

# TEZĂ DE DOCTORAT

## Reabilitarea seismică a patrimoniului istoric construit

### -REZUMAT-

**Doctorand**

ing. Daniel-Ioan DIMA

**Coordonator științific**

Prof. univ. dr. ing. Radu VĂCĂREANU

BUCUREȘTI  
Noiembrie 2021

## Cuprins

|                                                                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Introducere.....</b>                                                                                                     | <b>1</b>  |
| 1.1 Tema și obiectivele tezei.....                                                                                             | 1         |
| 1.2 Conținutul tezei.....                                                                                                      | 2         |
| <b>2. Protecția patrimoniului istoric construit.....</b>                                                                       | <b>3</b>  |
| 2.1 Evoluția istorică privind protecția patrimoniului istoric.....                                                             | 3         |
| 2.2 Principii și doctrine de restaurare.....                                                                                   | 3         |
| 2.3 Carta de la Atena, 1933.....                                                                                               | 3         |
| 2.4 Carta de la Veneția, 1964.....                                                                                             | 3         |
| 2.5 Stadiul actual pe plan internațional.....                                                                                  | 3         |
| 2.6 Stadiul actual pe plan național.....                                                                                       | 3         |
| 2.7 Proiecte internaționale și naționale privind protecția seismică a patrimoniului istoric construit.....                     | 4         |
| 2.8 Legislația românească privind protejarea monumentelor istorice.....                                                        | 4         |
| 2.9 Riscuri antropice și naturale pentru patrimoniul construit istoric.....                                                    | 4         |
| 2.10 Alexandru Cișmigiu. Viața și activitatea sa în domeniul reabilitării seismice a monumentelor istorice .....               | 4         |
| <b>3. Cutremure istorice vrâncene și efectele lor asupra oamenilor și a construcțiilor.....</b>                                | <b>5</b>  |
| 3.1 Aspecte generale privind seismicitatea teritoriului Romaniei.....                                                          | 5         |
| 3.2 Cutremurele istorice vrâncene din 1802, 1829, 1838.....                                                                    | 5         |
| 3.3 Cutremurul din 10 noiembrie 1940.....                                                                                      | 5         |
| 3.4 Cutremurul din 4 martie 1977.....                                                                                          | 5         |
| 3.5 Cauzele și efectele cutremurului de la 4 martie 1977.....                                                                  | 7         |
| 3.6 Cutremurele din 30 august 1986 și 30 mai 1990.....                                                                         | 8         |
| <b>4. Reglementări tehnice privind evaluarea seismică și proiectarea soluțiilor de consolidare a clădirilor existente.....</b> | <b>9</b>  |
| 4.1 Documente internaționale.....                                                                                              | 9         |
| 4.2 Documente naționale legislative și tehnice privind reducerea riscului seismic.....                                         | 9         |
| <b>5. Soluții și metode de consolidare a clădirilor existente, vulnerabile seismic.....</b>                                    | <b>9</b>  |
| 5.1 Niveluri ale procesului de consolidare.....                                                                                | 10        |
| 5.2 Corectarea deficiențelor de alcătuire ale construcțiilor existente.....                                                    | 10        |
| 5.3 Lucrări de reparații la clădiri cu structură din zidărie.....                                                              | 10        |
| 5.4 Lucrări de consolidare la structuri din zidărie.....                                                                       | 11        |
| 5.5 Lucrări de consolidare cu modificarea alcătuirii structurale existente.....                                                | 13        |
| 5.6 Sisteme de amortizare seismică.....                                                                                        | 14        |
| 5.7 Sisteme de izolare a bazei.....                                                                                            | 15        |
| <b>6. Expertizarea tehnică a construcțiilor existente.....</b>                                                                 | <b>16</b> |
| 6.1 Generalități.....                                                                                                          | 16        |
| 6.2 Concepte și terminologie specifică.....                                                                                    | 17        |
| 6.3 Determinarea instrumentală a perioadelor de vibrație pentru clădiri.....                                                   | 17        |
| 6.4 Studiu de caz 1.....                                                                                                       | 17        |
| 6.5 Studiu de caz 2.....                                                                                                       | 23        |
| 6.6 Studiu de caz 3.....                                                                                                       | 25        |

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>7. Concluzii, contribuții personale și direcții de cercetare.....</b>  | <b>45</b> |
| 7.1 Concluzii asupra literaturii de specialitate considerate în teză..... | 45        |
| 7.2 Concluzii privind rezultatele studiilor de caz abordate.....          | 45        |
| 7.3 Contribuții personale și direcții viitoare de cercetare.....          | 47        |
| 7.4 Diseminarea rezultatelor.....                                         | 48        |

# 1. INTRODUCERE

## 1.1 Tema și obiectivele tezei

Tema generală a prezentei teze de doctorat se reflectă în însuși titlul tezei, și se referă la particularități privind evaluarea seismică și consolidarea structurală a construcțiilor monumente istorice, în vederea protecției seismice și a conservării acestora. Zona geografică a Europei, caracterizată printr-o seismicitate de importanță mondială este Bazinul Mediteranean, țările din această regiune fiind supuse la cutremure extrem de severe.

Un exemplu relevant în domeniul protecției seismice a monumentelor istorice, este Proiectul internațional FP6 PROHITECH „*Earthquake protection of Historical Buildings by Reversible Mixed Technologies*” [1, 2, 3, 4, 5, 6], derulat în perioada 2004-2008, care a adus împreună 12 țări seismice, inclusiv România. Acestea și-au împărtășit atât experiențele lor legate de efectele nefaste ale cutremurelor asupra construcțiilor istorice, cât și cunoștințele tehnice, în vederea revigorării și elaborării unor noi politici și strategii naționale și internaționale durabile, vizând în mod deosebit prioritizarea punerii în siguranță seismică a monumentelor istorice.

Experiențele nefaste ale marilor cutremure vrâncene din secol trecut (10 noiembrie 1940 și 4 martie 1977), au condus la concluzia că România poate fi considerată a treia țară seismică europeană după Italia și Turcia, iar București ca fiind capitala europeană cea mai vulnerabilă din punct de vedere seismic [1, 7, 8], dar vulnerabilitatea seismică a orașelor din România, cu precădere din București este dată de vulnerabilitatea fondului construit existent vulnerabil la mișcările telurice.

Tema tezei este încă actuală și de mare importanță națională, în contextul în care, în România, ritmul procesului de punere în siguranță seismică (consolidare structurală) a clădirilor istorice, este încă lent, o cauză a acestui fapt fiind în special factorul antropic, întrucât, de cele mai multe ori, indiferența/nepăsarea și mai ales interesele diferite ale oamenilor, care nu converg întotdeauna în această direcție.

Obiectivele principale ale prezentei teze de doctorat sunt:

- ✚ sublinierea impactului efectelor nefaste ale cutremurelor vrâncene, nu doar asupra siguranței vieții oamenilor, cât și asupra construcțiilor monumente istorice vulnerabile seismic, a căror deteriorare sau pierdere nu pot fi neglijate;
- ✚ intensificarea interesului privind punerea în siguranță seismică și conservare a patrimoniului istoric construit din România;
- ✚ evidentiarea avantajelor și stimularea interesului utilizării, ca suport foarte util pentru calculele structurale (evaluare a acțiunii seismice), metodei de înregistrare dinamică/măsurare a vibrațiilor structurii unei clădiri supuse expertizării tehnice, cunoscută în literatura de specialitate [10÷45] ca metoda de înregistrare a *vibrațiilor ambientale*, în engleză fiind cunoscută ca „*Ambiental Vibration Tests*” (AVT);
- ✚ înțelegerea practică și realistă a modului în care trebuie adoptată o soluție de consolidare optimă, luând în calcul toți parametrii implicați privind: i) *asigurarea performanțelor structural seismice (rezistența și stabilitate)*, prevazute în codul românesc de evaluare seismică P100-3/2019 [46]; ii) *aspecte tehnologice* (limitări tehnice, timpi de execuție, etc.); iii) *aspecte economice* (costuri materiale și manoperă de execuție); iv) *îndeplinirea cerinței de conservare* a caracterului de monument istoric, prin limitarea, pe cât posibil tehnologic, a afectării/diminuării acestuia (intervenții minim invazive și/sau soluții de consolidare reversibile).

## 1.2 Conținutul tezei

Prezența teză de doctorat se constituie dintr-un capitol introductiv (capitol 1) și patru capitole de sinteză (capitole 2, 3, 4, 5), a căror conținuturi sunt în directă legătură sau tangențial cu tema tezei, un capitol de contribuții personale (capitol 6), elaborat conform obiective propuse, și capitolul de concluzii și contribuții personale, teza fiind încheiată cu bibliografia suport.

În **Capitolul 1** sunt prezentate tema generală și obiectivele tezei de doctorat, și câteva elemente generale introductive privind motivația alegerii temei, la care s-a adăugat câte o descriere sintetică a conținutului fiecărui capitol al tezei.

În **Capitolul 2** sunt prezentate aspecte generale privind protecția patrimoniului istoric construit (evoluția istorică a principiilor și conceptelor de restaurare și conservare a monumentelor istorice, Carta de la Atena 1933, Carta de la Veneția 1964, organizații profesionale UNESCO, ICOMOS, etc.), stadiul actual internațional și național în acest domeniu (proiecte specifice, legislație și documente specifice), riscuri antropice și naturale la care sunt supuse în timp monumentele istorice, și nu în ultimul rând s-au prezentat câteva repere biografice despre inginerul Alexandru Cișmigiu, cel care a fost unul dintre cei mai dinamici și activi specialiști din domeniul reabilitării și consolidării monumentelor istorice din țara noastră de după cutremurul din 4 martie 1977.

**Capitolul 3** a fost dedicat rememorării cutremurelor istorice românești din 1802, 1838, 1940, 1977, 1986 și 1990 și a efectelor lor nefaste asupra oamenilor și a construcțiilor, inclusiv a clădirilor monumente istorice.

În **Capitolul 4** sunt prezentate elemente generale privind cele mai importante documente tehnice internaționale și naționale (FEMA 356/2000, FEMA 547/2007, AS 3826/1998, Eurocod 8-3, P100-3/2019, MP025-04, etc.) utilizate în practica de evaluarea seismică și proiectare a soluțiilor tehnice de consolidarea structurală a clădirilor vulnerabile seismic.

În **Capitolul 5** sunt prezentate câteva elemente tehnice generale privind intervenții la clădirile existente cu structuri din zidărie portantă (niveluri/etape ale procedurii de consolidare – punere în siguranță, reparare, ranforsare), diferite soluții de reparații la zidării (tencuieli armate, rețesere zidării, injecții cu mortare, etc.) și soluții de consolidare structurală atât clasice/curente (cămășuiei din beton armat, introducerea de stâlpișori și centuri, consolidare planșee cu supraturnări din beton armat, tiranți metalici, consolidare fundații – subzidiri, micropiloți din mortare de înaltă rezistență, etc.), cât și modern (materiale polimerice pe bază de fibre de carbon/sticlă, sisteme de amortizare și izolatori seismici).

În **Capitolul 6** sunt prezentate generalități legate de expertizarea tehnică a clădirilor (concepte și terminologie specifică – evaluare calitativă/determinare indicatori R1 și R2, evaluare cantitativă/determinare indicator R3, încadrare în clasă de risc seismic, etc.) și sunt prezentate rezultatele a trei studii de caz, acestea constituind contribuția principală a autorului prezentei teze de doctorat.

În **Capitol 7** sunt prezentate concluziile privind cele patru capitole de sinteză și concluzii asupra rezultatelor celor trei studii de caz. De asemenea, sunt prezentate contribuțiile personale și direcțiile viitoare de cercetare.

## 2. PROTECȚIA PATRIMONIULUI ISTORIC CONSTRUIT

### 2.1 Evoluția istorică privind protecția patrimoniului istoric

*Bunul material sau spiritual* reprezintă un concept care înseamnă azi *avuției naționale*, caracteristică fiecărui popor, și care este însuși *patrimoniul cultural* al acestuia. În categoria *bunurilor materiale* se încadrează și construcțiile cu diferite destinații (civile, militare, religioase, etc.), care au intrat în conștiința creatorilor (constructorilor) sau a proprietarilor lor, ca obiecte concrete cu dublă valoare, deopotrivă culturală și materială [47].

*Patrimoniul istoric* se constituie prin dintr-o diversitate de obiecte, care împărtășesc apartenența lor comună la același trecut, făcând referire la un tip de instituție și la un tip de mentalitate [47, 48].

### 2.2 Principii și doctrine de restaurare

**Doctrina unității de stil.** Eugene Emmanuel Viollet-le-Duc (1814 - 1879)[50].

**Doctrina anti-intervenționistă.** John Ruskin (1819 –1900 [50].

**Doctrina științifică de restaurare.** Arhitectul și inginerul italian Camillo Boito (1836 –1914).

### 2.3 Carta de la Atena, 1933

În 1933 este adoptată Carta de la Atena, ca urmare a *Congresului Internațional de Arhitectură Modernă*, care va promova: i) concepția *statistică* asupra conservării patrimoniului; ii) implicit, pune problema *concilierii dintre dezvoltare și conservare*; iii) iar sub influența ideologiei urbanismului corbusian, proclamă astfel ”cultul valorilor trecutului nu trece peste criteriile justiției sociale”; iv) atitudine anti-stilistică/anti - E.E. Viollet- le-Duc).

### 2.4 Carta de la Veneția, 1964

Carta de la Veneția, a fost elaborată și adoptată la cel de *al II-lea Congres Internațional ICOMOS al Arhitecților și Tehnicienilor Monumentelor Istorice*, din 25-31 mai 1964, Veneția. Carta este alcătuită din 16 articole ale documentului, pentru inginerii proiectanți implicați în lucrări de restaurare și reabilitare/consolidare structurală, cele mai importante sunt articol 2 și articol 10.

### 2.5 Stadiul actual pe plan internațional

Cele mai importante organizații profesionale din domeniul protecției și conservării patrimoniului istoric sunt:

**UNIDROIT** (The International Institute for the Unification of Private Law - Frascati, Rome,1926);

**UNESCO** (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 1945);

**ICOMOS** (International Council on Monuments and Sites – Warsaw, Poland, 1965);

**ICCROM** (International Center for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property - New Delhi, 1956);

### 2.6 Stadiul actual pe plan național

**CMI (Comisia Monumentelor Istorice), România.** În 1892 este înființat primul organism decizional din România prin decizia înaltului Decret Regal cu Nr. 3658/17 noiembrie 1892 [63, 64].

În prezent, CMI funcționează sub denumirea de **INP** (Institutul Național al Patrimoniului).

**UNRMI (Uniunea Națională a Restauratorilor de Monumente Istorice)** este organizație profesională de importanță națională, afiliată UNESCO, ICOMOS, înființată în anul 1991 [67]. Printre lucrările de referință se pot aminti: Ateneul Român [67]; Platul Culturii din Ploiești [68]; Biserica veche a Mănăstirii Sinaia, județul Prahova [69]; Muzeului Unirii din Iași [70].

## 2.7 Proiecte internaționale și naționale privind protecția seismică a patrimoniului istoric construit

**RISK-UE** a fost un alt program de mare anvergură, care a avut ca obiectiv principal protecția seismică și reducerea riscului seismic în țările seismice europene.

**FP6 PROHITECH** (Earthquake Protection of Historical Buildings by Reversible Mixed Technologies/ *Protecția Seismică a Monumentelor Istorice prin Tehnologii Reversibile*) a fost, de asemenea, unul dintre proiectele internaționale de mare amploare din domeniul protecției monumentelor istorice, care s-a derulat în perioada 2004-2008) [1, 2, 3, 4, 5, 6], la care România.

**IRPP/SAAH/RPSEE** (*Integrated Rehabilitation Project Plan /Survey on the Architectural and Archaeological Heritage/* Proiectul de Reabilitare Integrată și Cercetare a Patrimoniului de Arhitectură și de Arheologie) este unul din proiectele de referință ca importanță internațională și națională, de asemenea, din domeniul protecției patrimoniului istoric.

**CETERS** (Cercetări teoretice și experimentele pentru reducerea riscului seismic al clădirilor din patrimoniul cultural național), a fost inițiat încă din perioadă 2004-2005, și a fost intitulat, CEEEX, Programul MENER ANCS, MEC (2006-2009).

## 2.8 Legislația românească privind protejarea monumentelor istorice

- ✚ **Legea 422 din 18 iulie 2001** privind protejarea monumentelor istorice;
- ✚ **Hotărârea de Guvern nr. 493/2004** pentru aprobarea Metodologiei privind monitorizarea monumentelor istorice înscrise în *LMI*;
- ✚ **Ordinul nr. 2797/2017** privind stabilirea tipurilor de intervenții asupra monumentelor istorice, a imobilelor din zonele de protecție a acestora sau din zonele protejate [...].

## 2.9 Riscuri antropice și naturale pentru patrimoniul construit istoric

Istoria celor două războaie mondiale ne pune în față tabloul dramatic al unui patrimoniu istoric construit aproape distrus în totalitate, dramă pe care o putem vedea și în conflictele militare civile din Orientul Mijlociu (Siria, Irak, Palestina), în care au fost avariate grav și chiar distruse multe construcții monumente istorice.

## 2.10 Alexandru Cișmigiu. Viața și activitatea sa în domeniul reabilitării seismice a monumentelor istorice

Profesorul inginer Alexandru Cișmigiu a fost unul din specialiștii români de referință din domeniul reabilitării seismice și conservării de monumente istorice din România.

Acesta a fost pionierul ideii „*prevenirii*” dezastrelor, ideea ajunsă astăzi, după câteva decenii, conceptul de referință în toată lumea și promovat tot mai intens prin învățământ, organizații tehnico-științifice mondiale, prin abordarea unei legislații specifice. Pe parcursul a peste 50 ani de activitate, realizările profesionale ale profesorului și inginerului

Ca o recunoaștere oficială în domeniul proiectării antiseismice, Alexandru Cișmigiu este desemnat expert UNESCO în Iugoslavia în anii 1969, 1970 și 1972, după devastatoarele cutremure din Skopje (1963) și Banjaluka (1969-1970), pentru probleme de teorie, zonare seismică, prescripții,

consolidarea clădirilor avariate și proiectarea unora noi. Printre multele proiecte de consolidare pe care le-a onorat cu mult profesionalism și devotament au fost și Palatul Telefoanelor (Figură 2.13a), Mănăstirea Agapia (Figură 2.13b).

### 3. CUTREMURE ISTORICE VRÂNCENE ȘI EFECTELE LOR ASUPRA OAMENILOR ȘI A CONSTRUCȚIILOR

#### 3.1 Aspecte generale privind seismicitatea teritoriului Romaniei

Experiență cutremurelor din 1977 și 1986 au confirmat faptul că particularitatea privind perioadele predominante lungi ( $1.4 \div 1.6$  s) ale vibrației terenului în cazul cutremurelor de intensitate moderată și mare, identificate pentru București, este dată de condițiile locale de teren (prezența în zona de suprafață a unui pachet de straturi groase de teren preponderant argilos de cca.  $50 \div 60$  m, în zonele de Est, Sud și centru a Bucureștiului) [91, 92].

#### 3.2 Cutremurele istorice vrâncene din 1802, 1829, 1838

**Cutremurul din 14/26 octombrie 1802** [91] - a fost considerat cel mai mare din țara noastră, în care au fost și pierderi de vieți omenești.

**Cutremurele din 1829 și 1838** [91]- la aproape trei, respectiv patru decade de primul cutremur semnificativ din secolul al XIX-lea (cel din 1802), aveau să se producă încă două mari cutremure, cele din 1829 și 1838, cu intensitate epicentrală de peste 8.

#### 3.3 Cutremurul din 10 noiembrie 1940

În 10 noiembrie 1940, se produce primul cutremur de mari proporții în România modernă de secolul XX, o Românie deja consumată în primul război mondial și în pragul celui de al II-lea, fiind precedat pe data de 22 octombrie 1940, ora 8:27 de cutremurul cu  $M_w=6.5$ , adâncime 125 km și intensitate  $I=VII$ , și cel din 8 noiembrie, cu  $M_w=5.9$ , adâncime 145 km). Acest eveniment seismic s-a caracterizat printr-o magnitudine Gutenberg-Richter de  $M_{GR}=7.4$ , (magnitudine moment  $M_w=7.7$ ) și s-a produs la o adâncime de circa 140 km, cu epicentru Vrancea.

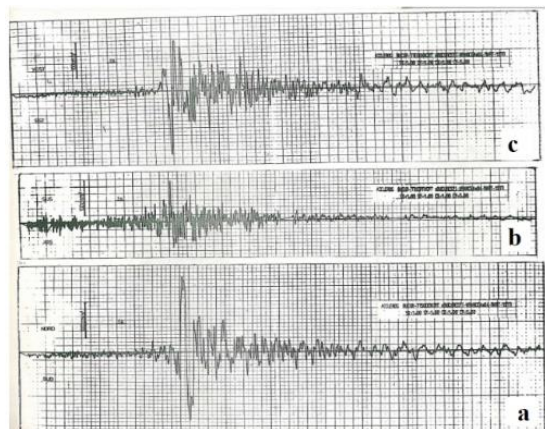
Consecințele acestui puternic cutremur au fost grave atât din punct de vedere al pierderilor de vieți omenești, înregistrându-se peste 350 de victime, cât și din punct de vedere al pagubelor materiale semnificative. În București cea mai semnificativă distrugere a fost prăbușirea completă a Blocului Carlton (Figură 3.1), fiind cea mai înaltă construcție din beton armat din România la acel moment (47 m înălțime, 12 etaje). Până la 24 Noiembrie din dărâmăturile acestui bloc, au fost scoși 136 de morți [87, 91].

#### 3.4 Cutremurul din 4 martie 1977

Pornind de la lucrarea „*Sinteza Monografiei Cutremurul din România din 4 martie 1977 și efectele asupra construcțiilor*”, părțile I, II, III și IV, Institutul Central de Cercetare Proiectare și Directivare în Construcții, 1978 [95], care mi-a fost pusă la dispoziție prin bunavoință a d-lui Prof. univ. dr. ing. Dan Lungu, cel de al doilea eveniment seismic important și de mari proporții, care a zguduit teritoriul țării noastre în secolul XX, a fost cel din 4 martie 1977, care a izbucnit la ora 21 și 22 minute, cu o durată de 60 secunde, cu epicentrul în zona Vrancea.

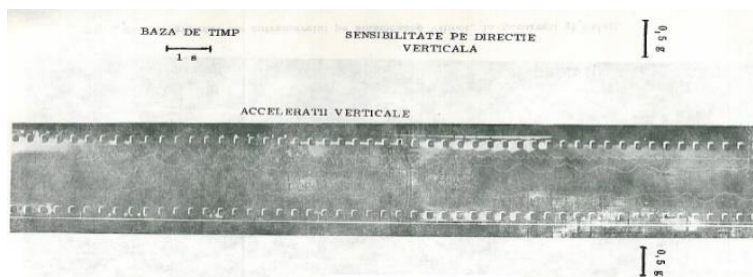
Acesta s-a caracterizat printr-o magnitudine moment  $M_W=7.4$ , o magnitudine Guthenberg-Richter  $MGR=7.2$  și adâncimea focarului de 94 km, având o importanță deosebită, atât pe plan național, prin caracteristicile sale seismologice (magnitudine, mecanism de focar, arie afectată cu intensități ridicate) și a efectelor social – economice (pierderi de vieți omenești, pagube materiale, efecte asupra construcțiilor), cât și pe plan internațional, acesta resimțindu-se din Sicilia până la Moscova și Leningrad, iar în Sud, până în Grecia (conform hărții de distribuție a intensităților macroseismice elaborată de N. V. Shebalin) [95].

