existente								
Caz/Mod	Frecventa (Hz)	Perioada (sec)	M.rel.U _x (%)	M.rel.U _y (%)	M.rel.U _z (%)	M crn. U _x (%)	M crn. U _y (%)	M crn. U _z (%)
1	2,03	0,49	0	89,83	0,05	0	89,83	0,05
Cazul structurii consolidate								
Caz/Mod	Frecventa (Hz)	Perioada (sec)	M.rel.U _x (%)	M.rel.U _y (%)	M.rel.U _z (%)	M crn. U _x (%)	M crn. U _y (%)	M crn. U _z (%)
1	3,95	0,25	0,65	65,4	0	0,65	65,4	0

Tabelul 2

Forța tăietoare în pereți și stâlpi (daN)					
Cadre transversale			Cadre longitudinale		
PEREȚI	530010	77,45%	PEREȚI	661208	94,23%
STÂLPİ	154289	22,54%	STÂLPİ	40450	0,057%
TOTAL (daN)	684299	100 %	TOTAL (daN)	701658	100 %

Din analiza datelor se constată o scădere cu 51% a perioadei proprii fundamentale de la $T_1=0,49\text{sec}$ la $T_1=0,25\text{sec}$ (această scădere accentuată este datorată atât schimbării sistemului structural de la structura în cadre la structura duală cât și regimului de înălțime scăzut al clădirii).

Preluarea forței tăietoare pentru cadrele transversale este de 77% pentru pereți față de stâlpi iar pentru cadrele longitudinale este de 94% pentru pereți față de stâlpi.

Structura consolidată a fost verifică la deplasare laterală corespunzătoare celor două stări limita - starea limită de serviciu (tabel 3), și starea limită ultimă.

Tabelul 3

Verificarea la starea limită de serviciu în cazul structurii consolidate (SLS) [15]

etaj	d_{rx}/h	d_{ry}/h	SLS	
			$v*q*d_{rx}/h$	$v*q*d_{ry}/h$
2	1.57143E-05	4.77143E-05	0.0000297	0.00009018
1	9.14286E-06	5.91429E-05	0.00001728	0.00011178
P	7.71429E-06	5.62857E-05	0.00001458	0.00010638
				$d_r/h = 0.005$

3.3.2. Corpul E din Ansamblul de clădiri Gara de Nord București

Pentru pereții cu solicitări maxime s-au efectuat evaluări atât prin metode de calcul cât și prin analiză calitativă. Rezultatele obținute au permis o apreciere globală a clasei de risc seismic pe baza indicatorilor orientativi R1, R2, R3, privind îndeplinirea a trei categorii de condiții, măsuri de performanță în comportarea așteptată a construcției pentru diferite stări limită considerate [1,12, 17].

- *R1 – gradul de îndeplinire a condițiilor de alcătuire seismică*

În urma analizei se constată că cerințele actuale privind regularitatea conformării și indicatorii de densitate (d) și de umplere (ρ) nu sunt respectate. Clădirea NU respectă limitarea numărului de niveluri pentru structuri din zidărie simplă (ZNA) și prezintă disimetrii pronunțate la mase și rigidități. Planșeul de beton de peste parter asigură conlucrarea spațială cu redistribuirea solicitărilor orizontale seismice la întregul sistem de pereți structurali. Planșeele de lemn de la nivelurile superioare nu asigură conlucrarea spațială. Nu sunt indicii de tasări locale sau de ansamblu sesizabile.

- *R2 – gradul de afectare structurală*

Principalele neconformități de proiectare și execuție au condus la degradarea severă a unor porțiuni de ziduri, cu pericol de prăbușire. Astfel se constată următoarele :

- zone neetanșe în sistemul de hidroizolare cu membrane bituminoase, în special la racordările perimetrale pe aticul cornișei și la gurile de scurgere.
- realizarea defectuoasă a burlanelor de colectare și evacuare a apelor pluviale și neremedierea la timp a avariilor apărute pe parcursul exploatării.
- calitatea necorespunzătoare a cărămizilor, a mortarului și a betonului, care neprotejate corespunzător se dezintegrează sub efectul exploatării și al intemperiilor.

- *R3 – gradul de asigurare seismică*

Din verificările efectuate, la majoritatea elementelor rezultă un nivel de asigurare sub nivelul minim cerut de reglementările tehnice actuale ($R3_{min}=0,65$). Din această cauză, în starea actuală, clădirea este încadrată în clasa de risc seismic R_s I

(construcție cu risc ridicat de prăbușire la cutremurul de proiectare corespunzător zonei seismice).

