

Probleme ale structurilor de rezistență istorice

Problems of historical constructions

Ludovic Kopenetz¹, Alexandru Cătărig²

¹Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Romania
Str. C. Daicoviciu, nr.15

E-mail:ludovic.kopenetz@mecon.utcluj.ro

²Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Romania

Str. C. Daicoviciu, nr.15

E-mail:alex.catarig@mecon.utcluj.ro

Rezumat. *Structurile istorice, reprezentând creativitatea unei societăți la o anumită treaptă a dezvoltării, constituie izvoare de mare valoare pentru generațiile următoare. În lucrare sunt abordate aspecte de analiză structurală necesare investigării, conservării și restaurării acestor structuri.*

Cuvinte cheie: clădiri istorice, investigare, conservare, restaurare

Abstract. *Historical structures, representing the creativity of a society at a certain stage of development, are sources of great value to future generations. The paper presents different aspects of structural analysis required for the investigation, preservation and restoration of these structures.*

Key words: historical buildings, investigation, preservation, restoration

1. Introducere

Monumentele sau clădirile istorice, reușind să străbată veacurile cu perioade istorice diverse, cu pierderi structurale mai mari sau mai mici, necesită o atenție specială din partea autorităților, în vederea păstrării memoriei trecutului [1].

În cazul țării noastre, pe lângă fenomenele de îmbătrânire, amplasament (cca. 70% din teritoriul național are seismicitate ridicată) și climă, apare și porțiunea de istorie în care statul nu era interesat de moștenirea trecutului. Ca urmare, cele mai multe structuri istorice sunt într-o stare precară (chiar în pragul colapsului), stare care se accentuează pe zi ce trece. La marea majoritate a monumentelor istorice, chiar din categoria "A", apare părerea specialiștilor conform căreia dacă nu se intervine acum, mâine va fi prea târziu [2], [3], [4].

Criteriile de siguranță și durabilitate a clădirilor istorice sunt mai severe decât la clădirile obișnuite. Noțiunea de siguranță la aceste clădiri ridică probleme deosebite datorită dimensiunilor în plan și elevație, precum și din cauza stării lor actuale [5], [6], [7].

Aplicarea fără discernământ a codurilor de proiectare pentru asigurarea siguranței structurale reprezintă un mare pericol [8].

Abordarea conceptului de siguranță trebuie să țină cont de următoarele:

- Concepția structurii portante inițiale cu rezolvări empirice și soluții intuitive [9].

- Tipul de material structural, cu observația că marea majoritate a acestor materiale se comportă nesatisfăcător la solicitări locale statice și dinamice, din cauza alcătuirii specifice (pereți realizați în mai multe straturi – în marea lor majoritate necuplate -, rosturi neuniforme umplute sau nu cu mortar de var sau de argilă) [10].

- Stabilirea caracteristicilor mecanice ale materialelor structurale este o problemă foarte dificilă având în vedere că modulul de elasticitate a elementelor componente are o influență mică asupra capacității portante și deformabilității globale a materialului în ansamblu.

- Rezultatele cercetărilor în situ (investigații tip “FLAI-JACK”, utilizarea ultrasunetelor și a endoscopiei).

2. Avarii – degradări la structuri istorice

2.1. Degradări datorate umezelii

Umezeala, în elementele portante verticale din zidărie de cărămidă și piatră, are ca efect slăbirea și chiar distrugerea legăturilor interioare.

Una dintre cauzele apariției umezelii la clădiri istorice o reprezintă ascensiunea capilară. Așa se explică situațiile de avarii datorită umezelii în cazul clădirilor la care suprafața fundațiilor și a elevațiilor nu este în contact direct cu apa subterană.

Cantitatea de umiditate conținută în pereți și nivelul la care se ridică aceasta este direct proporțională cu grosimea zidăriei.

2.2. Degradări cauzate de condițiile de fundare

Datorită condițiilor necorespunzătoare de fundare pot să apară unele deplasări (Fig.1).