Cutremurul din 4 martie 1977 a reprezentat ocazia înregistrării, în premieră în țara noastră, a caracteristicilor dinamice prin metode instrumentale (primele accelerograme)[95]:



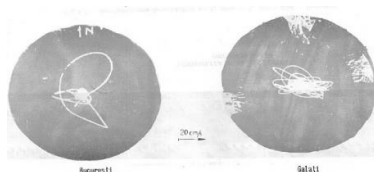
Figură 3.4 - Accelerograma înregistrării Nr.1 – INCERC – București, Sos. Pantelimon 266;  
a) accelerograma mișcării pe orizontală, direcție Nod-Sud;  
b) accelerograma mișcării pe verticală;  
c) accelerograma mișcării pe orizontală, direcție Est-Vest [95]

- **înregistrarea 1** (Figură 3.4): INCERC, București, Sos. Pantelimon 266, efectuată cu un accelerograf japonez SMAC-B, în subsolul unei clădiri parter, ușoare, aceasta reprezentând înregistrarea cea mai importantă, putând fi considerată, practic, ca o înregistrare a mișcării neperturbate a terenului și caracterizată prin oscilații slabe, predominant verticale, cu o durată de cca. 18 s, oscilații puternice, predominant orizontale, cu durată de cca.  $15 \div 20$  s, cu efecte distrugătoare și oscilații în curs de atenuare, cu o durată de cca.  $40 \div 50$  s;
- **înregistrarea 2** (Figură 3.8): Bloc E.5, Balta Albă din București (o construcție înaltă și relativ rigidă), furnizată de accelerograful MO-2, montat la etajul 9, s-a caracterizat prin valori de accelerație orizontală de cca.  $3 \div 3.5 \text{ m/s}^2$  și perioade de cca.  $0.8 \div 1$  s, valori cu mult mai mari decât cele convenționale pentru calculul structural;



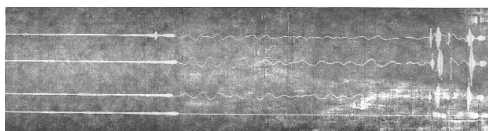
Figură 3.8 - Accelerograma înregistrării Nr. 2, Bl. E5 – Balta Albă, București [95]

- **înregistrări 3 și 4** (Figură 3.9): INCERC, București, Sos. Pantelimon și Galați, obținute la nivelul terenului, cu ajutorul a două seismoscoape Wilmot, acestea punând în evidență viteze extreme de oscilație de cca. 0.42 m/s la București și cca. 0.27 m/s la Galați.



Figură 3.9 - Accelerogramele înregistrărilor Nr. 3 și Nr. 4, INCERC, București și Galați [95]

Cutremurul a fost înregistrat și la Observatorul Seismologic “Dr. Cornelius Radu”, stația Vrâncioaia, dar mecanismul de deplasare al filmului nu a funcționat, înregistrându-se doar valoarea accelerației maxime, de circa 0,31g-0,35g (Figură 3.7) [95].



Figură 3.7 - Accelerograma înregistrării de la stația Vrâncioaia – Moldova [95]

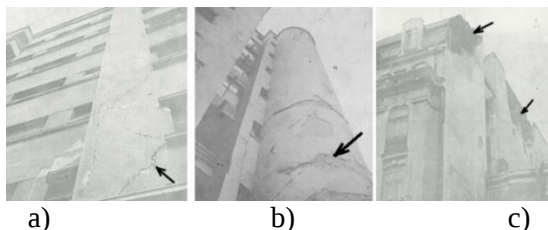
La acel moment, s-au obținut înregistrări instrumentale pe seismoscop, din orașul Niș – Yugoslavia și înregistrări furnizate de seismografe montate pe structurile unor clădiri din orașul Chișinău - Republica Moldova, U.R.S.S. (Figură 3.8÷ Figură 3.10).

Acestea au evidențiat perioade predominante lungi ale mișcării similare celor din București, (cca. 1.5÷1.6 s și deplasări maxime ale terenului de ordinul a 7 cm) [95].

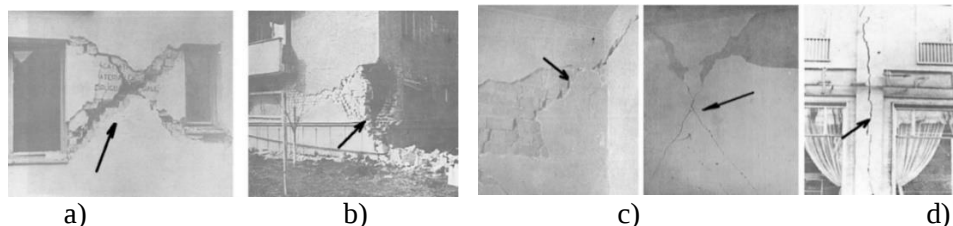
### 3.5 Cauzele și efectele cutremurului de la 4 martie 1977

Din punct de vedere al pierderilor umane și economice au rezultat: i) 1570 morți și peste 11300 răniți, dintre care cca. 90% în București; ii) s-au prăbușit sau au fost grav avariate 32900 locuințe, 35000 familii au rămas fără adăpost, iar alte zeci de mii de imobile au suferit diferite avarii; iii) după evaluări complete, făcute ulterior, au rezultat pagube materiale în valoare de peste 2 miliarde de dolari la acea vreme.

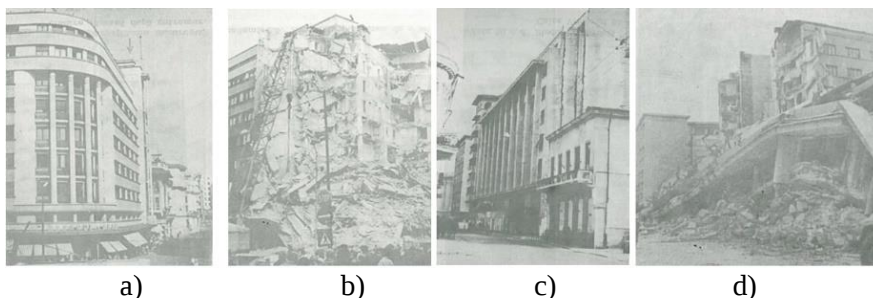
Degradări care s-au constatat:



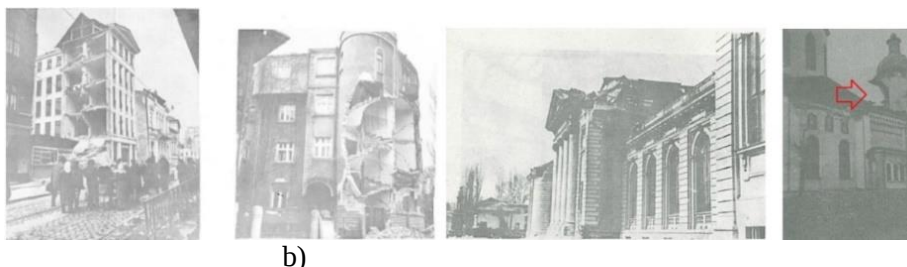
Figură 3.8 - a) fisuri înclinate la 45° în pereți fațadă; b) dislocări ale tencuielii; c) calcane de zidărie prăbușite [95]



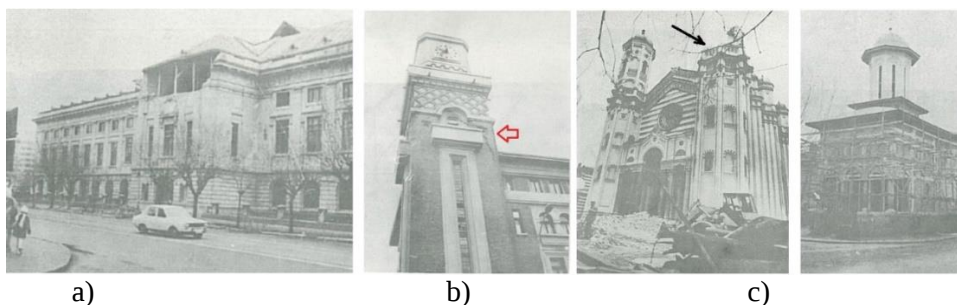
Figură 3.9 - a) crăpături în „X” la șpaletii de zidărie; b) avarii la pereții exteriori, se observă lipsa stâlpișorilor de colț din beton; c) fisuri la 45° în pereții de zidărie la intersecții; d) deschiderea unui rost de dilatare în fațadă; [95]



Figură 3.10 - Ministerul Industriei Metalurgice (Blocul „Carpați”) – București: a) înainte de cutremur; a) după cutremur; c), d) Blocul de birouri „cofetăria Republica” (fost blocul Nestor), Calea Victoriei, nr. 63-69, București, a suferit prăbușirea totală a corpului A dinspre Calea Victoriei [95]



Figură 3.11 – a) perete de fațadă prăbușit complet; b) perete casa scării, prăbușit complet; c) avarii la fronton – Facultatea de medicină general/Institutul medico-farmaceutic, București; d) turlă avariata – biserică Sf. Vasile cel Mare, din Ploiești [95]



Figură 3.12 – a) prăbușirea unei porțiuni din peretele de fațadă – Palatul Culturii din Ploiești; b) fisuri/crăpături ale pereților din zidărie – Halele centrale din Ploiești; c) Biserica Sf. Spiridon – București, prăbușire parțială turn; d) fisuri/dislocări ale tencuielilor exterioare – biserica Sf. Elefterie (vechi), București [95]

### 3.6 Cutremurele din 30 august 1986 și 30 mai 1990

Cutremurul din 30 august 1986, a avut  $M_w=7.1$ ,  $M_{GR}=7$  și o adâncime a focarului de 131,4 km, iar cele din 30 și 31 mai 1990, a avut  $M_w=6.9$  și 6.4,  $M_{GR}=6.7$  și  $M_{GR}=6.2$  și adâncimile focarelor la 90.9 km și respectiv 86.9 km [91].

Harta obținută pentru cutremurul din 30 august 1986 (Figură 3.16), a pus în evidență două importante caracteristici specifice seismicității teritoriului României: i) *orientarea generală a izoacelerațiilor pe direcția NE-SV; și ii) existența unor accelerații mari în zona orașului Focșani, similar s-au evidențiat și în harta obținută după cutremurul din 30 mai 1990.*

## **4. REGLEMENTĂRI TEHNICE PRIVIND EVALUAREA SEISMICĂ ȘI PROIECTAREA SOLUȚIILOR DE CONSOLIDARE A CLĂDIRILOR EXISTENTE**

Astfel, plecând de la literatura de specialitate [6], sunt trecute în revistă cele mai importante documentații tehnice (coduri, normative, standarde, ghiduri tehnice, manuale, etc.), privind evaluarea și reabilitarea seismică a construcțiilor existente, inclusive monumente istorice.

### **4.1 Documente internaționale**

- FEMA 356/2000 (similar ASCE 41-06): *Prestandard și comentarii pentru reabilitarea seismică a clădirilor.*
- FEMA 547/2007, *Tehnici pentru reabilitarea seismică a clădirilor existente*
- FEMA 172 / 1992 NEHRP, *Manual pentru reabilitarea seismică a clădirilor existente*
- ITALIA – *Ministry for Culture Heritage and Activities: Guidelines for evaluation and mitigation of seismic risk to culture heritage 2007*
- Noua Zeelandă – *NZSEE 2005 Assessment and improvement of the structural performance of building in earthquakes – publicat în 2005 în cadrul asociației New Zealand Society of Earthquake Engineering (NZSEE)*
- JBDPA 2001 *Guidelines for seismic retrofit of existing reinforced concrete buildings*, Japonia;
- etc.

### **4.2 Documente naționale legislative și tehnice privind reducerea riscului seismic**

**P100-3/2019 – Cod de evaluare și proiectare a lucrărilor de consolidare la clădiri existente vulnerabile seismic [97].** Acest cod precum și predecesorul său P100-3/2008, reprezintă în fapt forma elaborată/dezvoltată și actualizată a codului P100-92, capitole 11 și 12 și armonizat cu Eurocod 8-Partea a-III-a.

**M.P. 025/04– Metodologie pentru evaluarea riscului și propunerile de intervenție necesare la construcțiile monumente istorice în cadrul lucrărilor de restaurare ale acestora [98].** Acest document, adoptat în baza Ordinului 743/19,04,2004, în cadrul MTCT (Ministerul Transporturilor, Construcțiilor și Turismului), elaborat în cadrul unui colectiv științific din cadrul Universității de Arhitectură și Urbanism „Ion Mincu”, București.

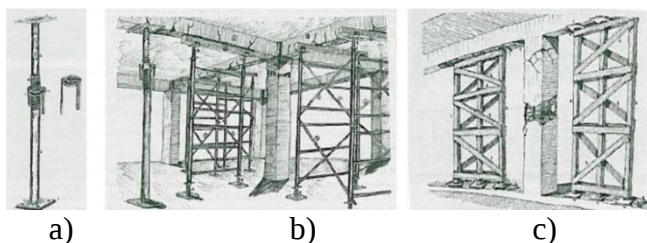
## **5. SOLUȚII ȘI METODE DE CONSOLIDARE A CLĂDIRILOR EXISTENTE, VULNERABILE SEISMIC**

Pornind de la Anexa F „Îndrumător de reabilitare seismică a clădirilor existente”, P100-3/2019 [97] și literatura de specialitate disponibilă [1, 2, 3, 4, 5, 6, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108], în prezentul capitol s-a optat pentru o expunere sintetică a unor soluțiilor de consolidare clasice/curente și moderne, aplicabile diferitelor tipuri structurale, inclusiv clădirile existente cu structuri din zidărie portantă, vulnerabile seismic.

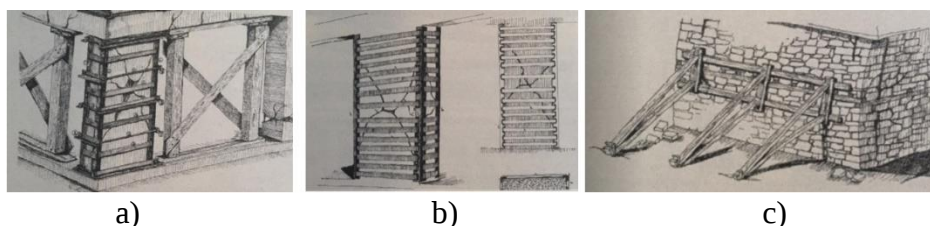
## 5.1 Niveluri ale procesului de consolidare

Niveluri ale procesului de consolidare sunt: punerea în siguranță, repararea, ranforsarea, reconstruirea. Punerea în siguranță se poate face sub formă de elemente portante independente, aplicate local, sau structuri complexe realizate la nivelul unui etaj sau chiar al întregului ansamblu structural, câteva exemple fiind redată mai jos:

- popi din lemn/metal reglabili** (telescopici) - (Figură 5.1);
- corsete** - (Figură 5.1a, b);
- structuri de tip contraforți** - (Figură 5.2c)



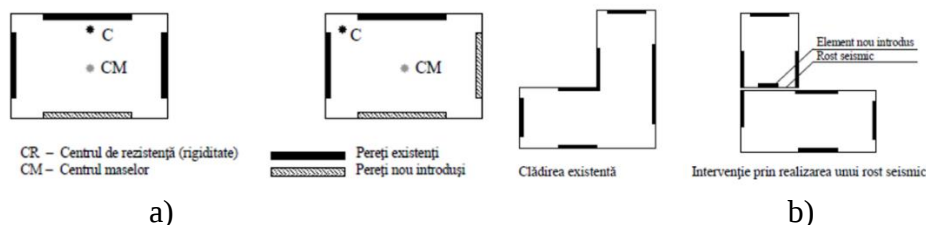
Figură 5.1 – a) b) Eșafodaje realizate din popi metalici reglabili (telescopici) și grinzi din lemn;  
c) eșafodaje realizate din elemente din lemn [1]



Figură 5.2 – a) b) corsete realizate din elemente de lemn sau metal pentru asigurarea elementelor de rezistență ale clădirilor puternic fisurate/crăpate sau rupte din forță taietoare; c) Structuri tip contraforți pentru sprijinirea pereților de zidărie de fațadă [1]

## 5.2 Corectarea deficiențelor de alcătuire ale construcțiilor existente

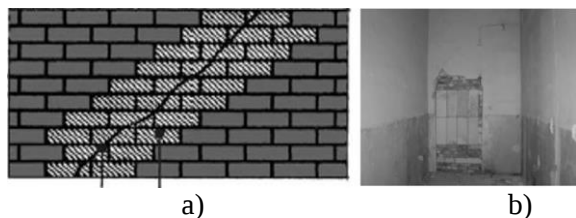
**Remediarea neregularităților în plan** - intervențiile în acest sens se referă la îmbunătățirea comportării seismice a structurilor cu efect de torsiune de ansamblu importante (Figură 5.3a), și se poate face realizarea unei delimitări structurale prin „tăierea” construcției sau realizarea unui rost seismic (Figură 5.4b).



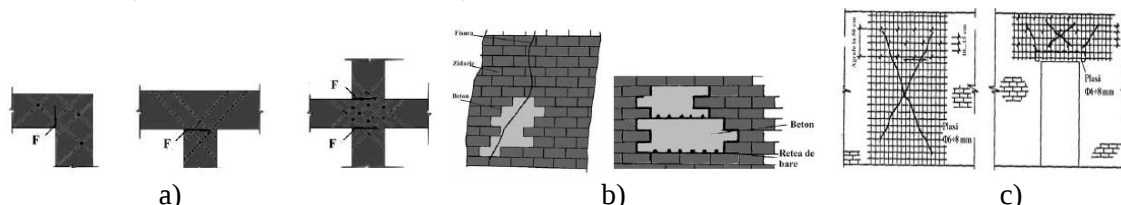
Figură 5.3 - a) Remediere a efectului defavorabil al torsiunii, prin introducerea unor elemente rigide și rezistente; b) introducerea unor elemente rigide și rezistente și realizarea unui rost seismic [6]

## 5.3 Lucrări de reparații la clădiri cu structură din zidărie

**Lucrările de reparație** se recomandă *monumentelor istorice* în situațiile în care intervențiile de consolidare nu pot fi posibile fără a afecta semnificativ valoarea arhitecturală și istorică a acestora.

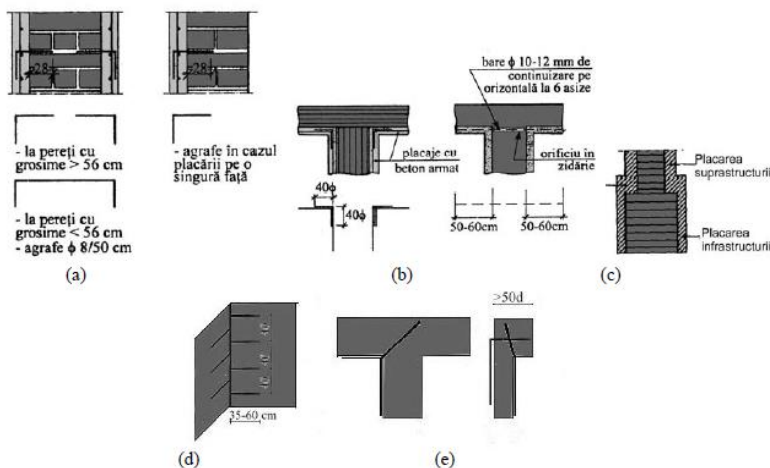


Figură 5.4- a) Refacerea unei zidării degradate prin reșeserea acesteia;  
b) Refacerea zidărie în urma închiderii unui gol de ușă/fereastră [97]



Figură 5.5 – a) Aplicarea injectiilor armate la colțuri/intersecții/ramificații ale pereților (F – fisură);  
b) plombarea cu beton a crăpăturilor din zidărie; c) placarea locală cu tencuială armată [97]

## 5.4 Lucrări de consolidare la structuri din zidărie

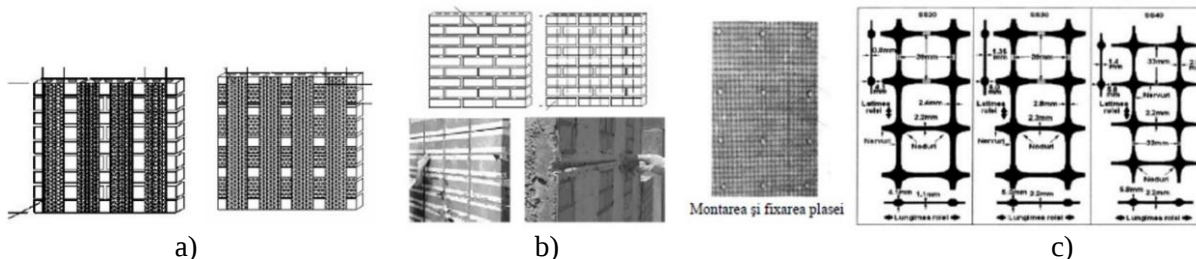


Figură 5.6 - Detalii de placare a zidăriei cu tencuială/beton armat utilizate în România:

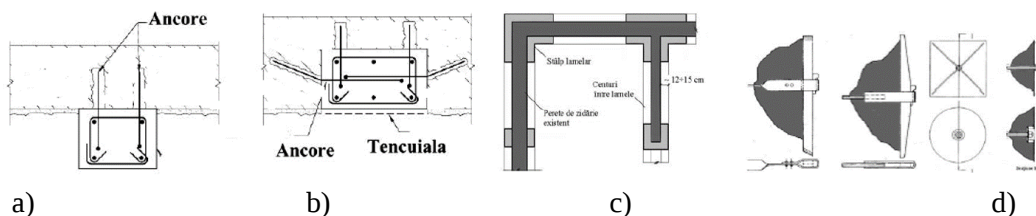
- a) detaliu în câmp curent;
- b) detaliu la intersecții;
- c) detaliu în zona de modificare a grosimii peretelui;
- d) detaliu de montare ancore la colțuri - vedere;
- e) detaliu montare ancore la conturi - plan [97]

**Consolidarea prin placare cu beton/mortar armat cu plase legate/sudate de oțel (cămășuielei armate).** Aceasta reprezintă un procedeu de consolidare utilizat pe scară largă atât în România, cât și în alte țări; acest procedeu este însoțit, în cazul existenței unor fisuri/crăpături, și de injectarea, în prealabil, cu una din modalitățile prezentate mai sus, în capitolul de reparații (Figură 5.6).

**Consolidarea prin placare cu produse din polimeri armați cu fibre (FRP) [101, 103]** reprezintă un procedeu de reparare/consolidare utilizat și în România.