3.4. Observații și concluzii

3.4.1. Liceul Nichita Stănescu, oraș Ploiești

În principiu, soluția constructivă de transformare a sistemului în cadre în sistem cu pereți structurali necesită următoarele lucrări: (1) consolidare prin cămășuire, cu geometrie constantă pe toată înălțimea a stâlpilor ce devin bulbi de beton armat, (2) consolidare prin cămășuire a panourilor de zidărie.

3.4.2. Corpului E din Ansamblul de clădiri Gara de Nord București

Pentru realizarea modificării sistemului structural se introduc patru pereți structurali din beton armat transversali și un perete longitudinal pe toată lungimea tronsonului E1. Pe verticală consolidarea se execută pe subsol, parter și două niveluri, fig. 5. Din condiții funcționale, golurile din pereții structurali nu sunt distribuite uniform nici longitudinal, nici transversal și nici pe verticală.

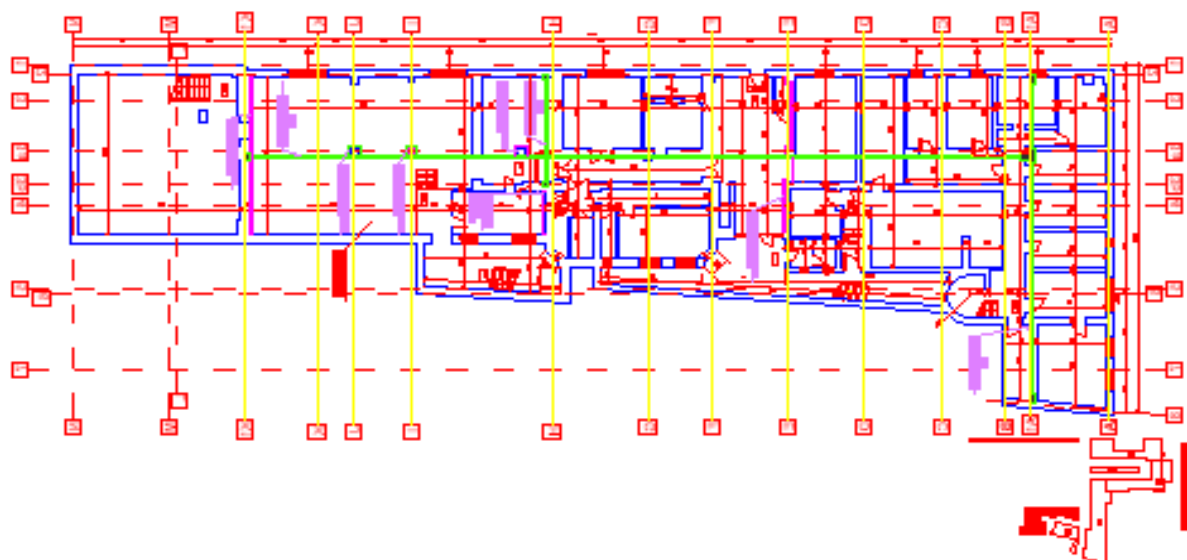


Fig. 5. Planul cu soluția de consolidare în cazul tronsonului E1, [Expertiza tehnică 2010, 12]

4. CONSTRUCȚIE NOUĂ - ALEGEREA SISTEMULUI STRUCTURAL DUAL

4.1. Aspecte generale

Stația de cale ferată din orașul Focșani a fost cuprinsă în proiectul „Modernizarea stațiilor de cale ferată la standarde europene”, [7, 9, 11].

Stația este alcătuită dintr-un ansamblu de clădiri, figurile 6,a și 6,b. Noile construcții se realizează pe amplasamentul vechii gări. Ca urmare terenul disponibil a avut dimensiuni și formă impuse. Tronsoanele A1 și A3 sunt structuri în cadre. Tronsonul A2 a ridicat unele probleme datorită spațiului ce i-a fost alocat în ansamblul clădirii, ca urmare s-a optat pentru soluția optimă și anume structura duală.

În articol sunt prezentate două corpuri și anume corpul A2 (regim de înălțime S+P+4E) și corpul A3 (regim de înălțime P+1E), fig. 6,c.