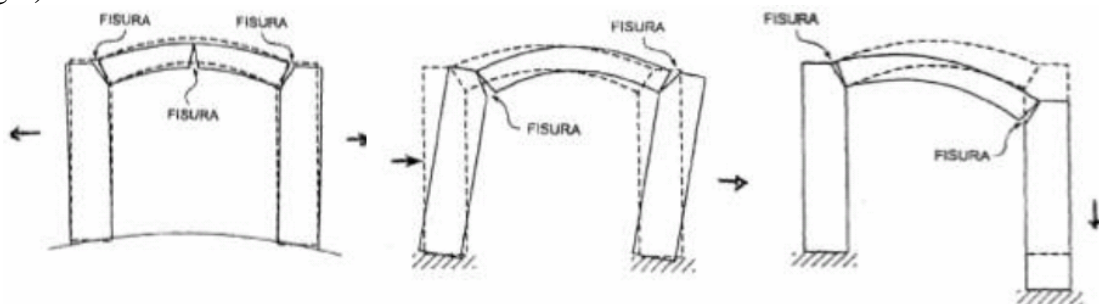


Fig.1

Stările de fisurare și dislocare sunt funcție de direcțiile acestor deplasări.

2.3. Degradări din efecte seismice

În timpul unui cutremur fundația clădirii istorice suferă deplasări atât pe direcție orizontală cât și pe direcție verticală. La aceste clădiri, avarii deosebite din seism apar datorită solicitării de torsiune globală (Fig.2,3), precum și din inexistența rosturilor seismice (Fig.4).

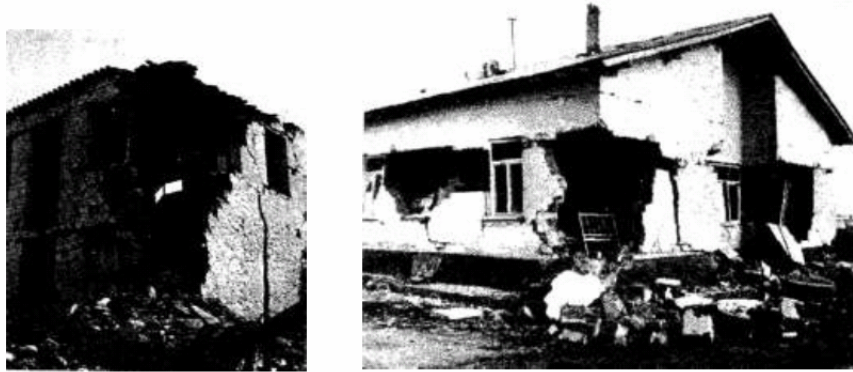


Fig.2

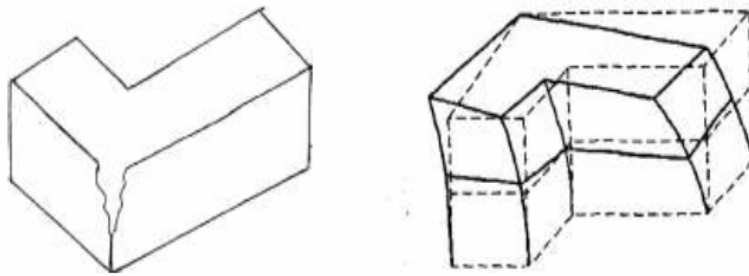


Fig.3



Fig.4

Avariile se manifestă sub forma unor fisuri sau dislocări, prezentate pentru pereți în figura 5 și ca în figura 6, pentru clădiri fără centuri.