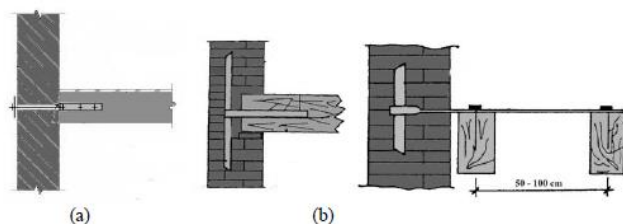


Figură 5.8 – a) Placarea pereților de zidărie cu benzi/platbande din FRP; b) bare rotunde FRP; c) plase sau grilele polimerice FRP [97, 101, 103]



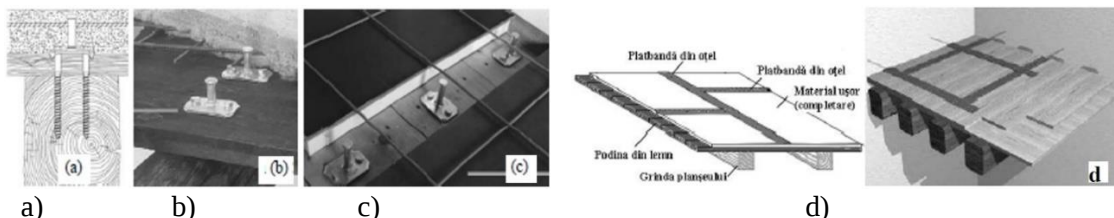
Figură 5.9 – Consolidarea structurilor din zidărie cu stâlpișori și centuri din beton armat – a) stâlpișor exterior, aparent; b) stâlpișor înglobat în zidărie și cu grosime mai mică decât aceea a peretelui; c) Consolidarea zidăriei cu stâlpișori lamelari; d) Piese de ancorare a tiranților (plăci de ancorare) cu forme estetice [1, 97]

### Consolidarea legăturilor dintre pereți și planșee.

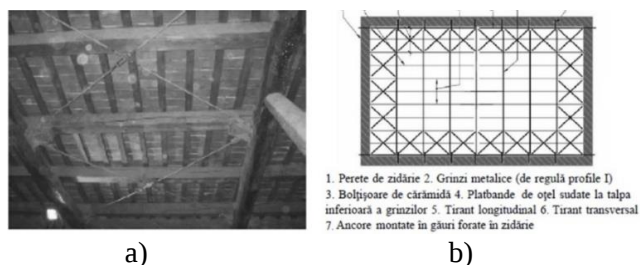


Figură 5.10 - Consolidarea legăturilor dintre pereți și planșee – a) prin introducerea ancorelor aparente; b) prin introducerea ancorelor în grosimea pereților [1, 97]

### Consolidarea planșeeilor din lemn.

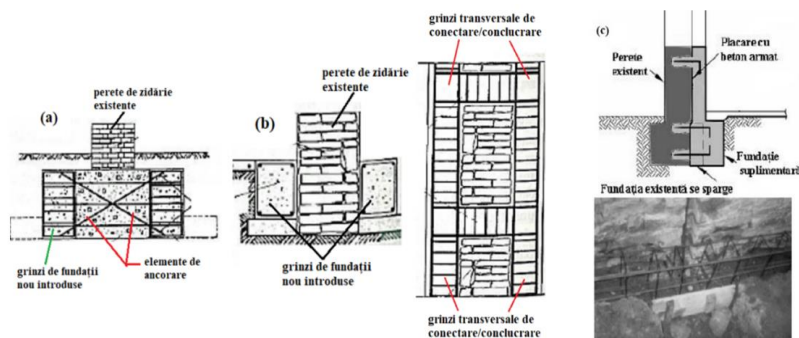


Figură 5.11 - Consolidare planșee din lemn - a) secțiune transversală planșeu; b) suprabetonare executată direct pe podina din lemn; c) suprabetonare executată pe un strat de termoizolație; d) Consolidare planșee de lemn cu platbande metalice [1, 97]

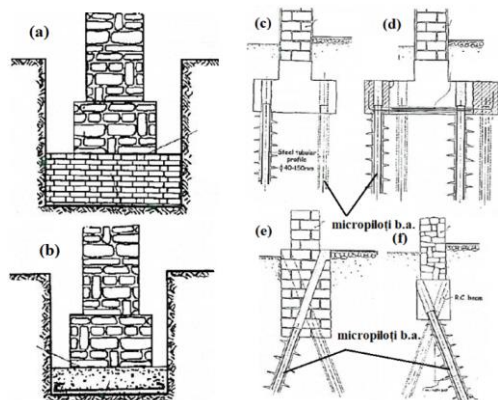


Figură 5.12 – Consolidarea planșeeilor: a) din lemn cu tiranți metalici (contravântuiri în „X”); b) din profile metalice și bolțișoare de cărămidă cu tiranți metalici (contravântuiri în „X”) [6]

### Procedeele de consolidare a fundațiilor



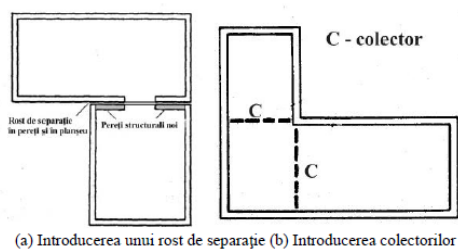
Figură 5.13 – a), b) Consolidarea fundațiilor prin lărgirea tălpii acestora în soluții;  
c) Consolidarea fundațiilor prin placare cu beton armat  
[1, 97]



Figură 5.14 - Consolidarea fundațiilor prin subzidire – a) realizată din cărămidă; b) realizată din beton armat monolit; c), d), e), f) prin utilizarea micropiloților forțați [1]

## 5.5 Lucrări de consolidare cu modificarea alcătuirii structurale existente

**Intervenții în scopul eliminării excentricității centrului de rigiditate:** introducerea pereților noi în poziții cât mai depărtate de centru de rigiditate al planșeului; creșterea rigidității pereților de contur prin închiderea unor goluri; eliminarea zonelor de concentratori de eforturi; introducerea rosturilor de separație (Figură 5.15).

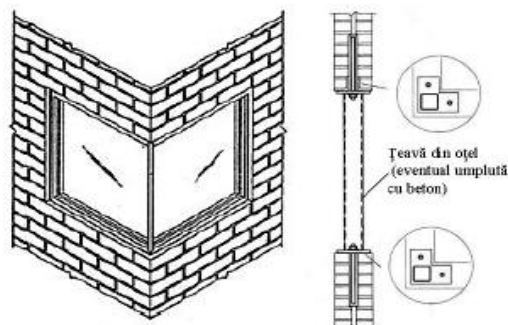


Figură 5.15 - Corectarea deficiențelor de alcătuire de ansamblu în soluție a) sau b) [97]

### Intervenții pentru asigurarea traseului forțelor verticale și seismice până la fundații.

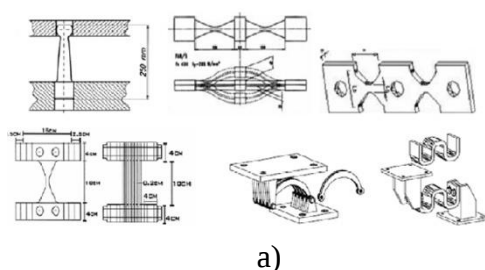
În cazul structurilor care nu îndeplinesc cerințele de redundanță impuse prin reglementările tehnice în vigoare, P100-1/2013, intervențiile în acest sens pot fi:

- adăugarea unor elemente structurale noi (pereți, stâlpi din zidărie/beton sau metalici) în zonele în care ruperea unui singur element poate provoca pierderea stabilității generale a structurii (ex. cazul șpaletilor/stâlpilor cu dimensiuni secționale insuficiente sau lipsa buiandrugilor la nivelul ferestrelor și ușilor), Figură 5.16;
- îmbunătățirea capacității de ductilitate prin lucrări adecvate de consolidare.

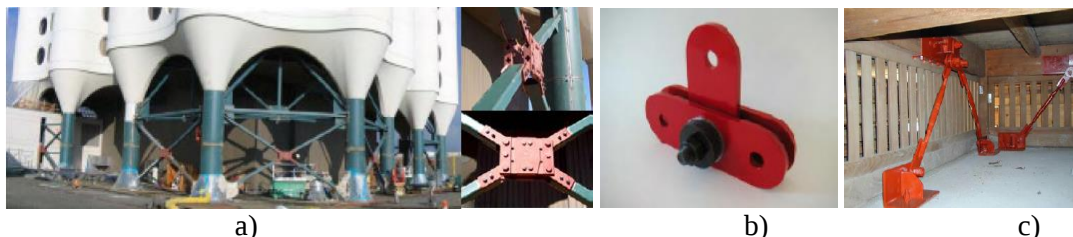


Figură 5.16 - Consolidarea colțurilor dacă zidăria reazemă direct pe structura ferestrei [97]

## 5.6 Sisteme de amortizare seismică



Figură 5.17 – a) Tipuri de amortizori pe bază de metale ductile; b) Dispozitiv de amortizare a mișcării seismice, executat sub formă de reazeme pentru fermele metalice ale unei Hale industriale, Salerno, Italia [99]



Figură 5.18 – a) Dispozitiv de amortizare a mișcării seismice de tip Pall, utilizat în componența unor contravântuiri „X” - Patient Tower, Seattle, S.U.A.; b), c) Dispozitiv de amortizare a mișcării seismice de tip Damptech, utilizat în componența unor contravântuiri – Templu Yaguriji, Japonia [99]

## 5.7 Sisteme de izolare a bazei

Principiul fundamental al izolării bazei de rezemare a unei construcții este acela de a modifica radical răspunsul structurii astfel încât influența mișcării terenului din amplasament să fie minimă sau chiar nulă (terenul să se miște sub construcție, fără a transmite mișcare acesteia). Idealul izolării bazei de rezemare ar consta în desprinderea/separarea completă a structurii de teren, însă în realitate acest lucru nu poate fi posibil, întrucât sunt necesare un număr minim de zone de contact structură – teren [99, 104].

Izolarea seismică se poate asigura cu sau fără dispozitive de amortizare adiționale. Aceștia pot fi clasificați, în funcție de materialele utilizate și modul de realizare, astfel [97]:

- **izolatori cu amortizare mică**, Figură 5.21a, b;
- **izolator de cauciuc cu amortizare ridicată (HDRB)**, Fig. 5.21c;
- **izolator de cauciuc cu miez de plumb (LRB)**, Figură 5.21d;
- **izolator tip pendul cu frecare**, Figură 5.22a;
- **izolator seismic tip pendul cu două suprafețe de lunecare**, Figură 5.22b și similar există și **izolator tip triplu** – pendul cu frecare, Figură 5.22c;

## 6. EXPERTIZAREA TEHNICĂ A CONSTRUCȚIILOR EXISTENTE

### 6.1 Generalități

Expertizarea tehnică a construcțiilor existente are ca scop identificarea nivelurilor de îndeplinire a cerințelor fundamentale de siguranță în exploatare, prevăzute conform legislație în vigoare “*Legea 10/1995, privind calitatea în construcții*”. Conform articol (18), aliniat (2), “*Intervențiile la construcțiile existente se referă la lucrări de construire, reconstruire, desființare parțială, consolidare, reparație, modernizare, modificare, extindere, reabilitare, reabilitare termică, [ ....]*”.

Tabel 6.1 – Clădiri din București expertizate și încadrate în clase de risc seismic în perioada 1993-2013 [115]

| Municipiul<br>București | Clasa de risc seismic   |       |       |       |      |
|-------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|------|
|                         | RsI -<br>pericol public | RsI   | RsII  | RsIII | RsIV |
| Imobile                 | 190                     | 184   | 302   | 75    | 6    |
| Apartamente             | 5363                    | 1276* | 11070 | 1781  | 86   |

Tabel 6.2 – Statistica actualizată a clădirilor expertizate în perioada 1993-2021

| Nr. total clădiri<br>expertizate | Statistică în funcție de perioade în care au fost<br>construite/proiectate clădirilor |              |       |       |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------|-------|
|                                  | <1941                                                                                 | [1941; 1977] | >2006 |       |
| 1258                             | nr. clădiri                                                                           | 1038         | 194   | 26    |
|                                  | %                                                                                     | 82,51        | 15,42 | 2,07  |
|                                  | Statistică în funcție de perioada în care au fost expertizate<br>(%)                  |              |       |       |
|                                  | 1993                                                                                  | [1994; 2006] | >2006 |       |
|                                  | nr. clădiri                                                                           | 776          | 339   | 143   |
|                                  | %                                                                                     | 61,69        | 26,95 | 11,37 |

Tabel 6.3 – Clădiri din București expertizate și încadrate în clasa de risc seismic  
Rs I-pericol public, în perioada 1993-2013 [115]

| Perioada<br>Nr. etaje | < 1900 | 1901-<br>1910 | 1911-<br>1920 | 1921-<br>1930 | 1931-<br>1940 | 1941-<br>1950 | 1951-<br>1960 | > 1960 | Total |
|-----------------------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------|-------|
| 1 etaj                | 6      | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -      | 6     |
| 2 etaje               | 13     | 3             | 1             | 1             | -             | -             | -             | -      | 18    |
| 3 etaje               | 10     | 1             | 1             | 3             | 1             | -             | -             | -      | 16    |
| 4 etaje               | 5      | 2             | -             | 1             | 11            | -             | -             | -      | 19    |
| 5 etaje               | 2      | -             | -             | 8             | 16            | 1             | -             | -      | 27    |
| 6 etaje               | 2      | 2             | 2             | 3             | 17            | -             | -             | -      | 26    |
| 7 etaje               | -      | -             | 1             | 6             | 24            | 1             | -             | -      | 32    |
| 8 etaje               | -      | -             | -             | 2             | 16            | 4             | -             | -      | 22    |
| 9 etaje               | -      | -             | -             | 1             | 10            | 1             | 2             | 3      | 17    |
| 10 etaje              | -      | -             | -             | -             | 3             | -             | 1             | 1      | 5     |
| >10 etaje             | -      | -             | -             | -             | 2             | -             | -             | -      | 2     |
| Total                 | 38     | 8             | 5             | 25            | 100           | 7             | 3             | 4      | 190   |

## 6.2 Concepte și terminologie specifică

**Nivelurile de cunoaștere** se referă la măsura în care informațiile tehnice disponibile (parțial/incomplet/complet) fie din documente tehnice existente (cartea tehnică) sau ca urmare a inspectărilor tehnice (constatări) în teren, asigură un grad de încredere optim și cât mai realist rezultatelor numerice specifice evaluărilor cantitative (clacule structurale).

Codul prevede și definește trei niveluri de cunoaștere (Tabel 6.4): i)  $KL1=1.35$  - *cunoaștere limitată*;  $KL2=1.20$  - *cunoaștere normală*;  $KL3=1.00$  - *cunoaștere complete* (Tabel 6.4).

**Metodologiile de evaluare** seismică sunt constituite din totalitatea abordărilor/criteriilor de evaluare calitativă și cantitativă (metode de calcul), prin care sunt stabilite performanțele seismice ale clădirilor existente. Codul P100-3/2019 [97] pune la dispoziție trei metodologii diferențiate prin nivelul de detaliere și complexitate ale criteriilor de evaluare calitativă și cantitativă, prevăzute în cod.

**Calculul seismic** se face conform prevederilor codului P100-1/2013. În funcție de caracteristicile structurale și importanța construcției supuse expertizării tehnice, codul de proiectare seismică P100-1 prevede pentru calculul structural, metodele de mai jos: i) *metoda forțelor laterale asociate modului de vibrație fundamental*; ii) *metoda calculului modal cu spectre de răspuns*;

## 6.3 Determinarea instrumentală a perioadelor de vibrație pentru clădiri

O metodă directă și practică prin care se poate determina valoarea perioadei proprii fundamentale de vibrație a structurii unei clădiri este cunoscută în literatura de specialitate/diferite studii [10÷45], ca metoda “*Ambient Vibration Tests*” (AVT) sau metoda “*înregistrărilor de vibrații ambientale*”.

În ceea ce privește cercetarea românească privind studiul vibrațiilor forțate sau ambientale ale construcțiilor existente, prin bunăvoința d-lui Asistent. univ. Dr. ing. Teodor Pavlu, am putut intra în posesia unei copii a originalului lucrării “*Studiu teoretic și experimental al comportării monumentului istoric Mănăstirea Arnota la solicitări provocate de exploziile efectuate la cariera de calcar Pietreni-Bistrița*” [118]. Studiul a fost coordonat de Prof. Dr. ing. Petre Trofin, care era la acea vreme prorector științific în cadrul Institutului de Construcții București-Facultatea de Construcții).

Obiectul studiului a fost biserica Mănăstirii Arnota, monument istoric înregistrat în LMI cu cod LMI VL-II-a-A-09667, amplasată în sat Bistrița, comuna Costești, județ Vâlcea.

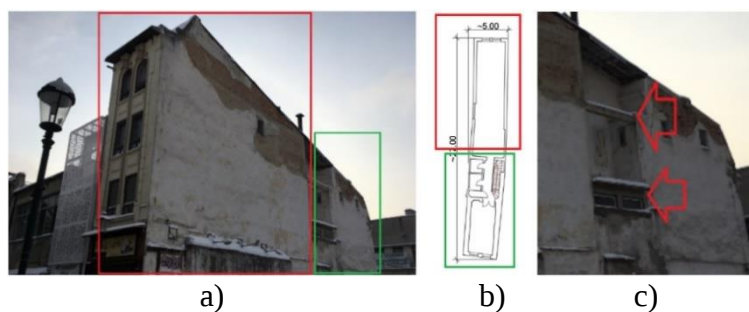
Motivul studiului a fost starea fizică de degradare progresivă în care se afla structura bisericii (multiple fisuri/dislocări ale picturii murale, Figură 6.2), din cauza șocurilor (microseisme) provocate de exploziile efectuate în timpul exploatarea carierei de calcar Pietreni-Bistrița.

## 6.4 Studiu de caz 1. Evaluarea răspunsului dinamic al unei construcții existente, utilizând metode numerice (modelare ETABS), metode directe (empirice) și metoda AVT (Ambient Vibration Tests).

Prezentul studiu de caz are ca obiectiv principal evaluarea răspunsului dinamic al structurii unei clădiri existente, amplasată în centrul vechi al orașului București, Str. Lipscani nr. 66, având regim de înălțime Sp+P+2E+M, cu dimensiuni de gabarit în plan de ~5x27 m, și formă atipică, alungită (raport ~1:6). Clădirea (Figură 6.4) fost construită în jurul anului 1930, are destinația de “*casă*” și este inclusă în Lista Monumentelor Istorice din România, fiind înregistrată cu codul B-II-B-19041 [119].



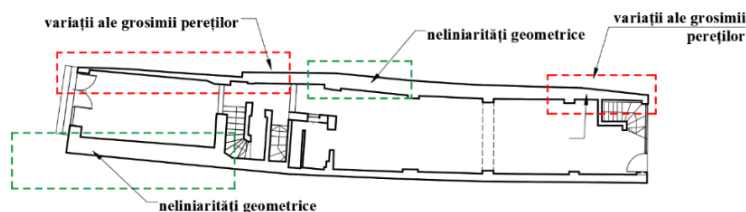
Figură 6.4 – a) Fațadă principală; b) Fațadă laterală [119]



Figură 6.5 – a), b) Identificare tronsoane clădire; c) Elemente exterioare de continuitate în exteriorul clădirii – grinzi din beton armat [119]



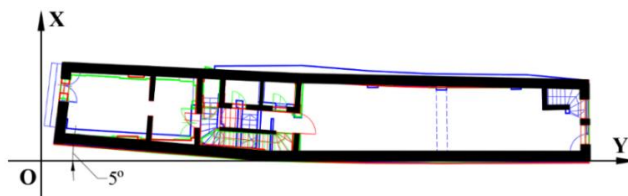
Figură 6.6 – Fisuri în plăcile de planșee ale clădirii [119]



Figură 6.7 – Variații în plan ale grosimilor de pereți și neliniarități geometrice



Figură 6.8 – Variații pe verticală ale grosimilor de pereți și neliniarități geometrice



Figură 6.9 – Abatere în plan de la rectiliniaritate cu  $\sim 5^\circ$

## Determinarea perioadei proprii fundamentale de vibrație prin metode numerice

Determinarea rezistenței la compresiune a betonului armat s-a utilizat metoda sclerometriei, utilizând un dispozitiv specific (Figură 6.11a), iar rezistența la compresiune a zidăriei de cărămidă s-a determinat tot prin metoda sclerometriei (Figură 6.11b), utilizând un dispozitiv specific pentru zidărie. De asemenea, s-au realizat și evaluări ale calității betonului, utilizând metoda cu ultrasunete (Figură 6.11c).

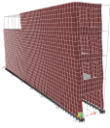
În baza caracteristicilor mecanice determinate prin încercările nedistructive menționate mai sus, au rezultat: modulul de elasticitate al betonului armat de clasa C8/10 din grinzi și plăci, este  $E_{c,b,s}=25000 \text{ N/mm}^2$ ; modulul de elasticitate al betonului armat de clasa C12/15 din stâlpi este  $E_{c,c}=27000 \text{ N/mm}^2$ ; s-a considerat o greutate specifică  $\gamma_c=24 \text{ kN/m}^3$ . Pentru determinarea modulului de elasticitate al zidăriei s-a utilizat formula empirică generală de mai jos, conform CR6-2013:

$$E_z = \alpha * f_k \quad (6.1)$$

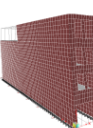
$$f_k = k * f_b^{0.7} f_m^{0.3} \quad (6.2)$$

Pentru modelarea numerică, utilizând programul analitic de element finit, ETABS, s-au formulat trei ipoteze de referință (Tabel 6.4, Tabel 6.5, Tabel 6.6), care, prin combinarea acestora, prin reducerea rigidităților stâlpilor  $E_{c,c}I_c$ , a rigidităților grinzilor, a plăcilor  $E_{c,b,s}I_b$ , și a zidăriei  $E_zI_z$ , s-au obținut 14 ipoteze finale (Tabel 6.7). De asemenea, în Tabel 6.7 sunt prezentate și rezultatele modelărilor numerice – ETABS, în termeni de perioade proprii fundamentale de vibrație  $T^*[s]$ .

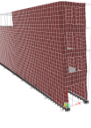
Tabel 6.4 – Ipoteză de referință 1

| Caracteristici fizico-mecanice ale materialelor                                       |                                      |                                             |                                     | T* [s]                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| beton armat în stâlpi                                                                 | clasă C12/15                         | E <sub>c,c</sub> =27000 N/mm <sup>2</sup>   |                                     |  |
|                                                                                       | rigiditate stâlpi                    | E <sub>c,c</sub> I <sub>c</sub>             |                                     |                                                                                     |
| beton armat în grinzi și plăci                                                        | clasă C8/10                          | E <sub>c,b,s</sub> =25000 N/mm <sup>2</sup> |                                     |                                                                                     |
|                                                                                       | rigidități grinzi și plăci           | E <sub>c,b,s</sub> I <sub>b,s</sub>         |                                     |                                                                                     |
| zidărie                                                                               | marcă cărămizi C150                  |                                             | E <sub>z</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] |                                                                                     |
|                                                                                       | f <sub>k</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]= | 15                                          | 2781                                |                                                                                     |
|                                                                                       | mortar de var marcă M4               |                                             |                                     |                                                                                     |
|                                                                                       | f <sub>d</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]= | 0,4                                         |                                     |                                                                                     |
|                                                                                       | k <sub>elemente ceramice</sub> =     | 0,55                                        |                                     |                                                                                     |
|                                                                                       | α=                                   | 1000                                        |                                     |                                                                                     |
|                                                                                       | rigiditate zidărie                   | E <sub>z</sub> I <sub>z</sub>               |                                     |                                                                                     |
| T* - perioadă proprie fundamentală de vibrație obținută din modelare numerică - ETABS |                                      |                                             |                                     |                                                                                     |

Tabel 6.5 – Ipoteză de referință 13

| Caracteristici fizico-mecanice ale materialelor                                       |                                  |                                  |                                                                                       | T [s] |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| beton armat în stâlpi                                                                 | clasă C12/15                     | $E_{c,c}=27000 \text{ N/mm}^2$   |  | 0,57  |
|                                                                                       | rigiditate stâlpi                | $E_{c,c}I_c$                     |                                                                                       |       |
| beton armat în grinzi și plăci                                                        | clasă C8/10                      | $E_{c,b,s}=25000 \text{ N/mm}^2$ |                                                                                       |       |
|                                                                                       | rigidități grinzi și plăci       | $E_{c,b,s}I_{b,s}$               |                                                                                       |       |
| zidărie                                                                               | marcă cărămidă C150              | $E_z [\text{N/mm}^2]$            |                                                                                       |       |
|                                                                                       | $f_k [\text{N/mm}^2]=$           | 15                               |                                                                                       |       |
|                                                                                       | mortar de var marcă M4           |                                  |                                                                                       |       |
|                                                                                       | $f_d [\text{N/mm}^2]=$           | 0,4                              |                                                                                       |       |
|                                                                                       | $k_{elemente \text{ ceramice}}=$ | 0,55                             |                                                                                       |       |
|                                                                                       | $\alpha=$                        | 700                              |                                                                                       |       |
|                                                                                       | rigiditate zidărie               | $E_zI_z$                         |                                                                                       |       |
| T* - perioada proprie fundamentală de vibrație obținută din modelare numerică - ETABS |                                  |                                  |                                                                                       |       |

Tabel 6.6 – Ipoteză de referință 14

| Caracteristici fizico-mecanice ale materialelor                                       |                            |                                  |     |                                                                                     | T*[s] |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| beton armat în stâlpi                                                                 | clasă C12/15               | $E_{c,s}=27000 \text{ N/mm}^2$   |     |  | 0,71  |
|                                                                                       | rigiditate stâlpi          | $E_{c,s}I_c$                     |     |                                                                                     |       |
| beton armat în grinzi și plăci                                                        | clasă C8/10                | $E_{c,b,s}=25000 \text{ N/mm}^2$ |     |                                                                                     |       |
|                                                                                       | rigidități grinzi și plăci | $E_{c,b,s}I_{b,s}$               |     |                                                                                     |       |
| zidărie                                                                               | marcă cărămidă C150        | $E_z [\text{N/mm}^2]$            |     |                                                                                     |       |
|                                                                                       | $f_k [\text{N/mm}^2]=$     | 15                               | 323 |                                                                                     |       |
|                                                                                       | mortar friabil!            |                                  |     |                                                                                     |       |
|                                                                                       | $f_{td} [\text{N/mm}^2]=$  | 0,001                            |     |                                                                                     |       |
|                                                                                       | $k_{elemente ceramice}=$   | 0,55                             |     |                                                                                     |       |
|                                                                                       | $\alpha=$                  | 700                              |     |                                                                                     |       |
| rigiditate zidărie                                                                    | $E_z I_z$                  |                                  |     |                                                                                     |       |
| T* - perioadă proprie fundamentală de vibrație obținută din modelare numerică - ETABS |                            |                                  |     |                                                                                     |       |

Tabel 6.7 – Perioadele proprii fundamentale, obținute în toate cele 14 ipoteze, incluzând ipotezele de referință 1, 13 și 14

| Modele numerice (ETABS) |   |                                                                     |                   |                         |          |         |    |                                                                     |                   |                         |      |
|-------------------------|---|---------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|----------|---------|----|---------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|------|
| Model i                 |   | $E_z; E_{c,c}; E_{c,b,s}$ și $\alpha$ considerat conform Tabel 5.1) |                   |                         | $T_i[s]$ | Model i |    | $E_z; E_{c,c}; E_{c,b,s}$ și $\alpha$ considerat conform Tabel 5.2) |                   |                         |      |
| ipoteze                 | 1 | $E_z I_z$                                                           | $E_{c,c} I_c$     | $E_{c,b,s} I_{b,s}$     | 0,31     | ipoteze | 8  | $E_z I_z$                                                           | $0,5 E_{c,c} I_c$ | $E_{c,b,s} I_{b,s}$     | 0,43 |
|                         | 2 | $E_z I_z$                                                           | $0,5 E_{c,c} I_c$ | $E_{c,b,s} I_{b,s}$     | 0,37     |         | 9  | $E_z I_z$                                                           | $E_{c,c} I_c$     | $0,5 E_{c,b,s} I_{b,s}$ | 0,42 |
|                         | 3 | $E_z I_z$                                                           | $E_{c,c} I_c$     | $0,5 E_{c,b,s} I_{b,s}$ | 0,38     |         | 10 | $E_z I_z$                                                           | $0,5 E_{c,c} I_c$ | $0,5 E_{c,b,s} I_{b,s}$ | 0,44 |
|                         | 4 | $E_z I_z$                                                           | $0,5 E_{c,c} I_c$ | $0,5 E_{c,b,s} I_{b,s}$ | 0,40     |         | 11 | $0,5 E_z I_z$                                                       | $0,5 E_{c,c} I_c$ | $E_{c,b,s} I_{b,s}$     | 0,54 |
|                         | 5 | $0,5 E_z I_z$                                                       | $0,5 E_{c,c} I_c$ | $E_{c,b,s} I_{b,s}$     | 0,48     |         | 12 | $0,5 E_z I_z$                                                       | $E_{c,c} I_c$     | $0,5 E_{c,b,s} I_{b,s}$ | 0,53 |
|                         | 6 | $0,5 E_z I_z$                                                       | $E_{c,c} I_c$     | $0,5 E_{c,b,s} I_{b,s}$ | 0,46     |         | 13 | $0,5 E_z I_z$                                                       | $0,5 E_{c,c} I_c$ | $0,5 E_{c,b,s} I_{b,s}$ | 0,57 |
|                         | 7 | $0,5 E_z I_z$                                                       | $0,5 E_{c,c} I_c$ | $0,5 E_{c,b,s} I_{b,s}$ | 0,50     |         | 14 | $0,5 E_z I_z$                                                       | $0,5 E_{c,c} I_c$ | $0,5 E_{c,b,s} I_{b,s}$ | 0,71 |

**Determinarea perioadei proprii fundamentale de vibrație utilizând metode directe** plecând de la literatura de specialitate [7] există o serie de metode directe (empirice) care oferă formule de calcul ale perioadei proprii fundamentale de vibrație pentru diferite tipuri structurale sau formule general valabile pentru toate tipurile de structuri. Pentru prezentul studiu de caz metodele directe cele mai potrivite s-au considerat cele din Tabel 6.8, în care se pot observa și rezultatele obținute prin fiecare metodă în parte.