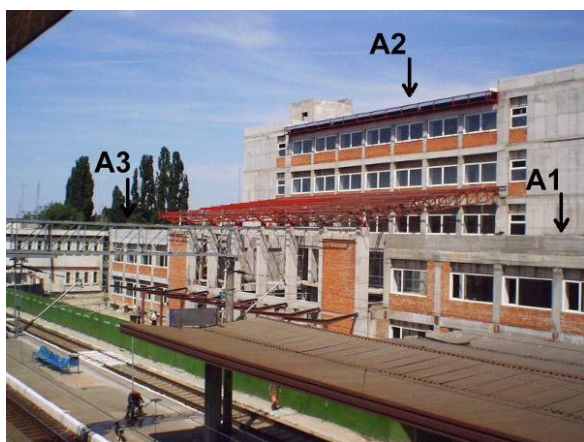


Fig. 6,a Clădire călători stație Focșani
– vedere dinspre linii



Fig. 6,b Copertina amplasată între
corpurile A1-A2-A3

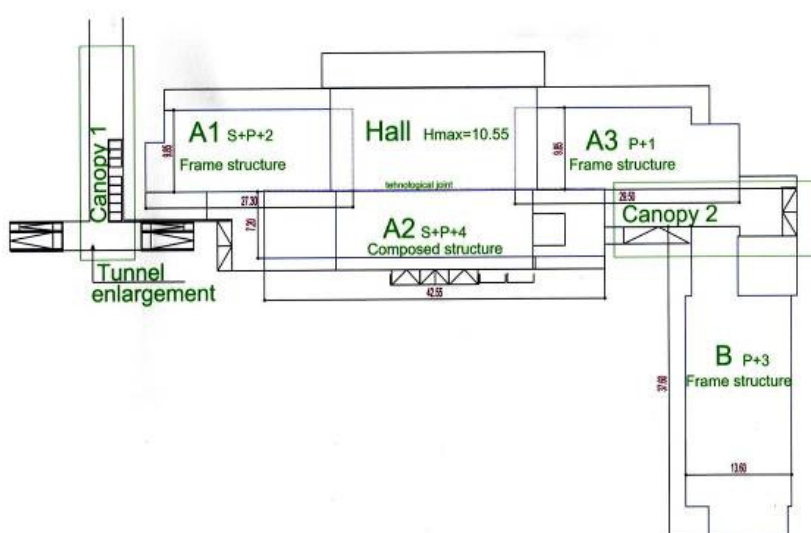


Fig. 6,c Schiță subansambluri

Orașul Focșani este amplasat în imediata vecinătate a focarului seismic Vrancea. Pentru clădirile supuse la acțiuni seismice de mare intensitate alegerea sistemului și conformarea structurală este esențială. Ca urmare au fost luate măsuri specifice pentru asigurarea unei judicioase conformări antiseismice în vederea obținerii unei bune comportări individuale și de ansamblu.

Răspunsul dinamic diferit al celor trei tronsoane ale clădirii a condus la un studiu atent al rosturilor dintre ele. Dimensionarea și realizarea practică a rosturilor urmărește ca oscilațiile defazate să nu conducă la coliziune.

Necesitățile funcționale ale construcției conduc la existența mai multor elemente de rezistență cu alcătuire neregulată cum ar fi de exemplu pereții în care golurile sunt dispuse neordonat (fig. 7).

4.2. Motivarea alegerii sistemului structural

Principalele motive care au condus la alegerea sistemul structural dual în cazul tronsonului A2 - structură cu un regim de înălțime scăzut sunt: (i) limitarea efectelor negative ale unei eventuale torsiuni generale datorată formei speciale; (ii) rezemarea acoperișului holului la nivelul trei deci concentrarea unei mase asimetrice la 2/3 din înălțimea clădirii.