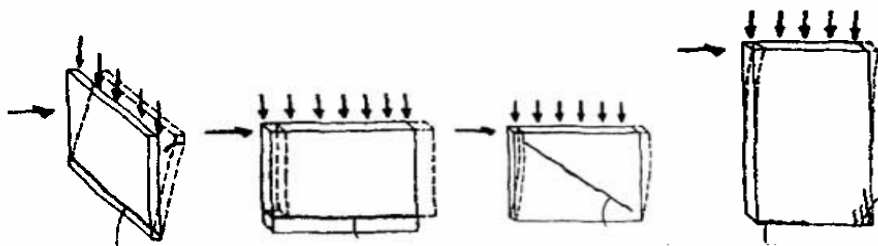


Fig.5

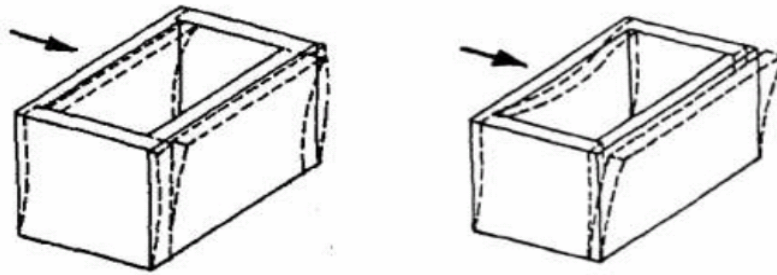


Fig.6

În cazul bolților din cărămidă avariile din seism apar sub forma unor deplasări în jos pe porțiuni mari (Fig.7).

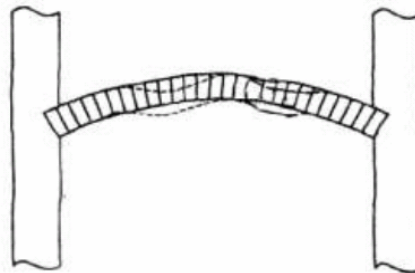


Fig.7

2.4. Degradări din unda de șoc a avioanelor

Unda de șoc a avioanelor supersonice reprezintă o acțiune de tip nou, care apare în apropierea unor aeroporturi civile sau militare (Fig.8).

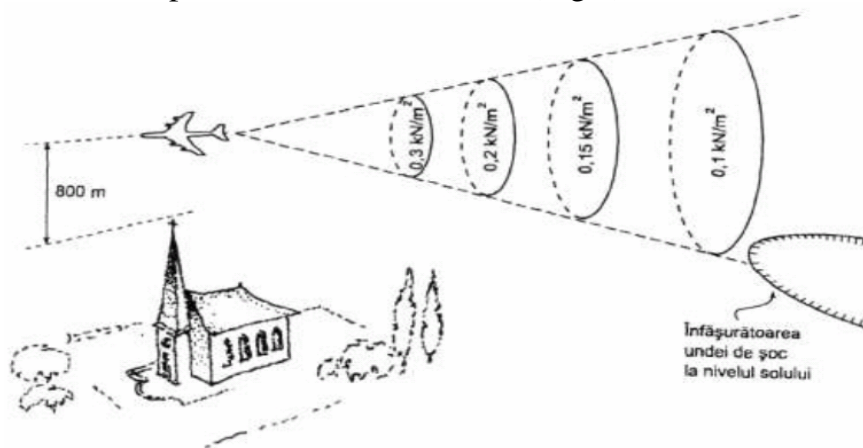


Fig.8

Acțiunea dinamică de calcul acoperitor se poate lua sub forma unei forțe dinamice periodice (Fig.9).

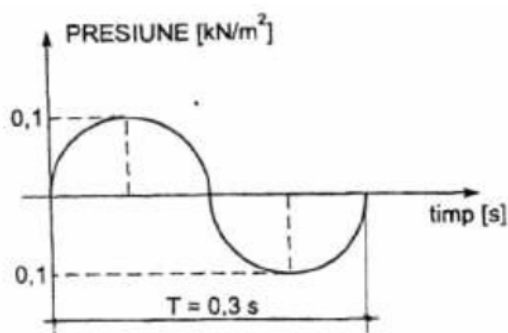


Fig.9

3. Corectarea siguranței structurale la clădiri istorice

Corectarea, ameliorarea, nivelului de siguranță structurală se poate realiza prin intervenții structurale tradiționale, de tip reparare, sau prin intervenții structurale de consolidare, de tip ingineresc [11], [12], [13].