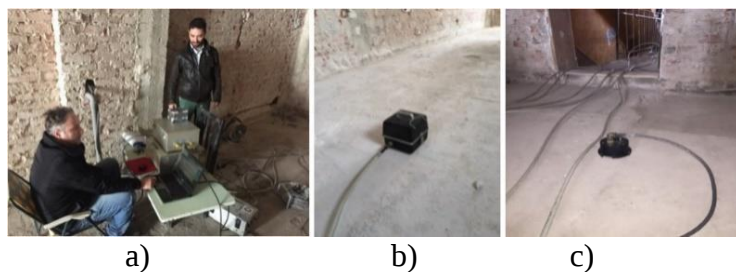
Tabel 6.8 – Metode directe (empirice) care se pot utiliza pentru determinarea perioadei proprii fundamentale de vibrație a structurilor [7]

| Nr. crt. | Metode directe/empirice (descriere)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Nr.  | Formule de calcul                     | Caracteristici dimensionale clădire |                                       |                      |       |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|-------|
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |                                       | n                                   | B [m]                                 | L [m]                | H [m] |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |                                       | 4                                   | 5                                     | 27                   | 13,7  |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |                                       | L <sub>pereti</sub> [m]             | A <sub>pereti</sub> [m <sup>2</sup> ] | d [m <sup>-1</sup> ] |       |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |                                       | 218                                 | 430                                   | 0,51                 |       |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |                                       | T [s]                               |                                       |                      |       |
| 1        | <b>Metoda T. Taniguchi:</b> Metoda are la bază rezultatele investigațiilor experimentale realizate asupra unui număr mare de clădiri din Tokyo și Yokohama [3]. Formula 1.1 a fost validată pentru toate tipurile de clădiri. În sursa [1] nu s-a specificat pentru ce tipuri structurale s-au determinat formulele 1.2 și 1.3, dar s-au considerat ca formule alternative pentru studiu. | 1.1  | $T=(0.12...0.40)\sqrt{(2n+1)/3}=$     | 0,21                                |                                       |                      |       |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1.2  | $T=(0.07...0.09)n=$                   | 0,28                                |                                       |                      |       |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 1.3  | $T=(0.06...0.10)(n+5)=$               | 0,54                                |                                       |                      |       |
| 2        | <b>Metoda F.P. Ulrich și D.S. Carder:</b> Formulele metodei au fost determinate pe baza măsurătorilor a 400 de clădiri cu diferite structuri de rezistență. Formula 2.1 descrie un interval limită a rezultatelor experimentale, iar formula 2.2 se recomandă ca furnizând rezultate optime în practică.                                                                                  | 2.1  | $T=(0.01...0.035)H=$                  | 0,14                                | ...                                   |                      | 0,48  |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 2.2  | $T=\sim 0.02H=$                       | 0,27                                |                                       |                      |       |
| 3        | <b>Metoda E. Rosenblu - ETH:</b> Metoda se recomandă doar pentru construcțiile de locuit și birouri.                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 3.1  | $T=(0.09...0.10)(n+1)$                | 0,45                                | ...                                   |                      | 0,50  |
| 4        | <b>Metoda K. Nakagava:</b> Formulele metodei au la bază rezultatele experimentale ale 53 clădiri studiate, în funcție de raportul H/√B, conținut în codul Californian. Formula 4.1 descrie un interval limită a rezultatelor experimentale, ținând cont de raportul H/√B, iar formula 4.2, ținând cont de numărul de niveluri.                                                            | 4.1  | $T=(0.07...0.13)H/\sqrt{B}$           | 0,43                                | ...                                   |                      | 0,80  |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 4.2  | $T=(0.10+0.038n)...(0.20+0.064n)=$    | 0,25                                | ...                                   |                      | 0,46  |
| 5        | <b>Metoda M. Takeuchi:</b> Formulele metodei au la bază rezultatele experimentale pentru 60 clădiri din Tokyo și Osaka. Formula depinde exclusiv de înălțimea H a clădirii.                                                                                                                                                                                                               | 5    | $T=H/60=$                             | 0,23                                |                                       |                      |       |
| 6        | <b>Metoda A. Arias și R. Husid:</b> Formula de calcul a fost determinată pe construcții din Chile, cu structuri în cadre de beton armat și pereți de zidărie (închidere/rigidizare)                                                                                                                                                                                                       | 6    | $T=0.024H\sqrt{(0.71d-0.14)}=$        | 0,04                                |                                       |                      |       |
| 7        | <b>Metoda M. Baeza:</b> Metoda a fost determinată tot pe construcții din Chile, și este valabilă doar pentru construcții din această țară.                                                                                                                                                                                                                                                | 7    | $T=0.036n=$                           | 0,14                                |                                       |                      |       |
| 8        | <b>Metoda A. Arias, R. Husid și M. Baeza:</b> Formulele au fost determinate prin analiza rezultatelor obținute pe 34 de clădiri înalte, cu regim de înălțime între 4 și 17 etaje, din provinciile Santiago și Valparaiso. În sursa [3] nu s-a specificat pentru ce tipuri structurale s-au determinat formulele 8.1 și 8.2, dar s-au considerat ca formule alternative pentru studiu.     | 8.1  | $T=0.012n=$                           | 0,05                                |                                       |                      |       |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 8.2  | $T=0.035n=$                           | 0,14                                |                                       |                      |       |
| 9        | <b>Metoda H. Sandi și G. Serbanescu:</b> Este o metodă românească, iar formulele metodei au fost stabilite pe cale experimentală, prin măsurători efectuate asupra unor construcții civile din București. Formula 9.1 a fost validată pentru evaluarea perioadei de vibrație, pe direcție transversală, iar 9.2 pentru blocuri turn.                                                      | 9.1  | $T=(0.045...0.055)n=$                 | 0,18                                |                                       |                      |       |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 9.2  | $T=0.065 H/\sqrt{m}=$                 | 0,40                                |                                       |                      |       |
| 10       | <b>Metoda J. S. Carmona și J. H. Cano:</b> Formulele metodei 10.1 și 10.2, au fost determinate experimental pe clădiri din Argentina, cu structuri din beton armat, iar formula 10.3, pentru structuri din beton armat cu pereți de zidărie, cu rol de rigidizare.                                                                                                                        | 10.1 | $T=0.012H+0.09=$                      | 0,25                                |                                       |                      |       |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 10.2 | $T=0.07 H/\sqrt{B}=$                  | 0,43                                |                                       |                      |       |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 10.3 | $T=H\sqrt{(0.003 B)+0.0002/(1+30d)}=$ | 0,34                                |                                       |                      |       |
| 11       | <b>Metoda R. Husid, W. Pieber și J. Romo:</b> Formulele 11.1 și 11.2 sunt recomandate pentru structuri obișnuite din beton armat, iar formula 11.3, a fost propusă pentru construcțiile din Chile.                                                                                                                                                                                        | 11.1 | $T=0.04n=$                            | 0,16                                |                                       |                      |       |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 11.2 | $T=n/69=$                             | 0,06                                |                                       |                      |       |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 11.3 | $T=0.04 H/\sqrt[3]{B}=$               | 0,32                                |                                       |                      |       |
| 12       | <b>Metoda M. Ifrim:</b> Formula 12.1 este valabilă pentru construcții joase cu structuri din cadre de beton și zidărie/pereți portanți din zidărie, cu regim de înălțime ≤6 niveluri.                                                                                                                                                                                                     | 12.1 | $T=0.09\sqrt[3]{H}=$                  | 0,33                                |                                       |                      |       |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |                            |      |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------------------------|------|
| 13 | Metoda JOINT COMMIT-TEE ASCE-SEA: Formula metodei $T=0.09 H/\sqrt{B}$ are la bază măsurători experimentale realizate pe 3000 de clădiri și este validată pentru toate tipurile de clădiri.                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 13   | $T=0.09 H/\sqrt{B} =$      | 0,55 |
| 14 | Metoda U.S. COAST AND GEODETIC SURVEY: Formula 14.1 a fost determinată în baza investigațiilor experimentale pe 212 clădiri.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 14   | $T=0.1n =$                 | 0,40 |
| 15 | Metoda OFFICE OF CONSTRUCTION VETERAN ADMINISTRATION WASHINGTON: Formula 15.1 a fost validată pentru construcții cu structuri din pereți portanți din zidărie.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 14   | $T=0.15n =$                | 0,60 |
| 16 | Formule conform normativ de proiectare seismică românească, indicativ P100-81: În afara formulelor elaborate de către H. Sandi și G. Serbănescu, în normativul de proiectare seismică românească, indicativ P100-81, a mai fost introdusă și formula 16.1                                                                                                                                                                                                                                     | 16   | $T=0.3+0.05n=$             | 0,50 |
| 17 | Formule conform normative de proiectare seismică românească, indicativ P100-1/2013 și P100-3/2008: În Anexa B, B.2, pentru proiectarea preliminară a clădirilor cu înălțime totală de până la 40 m, sunt recomandate formulele de mai jos:<br>$T=C \cdot H^{(3/4)}$ , în care<br>$C=0.075$ – pentru cadre spațiale din beton armat și cadre spațiale din metal și contravânturi excentrice;<br>$C=0.05$ – pentru celelalte tipuri de structuri, inclusiv cele cu pereți portanți din zidărie. | 17.1 | $T=0.075 \cdot H^{(3/4)}=$ | 0,53 |
|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 17.2 | $T=0.05 \cdot H^{(3/4)}=$  | 0,36 |

În care:  $T$  – perioada proprie fundamentală a structurii;  $n$  – numărul de niveluri ale clădirii;  $d$  – coeficient prin care se introduce influența “densității pereților” și reprezintă raportul dintre lungimea totală a tuturor pereților existenți în clădire și suprafața totală desfășurată a acestora;  $B$  – lățimea structurii la nivelul parterului;  $L$  – lungimea structurii la nivelul parterului;  $H$  – înălțimea clădirii.

**Determinarea perioadei proprii fundamentale de vibrație utilizând metoda AVT (Ambient Vibration Tests).** Înregistrările dinamice s-au realizat cu sprijinul tehnic al d-lui Asistent univ. dr. ing. Teodor Pavlu, având la dispoziție un echipament alcătuit din stația principală MT WHITNEY KINEMATRICS (Figură 6.18a) cu 18 canale, denumită “St”; 4 senzori (accelerometre), care au fost denumiți “S1”, “S2”, “S3” și “S4” (Figură 6.18b), și un senzor martor (episenzor backup) ESP U3 (Figură 6.18c), denumit “E”; fiecare senzor a fost proiectat să facă înregistrări pe toate cele 3 direcții ortogonale (senzori/accelerometre triaxiale).

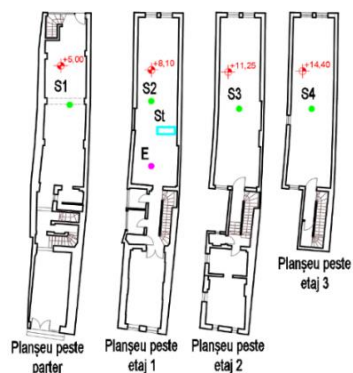


Figură 6.12 – a) stație MT WHITNEY KINEMATRICS cu 18 canale;  
b) senzor/accelerometru triaxial tip KINEMATRICS; c) episenzor tip ESP-U3, cu rol de backup

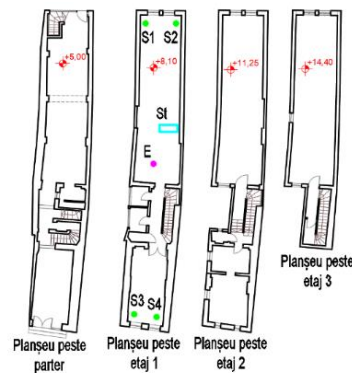
De asemenea, cu rol de backup au fost disponibile încă o stație (ALTUS K2 KINEMATRICS) și un software special de prelucrare a înregistrărilor dinamice (accelerograme), denumit QUICK TALK KINEMATRICS.

Cei patru senzori “S1”, “S2”, “S3” și “S4” și episenzorul “E”, au fost plasați la nivelul fiecărui planșeu, în 4 configurații (Figură 6.13, Figură 6.14, Figură 6.15 și Figură 6.16). Stația principală a fost amplasată la nivelul planșeului peste parter, pe toată perioada înregistrărilor.

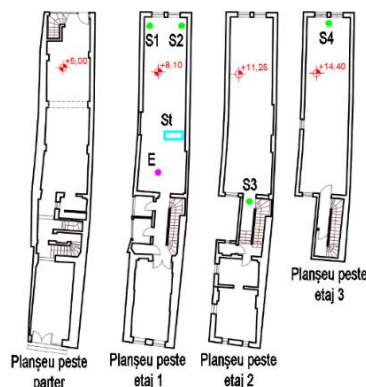
Prelucrarea datelor înregistrate s-a făcut cu software-ul ARTEMIS MODAL PRO 4.0 (licență Nr. 7030). Astfel, perioada fundamentală de vibrație a structurii clădirii analizate a rezultat  $T_1^{AVT}=0.85$  s, valoare asociată modului de vibrație transversală.



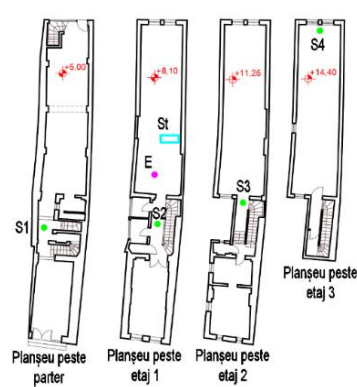
Figură 6.13 – Configurația 1



Figură 6.14 – Configurația 2



Figură 6.15 – Configurația 3



Figură 6.16 – Configurația 4

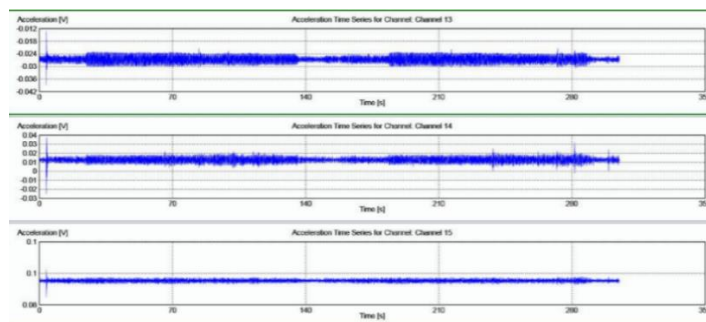


Fig. 6.17 – Înregistrări (accelerograme) obținute la nivelul planșeului peste etaj 3

### Comentarii:

- valoarea maximă a perioadei proprii fundamentale rezultată prin modelarea numerică a structurii (ETABS), este 0.71 s (ipoteza 14), fiind o ipoteză extremă, în care s-a considerat o reducere de 50% a rigidităților tuturor elementelor structurale (stâlpi, grinzi, plăci, care prezintă fisuri), coeficientul  $\alpha = 700$  (recomandat pentru structuri vechi din zidărie) și o rezistență la compresiune a mortarului  $f_m = \sim 0.001 \text{ N/mm}^2$ , considerată ca fiind asociată unui mortar cu un nivel ridicat de îmbătrânire și degradare (sfărâmișos/friabil);
- valoarea maximă a perioadei proprii fundamentale rezultată prin utilizarea metodelor directe (empirice) este 0,60 s, obținută cu formula metodei oferite de *Office of construction veteran administration Washington*, formulă validată pentru construcții cu structuri din pereți portanți din zidărie;

- valoarea obținută în urma înregistrărilor dinamice a rezultat 0.85 s (vibrație pe direcție transversală);
- în această situație, se poate observa că o medie a valorilor obținută prin modelare analitică este 0.47 s, iar o medie a valorilor obținute prin metode directe (empirice) este 0.32;
- se poate observa că în ipoteza 7 de modelare numerică, valoarea 0.50 s s-a obținut considerând o reducere cu 50% a rigidităților tuturor elementelor structurale (stâlpi, grinzi și plăci), un  $\alpha = 1000$  și o rezistență la compresiune a mortarului  $f_m = \sim 0.4 \text{ N/mm}^2$ ;
- în ipoteza 13 de modelare numerică, valoarea perioadei a rezultat 0.57 s, considerând o reducere cu 50% a rigidităților tuturor elementelor structurale (stâlpi, grinzi și plăci), un  $\alpha = 700$  (recomandat pentru structuri vechi din zidărie) și o rezistență la compresiune a mortarului  $f_m = \sim 0.4 \text{ N/mm}^2$ ;

Reducerea totală cu 50% a rigidităților tuturor elementelor structurale, în proiectarea curentă se referă la stadiul ultim (fisurat), ceea ce ar presupune o stare fizică a structurii concretizată prin multiple fisuri/crăpături, însă la momentul studiului, structura nu prezenta degradări structurale importante, prin urmare o reducere a rigidității cu 50% nu este realistă, de aceea ipotezele 7 și 13 nu pot fi considerate compatibile cu realitatea. Pe de altă parte, valoarea înregistrării dinamice 0.85 s depășește cu mult valorile obținute în ipotezele 7 și 13, iar o medie a valorilor celorlalte ipoteze și metode ar fi  $\sim 0.40$  s.

Pentru situația prezentului studiu de caz, se poate admite faptul că valoarea maximă plauzibilă a perioadei proprii fundamentale de vibrație se poate regăsi în intervalul [0.40; 0.57], considerând valoarea 0.85 s rezultată din înregistrările dinamice ca fiind una afectată de erorile inerente acestei metode.

## 6.5 Studiu de caz 2. Evaluarea perioadelor proprii fundamentale de vibrație ale construcțiilor existente prin metode numerice, utilizând un program de calcul automat (ETABS) și prin metode directe (empirice)

În prezentul studiu de caz, sunt prezentate rezultatele calculelor perioadelor proprii fundamentale de vibrație, efectuate pentru 11 clădiri existente, cu structuri de rezistență variate, amplasate în câteva orașe seismice mai impotante din România.

Calculul valorilor de perioade s-a efectuat atât utilizând metode numerice, folosind un program de calcul automat (ETABS), cât și câteva dintre metodele directe (12 metode), Tabel 6.10, existente în literatura de specialitate [7], potrivite pentru fiecare tip structural. Scopul prezentului studiu de caz este acela de a evidenția viabilitatea metodelor analizate prin comparație.

Tabel 6.9 – Metode directe (empirice) care se pot utiliza pentru determinarea perioadei proprii fundamentale de vibrație a structurilor

| Nr. crt. | Metode directe/empirice                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Formulă | Formule de calcul $T_i$ [s] |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------------------------|
| M1       | <b>Metoda F.P. Ulrich și D.S. Carder:</b> Metoda are la bază analize statistice realizate pe măsurătorile a 400 de clădiri, cu diferite structuri de rezistență.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1       | $T_1=0.02H$                 |
| M2       | <b>Metoda M. Takeuchi:</b> Formula metodei are la bază rezultatele experimentale pentru 60 clădiri din Tokyo și Osaka și depinde exclusiv de înălțimea $H$ a clădirii.                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 2       | $T_2=H/60$                  |
| M3       | <b>Metoda M. Baeza:</b> Formula metodei a fost validată doar pentru construcțiile din Chile                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 3       | $T_3=0.036n$                |
| M4       | <b>Metoda Horia Sandi și G. Serbanescu:</b> Relația de calcul a fost propusă pentru blocurile turn.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 4       | $T_4=0.065 H/\sqrt{B}$      |
| M5       | <b>Metoda J. S. Carmona și J. H. Cano:</b> Formulele metodei au fost determinate experimental pe clădiri din Argentina, cu structuri din beton armat cu pereți de zidărie, cu rol de rigidizare.                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 5.1     | $T_{51}=0.012H+0.09$        |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 5.2     | $T_{52}=0.07 H/\sqrt{B}$    |
| M6       | <b>Metoda R. Husid, W. Pieber și J. Romo:</b> Formulele 6.1 și 6.2 sunt recomandate pentru structuri obișnuite din beton armat.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 6.1     | $T_{61}=0.04n$              |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 6.2     | $T_{62}=n/69$               |
| M7       | <b>Metoda M. Ifrim:</b> Formula 7.1 a fost validată pentru construcții joase cu structură de tip pereți portanți din zidărie și cadre din beton armat cu pereți de umplură din zidărie cu regim de înălțime mai mic sau egal cu 6 niveluri; formula 7.2 a fost validată pentru construcții din beton armat cu regim mediu de înălțime în intervalul 7...15 niveluri;                                                                                                             | 7.1     | $T_{71}=0.09\sqrt{H}$       |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 7.2     | $T_{72}=0.12\sqrt{H}$       |
| M8       | <b>Metoda JOINT COMMITTEE ASCE-SEA:</b> Formula metodei se bazează pe măsurători experimentale a 3000 de clădiri cu diverse tipuri structurale și este recomandată și de codul U.B.C.                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 8       | $T_8=0.09 H/\sqrt{B}$       |
| M9       | <b>Metoda U.S. COAST AND GEODETIC SURVEY:</b> Formula a fost determinată în baza investigărilor experimentale pe 212 clădiri. De asemenea, formula este recomandată și de SEISMOLOGY COMMITTEE SEAOC                                                                                                                                                                                                                                                                             | 9       | $T_9=0.10n$                 |
| M10      | <b>OFFICE OF CONSTRUCTIONS VETERAN ADMINISTRATION WASHINGTON:</b> Este recomandată formula 10.1 pentru construcții din zidărie portantă, iar formula 10.2 a fost validată pentru construcții din beton armat                                                                                                                                                                                                                                                                     | 10.1    | $T_{10,1}=0.05n$            |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 10.2    | $T_{10,2}=0.08n$            |
| M11      | <b>Formule conform normativ de proiectare seismică românesc, indicativ P100-81:</b> Normativul de proiectare seismică românesc, indicativ P100-81, recomandă formula 11 pentru construcții cu regim de înălțime mai mic sau egal cu 5 niveluri                                                                                                                                                                                                                                   | 11      | $T_{11}=0.3+0.05n$          |
| M12      | <b>Formule conform normativ de proiectare seismică românesc, indicativ P100-1/2013:</b> În Anexa B, B.2, pentru proiectarea preliminară a clădirilor cu înălțime totală de până la 40 m, sunt recomandate formulele de mai jos:<br>$T=C_t H^{(3/4)}$ , în care<br>$C_t=0.075$ – pentru cadre spațiale din beton armat și cadre spațiale din metal și contravântuiri excentrice;<br>$C_t=0.05$ – pentru alte tipuri de clădiri, decât cele cu structură din beton armat sau metal | 12.1    | $T_{12,1}=0,075* H^{(3/4)}$ |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 12.2    | $T_{12,2}=0,05* H^{(3/4)}$  |

**În care:**  $T$  – perioada proprie fundamentală a structurii;  $n$  – numărul de niveluri ale clădirii;  $d$  – coeficient prin care se introduce influența “densității pereților” și reprezintă raportul dintre lungimea totală a tuturor pereților existenți în clădire și suprafața totală desfășurată a acesteia;  $B$  – lățimea structurii la nivelul parterului;  $L$  – lungimea structurii la nivelul parterului;  $H$  – înălțimea clădirii.