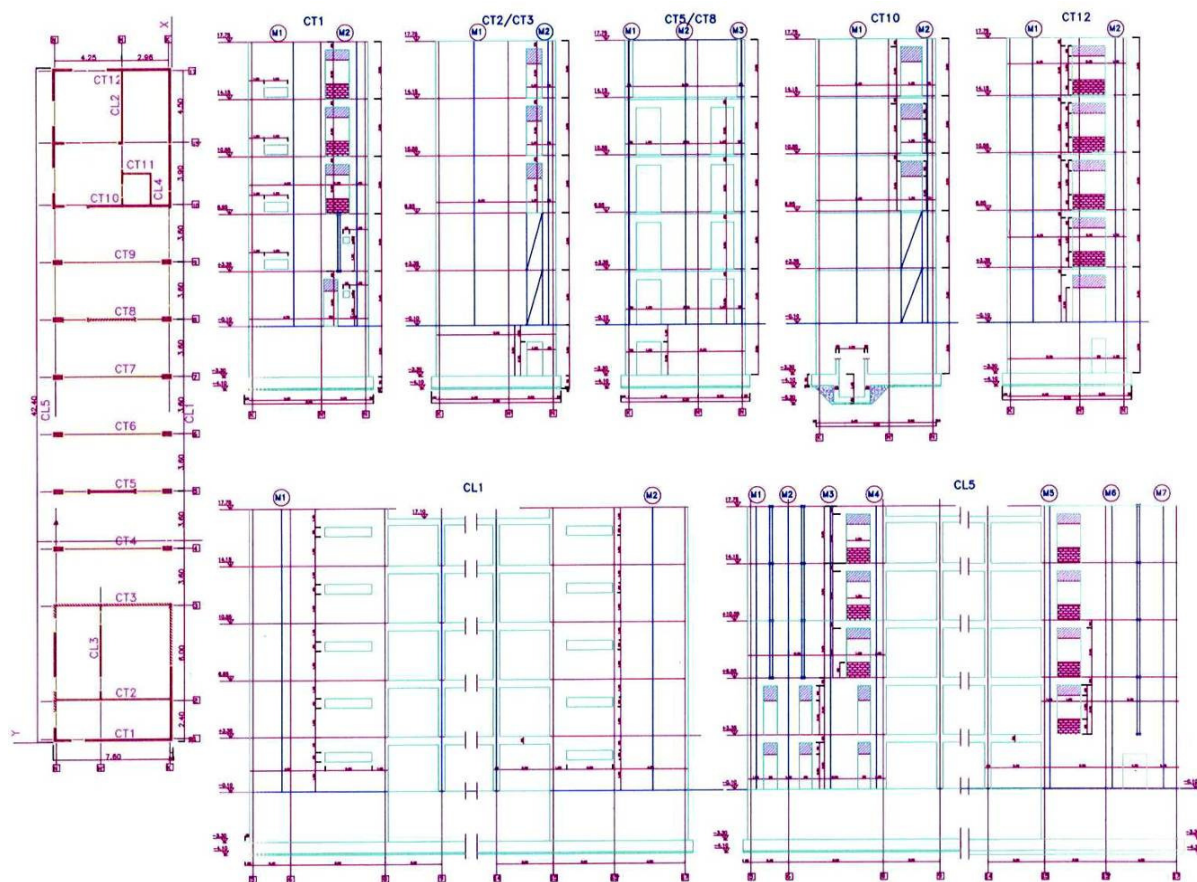


Fig. 7. Tronson A2 : Sistem structural în plan; Elevațiile pereților structurali [11].

4.3. Model de calcul

În modelul de calcul au fost adoptate următoarele aproximații:

- (i) pereții structurali plini se consideră în calcul ca niște console verticale încastrate la bază;
- (ii) pereții structurali cu șiruri de goluri - uși sau ferestre, se consideră în calcul ca niște cadre etajate. Pentru aceste cadre se consideră următoarele secțiuni:
 - (a) montanții cadrului etajat sunt plinurile verticale ale pereților transformate în bare cu secțiune constantă,

(b) riglele cadrului se transformă în bare cu deschidere teoretică egală cu distanța dintre axele montanților având rigiditatea variabilă în lungul lor și anume: pe lumina golului secțiunile sunt cele reale, iar în zona montanților rigiditatea este infinită.

Caracteristicile dinamice ale structurii sunt: Modul 1 ($T_1 = 0,19s$) este vibrația transversală. Modul 2 ($T_2 = 0,15s$) este vibrația longitudinală. Modul 3 ($T_3 = 0,13s$) este torsiunea. Se constată că din punct de vedere dinamic structura se încadrează în tipul de structuri rigide.

Pentru determinarea răspunsului spectral - deplasări și eforturi – structura a fost încărcată cu spectrul de proiectare [15], ales conform amplasamentului și luând în considerare toate celelalte caracteristici privind importanța clădirii, alcătuire, materiale, etc.

Condiția impusă de standardele românești este ca deplasarea relativă de nivel sub acțiunea seismică asociată ULS să fie sub $0,025 h_{\text{nivel}}$. Pe direcția transversală clădirii, valoarea deplasării relative maxime este de $3,096 \times 10^{-3}$ m, respectiv $1,274 \times 10^{-3}$ m pe direcția longitudinală.

Una din condițiile pe care trebuie să le satisfacă valorile eforturilor secționale de dimensionare este ca mărimea raportului (ω) dintre valoarea momentului capabil și valoarea momentului de răsturnare din încărcarea seismică să fie cel mult egal cu 4, [16]. În tabelul 4 se exemplifică îndeplinirea acestei condiționări.