**Ipoteze de modelare considerate.** Fiecare obiectiv a fost introdus în programul de modelare numerică (ETABS), ținând seama de următoarele aspecte privind modelarea numerică:

- structurile de rezistență ale clădirilor au fost introduse complet până la cota de încastrare în teren (pereți portanți din zidărie, centuri și plăci de planșee din beton armat), însă cu excepția pereților nestructurali, cu rol de compartimentare, având grosimi mai mici de 14 cm;
- planșeele din lemn au fost introduse ca elemente finite de tip suprafață, definit cu o grosime echivalentă și un modul de elasticitate asociat esenței de lemn din care au fost realizate, și cu descărcare pe o singură direcție;

- structurile au fost încărcate la nivelul planșeelor cu sarcini utile, permanente/cvasi-permanente (șape, pardoseli, compartimentări, mobilier, echipamente specifice, instalații);
- încărcarea din zapadă a fost distribuită la nivelul ultimului planșeu, suport terasă/pod;
- încărcările din structura acoperișului și învelitoare au fost distribuite liniar atât pe conturul pereților exteriori, pe care reazemă, cât și în anumite puncte concentrate, la nivelul planșeului, pe care reazemă popii;
- atât planșeele din beton, cât și cele din lemn s-au considerat ca îndeplinind satisfactor condiția de “șaiabă rigidă”;
- modulele de elasticitate ale materialelor (zidărie, beton) s-au calculat în baza caracteristicilor mecanice (rezistența la compresiune beton/elemente de zidărie-cărămidă plină presată, cărămidă cu goluri verticale), determinate prin încercări distructive, realizate într-un laborator autorizat, însoțite și de încercări nedistructive (sclerometrie);
- valorile modulelor de elasticitate ale diferitelor esențe de lemn, din care au fost realizate planșee din elemente de lemn, au fost considerate cele uzuale, recomandate în documentele tehnice SR EN 338 [120] și NP 005 [121].

## 6.6 Studiu de caz 3. Expertizarea tehnică și consolidarea unei construcții existente monument istoric

Prezentul studiu de caz face obiectul expertizării tehnice a unei construcții existente, amplasată în București. Expertiza tehnică a fost întocmită în cadrul unui birou de expertizare și proiectare tehnică în construcții, lucrare la care autorul prezentei teze de doctorat, a fost implicat în mod direct și activ, la toate fazele specifice, inclusiv pe parte de calcul structural.

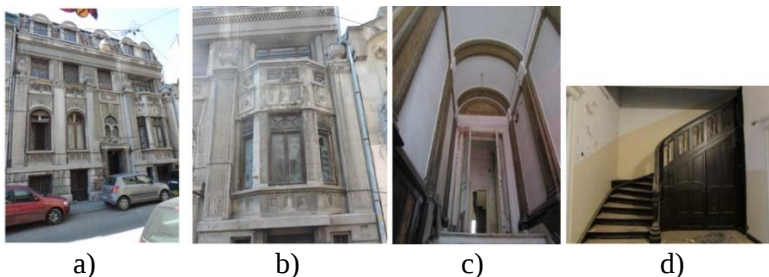
Obiectivele principale, urmărite în prezentul studiu de caz, sunt:

- ✚ exemplificarea modului de încadrare a unei clădiri în clasă de risc seismic;
- ✚ proiectarea și studiul comparativ al unor soluții de consolidare compatibile atât cu cerințele de rezistență și stabilitate, cât și cu cele impuse prin statutul de monument istoric; prin studiul comparativ s-a urmărit evidențierea unor aspecte importante precum:
  - avantaje și dezavantaje ale performanțelor structurale, în special seismice;
  - avantaje și dezavantaje tehnologice (timpi de execuție și resurse specifice necesare);
  - avantajele și dezavantajele economice, raportate la cele performanțele structurale și tehnologice.

**I. Încadrarea clădirii în clasă de risc seismic.** Clădirea a fost construită în anul 1921, în baza unei autorizații de construire. Aceasta are regim de înălțime D+P+2E+Mp (mansardă parțială) și destinație “casă”. De asemenea, este monument istoric, fiind înscrisă în LMI cu codul B-II-m-B-18514-casa-sf. Sec. XIX-prima jumătate sec. XX.

Că urmare a solicitării proprietarului (beneficiar) de a îi schimba destinația inițială, din “casa” în “hotel-boutique”, în baza legii 10/1995 “Privind calitatea în construcții”, articol 18, aliniat (2) și a H.G. 925/1995 “Regulamentului de verificare și expertizare tehnică de calitate a proiectelor, a execuției lucrărilor și a construcțiilor”, s-a întocmit o expertiză tehnică în anul 2016 [122], din care a rezultat necesitatea consolidării structurale a acesteia.

Cele mai importante elementele, care îi conferă clădirii caracterul de monument istoric, sunt: fațadă principală – stradală (Figură 6.18a, Figură 6.18b); intrarea principală în clădire - stradală (Figură 6.18c) și scara monumentală, cu structură din lemn (Figură 6.18d).

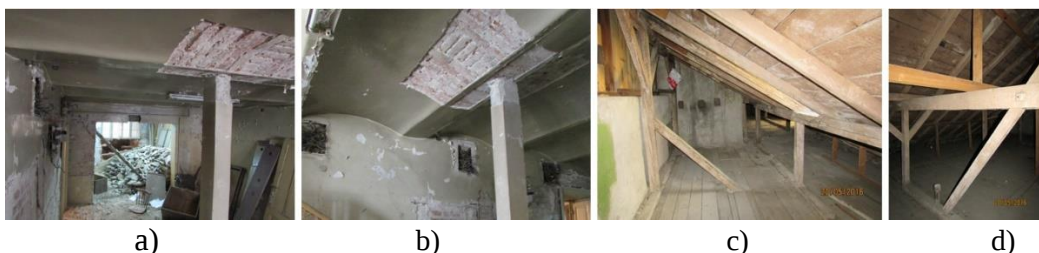


Figură 6.18 – a) Fatadă principală (stradală); b) zonă balcon; c) intrare principală în clădire (stradală); d) scară monumentală – intrare principală, cu structură din lemn [122]

Planșeu din lemn (Figură 6.19c, Figură 6.19d) și parțial cu structură din profile metalice și “bolțișoare”, realizate din cărămidă ceramică plină presată (Figură 6.20a și Figură 6.20b), iar planșeele peste parter, etaj 1 și etaj 2, sunt integral realizate din lemn.

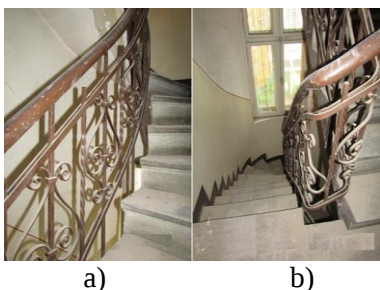


Figură 6.19 – a) pereți portanți realizați din cărămidă ceramică plină presată; b) inserții/completări cu zidărie realizată în stil american, din cărămizi ceramice cu goluri orizontale; c), d) planșeu cu structură din lemn; [122]

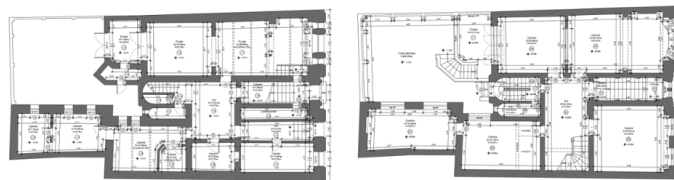


Figură 6.20 – a), b) Zonă de planșeu cu structură din profile metalice și “bolțișoare” (cărămidă plină presată); c), d) Structură acoperiș [122]

Mortarul utilizat pentru zidărie și pentru tencuieli este exclusiv pe bază de var, iar lemnul folosit pentru elementele de planșee, este de rășinoase (brad). Plafoanele sunt realizate din tencuială de var pe struf și șipci de brad (Figură 6.19c, Figură 6.19d), iar suportul pardoselilor (parchet de lemn, linoleum) este realizat din scânduri. Grosimile pereților sunt variabile, într-o maniera haotică, ca urmare și a grosimii variabile a tencuielilor. Astfel, grosimile pereților de compartimentare se regăsesc în valorile menționate în cele ce urmează: {14 cm; 28 cm; 42 cm; 56 cm; 70 cm; 84 cm}.



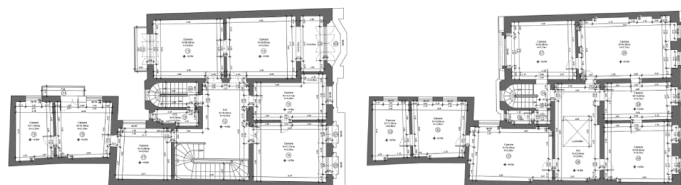
Figură 6.21 – Scară balansată din beton armat, care asigură accesul pe verticală, pe toată înălțimea clădirii, inclusiv la nivelul demisolului [122]



a)

b)

Figură 6.22 – Relevu structural: a) demisol; b) parter [122]



a)

b)

Figură 6.23 – Relevu structural: a) etaj 1; b) etaj 2 [122]

### Evaluarea stării fizice/a degradării structurale/nestructurale (constatări în teren).



a)

b)

Figură 6.24 – a), b) Degradări ale tencuielilor fațadei principale [122]



a)

b)

c)

d)

Figură 6.25 – a) Degradări ale tencuielilor exterioare, cauzate de sisteme avariate de colectare și dirijarea a apelor pluviale; b), c) Urme de infiltrații de ape pluviale; d) Instalații învechite de canalizare [122]

**Stabilirea cerințelor fundamentale ale evaluării, a stărilor limită asociate și a stării limită selectate.** Clădirea, care face obiectul expertizării tehnice, fiind monument istoric, conform P100-1/2013, cap. 4.4.5, Tabel 4.2, se încadrează în clasa II de importanță-expunere la cutremur, având factorul de corecție  $\gamma_{I,e}=1.2$ , prin care se asigură un nivel de hazard seismic, superior celui de bază; în această situație, s-a impus indeplinirea *Obiectivului de Performanță de Bază* (OPB), care prevede un nivel de hazard corespunzător răspunsului seismic așteptat, caracterizat prin 40% probabilitate de depășire în 50 ani și un *Interval Mediu de Recurență*=IMR=100 ani (pentru verificări la stare limită ultimă - SLU) și IMR=30 ani (pentru verificări la stare limită de serviciu – SLS), fiind similar cu răspunsul seismic al unei clădiri noi proiectate, din clasa II de importanță-expunere la cutremur, răspuns caracterizat prin 20% depășire în 50 ani cu un IMR=225 ani.



Fig. 6.27 - a) Betonoscopie rampă demisol;  
b) Betonoscopie buiandrug fereastră demisol;  
c) sclerometrie buiandrug fereastră demisol  
[122]

Tabel 6.11 – Rezistența la compresiune standardizată  $f_b$  a elementelor de zidărie  
(cărămizi ceramice pline presate, specimene RC-1; RC-2 și RC-3) [122]

| Indicativ | L [mm]                                                         | W [mm] | H [mm] | F <sub>c</sub> [kN] | $\sigma_c$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] | $c_{conv}$ | $\delta$ | $f_b$<br>[N/mm <sup>2</sup> ] |
|-----------|----------------------------------------------------------------|--------|--------|---------------------|------------------------------------|------------|----------|-------------------------------|
| RC-1      | 254,7                                                          | 127,1  | 72,4   | 1105,8              | 34,2                               | 0,8        | 0,828    | 22,6                          |
| RC-2      | 251,4                                                          | 122,5  | 66,2   | 1552,8              | 50,4                               | 0,8        | 0,810    | 32,7                          |
| RC-3      | 225,1                                                          | 127,3  | 75,7   | 951,08              | 33,2                               | 0,8        | 0,841    | 22,3                          |
| Notatii:  | $\rho_a$ - densitatea aparentă a specimenelor RC-1; RC-2; RC-3 |        |        |                     |                                    |            |          |                               |
|           | $\sigma_c$ - rezistența la compresiune în stare uscată         |        |        |                     |                                    |            |          |                               |
|           | $f_b$ - rezistența la compresiune standardizată                |        |        |                     |                                    |            |          |                               |

**Stabilirea metodologiei de evaluare:** deoarece clădirea expertizată aparține clasei II de importanță-expunere la cutremur (monument istoric) și este amplasată în zona seismică (București), caracterizată prin accelerația orizontală a terenului  $a_g=0.30g$  ( $>0.15g$ ), și având în vedere criteriile de definire a celor trei metodologii, inclusiv a definițiilor nivelurilor de cunoaștere (a se vedea mai sus), conform P100-3/2019, în această situație, a rezultat ca fiind corespunzătoare utilizarea *metodologiei 2* de evaluare.

**Determinarea indicatorilor  $R_1$  și  $R_2$  (evaluare calitativă).** Având stabilite mai sus nivelul de cunoaștere KL și metodologia de evaluare, se poate trece la stabilirea indicatorilor  $R_1$  și  $R_3$ , care fac obiectul unei evaluări calitative a structurii clădirii. În acest sens, pentru construcțiile din zidărie de cărămidă, în Anexa D sunt prevăzute criteriile de evaluare și valori numerice pentru stabilirea valorilor indicatorilor  $R_1$  (Tabel 6.12) și  $R_2$  (Tabel 6.13).

Tabel 6.12– Valori ale indicatorului  $R_1$  [97]

| Clasa de risc seismic |       |       |        |
|-----------------------|-------|-------|--------|
| I                     | II    | III   | IV     |
| Valori $R_1$          |       |       |        |
| <30                   | 30-60 | 60-90 | 90-100 |

Tabel 6.13 – Valori ale indicatorului  $R_2$  [97]

| Clasa de risc seismic |       |       |        |
|-----------------------|-------|-------|--------|
| I                     | II    | III   | IV     |
| Valori $R_2$          |       |       |        |
| <50                   | 50-70 | 70-90 | 90-100 |

Așa cum se poate observa, din punct de vedere al indicatorului  $R_1=54$  (evaluarea/determinarea calitativă a nivelului de conformare structurală), clădirea se încadrează în **clasa de risc seismic  $R_sII$** , iar din punct de vedere al indicatorului  $R_2=70$  (evaluare nivel de degradare structurală/nestructurală), clădirea se încadrează în **clasa de risc seismic  $R_sIII$** , deoarece nu s-au evidențiat degradări importante (fisuri/crăpături, dislocări ale elementelor structurale, etc.), care ar putea pune în pericol rezistența și stabilitatea de ansamblu ale clădirii.

Definitivarea încadrării în clasă de risc seismic a clădirii se face doar după determinarea indicatorului  $R_3$  (evaluare prin calcul structural).

**Determinarea indicatorului  $R_3$  (evaluare cantitativă).** Din punct de vedere al acțiunii seismice, amplasamentul construcției, care face obiectul expertizării, se află în zona seismică (conform hartă zonare seismică, *Cod de proiectare seismică, Indicativ P100-1/2013*), caracterizată prin  $a_g = a_g^{225} = 0.30g$  și perioada de colț  $T_c = 1.6$  s.

Conform metodologiei 2, stabilită mai sus, pentru evaluarea acțiunii seismice s-a adoptat metoda calculului modal cu spectru de răspuns elastic  $S_e(T_1)_{\xi \neq 5\%}$  (a se vedea P100-1/2013), fiind o metodă care poate fi utilizată fără restricții suplimentare față de prevederile P100-1/2013, având în vedere faptul că structura clădirii expertizate nu satisface prevederile minimale impuse (regularitate în plan și existența unor planșee, care nu dispun de rigidități suficiente prin care să se asigure optim rolul de “șaibe rigide”).

Așadar, spectrul de răspuns elastic  $S_e(T_1)_{\xi_z=8\%}$  determinat pentru amplasamentul clădirii, caracterizat de parametrii  $a_g^{100}$ ,  $T_c$ ,  $T_B$ ,  $T_D$ , la care s-au aplicat factorii  $\lambda=0.85$  și  $\eta_z = 0.88$ , menționați mai sus, luând în considerare și factorul  $\gamma_{I,e}$  corespunzător clasei de importanță-expunere a clădirii;  $\gamma_{I,e}$  fost introdus direct în programul de calcul automat (ETABS).

Astfel, relația generală de calcul a indicatorului  $R_3$ , conform P100-3/2019, este:

$$R_3 = \frac{\sum V_{Rd}}{\sum \frac{V_{Ed}}{q}} \quad (6.3)$$

în care,

$\sum V_{Rd}$  - suma capacităților de rezistență ale elementelor verticale (pereți, stâlpi) care preiau forța seismică (tăietoare de bază);

$\sum V_{Ed}$  - suma eforturilor efective (forțe tăietoare) ale elementelor verticale (pereți, stâlpi), rezultate dintr-un calcul structural (modelare numerică);

$q$  – factor de comportare specific tipologiei structurale și materiale specifice, considerat conform metodologiei stabilite (P100-3/2019)

Tabel 6.14 – Valori admisibile ale indicatorului  $R_3$  [97]

| Clasa de risc seismic |       |       |        |
|-----------------------|-------|-------|--------|
| I                     | II    | III   | IV     |
| Valori $R_3$          |       |       |        |
| <35                   | 35-65 | 65-90 | 90-100 |

**Modelare numerică (ETABS).** Pentru modelarea analitică, având în vedere faptul că se face un calcul în domeniul elastic, caracteristicile de material necesare (date de intrare program) sunt modulele de elasticitate, greutatea specifice și coeficientul Poisson ale materialelor.

În general, aceste caracteristici pot fi obținute fie din literatură de specialitate (recomandări coduri specifice), fie prin realizarea unor încercări de laborator (limitate/extinse), în funcție de posibilitățile tehnice și/sau economice, întrucât efectuarea testelor implică unele costuri financiare, care nu sunt neglijabile.

**Zidărie** este alcătuită din elemente de zidărie (cărămizi), realizate din argilă arsă, și mortar, realizat din agregat (nisip) și var/ciment, prin urmare este o îmbinare/conlucrare dintre două materiale de caracteristici fizico-mecanice diferite, iar pentru a putea determina caracteristicile de mai sus, sunt necesare rezistențele la compresiune ale fiecărui material (cărămizi, mortar).

Codurile de proiectare a construcțiilor din zidărie [123, 124, 125, 126, 127], în absența încercărilor distructive, recomandă utilizarea unor relații de calcul empirice de forma:

$$E_z = \alpha_z f_k \quad (6.4)$$

$$f_k = k f_b^{0.7} f_m^{0.3} \quad (6.5)$$

în care:

- $\alpha_z$  este un coeficient, a cărui valori pot fi 700 (recomandat pentru zidării vechi) sau 1000 (care se va folosi în scopul prezentei analize);
- $f_k$  este rezistența caracteristică la compresiune a zidăriei;
- valoarea factorului  $k$  depinde de tipul elementului de zidărie și s-a considerat conform Tabel 6.15, de mai jos;

Tabel 6.15 - Valori ale coeficientului  $k$ , în funcție de tipul elementului de zidărie și de marca mortarului [124]

| Tipul elementului pentru zidărie                      | Constanta K |
|-------------------------------------------------------|-------------|
| Elemente ceramice pline (grupa 1)                     | 0.55        |
| Elemente ceramice cu goluri verticale (grupa 2 și 2S) | 0.45        |
| Elemente din BCA (grupa 1)                            | 0.55        |

- $f_b$  este rezistența la compresiune standardizată a elementelor de zidărie, care în această situație s-a determinat prin teste distructive de laborator (Tabel 6.12);
- $f_m$  este rezistența caracteristică la compresiune a mortarului, a căror valori nu au putut fi determinate prin teste distructive de laborator, ci au fost considerate, pornind de la valori uzuale și conform diferite studii privind mortarele pentru zidării [4, 6, 128÷135], dar ținând cont și de tipul de mortar și vechimea construcției, care face obiectul expertizării tehnice; astfel, valorile rezistenței la compresiune ( $f_m$ ) ale mortarului de var, incluse în cele 12 de combinații de ipoteze, s-au considerat {0.0001; 0.10; 0.25; 0.5; 1; 2.5} N/mm<sup>2</sup>;

**Notă:**

Valoarea extremă inferioară (ipotetică)  $f_m = 0,0001 \text{ N/mm}^2$  s-a considerat asociată situației unui mortar de **rezistență tinzând la 0**, situație corespunzătoare ipotezei în care rezistența mortarului s-a consumat în timp complet (mortar friabil/sfărâmbicios), ca urmare a fenomenului de îmbătrânire, iar valoarea extremă superioară  $f_m = 2,50 \text{ N/mm}^2$ , s-a considerat ca **valoare maximă credibilă** pentru situația analizată în prezentul articol (având în vedere marca de mortar utilizată în anii 1920 fiind una redusă).

- greutatea volumică a zidăriei s-a considerat  $\gamma_z = 18 \text{ kN/m}^3$ ;

**Lemn.** Deoarece sortimentul de lemn utilizat în structura planșeului este brad/rașinoasă, modulul de elasticitate ( $E_w$ ) al acestuia, în stare uscată, s-a considerat  $11300 \text{ N/mm}^2$ , iar greutatea volumică a lemnului de brad s-a considerat  $\gamma_w = 5 \text{ kN/m}^3$  (conform Tabel 6.16).

Tabel 6.16 - Valori ale modulului de elasticitate paralel cu direcția fibrelor la limită de proporționalitate ( $E_w=E$ ) și modulul de elasticitate transversal ( $G$ ) [121]

| Specia materialului lemnos    | Modulul de elasticitate paralel cu direcția fibrelor la limita de proporționalitate E (N/mm <sup>2</sup> ) |        | Modulul de elasticitate transversal G (N/mm <sup>2</sup> ) |        |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------|--------|
|                               | $E_{0,05}$                                                                                                 | E      | $G_{0,05}$                                                 | G      |
| Molid, brad, larice, pin      | 9 000                                                                                                      | 11 300 | 4 000                                                      | 5 000  |
| Plop                          | 8 000                                                                                                      | 10 000 |                                                            |        |
| Stejar, gorun, cer, salcâm    | 9 500                                                                                                      | 11 500 | 8 000                                                      | 10 000 |
| Fag, mestecân, frasin, carpen | 12 000                                                                                                     | 14 300 |                                                            |        |

**Aspecte și ipoteze privind modelarea numerică (ETABS).** Structura clădirii a fost introdusă în programul automat de modelare numerică, respectând cât mai fidel caracterul neregulat al acesteia privind forma în plan și în elevații, grosimi variabile ale pereților (Figură 6.29)

Prin combinarea parametrilor  $\alpha_z$ ,  $k$ ,  $f_b$  și  $f_m$  s-au obținut cele 24 de valorile ale modului de elasticitate ale zidăriei  $E_z$ , menținând constante valorile celolalte caracteristici ( $E_w$ ;  $\gamma_w$ ), ( $E_o$ ;  $\gamma_o$ ) și ( $E_b$ ,  $\gamma_b$ ), s-au obținut valorile perioadelor de vibrație fundamentală ale clădirii asociate celor 24 de ipoteze teoretice (Tabel 6.17, Tabel 6.18).

Tabel 6.17 - Valorile perioadei proprii fundamentale de vibrație ale clădirii în ipotezele 1-12

| Rezultate calcul numeric (ETABS) |            |      |                            |                            |       |                 | Înregistrări dinamice |               |               |               |
|----------------------------------|------------|------|----------------------------|----------------------------|-------|-----------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|
| Ipoteza                          | $\alpha_z$ | $k$  | $f_b$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $E_z$ | $T^{ETABS}$ [s] | longitudinale         |               | transversale  |               |
|                                  |            |      |                            |                            |       |                 | $T_{1,L}$ [s]         | $T_{2,L}$ [s] | $T_{1,T}$ [s] | $T_{2,T}$ [s] |
| 1                                | 700        | 0,55 | 22,3                       | 0,0001                     | 213   | 0,608           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 2                                | 700        | 0,55 | 32,7                       | 0,0001                     | 279   | 0,533           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 3                                | 1000       | 0,55 | 22,3                       | 0,0001                     | 305   | 0,509           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 4                                | 1000       | 0,55 | 32,7                       | 0,0001                     | 399   | 0,447           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 5                                | 700        | 0,55 | 22,3                       | 0,1                        | 1695  | 0,218           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 6                                | 700        | 0,55 | 32,7                       | 0,1                        | 2216  | 0,191           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 7                                | 700        | 0,55 | 22,3                       | 0,25                       | 2232  | 0,187           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 8                                | 1000       | 0,55 | 22,3                       | 0,1                        | 2422  | 0,183           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 9                                | 700        | 0,55 | 22,3                       | 0,5                        | 2748  | 0,172           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 10                               | 700        | 0,55 | 32,7                       | 0,25                       | 2918  | 0,167           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 11                               | 1000       | 0,55 | 32,7                       | 0,1                        | 3166  | 0,161           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 12                               | 1000       | 0,55 | 22,3                       | 0,25                       | 3188  | 0,159           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |

Tabel 6.18 - Valorile perioadei proprii fundamentale de vibrație ale clădirii în ipotezele 13-24

| Rezultate calcul numeric (ETABS) |            |      |                            |                            |       |                 | Înregistrări dinamice |               |               |               |
|----------------------------------|------------|------|----------------------------|----------------------------|-------|-----------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|
| Ipoteza                          | $\alpha_z$ | $k$  | $f_b$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ] | $E_z$ | $T^{ETABS}$ [s] | longitudinale         |               | transversale  |               |
|                                  |            |      |                            |                            |       |                 | $T_{1,L}$ [s]         | $T_{2,L}$ [s] | $T_{1,T}$ [s] | $T_{2,T}$ [s] |
| 13                               | 700        | 0,55 | 22,3                       | 1                          | 3383  | 0,157           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 14                               | 700        | 0,55 | 32,7                       | 0,5                        | 3592  | 0,147           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 15                               | 1000       | 0,55 | 22,3                       | 0,5                        | 3925  | 0,141           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 16                               | 1000       | 0,55 | 32,7                       | 0,25                       | 4168  | 0,137           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 17                               | 700        | 0,55 | 32,7                       | 1                          | 4422  | 0,133           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 18                               | 700        | 0,55 | 22,3                       | 2,5                        | 4453  | 0,132           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 19                               | 1000       | 0,55 | 22,3                       | 1                          | 4833  | 0,127           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 20                               | 1000       | 0,55 | 32,7                       | 0,5                        | 5131  | 0,125           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 21                               | 700        | 0,55 | 32,7                       | 2,5                        | 5821  | 0,116           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 22                               | 1000       | 0,55 | 32,7                       | 1                          | 6318  | 0,111           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 23                               | 1000       | 0,55 | 22,3                       | 2,5                        | 6361  | 0,110           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |
| 24                               | 1000       | 0,55 | 32,7                       | 2,5                        | 8316  | 0,090           | 0,21                  | 0,19          | 0,28          | 0,18          |

De asemenea, s-a ales să se utilizeze câteva din metodele directe existente în literatura de specialitate [7], pentru a avea o imagine de ansamblu mai largă în ceea ce privește valoarea estimativă a perioadei frundamentale de vibrație (Tabel 6.19).

Tabel 6.19 - Valorile perioadei proprii fundamentale de vibrație ale clădirii determinate cu metode directe/empirice

| Nr. crt.         | Metode directe/empirice (descriere)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Nr.  | Formule de calcul                     | Caracteristici dimensionale clădire |                                       |                      |       |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|-------|
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                                       | n                                   | B [m]                                 | L [m]                | H [m] |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                                       | 4                                   | 5                                     | 27                   | 13,7  |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                                       | L <sub>pereti</sub> [m]             | A <sub>pereti</sub> [m <sup>2</sup> ] | d [m <sup>-1</sup> ] |       |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                                       | 218                                 | 430                                   | 0,51                 |       |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |                                       | T [s]                               |                                       |                      |       |
| T <sub>min</sub> | ...                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      | T <sub>max</sub>                      |                                     |                                       |                      |       |
| 1                | Metoda T. Taniguchi: Metoda are la bază rezultatele investigațiilor experimentale realizate asupra unui număr mare de clădiri din Tokyo și Yokohama. Formula 1.1 a fost validată pentru toate tipurile de clădiri. Nu este specificat pentru ce tipuri structurale s-au determinat formulele 1.2 și 1.3, dar s-au considerat ca formule alternative pentru studiu.                   | 1.1  | $T=(0.12...0.40)\sqrt{(2n+1)/3}=$     | 0,21                                |                                       |                      |       |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1.2  | $T=(0.07...0.09)n=$                   | 0,28                                |                                       |                      |       |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1.3  | $T=(0.06...0.10)(n+5)=$               | 0,54                                |                                       |                      |       |
| 2                | Metoda F.P. Ulrich și D.S. Carder: Formulele metodei au fost determinate pe baza măsurătorilor a 400 de clădiri cu diferite structuri de rezistență. Formula 2.1 descrie un interval limită a rezultatelor experimentale, iar formula 2.2 se recomandă ca furnizând rezultate optime în practică.                                                                                    | 2.1  | $T=(0.01...0.035)H=$                  | 0,14                                | ...                                   | 0,48                 |       |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 2.2  | $T=-0.02H=$                           | 0,27                                |                                       |                      |       |
| 3                | Metoda E. Rosenblu - ETH: Metoda se recomandă doar pentru construcțiile de locuit și birouri.                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 3.1  | $T=(0.09...0.10)(n+1)$                | 0,45                                | ...                                   | 0,50                 |       |
| 4                | Metoda K. Nakagava: Formulele metodei au la bază rezultatele experimentale ale 53 clădiri studiate, în funcție de raportul H/√B, conținut în codul Californian. Formula 4.1 descrie un interval limită a rezultatelor experimentale, ținând cont de raportul H/√B, iar formula 4.2, ținând cont de numărul de niveluri.                                                              | 4.1  | $T=(0.07...0.13)H/\sqrt{B}$           | 0,43                                | ...                                   | 0,80                 |       |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 4.2  | $T=(0.10+0.038n)...(0.20+0.064n)=$    | 0,25                                | ...                                   | 0,46                 |       |
| 5                | Metoda M. Takeuchi: Formulele metodei au la bază rezultatele experimentale pentru 60 clădiri din Tokyo și Osaka. Formula depinde exclusiv de înălțimea H a clădirii.                                                                                                                                                                                                                 | 5    | $T=H/60=$                             | 0,23                                |                                       |                      |       |
| 6                | Metoda A. Arias și R. Husid: Formula de calcul a fost determinată pe construcții din Chile, cu structuri în cadre de beton armat și pereți de zidărie (închidere/rigidizare)                                                                                                                                                                                                         | 6    | $T=0.024H^{0.714}/0.14=$              | 0,04                                |                                       |                      |       |
| 7                | Metoda M. Baeza: Metoda a fost determinată tot pe construcții din Chile, și este valabilă doar pentru construcții din această țară.                                                                                                                                                                                                                                                  | 7    | $T=0.036n=$                           | 0,14                                |                                       |                      |       |
| 8                | Metoda A. Arias, R. Husid și M. Baeza: Formulele au fost determinate prin analiza rezultatelor obținute pe 34 de clădiri înalte, cu regim de înălțime între 4 și 17 etaje, din provinciile Santiago și Valparaiso. Nu este specificat dar pentru ce tipuri structurale s-au determinat formulele 8.1 și 8.2, dar, de asemenea, s-au considerat ca formule alternative pentru studiu. | 8.1  | $T=0.012n=$                           | 0,05                                |                                       |                      |       |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 8.2  | $T=0.035n=$                           | 0,14                                |                                       |                      |       |
| 9                | Metoda H. Sandi și G. Serbanescu: Este o metodă românească, iar formulele metodei au fost stabilite pe cale experimentală, prin măsurători efectuate asupra unor construcții civile din București. Formula 9.1 a fost validată pentru evaluarea perioadei de vibrație, pe direcție transversală, iar 9.2 pentru blocuri turn.                                                        | 9.1  | $T=(0.045...0.055)n=$                 | 0,18                                |                                       |                      |       |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 9.2  | $T=0.065 H/\sqrt{m}=$                 | 0,40                                |                                       |                      |       |
| 10               | Metoda J. S. Carmona și J. H. Cano: Formulele metodei 10.1 și 10.2, au fost determinate experimental pe clădiri din Argentina, cu structuri din beton armat, iar formula 10.3, pentru structuri din beton armat cu pereți de zidărie, cu rol de rigidizare.                                                                                                                          | 10.1 | $T=0.012H+0.09=$                      | 0,25                                |                                       |                      |       |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 10.2 | $T=0.07 H/\sqrt{B}=$                  | 0,43                                |                                       |                      |       |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 10.3 | $T=H\sqrt{(0.003/B)+0.0002/(1+30d)}=$ | 0,34                                |                                       |                      |       |
| 11               | Metoda R. Husid, W. Pieber și J. Romo: Formulele 11.1 și 11.2 sunt recomandate pentru structuri obișnuite din beton armat, iar formula 11.3, a fost propusă pentru construcțiile din Chile.                                                                                                                                                                                          | 11.1 | $T=0.04n=$                            | 0,16                                |                                       |                      |       |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 11.2 | $T=n/69=$                             | 0,06                                |                                       |                      |       |
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 11.3 | $T=0.04 H/\sqrt{B}=$                  | 0,32                                |                                       |                      |       |
| 12               | Metoda M. Ifrim: Formula este valabilă pentru construcții joase cu structuri din cadre de beton și zidărie/pereți portanți din zidărie, cu regim de înălțime ≤6 niveluri.                                                                                                                                                                                                            | 12   | $T=0.09\sqrt{H}=$                     | 0,33                                |                                       |                      |       |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |                              |      |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------------------------------|------|
| 13 | Metoda JOINT COMMIT-TEE ASCE-SEA: Formula metodei are la bază măsurători experimentale realizate pe 3000 de clădiri și este validată pentru toate tipurile de clădiri.                                                                                                                                                                                                  | 13 | $T=0.09 H^{\sqrt{3}}/B =$    | 0,55 |
| 14 | Metoda U.S. COAST AND GEODETIC SURVEY: Formula metodei a fost determinată în baza investigațiilor experimentale pe 212 clădiri.                                                                                                                                                                                                                                         | 14 | $T=0.1n =$                   | 0,40 |
| 15 | Metoda OFFICE OF CONSTRUCTION VETERAN ADMINISTRATION WASHINGTON: Formula metodei a fost validată pentru construcții cu structuri din pereți portanți din zidărie.                                                                                                                                                                                                       | 15 | $T=0.15n =$                  | 0,60 |
| 16 | Formule conform normativ de proiectare seismică românesc, indicativ P100-81: În afara formulelor elaborate de către H. Sandi și G. Serbănescu, în normativul de proiectare seismică românesc, indicativ P100-81, a mai fost introdusă și formula 16.1                                                                                                                   | 16 | $T=0.3+0.05n=$               | 0,50 |
| 17 | Formule conform normativului de proiectare seismică românesc, indicativ P100-1/2013: În Anexa B, B.2, pentru proiectarea preliminară a clădirilor cu înălțime totală de până la 40 m, sunt recomandate formulele de mai jos:<br>$T=C_t H^{\sqrt{3}}(3/4)$ , în care<br>$C_t=0.05$ – pentru celelalte tipuri de structuri, inclusiv cele cu pereți portanți din zidărie. | 17 | $T=0.05* H^{\sqrt{3}}(3/4)=$ | 0,36 |

**Determinarea experimentală a perioadei fundamentale proprii de vibrație.** Multe studii [10÷45] au pus în evidență faptul că metoda “*Ambient Vibration Tests*”(AVT) sau metoda “*Înregistrărilor de vibrații ambientale*” poate fi utilizată cu mult succes în calibrarea modelării analitice (ETABS) a structurilor, putând în acest fel determina aspecte legate de eventuale deficiențe sau degradări ascunse ale structurilor, care se pot reflecta în nivelul redus de rigiditate globală.

Echipamentul utilizat pentru instrumentarea dinamică a clădirii face parte din recuzita Centrului de Cercetare „*Evaluarea Riscului Seismic*” din cadrul UTCB și este alcătuit dintr-o stație de achiziție GEODAS (Figură 6.32) și senzori de viteze (Figură 6.33).

Aceste aparate sunt produse de Buttan Service-Tokyo & Tokyo Soil Research Co., Ltd. Înregistrările au fost realizate împreună și sub atenta îndrumare a d-lui Conf. univ. Dr. ing. Alexandru Aldea.

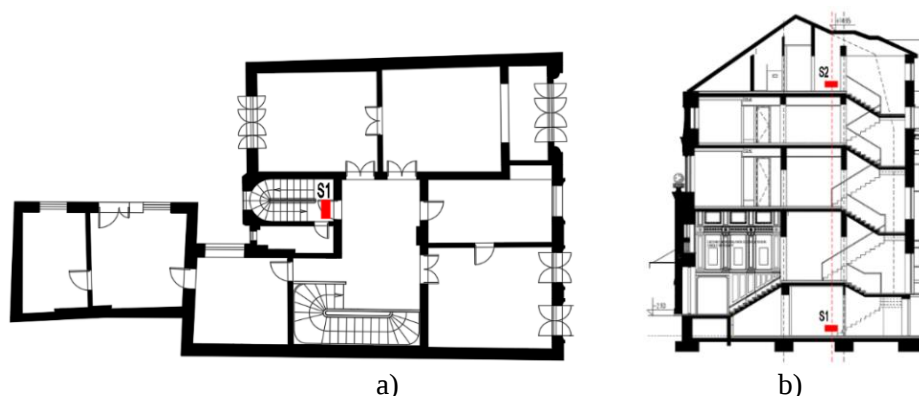


Figură 6.32 - Stație de achiziție GEODAS



Figură 6.33 - Senzor de viteze CR4.5-1H

Înregistrările dinamice s-au făcut cu ajutorul a doi senzori (accelerometre), iar amplasarea lor în clădire s-a făcut astfel (Figură 6.34): un senzor (S1) a fost amplasat la nivelul pardoselii subsolului, iar celalalt senzor (S2) la nivelul podului; ambii senzori au fost așezați aproximativ centrați pe verticală prin casa scări, și au fost calibrați pentru a realiza simultan înregistrările; înregistrările s-au realizat pe ambele direcții ale clădirii, prin schimbarea succesivă a pozițiilor acestora în timpul înregistrărilor.



Figură 6.34 - Dispunerea senzorilor pentru măsurătorile de vibrații ambientale a clădirii analizate:  
a) poziționare în plan; b) poziționare pe verticală

Tabel 6.20 - Frecvențe spectrale reprezentative identificate prin analiză spectrală,  
pentru direcția longitudinală a clădirii

| Măsuratori dinamice |                                | f <sub>1</sub> (Hz)  | f <sub>2</sub> (Hz) | f <sub>3</sub> (Hz) |
|---------------------|--------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Măsuratoarea 1      | Spectre Fourier de amplitudine | 4.58                 | 5.23                | 6.88                |
|                     | Rapoarte spectrale             | 4.69                 | 5.25                | 6.96                |
| Măsuratoarea 2      | Spectre Fourier de amplitudine | 4.59                 | 5.29                | 7.11                |
|                     | Rapoarte spectrale             | 4.81                 | 5.31                | 7.14                |
| Frecvențe medii     |                                | 4.67                 | 5.27                | 7.02                |
| Perioade medii      |                                | T <sub>1,L</sub> (s) | T <sub>2</sub> (s)  | T <sub>3</sub> (s)  |
|                     |                                | 0.21                 | 0.19                | 0.14                |

Tabel 6.21 - Frecvențe spectrale reprezentative identificate prin analiză spectrală,  
pentru direcția transversală a clădirii

| Masuratori      |                                | f <sub>1</sub> (Hz)  | f <sub>2</sub> (Hz) | f <sub>3</sub> (Hz) |
|-----------------|--------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Masuratoarea 1  | Spectre Fourier de amplitudine | 3.53                 | 5.68                | 7.31                |
|                 | Rapoarte spectrale             | 3.54                 | 5.69                | 7.32                |
| Masuratoarea 2  | Spectre Fourier de amplitudine | 3.51                 | 5.61                | 7.40                |
|                 | Rapoarte spectrale             | 3.57                 | 5.78                | 7.38                |
| Frecvente medii |                                | 3.54                 | 5.69                | 7.35                |
| Perioade medii  |                                | T <sub>1,L</sub> (s) | T <sub>2</sub> (s)  | T <sub>3</sub> (s)  |
|                 |                                | 0.28                 | 0.18                | 0.14                |

**Concluzie.** Se poate observa faptul că perioada fundamentală de vibrație obținută în **ipoteza 5** a rezultat  $T_1^{ETABS}=0,28$  s (translație transversală), iar din înregistrările de vibrații ambientale (AVT), a rezultat  $T_1^{AVT}=0,28$  s (translație transversală), se poate concluziona faptul că ipoteza 5 considerată este compatibilă cu realitatea (cel puțin teoretic).

În această situație, se poate considera faptul că **rezistența la compresiune a mortarului de var poate fi considerată cu valoarea 0,10 N/mm<sup>2</sup>**, ceea ce, într-o oarecare măsură, ipoteza legată de faptul că vechimea mortarului se reflectă în caracteristicile de rezistență ale acestuia poate fi în această situație acceptată, dar nu poate fi considerată general valabilă ipoteza.

De asemenea, se poate metodele directe (empirice), viabile (bold verde) pentru această situație sunt cele din Tabel 6.22

Tabel 6.22 – Metode directe (empirice) care au rezultat a fi viabile pentru situația prezentului studiu

| Nr. crt. | Metode directe/empirice                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Formulă | Formule de calcul $T_i$ [s] | Caracteristici generale clădire |       |       |       |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |         |                             | n                               | B [m] | L [m] | H [m] |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |         |                             | 3                               | 12,21 | 23    | 13,6  |
|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |         |                             | T [s]                           |       |       |       |
| 1        | <b>Metoda F.P. Ulrich si D.S. Carder:</b> Metoda are la baza analize statistice realizate pe masurătorile a 400 de clădiri, cu diferite structuri de rezistență.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1       | $T_1=0.02H$                 | 0,27                            |       |       |       |
| 5        | <b>Metoda J. S. Carmona si J. H. Cano:</b> Formulele metodei au fost determinate experimental pe clădiri din Argentina, cu structuri din beton armat cu pereți de zidărie, cu rol de rigidizare.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 5       | $T_{52}=0.07\ H/\sqrt{B}$   | 0,27                            |       |       |       |
| 7        | <b>Metoda M. Ifrim:</b> Formula 7.1 a fost validata pentru constructii joase cu structura de tip pereti portanti din zidarie si cadre din ton armat cu pereti de umplutura din zidarie, cu regim de inaltime mai mic sau egal cu 6 niveluri; formula 7.2 a fost validata pentru constructii din beton armat cu regim mediu de inaltime in intervalul 7...15 niveluri;                                                                                                                            | 7       | $T_{71}=0.09\sqrt{H}$       | 0,33                            |       |       |       |
| 8        | <b>Metoda JOINT COMMITTEE ASCE-SEA[206]:</b> Formula metodei se bazeaza pe masuratori experimentale la 3000 de cladiri cu diverse tipuri structurale si este recomandata si de codul U.B.C.                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 8       | $T_8=0.09\ H/\sqrt{B}$      | 0,35                            |       |       |       |
| 9        | <b>Metoda U.S. COAST AND GEODETIC SURVEY:</b> Formula a fost determinată în baza investigărilor experimentale pe 212 clădiri. De asemenea, formula este recomandata si de SEISMOLOGY COMMITTEE SEAOC                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 9       | $T_9=0.10n$                 | 0,30                            |       |       |       |
| 12       | <b>Formule conform normative de proiectare seismică românească, indicativ P100-1/2013 și P100-3/2008:</b> În Anexa B, B.2, pentru proiectarea preliminară a clădirilor cu înălțime totală de până la 40 m, sunt recomandate formulele de mai jos:<br>$T=Ct\ H^{(3/4)}$ , în care<br>$Ct=0.075$ – pentru cadre spațiale din beton armat și cadre spațiale din metal și contravântuiri excentrice;<br>$Ct=0.05$ - pentru alte tipuri de cladiri, decat cele cu structura din beton armat sau metal | 12      | $T_{12}=0,05* H^{(3/4)}$    | 0,35                            |       |       |       |

### Evaluare indicator R3 – situație existentă

- **Capacitatea de rezistență a pereților structurali la forțe în plan (forță tăietoare asociată cedării prin compresiune excentrică)**

$$V_{f1} = \frac{N_d}{c_p \lambda_p} * (1 - 1.15v_d) \quad (6.6)$$

în care:

$$\lambda_p = H_p / l_w \quad (6.7)$$

$\lambda_p$  - factorul de formă al peretelui de zidărie;  $H_p$  - înălțimea peretelui;  $l_w$  - lungimea peretelui;  $c_p$  - coeficient care depinde de condițiile de fixare ale extremității peretelui:  $c_p=2.0$  pentru perete consolă (montant);  $c_p=1.0$  pentru perete dublu încastrat la extremități (șpalet);

$$\sigma_0 = \frac{N_d}{A_{zi}} \quad (6.8)$$

$\sigma_0$  - efortul unitar mediu de compresiune corespunzător forței axiale de proiectare  $N_d$  și  $A_{zi}$  aria secțiunii transversale a peretelui de zidărie;

$$v_d = \frac{\sigma_0}{f_d} \quad (6.9)$$

$v_d$  - factor de compresiune;

$$f_d = \frac{f_{med}}{CF} \quad (6.10)$$

$f_d$  este valoarea de proiectare a rezistenței la compresiune a zidăriei;

$CF=1.35$  – factorul de încredere asociat nivelului de cunoaștere  $KL1=1.35$

$$f_{med} = 1.3 * f_k \quad (6.11)$$

$$f_k = k f_b^{0.7} f_m^{0.3} \quad (6.12)$$

$f_{med}$  - rezistența medie la compresiune a zidăriei,

$f_m$  – rezistența mortarului (valoare determinată ca urmare a calibrării modelului analitic ETABS, utilizând înregistrările dinamice);

$f_b$  – rezistența standardizată a elementelor de zidărie, a cărei valoare s-a considerat ca medie a valorilor obținute în încercările distructive de laborator;

$f_k$  - reprezintă rezistența caracteristică la compresiune, care se poate determina în funcție de rezistența standardizată a zidăriei și marca mortarului, conform CR6;

➤ **Valoarea de proiectare a capacității de rezistență la forță tăietoare la rupere prin fisurare diagonală**

$$V_{f2} = \min\{V_{f21}; V_{f22}\} \quad (6.13)$$

$V_{f21}$  – valoarea de proiectare a capacității de rezistență la forță tăietoare la rupere prin lunecare în rost orizontal a unui perete de zidărie nearmată, conform (6.23);

$$V_{f21} = \frac{1,33}{CF * \gamma_M} \left( f_{vk0} \frac{l_{ad}}{l_c} + 0,4 \sigma_d \right) t * l_c \quad (6.14)$$