Tabelul 4

Raportul ω	
Cadrul	ω
CT1	2,76
CT8	3,60
CL1	2,24

4.4 Observații și concluzii

În cazul structurii nou proiectate, datorită amplasării într-o zonă cu risc seismic ridicat, a configurației geometrice, a încărcări cu mase însemnate asimetrice și a problemei de torsiune generală, conformarea structurii dictată de parametrii enumerați a condus la un sistem de tip dual, în situația în care regimul de înălțime a acestor structuri este scăzut până în patru niveluri.

Alegerea sistemului structural dual reprezintă o soluție pentru îmbunătățirea performanțelor seismice ale construcțiilor.

Performanțele proiectării seismice sunt direct legate de nivelul codurilor de proiectare, și la rândul lor influențează evoluția în timp a acestora.

Bibliografie

- [1] **Agent R.**, - „Expertizarea și punerea în siguranță a clădirilor existente afectate de cutremure”, 1997/1998
- [2] **Ardelea A., Rus A., Bucur C.** – „Bearing Masonry Structures–Case Studies Regarding Expert Appraisal and Rehabilitation” - Buletinul Științific al UTCB nr.4, 2006, ISSN-1224-628X, pp. 63-79

- [3] **Ardelea A., Rus A, Bucur C** – „*Reabilitare constructii utilitare pentru calea ferată*” – Simpozion aniversar „125 de ani de invatamant tehnic romanesc in domeniul infrascructurii transporturilor 1881-2006” – UTCB/CFDP, mai 2006, pag. 57-64.
- [4] **Dubina D., Lungu D.** – „*Construcții amplasate în zone cu mișcări seismice puternice*” - Editura Orizonturi Universitatea Timișoara 2003
- [5] **Neagu C., Dubina D, Dinu F.** – “*Seismic performance of ductile shear wall frame systems*” - Proceedings of the 11th WSEAS International Conference on Sustainability in Science Engineering
- [6] **Paulay Th, Bachman H., Moser K.** - “*Proiectarea structurilor din beton armat la acțiuni seismice*”, Editura Tehnica –București 1997
- [7] **Rus A., Balan C., Kober H., Bucur C.** – „*Structures with high seismic risk – Case study, Passenger Building, Romania*” – Durability and maintenance of concrete structures, International Symposium – Proceedings pp 139-246, Ed Secon EDGH – octombrie 2004, Croația
- [8] **RUS A.** – „*Conformarea la acțiunea seismică a unei structuri în sistem dual - Studiu de caz P+8E*” – a IX-a Sesiuni de comunicări științifice SIMEC 2010 - Proceedings tipărit sub egida Academiei de Științe tehnice din România, Ed. MatixRom-București, ISSN1842-8045, pp 143-148
- [9] **Rus A., Bălan C.S., Köber H.H.** – „*Aplicarea sistemului dual la o clădire de călători*” - Revista Construcțiilor anul V, nr. 55/2009, pp.72-73
- [10] **Rus A.** - „*Perfecționarea modelării și conformării structurilor de tip dual la acțiunea seismică*” – Teză de doctorat, 2011
- [11] “*Modernizarea stațiilor de cale ferata la standarde europene stația FOCSANI – corp A2 si corp A3 – 2002 ISPCF* (sub îndrumarea ing. Cristian Balan și dr. ing. Helmuth Keober) - 2004 ISPCF
- [12] “*Gara de Nord București. Expertiza tehnica si consolidarea corpurilor D si E (prin consolidarea transformarea structurilor in sistem dual) (sub îndrumarea ing. Expert Aurel Ardelea) - 2010 ISPCF*
- [13] **Chopra A.K.** – “*A modal pushover analysis procedure to estimate seismic demons for buildings*”, Theory and preliminary evaluation, University of California Berkeley
- [14] **Postelnicu T., F. Tilimpea, D. Zamfirescu,** “ *Structuri de beton armat pentru clădiri etajate*”, Ed Matrix Rom București 2007
- [15] *** Cod de proiectare seismică, partea I, Prevederi de proiectare pentru clădiri P100-1/2006
- [16] *** Cod de proiectare a construcțiilor cu pereți structurali de beton armat CR 2-1-1.1-2005
- [17] *** Cod de proiectare seismică – partea III – “Prevederi pentru evaluarea seismică a clădirilor” –P100-3/2008
- [18] *** Manual de utilizare ROBOT MILENIUM - V22