- $l_c$  - lungimea zonei comprimate a secțiunii, care tine seamă de efectul alternant al forței seismice, determinată cu relația (6.15)
- $f_{vk0} = 0,045 \frac{N}{mm^2}$  – valoare recomandată pentru zidăriile vechi realizate din cărămida plină presată și mortar de var;

$$l_c = 1.5 * l_w - 3 * \frac{M_d}{N_d} \quad (6.15)$$

$$\sigma_d = \frac{N_d}{A_{zi}} \quad (6.16)$$

în care

- $M_d$  – momentul încovoietor în peretele verificat;  $N_d$  – este forța axială în peretele verificat;
- $t$  - grosimea peretelui verificat;  $l_w$  – lungimea efectivă a peretelui verificat;
- $l_{ad}$  – este lungimea pe care aderența este activă, calculată cu relația (6.26)

$$l_{ad} = 2 * l_c - l_w \quad (6.17)$$

dacă  $l_{ad} \leq 0$  valoarea de proiectare a forței tăietoare de rupere se calculează cu relația (6.18)

$$V_{f21} = 0.53 \frac{N_d}{CF \gamma_M} \quad (6.18)$$

$V_{f22}$  – valoarea de proiectare a capacității de rezistență la forță tăietoare la rupere prin fisurare diagonală, conform (6.28);

$\gamma_M = 2.7$  – valoare coeficient parțial de siguranță pentru zidării vechi din cărămizi pline presate și mortar de var, executate în perioada 1900÷1950;

$$V_{f22} = \frac{t l_w}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{td}}} \quad (6.19)$$

în care

- $b$  - coeficient cu valori  $1.0 \leq b = \lambda_p \leq 1.5$  (conform CR6);
- $f_{td}$  - rezistența de proiectare a zidăriei la eforturi principale de întindere (6.29);

$$f_{td} = \frac{0.04 \cdot f_m}{\gamma_M \cdot CF} \quad (6.20)$$

$f_m$ ,  $\gamma_M$  și  $CF$  – a se vedea mai sus;

De asemenea, dacă:

- $V_{f1} < V_{f2} \rightarrow$  pereți ductili, pentru care factorul de comportare se va considera  $q=2$
- $V_{f1} > V_{f2} \rightarrow$  pereți fragili, pentru care factorul de comportare se va considera  $q=1.5$

Tabel 6.23 - Indicator global  $R_{3,L}$

| $R_{3,L}$ - evaluare globală<br>pe direcția longitudinală a clădirii |               |               |                   | $R_{3,L}$   |
|----------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|-------------------|-------------|
| Nivel                                                                | $F_{Rd}$ [kN] | $F_{Ed}$ [kN] | $R_{3,L}^{nivel}$ |             |
| Demisol                                                              | 1579          | 3134          | 0,50              | <b>0,45</b> |
| parter                                                               | <b>1420</b>   | <b>3157</b>   | <b>0,45</b>       |             |
| etaj 1                                                               | 857           | 1761          | 0,49              |             |
| etaj 2                                                               | 331           | 616           | 0,54              |             |

Tabel 6.24 - Indicator global  $R_{3,T}$

| $R_{3,T}$ - evaluare globală<br>pe direcția transversală a clădirii |               |               |                   | $R_{3,T}$   |
|---------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|-------------------|-------------|
| Nivel                                                               | $F_{Rd}$ [kN] | $F_{Ed}$ [kN] | $R_{3,T}^{nivel}$ |             |
| Demisol                                                             | 1045          | 1855          | 0,56              | <b>0,49</b> |
| parter                                                              | <b>212</b>    | <b>437</b>    | <b>0,49</b>       |             |
| etaj 1                                                              | 472           | 858           | 0,55              |             |
| etaj 2                                                              | 116           | 195           | 0,60              |             |

în care s-au considerat:

$F_{Rd} = \sum V_{Rd}$  – forța tăietoare globală pe fiecare nivel al clădirii, ca sumă a capacităților de rezistență ale elementelor verticale (pereți portanți de zidărie) care preiau forța seismică (tăietoare de bază)

$F_{Ed} = \sum V_{Ed}$  - forța tăietoare globală pe fiecare nivel al clădirii, ca sumă eforturilor efective (forțe tăietoare de nivel) ale elementelor verticale (pereți portanți de zidărie), rezultate dintr-un calcul structural (modelare numerică - ETABS)

Așadar, având în vedere rezultatele evaluării densităților de pereți, a deplasărilor laterale (condiții de rigiditate), cât și a valorii obținute a indicatorului  $R_3$  (calcul structural/evaluare cantitativă), a rezultat faptul că structura clădirii se încadrează în **clasa de risc seismic  $R_{sII}$** , întrucât  $R_3=0.45 < 0.65$ , prin urmare se impune **consolidarea structurală a acesteia**.

## II. Evaluarea structurală (indicator $R_3$ ) și tehnico-economică a soluțiilor de consolidare adoptate

### Soluția 1 - descriere generală

- consolidare fundații (subzidiri);
- cămășuirea cu beton armat C25/30, aplicat prin torcretare, a tuturor pereților structurali:
  - deoarece pereții exteriori (fațadă principală) prezintă valoare monumentală, iar o parte din ceilalți pereți exteriori/perimetrali sunt alipiți la calcane de clădirile învecinate, cămășuirea pe ambele fețe nu este posibilă tehnologic;
  - în această situație s-a optat pentru cămășuire doar pe fețele interioare ale acestora; cămășuielile se vor executa în grosime de 10 cm, și se pot arma fie cu plase legate din bare verticale și orizontale  $\Phi 8/10/10$ , PC52 (o singură rețea dispusă în planul median al cămășuielii), fie cu plase sudate  $\Phi 8/10/10$  STPB (o singură rețea dispusă în planul median al cămășuielii);

- toți pereții interiori, cu grosimi mai mari de 14 cm, s-a propus a fi cămășuiți pe ambele fețe ale acestora (grosime cămășuială 6 cm); cămășuielile se vor arma cu plase sudate  $\Phi 6/10/10$  STPB (câte o singură rețea dispusă în planul median al cămășuielii);
- consolidarea planșelor existente cu structură din zidărie (bolțișoare) și profile metalice și a celor cu structură din lemn, se va face prin introducerea (suprabetonare) unor plăci noi din beton armat cu plasă legată  $\Phi 8/10/10$ , PC52 (sus/jos), a căror grosime va fi de 12 cm; noile plăci vor rezema pe pereții aferenți, în sistem „dinți”.

## Evaluare structurală (indicator R3) și economică - soluție 1 de consolidare

Tabel 6.25 – Evaluare tehnico – economică soluție 1- cămășuieli din beton armat

| Criterii (cerințe)                                            | Cantități/Prețuri unitare/caracteristici tehnice principale                                                                                                                                                                                                                                                                            | Valoare economică [euro]   |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <b>Durată de timp estimativă</b>                              | cca. 12 luni                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |
| <b>Forță de muncă</b>                                         | cca.15 tehnicieni calificați:<br><i>dulgheri, fierari, zidari, lacatuși</i>                                                                                                                                                                                                                                                            | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |
| <b>Costuri intervenție</b><br>(materiale+manoperă)            | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Subzidiri fundații: cca. 250 euro/mp (<math>S_{\text{subsol}}=235</math> mp)</li> <li>➤ Torcret beton pe zidării: cca 50 euro/mp (<math>S_{\text{totală torcret}}=1950</math> mp)</li> <li>➤ Planșee b.a.: cca. 30 euro/mp (<math>S_{\text{totală}}=940</math> mp) (suprabetonări)</li> </ul> | 58.750<br>97.500<br>28.200 |
| <b>Proiectare structurală</b>                                 | ➤ <b>Costuri proiectare structurală:</b> cca. 5 euro/mp (inclusiv consultanță tehnică) ( $S_{\text{desfășurată}}=940$ mp)                                                                                                                                                                                                              | 4.700                      |
| <b>Necesitate/Nivel proiectare tehnologică</b>                | ➤ mediu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |
| <b>Nivel de calificare personal tehnic</b>                    | ➤ mediu / ridicat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |
| <b>Nivel de obtinere calitate</b>                             | ➤ ridicat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |
| <b>Intervenții cu exploatarea construcției</b>                | ➤ nu este posibil<br>(Obs. excepție face varianta de intervenții pe tronsoane diferite, dar cu costuri suplimentare și durate de execuție mărite)                                                                                                                                                                                      | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |
| <b>Condiții speciale de intervenție</b>                       | ➤ nu este cazul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |
| <b>Nivel necesitati logistice specifice</b>                   | ➤ mediu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |
| <b>Păstrare nivel mediu de asigurare structurală/seismică</b> | ➤ 1-2 evenimente seismice vrâncene, de intensitate medie / ridicată (cu intervenții după fiecare eveniment, pentru durata de viață normată uzuală)                                                                                                                                                                                     | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |
| <b>Operațiuni principale tehnologice specifice</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Decopertări tencuieli</li> <li>➤ Camasuieli torcretate</li> <li>➤ Realizare subzidiri fundații</li> </ul>                                                                                                                                                                                     | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |

|                                                  |                     |
|--------------------------------------------------|---------------------|
| <b>COST TOTAL SOLUȚIE INTERVENȚIE</b>            | <b>189.150 euro</b> |
| <b>COST UNITAR SOLUȚIE INTERVENȚIE [EURO/mp]</b> | <b>~200 euro/mp</b> |

## Soluția 2 - descriere generală

- consolidare fundații (subzidiri);
- introducerea unui sistem de stâlpișori (25x25 cm) și centuri (25x25 cm) din beton C25/30, armați cu bare verticale 4Φ14, PC52 și etrieri Φ8/10/15, PC52, și centuri din beton, armate cu bare longitudinale 2Φ14 (sus)+2Φ14 (jos), PC52 și etrieri Φ8/10/15, PC52;
- consolidarea planșelor existente cu structură din zidărie (bolțișoare) și profile metalice și a celor cu structură din lemn, se va face prin introducerea (suprabetonare) unor plăci noi din beton armat cu plasă legată Φ8/10/10, PC52 (sus/jos), a căror grosime va fi de 15 cm; se propune îndepărtarea integrală a planșelor existente.

## Evaluare structurală (indicator R3) și economică - soluție 2 de consolidare

Tabel 6.26 – Evaluare tehnico – economică soluție 2 – inserare stâlpișori și centuri din beton armat

| <b>Criterii (cerințe)</b>                       | <b>Necesar îndeplinire criteriu</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Valoare economică [euro]</b>               |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Durată de timp estimativă</b>                | cca. 14 luni                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX                          |
| <b>Forță de muncă</b>                           | cca. 15 tehnicieni calificați:<br><i>dulgheri, fierari, zidari, lacatuși</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX                          |
| <b>Costuri intervenție (materiale+manoperă)</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Subzidiri fundații: cca. 250 euro/mp (<math>S_{\text{subsol}}=235</math> mp)</li> <li>➤ Decupări/tăieri în zidării: cca 180 euro/mp/tăietură (<math>S_{\text{totală}}</math> necesar tăieri în zidărie =700 mp)</li> <li>➤ Lucrări betonare: cca. 150 euro/mc (<math>V_{\text{total}}=70</math> mp) (stâlpișori și centuri)</li> <li>➤ Planșee b.a.: cca. 30 euro/mp (<math>S_{\text{totală}}=940</math> mp) (suprabetonări)</li> </ul> | 58.750<br>126.000<br><br>10.500<br><br>28.200 |
| <b>Proiectare structurală</b>                   | ➤ <b>Costuri proiectare structurală:</b> cca. 5 euro/mp (inclusiv consultanță tehnică) ( $S_{\text{desfășurată}}=940$ mp)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 4.700                                         |
| <b>Necesitate/Nivel proiectare tehnologică</b>  | ➤ mediu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX                          |
| <b>Nivel de calificare personal tehnic</b>      | ➤ mediu / ridicat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX                          |
| <b>Nivel de obtinere calitate</b>               | ➤ ridicat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX                          |
| <b>Intervenții cu exploatarea construcției</b>  | ➤ nu este posibil<br><i>(Obs. excepție face varianta de intervenții pe tronsoane diferite, dar cu costuri suplimentare și durate de execuție mărite)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX                          |
| <b>Condiții speciale de intervenție</b>         | ➤ nu este cazul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX                          |
| <b>Nivel necesitati logistice specifice</b>     | ➤ mediu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX                          |
|                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX                          |

|                                                               |                                                                                                                                                 |                        |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Păstrare nivel mediu de asigurare structurală/seismică</b> | ➤ 1-2 evenimente seismice vrâncene, de intensitate medie/rdicate (cu intervenții după fiecare eveniment, pentru durata de viață normală uzuală) |                        |
| <b>Operațiuni principale tehnologice specifice</b>            | ➤ Decupări/tăieri în zidărie<br>➤ Camașuieli torcretate zidării (dacă este cazul)<br>➤ Realizare subzidiri fundații                             | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx |
| <b>COST TOTAL SOLUȚIE INTERVENȚIE [EURO]</b>                  |                                                                                                                                                 | <b>228.150 euro</b>    |
| <b>COST UNITAR SOLUȚIE INTERVENȚIE [EURO/mp]</b>              |                                                                                                                                                 | <b>~243 euro/mp</b>    |

### Solutia 3 - descriere generală

- introducerea de izolatori tip HDRB (izolatori cu amortizare mare) și a unor amortizori suplimentari, care au rol de siguranță/limitare a deformațiilor izolatoarelor;
- introducerea sistemului de izolare a bazei, implică și introducerea unui sistem rigid din beton armat de tip radier general de 60 cm, a cărui stabilitate/solidarizare cu terenul din amplasament se va asigura prin prevederea unor micro-piloți, și o rețea de grinzi din beton armat (cadru purtător inferior); cadrul purtător superior va fi asigurat de un planșeu din beton armat prevăzut peste subsol; *Observație: sistemul alcătuit din elementele de beton armat tip radier general și micro-piloți, reprezintă și soluția de consolidare a fundațiilor existente.*
- introducerea de planșee din beton armat la fiecare nivel al clădirii.

**Calculul sistemului de izolatori HDRB.** Din punct de vedere al modelării comportării acestor tipuri de izolatori, modelul de calcul bilinar folosit [104], Figură 6.43, folosit pentru a exprima relația dintre forța tăietoare și deplasarea laterală, poate fi definit prin trei parametri:

- rigiditatea elastică  $k_e$ ;
- rigiditatea post-elastica  $k_p$ ;
- rezistența caracteristică  $Q$ , care este folosită de obicei pentru a estima stabilitatea curbei histeretice când izolatorul este supus la cicluri alternante de încărcare-descărcare.

Cei trei parametri folosiți pentru a genera modelul bilinar al izolatoarelor cu amortizare mare, sunt în mod convențional derivați din modulul de forfecare  $G$  și amortizarea efectivă  $\xi_{eff}$ , la o deformație de forfecare specifică.

Modulul de forfecare este determinat din testele dinamice de forfecare. De asemenea, amortizarea efectivă este determinată din testele pe izolatori și variază între 10% și 20% din fracțiunea de amortizare critică [137, 138].

**Proiectare sistem de izolare a bazei construcției existentă.** Deoarece, ca urmare a evaluării cantitative a performanțelor structurale a structurii clădirii a rezultat că aceasta se încadrează în clasa de risc seismic  $R_s II$  ( $R_3=0.45<0.65$ ), și având în vedere faptul că prin implementarea ipotetică a sistemului de izolare a bazei, clădirea poate fi încadrată în clasa de risc seismic  $R_s IV$ , se propune ca limită inferioară  $R_{3,iz} > 0.95$  (95%). În aceste condiții, pentru a putea afla valoarea necesară a perioadei izolatoarelor  $T_{1z}$ , s-a adoptat raționamentul de mai jos:

- **situație inițială:**  $0 \leq T_1 = 0.26 s \leq T_B$ ;  $\xi_z = 8\%$

$$\eta_z = \sqrt{\frac{10}{5+\xi_z}} = \sqrt{\frac{10}{5+8}} = 0.88 \quad (6.21)$$

$$S_e(T_1)_{\xi_z=8\%} = a_g^{100} + [S_e(T_1)_{\xi=5\%} * \eta_z - a_g^{100}] \frac{T_1}{T_B} \quad (6.22)$$

$$S_e(T_1 = 0.26 \text{ s})_{\xi_z=8\%} = 0.24g \left[ 1 + \left[ \left( 1 + \frac{2.5-1}{0.32} 0.26 \right) 0.88 - 1 \right] \frac{0.26}{0.32} \right] = 0.42g \quad (6.23)$$

$$R_3 = \frac{\sum V_{Rd}}{\sum V_{Ed}} = 0.45, \text{ iar în domeniul elastic } (q=1), R_3 = \sim 0.30$$

➤ **situație după implementare izolatori:**

se propune un  $R_3 = \frac{\sum V_{Rd}}{\sum V_{Ed}} = 0.95$ , în care  $q=1$  (structura clădirii se va menține exclusiv în domeniul elastic de comportare), astfel, prin creșterea lui  $R_3$  de aproximativ 3.17 ori, rezultă necesitatea unei valori a spectrului elastic  $S_e(T_1)_{\xi_z=8\%}$  redusă cu ~68% în aceste condiții:

$$(1 - 0.68) * S_e(T_1)_{\xi_z=8\%} = 0.32 * 0.42g = 0.13g \quad (6.24)$$

dar considerand fracțiunea din amortizarea critică a izolatorilor  $\xi_{iz} = 20\%$ , rezultă:

$$\eta_{iz} = \sqrt{\frac{10}{5+\xi_{iz}}} = \sqrt{\frac{10}{5+20}} = 0.632 \quad (6.25)$$

astfel, în aceste condiții, pentru a obține o reducere semnificativă a spectrului elastic compatibil cu situația izolării clădirii, perioada izolatorilor trebuie să fie  $T_{iz} > T_D = 2 \text{ s}$ :

$$\eta_{iz} S_e(T_{iz})_{\xi_{iz}=20\%} = 0.13g = \eta_{iz} a_g \beta(T_{iz}) = \eta_{iz} a_g \beta_0 \frac{T_C T_D}{T_{iz}^2} \quad (6.26)$$

în care  $a_g = a_g^{225}$  (asociat proiectării seismice curente cu IMR=225 ani și depășire 20% în 50 ani), astfel, perioada necesară a izolatorilor rezultă:

$$T_{iz} = \sqrt{\frac{\eta_{iz} a_g \beta_0 T_C T_D}{0.13g}} = \sqrt{\frac{0.632 * 0.30g * 2.5 * 1.6 * 2}{0.13g}} = 3.42 \text{ s} \quad (6.27)$$

Având în vedere conformarea geometrică în plan a structurii, s-a propus principal 20 de izolatori HDRB.

Proiectarea sistemului de izolatori s-a realizat considerând construcția ca sistem cu un singur grad de libertate (1GLD). Cerința de deplasare a sistemului de izolare la cutremurul de proiectare  $D_{e,s,iz}$  se determină cu relația:

$$D_{e,s,iz} = \left( \frac{T_{iz}}{2\pi} \right)^2 \cdot a_g \cdot \beta(T_{iz}) \cdot \eta_{iz} = \left( \frac{3.42}{2\pi} \right)^2 0.30 * 9.81 * 2.5 \frac{1.6*2}{3.42^2} 0.632 = 0.38 \text{ m} \quad (6.28)$$

**Rigiditatea orizontală efectivă** a sistemului propus (20 izolatori HDRB), se calculează cu relația de mai jos (6.47).

$$k_{ef,s,iz,o} = n_{iz} k_{ef,iz,o} \quad (6.29)$$

$$k_{ef,iz,o} = \frac{1}{n_{iz}} \left( \frac{2\pi}{T_{iz}} \right)^2 G_{GS} \quad (6.30)$$

în care

- $T_{iz} = T_{iz,o}$  – perioada de rotație orizontală a izolatorilor;
- $n_{iz} = 20$  – numărul de izolatori propuși;
- $k_{ef,iz,o}$  rigiditatea orizontală a unui izolator;
- $T_{iz} = 3.42 \text{ s}$  – perioada de vibrație a sistemului de izolatori;
- $G_{GS} = 12484 \text{ kN}$  – greutatea structurii în gruparea specială seismică

$$k_{ef,iz,o} = \frac{1}{n_{iz}} \left( \frac{2\pi}{T_{iz,o}} \right)^2 G_{GS} = \frac{1}{20} \left( \frac{2\pi}{3.42} \right)^2 \frac{12484}{9.81} = 215 \frac{kN}{m} \quad (6.31)$$

Calcululele de mai jos au fost facute după un exemplu al d-lui Matsutaro Seki [140], expert japonez, care s-a aflat în România, într-o colaborare științifică în cadrul programului româno-japonez, privind reducerea riscului seismic pentru clădiri vulnerabile, program care s-a desfășurat în perioada 2002-2008.

### Evaluare structurală (indicator R3) și economică - soluție 3 de consolidare

Tabel 6.27 – Evaluare tehnico – economică soluție 3 – izolarea seismică a bazei

| Criterii (cerințe)                              | Cantități/Prețuri unitare/caracteristici tehnice principale                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Valoare economică [euro]   |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <b>Durată de timp estimativă</b>                | cca. 12 luni                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |
| <b>Forță de muncă</b>                           | cca. 20 tehnicieni calificați:<br>➤ <i>dulgheri, fierari, zidari, lacatuși și specialiști montaj sistem izolare bază</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |
| <b>Costuri intervenție (materiale+manoperă)</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Fundații/Subsol: cca 200 euro/mp - radier general 50 cm + sistem izolare bază (<math>S_{\text{subsol}}=235</math> mp);</li> <li>➤ Izolatori seismici: cca. 4000 euro/buc. (20 bucăți);</li> <li>➤ Amortizori seismici: cca. 7500 euro/buc. (4 bucăți);</li> <li>➤ Planșee beton (suprabetonare, peste etaje): cca. 35 euro / mp (<math>S_{\text{subsol}+Et1+2}=705</math> mp);</li> <li>➤ Planseu peste subsol (cadru purtător superior necesar sistemului de izolare seismică a bazei): cca. 150 euro / mp;</li> </ul> | 47.000<br>80.000<br>30.000 |
| <b>Proiectare structurală</b>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Cost proiectare structurală:</b> cca. 5 euro/mp (inclusiv consultanță tehnică) (<math>S_{\text{desfășurată}}=940</math> mp)</li> <li>➤ <b>Cost proiectare sistem izolare seismică bază</b></li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 4.700<br>14.000            |
| <b>Necesitate/Nivel proiectare tehnologică</b>  | ➤ Foarte ridicat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |
| <b>Nivel de calificare personal tehnic</b>      | ➤ ridicat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |
| <b>Nivel de obținere calitate</b>               | ➤ ridicat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |
| <b>Intervenții cu exploatarea construcției</b>  | ➤ este posibil (fază diferită pentru eventuale intervenții de reparații)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |
| <b>Condiții speciale de intervenție</b>         | ➤ obligatorii pentru sistemul de izolare a bazei                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |
| <b>Nivel necesități logistice specifice</b>     | ➤ foarte ridicat, în special pentru infrastructură                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |
|                                                 | ➤ minim 3 evenimente seismice vrâncene, de intensitate medie / ridicate                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx       |

|                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                      |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| <b>Păstrare nivel mediu de asigurare structurală/seismică</b> | (fără intervenții după fiecare eveniment)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                      |
| <b>Operațiuni principale tehnologice specifice</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Realizare mini-piloți (ex. tehnologie Grouting Jet);</li> <li>➤ Radier general (cadru purtător inferior);</li> <li>➤ Execuție cadru superior;</li> <li>➤ Tăieri cu dispozitive diamantate;</li> <li>➤ Suporturi metalice susținere/montaj izolatori seismici;</li> <li>➤ Execuție canal perimetral pentru asigurarea deplasărilor clădirii în timpul cutremurului;</li> <li>➤ Cămășuiri torcretate (dacă este cazul);</li> </ul> | XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX |
| <b>COST TOTAL SOLUȚIE INTERVENȚIE</b>                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>175.000 euro</b>  |
| <b>COST UNITAR SOLUȚIE INTERVENȚIE [EURO/mp]</b>              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>~186 euro/mp</b>  |

### Exemplu de clădire existentă, izolată seismic Primăria Municipiului București

Clădirea în care funcționează Primăria Generală a Municipiului București a fost construită în perioada 1906-1911, pe terenul din fața Grădinii Cișmigiu, fiind proiectată de către arhitectul Petre Antonescu. Proiectul structurii de rezistență a fost întocmit de către ing. Elie Radu și ing. Gogu Constantinescu.

Conform [141], clădirea figurează pe lista monumentelor istorice din municipiul București. A fost expertizată în anul 1995, și a fost elaborat un proiect de consolidare în soluție clasică, dar care nu a fost pusă în practică, întrucât nu s-a agreeat întreruperea activităților specifice, iar o eventuală schimbare temporară a locației, însemna costuri suplimentare, prin urmare s-a adoptat *soluția izolării seismice a bazei*.

Pentru reducerea corespunzătoare a eforturilor în elementele structurale, ca și pentru reducerea valorilor deplasărilor relative de nivel, au fost considerate, pe rând, mai multe variante de dispunere a reazemelor izolatoare, și anume:

**Variantă I:** 223 reazeme izolatoare cu rigiditatea efectivă de 840 kN/m, rezultând valori ale perioadei de vibrație de:  $T_{iz} = 3,35$  s; 3,22 s; 3,19 s;

**Varianta II:** 305 reazeme izolatoare cu rigiditatea efectivă de 600 kN/m, rezultând valori ale perioadei de vibrație de:  $T_{iz} = 3,27$ ; 3,25; 3,20 s.

Tabel 6.28 – Evaluare tehnico – economică izolare a bazei pentru clădirea Capitalei București

| <b>Criterii (cerințe)</b>        | <b>Cantități/Prețuri unitare/caracteristici tehnice principale</b>                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Durată de timp estimativă</b> | ➤ cca. 24 luni                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Forță de muncă</b>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>etapa I</b> - min. 35 tehnicieni calificați pentru infrastructură (dulgheri, fierari, zidari, lacătuși)</li> <li>➤ <b>etapa II</b> - cca. 35 tehnicieni pentru supra structură, etapa II - cca 35 tehnicieni pentru suprastructură);</li> </ul> |

|                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Costuri intervenție</b>                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ subsol: cca 1.000 euro/mp – mini piloți + radier general 60 cm + sistem izolare bază; (amortizor = 36.000 euro/ buc.; izolator = 12.000 euro/buc.);</li> <li>➤ torcret: cca 50 euro/mp (8cm);</li> <li>➤ planșee beton (suprabetonare, peste etaje): cca 35 euro / mp;</li> <li>➤ planșeu peste subsol (cadru purtător superior necesar sistemului de izolare seismică a bazei): cca. 150 euro / mp;</li> </ul> |
| <b>Costuri proiectare structurală (inclusiv consultanță tehnică)</b> | ➤ 150.000 euro (elemente structurale + sistem izolare baza);                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Necesitate/Nivel proiectare tehnologică</b>                       | ➤ foarte ridicat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Nivel de calificare personal tehnic</b>                           | ➤ ridicat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Nivel de obținere calitate</b>                                    | ➤ ridicat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Intervenții cu exploatarea construcției</b>                       | ➤ este posibil (faza diferită pentru cămășuieli)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Condiții speciale de intervenție</b>                              | ➤ obligatorii, pentru sistemul de izolare a bazei                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Nivel necesități logistice specifice</b>                          | ➤ foarte ridicat (în special pentru infrastructură);                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Păstrare nivel mediu de asigurare structurală/seismică</b>        | ➤ minim 3 cutremure vrâncene medii/ridicate (fără a fi necesare intervenții după fiecare eveniment)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Operațiuni principale tehnologice specifice</b>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ realizare mini piloți (ex. Tehnologie Grouting jet);</li> <li>➤ execuție cadru inferior/superior;</li> <li>➤ tăieri cu dispozitive diamantate;</li> <li>➤ suporturi metalice susținere/montaj izolatori seismici;</li> <li>➤ execuție canal perimetral deplasare clădire;</li> <li>➤ cămășuieli torcretate;</li> <li>➤ radier general (cadru purtător inferior);</li> </ul>                                     |
| <b>COST TOTAL INTERVENȚIE</b>                                        | <b>10.000.000 euro</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>COST UNITAR SOLUȚIE INTERVENȚIE [euro/mp]</b>                     | <b>455 euro/mp</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

## 7. CONCLUZII, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI DIRECȚII DE CERCETARE

### 7.1 Concluzii asupra literaturii de specialitate considerate în teză

Pornind de la sinteza expusă în prezenta teza, realizată în baza literaturii de specialitate specifică, s-au formulat următoarele concluzii:

- ✚ cele mai importante și vechi organizații internaționale profesionale non-guvernamentale, printre ale căror multiple domenii de activitate se află și domeniul privind protecția patrimoniului istoric, inclusiv celui construit, sunt: **UNESCO, ICOMOS și ICCROM**;
- ✚ în România, organizațiile internaționale au filiale proprii sau organizații care funcționează în spiritul UNESCO, ICOMOS, precum **UNRMI**, dar toate acestea se află în directă colaborare cu **INP**, care, la rândul său, este subordonat Ministerului Culturii, fiind autoritatea centrală în domeniul protecției patrimoniului istoric;
- ✚ *bunul material sau spiritual* se poate identifica cu însuși conceptul de *monument istoric*;
- ✚ în țările seismice, precum România, practica privind protecția anti-seismică se lovește de cele multe ori de *limitările intervenționiste drastice*, impuse prin Carta de la Veneția 1964;

## 7.2 Concluzii privind rezultatele studiilor de caz abordate

- ✚ calculul seismic al construcțiilor *necesită determinarea perioadei proprii fundamentale* de vibrație; utilizarea metodelor directe (empirice) [7] sau a calculelor numerice, ce se pot face cu ajutorul programelor automate de calcul (ETABS, ROBOT, SAP, etc.), pot furniza valori estimative, *însă susceptibilitatea situațiilor în care pot apărea diferențe semnificative între metode, este ridicată*;
- ✚ în programele de modelare numerică, pentru un calcul în domeniul elastic, sunt necesare modulele de elasticitate ale materialelor; acestea se pot determina pe baza caracteristicilor mecanice proprii (rezistența la compresiune/întindere), care la rândul lor pot fi considerate cu valori uzuale, conform literatură de specialitate sau direct, prin încercări de laborator;
- ✚ determinarea perioadei proprii fundamentale de vibrație a unei structuri, utilizând metoda „înregistrărilor dinamice de vibrații ambientale” (AVT - Ambient Vibration Tests), așa cum este cunoscută în literatură de specialitate [10÷45], *poate să reducă semnificativ relativitatea calculului seismic structural*;
- ✚ desigur, nu pot fi neglijate nici *limitările tehnice ale înregistrărilor dinamice*; eventuale erori pot surveni din manevrările necorespunzătoare ale echipamentelor în teren sau din interpretarea eronată a rezultatelor;

### Soluție 1 de consolidare – subzidiri fundații, cămașuieli armate și planșee noi din beton armat

- din punct de vedere tehnologic, cu excepția intervențiilor la fundații (subzidiri), ce presupune o majorare suplimentară a timpului de execuție, din faptul că procesul se face în mai multe etape succesive, în esență această *soluție de consolidare nu implică operațiuni tehnologice deosebite*, cele mai importante fiind îndepărtarea tencuielilor existente, aplicarea betonului prin torcretare și conformarea / realizarea planșeului nou din beton armat, prin suprabetonare sau prin realizare clasică, după îndepărtarea integrală a celui existent;
- din punct de vedere al rezistenței, această soluție *asigură cu mult succes încadrarea clădirii în clasa de risc seismic  $R_{sIII}$  ( $0,65 < R_3 = 0,89 < 0,91$ )*; de asemenea, se poate afirma că se obține și o creștere notabilă a ductilității structurale;
- din punct de vedere economic, 200 euro/mp reprezintă o *valoare economică optimă, raportată la dificultățile tehnologice identificate și la avantajul asigurării clasei de risc seismic  $R_{sIII}$* ;
- un avantaj important este acela că, prin implementarea acestei soluții de consolidare, *nu este afectat caracterul de monument istoric*, fiind minim invazivă, *însă este de precizat că soluția nu este reversibilă, așa cum recomandă documentele din domeniul restaurării monumentelor*;

### Soluție 2 de consolidare – subzidiri fundații, inserare sistem de stâlpișori și centuri, inclusiv planșee noi din beton armat

- din punct de vedere tehnologic, *necesitatea intervențiilor la fundații (subzidiri), conduce la o majorare suplimentară a timpului de execuție*, din faptul că procesul se face în mai multe etape succesive, etapele privind executarea subzidirilor și a sistemului de stâlpișori și centuri, *implică un efort considerabil*, prin tăierile/dizlocuirile extinse în zidărie, pentru a putea permite înglobarea noilor elemente din beton armat;

- *particularitățile de armare, cofrare și turnare a betonului în zone limitate geometric;*
- *dificultăți privind asigurarea stabilității panourilor de zidărie care rămân pe poziție;*
- *din punct de vedere al rezistenței, această soluție asigură cu mult succes încadrarea clădirii în clasa de risc seismic  $R_sIV$  ( $R_3 > 1$ );*
- *prin introducerea sistemului de stâlpișori și centuri, practic se obține un nou sistem structural de tip zidărie confinată, ce ofera performanțe sigure de rezistență și stabilitate, și mai ales un nivel de ductilitate mai bun comparativ cu cel asigurat prin camașuirile armate; sistemul de stâlpișori și centuri asigură un nivel de confinare a zidăriei, superior celui asigurat de cămașuieli, aplicate pe suprafețele pereților de zidărie;*
- *din punct de vedere economic, ~245 euro/mp reprezintă o valoare economică optimă, raportată la dificultățile tehnologice;*
- *din punct de vedere al riscului seismic, soluția poate asigura clădirea în clasa  $R_sIV$ ;*
- *în această situație, în care clădirea are caracter de monument, în special datorită fațadei principale monumentale, prin implementarea acestei soluții de consolidare, în această situație nu sunt afectate elementele arhitecturale și istorice; de precizat este că varianta nu este o soluție reversibilă, așa cum recomandă documentele din domeniul restaurării monumentelor;*
- *dezavantajul major al unei astfel de soluție de consolidare, este că în situațiile clădirilor în care nu este permisă afectarea în nici un fel a elementelor/materialelor existente, această soluție nu poate fi practic adoptată pentru monumente istorice, deoarece presupune un volum prea mare de substituie a zidăriei;*
- *un alt dezavantaj, este cel legat de dificultățile tehnologice de intervenție și duratele majorate de execuție.*

### **Soluție 3 de consolidare – izolarea bazei clădirii**

- *din punct de vedere tehnologic, dacă se adoptă doar introducerea sistemului de izolare a bazei și realizarea integrală a unor planșee noi din beton armat, dificultățile majore sunt cele legate de realizarea sistemului specific pentru introducerea izolatoarelor seismici, care presupune introducerea unui radier din beton armat, cu rol de cadru purtător inferior, și a unei rețele de grinzi din beton armat, dispuse în planul pereților, care au rolul de cadru purtător superior;*
- *introducerea planșeelor noi din beton armat, în locul celor din lemn cu rigidități inferioare, vor avea rolul de a crește rigiditatea de ansamblu a structurii clădirii, inclusiv pentru a răspunde ca un „corp rigid”, așezat pe izolatoare seismici;*
- *din punct de vedere al rezistenței și stabilității, această soluție asigură cu mult succes încadrarea clădirii în clasa de risc seismic  $R_sIV$  ( $R_3 > 1$ ), întrucât practic structura se încarcă limitat și controlat la sarcina seismică, eforturile majore fiind preluate de izolatoare și disipate considerabil de acestia prin capacitățile de deformabilitate considerabile;*
- *din punct de vedere economic, ~186 euro/mp reprezintă o valoare economică optimă, raportată la dificultățile tehnologice, dar și la avantajul asigurării clasei de risc seismic  $R_sIV$ ;*
- *în această situație, în care clădirea are caracter de monument, în special datorită fațadei principale monumentale, prin implementarea acestei soluții de consolidare, nu este*

*afectat în nici un fel caracterul de monument istoric și de arhitectură; în această situație, nu se pune problema reversibilității, având în vedere caracterul minim invaziv;*

- *desi, în general, avantajul cel puțin tehnic, este evident, în această situație, din punct de vedere tehnologic, implementarea soluției de izolare a bazei este practic imposibilă de implementat, deoarece clădirea este poziționată exact între două clădiri vecine (stânga și dreapta), neexistând nici macar rosturi de dilatație/seismice; deci nu ar putea fi asigurate distanțe compatibile cu deplasările izolatorilor, asociate disipării de energie, cerute; o eventuală procedură de realizare a acestor „distanțe” ar presupune “tăierea efectivă” din structura clădirii, cel puțin a 30 cm a fiecărui calcan, ceea ce complică nejustificat tehnologia de consolidare;*

### 7.3 Contribuții personale și direcții viitoare de cercetare

- Identificarea și sintetizarea aspectelor cele importante privind reabilitarea, consolidare, conservarea și protecția monumentelor istorice.
- Identificarea și sintetizarea aspectelor generale legate de seismicitatea teritoriului României, prin evidențierea *efectelor nefaste ale cutremurelor istorice mai importante* din secolul trecut, accentuând în special impactul pe care le-a avut cutremurele din 1940 și 1977, și *vulnerabilitatea seismică a fondului construit*, inclusiv a construcțiilor de patrimoniu.
- Abordarea spre studiu a unor aspecte privind calculul seismic al clădirilor existente, subliniind importanța evaluării răspunsului seismic al unei structuri, prin determinarea directă a perioadei proprii fundamentale de vibrație, utilizând *metoda înregistrării de vibrații ambientale* (AVT – Ambient Vibration Tests);
- *Participarea și implicarea directă în activitățile de înregistrare dinamică a două clădiri existente, din București, și efectuarea de calcule structurale specifice, utilizând modelare numerică* (program de element finit ETABS), în vederea efectuării de analize comparative pentru trei soluții potențiale de consolidare, prin evidențierea atât a performanțelor structurale, cât și a celor tehnologice, și mai ales a celor economice (costuri estimative intervenții).
- Direcția de cercetare principală, pe care doresc să o continui, este legată de evaluarea dinamică utilizând metoda AVT.

### 7.4 Diseminarea rezultatelor

La momentul prezentării tezei de doctorat apar în articolele științifice de mai jos:

#### **autor principal**

- **Daniel I. DIMA**, Pavlu TEO, Constantin BUDAN, *Dynamic response assessment of a historic building from Bucharest, Romania, using the method of ambient vibration tests*, 3<sup>rd</sup> International Conference on PROTECTION OF HISTORICAL CONSTRUCTIONS Lisbon, Portugal, 12 – 15 July, 2017
- **Daniel I. DIMA**, *Mass-media și predicția cutremurelor din România. Percepție și efecte sociale*, Buletinul științific U.T.C.B., nr. 1/2019

- **Daniel I. DIMA**, *Vulnerabilitatea seismică a fondului existent din România și influența mass-media asupra percepției sociale privind siguranța seismică*, Buletinul științific U.T.C.B., nr. 1/2019
- **Daniel Ioan DIMA**, Teodor Pavlu, *The fundamental vibration period determination for an existent historical monument building, by using numerical modelling, empirical and experimental (AVT) methods*, Mathematical Modelling in Civil Engineering, Vol. 16-No. 1: 22-33-2021 Doi: 10.2478/mmce-2021-0008
- **Daniel Ioan DIMA**, Andreea Duțu, *Traditional buildings with timber frame and various infills in Romania*, World Conference on Timber Engineering, August 22-25, 2016, Vienna, Austria

 **co-autor:**

- Alexandru ALDEA, Andreea DUTU, Sorin DEMETRIU, **Daniel I. DIMA**, *Dynamic properties identification for a timber framed masonry house*, Revista Construcții – No. 1 / 2020, București
- Andreea Dutu, Mihai Niste, Iulian Spatarelu, **Daniel Ioan Dima**, Shoichi Kishiki, *Seismic evaluation of Romanian traditional buildings with timber frame and mud masonry infills by in-plane static cyclic tests*, Engineering Structures 167 (2018) 655–670
- Eliza Bulimar, Andreea Dutu, **Daniel Ioan Dima**, Razvan Ietan, *Seismic Analysis of Timber Frames with Infills in Romania*, Tamap Journal of Engineering Volume 2017, Article ID 13

## Bibliografie

- [1] Mazzolani, F.M., De Matteis, G., Mandara, A., Altai Askar, G., Lungu, D., Esposto, M., *Earthquake protection of historical buildings by reversible mixed technologies. Intervention strategies for the seismic protection of historical building heritage in the Mediterranean basin*, FP6 Prohitech Project, vol. 1, Ed. Polimetrica, Milano, Italy, 2012
- [2] Mazzolani, F.M., De Matteis, G., Calado, L., Beg, D., Esposto, M., *Earthquake protection of historical buildings by reversible mixed technologies. Seismic protection of historical buildings: guide to material and technology selection*, FP6 Prohitech Project, vol. 2, Ed. Polimetrica, Milano, Italy, 2012
- [7] Ifrim, M., *Dinamica structurilor și inginerie seismică. Ediția a-II-a*. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1984
- [8] Lungu D., Aldea A., Demetriu S., Arion C., *Evaluarea riscului seismic pentru fondul construit din București*, gazeta AICR, nr. 41-42, Anu XI, mai, 2000
- [9] Bica M. Andrei-Gabriel, *Vulnerabilitatea seismică a fondului construit din România la acțiunea cutremurelor Vranceane*, teză de doctorat, București, 2013
- [10] Ivanovic S.S., Trifunac M.D., Todorovska M.I., *Ambient Vibration Test of Structures – a review*, ISET Journal of Earthquake Technology, paper No. 470, Vol. 37, No. 4, December 2000
- [11] Ankesh BIRTHARIA and Sarvesh K Jain, *Applications of ambient vibration testing: an overview*, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume 02 Issue, 5 august, 2015
- [18] Aldea, A., Dutu A., Demetriu S., **Dima D. I.**, *Dynamic properties identification for a timberframed masonry house*, Revista Constructii, NR. 1/2020, București
- [19] Omenzetter P., Beskhyroun S., Shabbir F., Chen G. W., Chen X., Wang S., Zha A., *Forced and Ambient vibration testing of full scale bridges*, A report submitted to october, 2013
- [22] Aldea, A., Demetriu, S., Dubină, D., Nagy, Z., *Măsuratori de vibrații pentru identificarea parametrilor modali ai unei clădiri cu structură metalică din profile de oțel formate la rece*, A XIV-a Conferința Națională de Construcții Metalice, 19 noiembrie 2015, Cluj
- [23] Abdulamit, A., Demetriu, S., Aldea, A., Neagu, C., Gaftoi, D., *Ambient Vibration Tests at Some Buttress Dams in Romania*, Procedia Engineering, ISSN 1877-7058, Volume 199, 2017, pp. 2196-2201
- [25] Brincker R, Ventura C, Andersen P., *Why output-only modal testing is a desirable tool for a wide range of practical applications*. 21st International Modal Analysis Conference (IMAC), Kissimmee, Florida, USA, 2003
- [28] Cha, Y-J, Trocha, P, Büyüköztürk, O., *Field Measurement-Based System Identification and Dynamic Response Prediction of a Unique MIT Building*, Sensors, vol.16, no. 1016, 2016
- [31] Demetriu, S., Aldea, A., Udrea, A., *Modal parameters of a RC frame structure identified from ambient vibration measurements*, Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal.
- [87] Lungu D., *Riscuri naturale și antropice pentru Patrimoniul Construit al Bucureștiului*, Institutul Național al Monumentelor Istorice & Universitatea Tehnică de Construcții București, 2007
- [88] Lungu D., *Protecția patrimoniului construit din zone protejate situate în București*, Institutul Național al Monumentelor Istorice, București, 2007
- [90] Alexandru Cișmigiu, *Monografie*, ediție realizată și îngrijită de arh. Maria Mănescu, realizat și editat de CDCAT, București, 2002
- [91] Gheroghe Mărmureanu, *Certitudini/Incertitudini în evaluarea hazardului și a riscului seismic vrancean*, Ed. Academiei Române, București, 2016
- [93] Aurel A. Beleş, *Cutremurul și construcțiile*, Buletinul Societății Politehnice, Anul LV, Nr. 10 și 11, Octombrie și Noiembrie 1941, București
- [95] Sinteza Monografiei *Cutremurul din România din 4 martie 1977 și efectele asupra construcțiilor*, Părțile I, II, III și IV, Institutul Central de Cercetare Proiectare și Directivare în Construcții, 1978
- [96] Lungu D., Aldea A., Demetriu S., Arion C., *Evaluarea riscului seismic pentru fondul construit din București*, gazeta AICR, nr. 41-42, Anu XI, mai, 2000

- [97] P100-3/2019, *Prevederi pentru evaluarea seismică a clădirilor existente. Partea III-a*, MDLPA (Ministerul Dezvoltării, Lucrărilor Publice și Administrației)
- [98] MP025-2004, *Metodologie pentru evaluarea riscului și propunerile de intervenții necesare la structurile construcțiilor monumente istorice în cadrul lucrărilor de restaurare ale acestora. Indicativ*, Universitatea de Arhitectură și Urbanism “Ion Mincu”, București, 2004
- [101] Bogdan Buhnariu, *Sisteme de consolidare a construcțiilor cu materiale compozite*, teză de doctorat, București, 2010
- [102] Gabrela Gherghel, *Studii și cercetări privind soluții de consolidare a construcțiilor avariate și urmărirea în timp a acestora*, teză de doctorat, Brașov, 2011
- [103] Marina Cincu, *Probleme specifice privind utilizarea fibrelor polimerice la realizarea sistemelor structurale din zidărie pentru construcții civile*, teză de doctorat, București, 2011
- [104] Danilă Gh. Gabriel, *Studii asupra sistemelor hibride de izolare seismică a bazei, considerând controlul pasiv*, teză de doctorat, 2013
- [105] Cruciat Radu Iuliu, *Reducerea efectului acțiunii seismice asupra clădirilor prin metoda izolării bazei de rezemare*, teză de doctorat, București, 2013
- [106] Bica M. Andrei-Gabriel, *Vulnerabilitatea seismică a fondului construit din România la acțiunea cutremurelor Vranceane*, teză de doctorat, București, 2013
- [107] Vlad Petrescu, *Protecția clădirilor cu statut de patrimoniu prin metode modern de intervenții*, teză de doctorat, București, 2014
- [108] Mihai Ștefănel Niste, *Contribuții privind tehnologia de realizare, reparare și consolidare a construcțiilor civile cu structura din zidărie, amplasate în zone seismice*, teză de doctorat, București, 2015
- [109] P13-63, *Normativ condiționat pentru proiectarea construcțiilor civile și industriale din regiuni seismice*, Comitetul de Stat pentru Construcții, Arhitectură și Sistematizare, 1963, Republica Socialistă România
- [110] P13-70, *Normativ pentru proiectarea construcțiilor civile și industriale din regiuni seismice*, Ministerul Construcțiilor Industriale, 1970, Republica Socialistă România
- [111] P100-81, *Normativ pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe, social-culturale, agrozootehnice și industriale*, Institutul Central de Cercetare, Proiectare și Directivare în Construcții, 1981, Republica Socialistă România
- [112] P100-92, *Normativ pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe, social-culturale, agrozootehnice și industriale*, MLPAT (Ministerul Lucrărilor Publice și Amenajării Teritoriului)
- [113] P100-1/2006, *Cod de proiectare seismică. Prevederi de proiectare pentru clădiri* MLPAT (Ministerul Lucrărilor Publice și Amenajării Teritoriului)
- [114] P100-1/2013, *Cod de proiectare seismică. Prevederi de proiectare pentru clădiri. Partea a I-a*. MLPAD (Ministerul Dezvoltării, Lucrărilor Publice și Administrației)
- [115] Bica M. Andrei-Gabriel, *Vulnerabilitatea seismică a fondului construit din România la acțiunea cutremurelor Vranceane*, teză de doctorat, București, 2013
- [120] SR EN 338, *Elemente structurale din lemn. Clasele de rezistență*, noiembrie 1997
- [121] NP005/2003, *Normativ privind proiectarea construcțiilor din lemn*, 2003
- [122] Expertiza tehnică privind “consolidare, restaurare, reamenajare cladire monument istoric pentru funcțiunea de hotel boutique si regim final de înălțime D+P+2E+Mp”, București, 2016
- [123] SR EN 1996-1-1, *Eurocod 6: Proiectarea structurilor de zidărie. Partea 1-1: Reguli generale pentru construcții de zidărie armată și nearmată*
- [124] CR 6 – 2013, *Cod de proiectare pentru structuri de zidărie*
- [125] Masonry Standards Joint Committee (MSJC), *Building code requirements for masonry structures*, TMS 402/ASCE 5/ACI 530, New York, 2011
- [126] AS 3700, *Australian Standards for Masonry Structures*, Standards Australia, Sydney, 2018
- [127] CSA, *Design of masonry structures*, CSA S304.1-04 (R2010), Mississauga, Canada, 2010