3.1. Intervenții structurale de consolidare, de tip ingineresc

Intervenția structurală la clădiri de tip monument istoric afectează clădirea în cea mai mare măsură. Cerința de bază, conform codurilor specifice, naționale și internaționale, o reprezintă limitarea acestor intervenții la minimumul necesar menținerii integrității și siguranței clădirii de consolidat. O altă cerință este respectarea condiției de compatibilitate-reversibilitate a intervenției [14].

Având în vedere faptul că teritoriul național este supus periodic acțiunii unor cutremure de tip Vrancea, cu energie indusă mult mai mare decât în cazul cutremurelor californiene, intervențiile trebuie să urmărească mărirea ductilității structurale.

Modelările curente cu tehnici MEF utilizate de majoritatea inginerilor trebuie privite cu multă rețineră, datorită motivelor enunțate.

Pentru analiza structurală, recomandăm descompunerea structurii portante în microelemente și descrierea comportamentului cu mecanisme cinematice plane sau spațiale.

Astfel de intervenții sunt:

- Utilizarea unor centuri din bare din lemn cuplate cu structura portantă originală prin piese din oțel.
- Introducerea unor tiranți din oțel.
- Înserarea în pereți a unor centuri din beton armat.
- Înlocuirea planșelor din lemn cu grinzi și plăci din beton armat.
- Injectarea pereților și fundațiilor cu materiale compatibile cu materialul structural de bază.
- Înlocuirea unor pereți din material istoric cu pereți din beton armat sau oțel.
- Cămășuiri.
- Intervenții cu materiale compozite [15].

3.2. Intervenții cu materiale compozite

Intervențiile de consolidare cu materiale compozite, care au la bază fibre de carbon, dau rezultate promițătoare deoarece rezistența la întindere a acestor fibre este de aproximativ 10 ori mai mare decât cea a oțelului, în timp ce modulul de elasticitate este comparabil cu cel al oțelului.

Prin folosirea acestor materiale sunt eliminate tehnicile clasice de intervenții, care folosesc beton, beton armat, oțel, materiale de obicei incompatibile cu materialul original și astfel greu de acceptat de către comisiile pentru monumente istorice.

Principiul intervenției cu materiale compozite constă în placarea structurii portante, orizontale sau verticale, cu aceste materiale, obținând:

- Îmbunătățirea caracteristicilor mecanice ale materialelor structurale din clădirea istorică.
- Sporirea rigidității orizontale și celei verticale.

Pentru analiza structurală se utilizează elemente finite de tip Zienkiewicz-Irons, pentru care atât geometria cât și distribuția admisă a deplasărilor sunt descrise prin aceleași funcții de formă sau de interpolare. Elementele finite considerate permit modelarea fibrelor înglobate.

Pentru analiză a fost elaborat programul de calcul SOM02 [16], care utilizează iterații de tip Newton-Raphson, independente de tipul elementului finit folosit.

Integrarea ecuațiilor de mișcare se face cu metodele Newmark și Wilson.

4. Studii de caz

Studiile de caz pentru intervenții cu materiale structurale compozite prezintă consolidări rezolvate numeric cu programul de calcul SUM02.

4.1. Studiul de caz nr.1

Pentru a verifica elementele finite care au fibre înglobate s-a folosit exemplul rezolvat în lucrarea [17].

Utilizând aceeași discretizare s-a obținut, în domeniul liniar, rezultat identic, atât pentru tensiuni cât și pentru deplasări, cu cel obținut de Mansfield, citat în lucrarea [17]. Calculul s-a efectuat atât în varianta "1", $\varphi = 30^\circ$, cât și în varianta "2", $\varphi = 60^\circ$ (Fig.10).

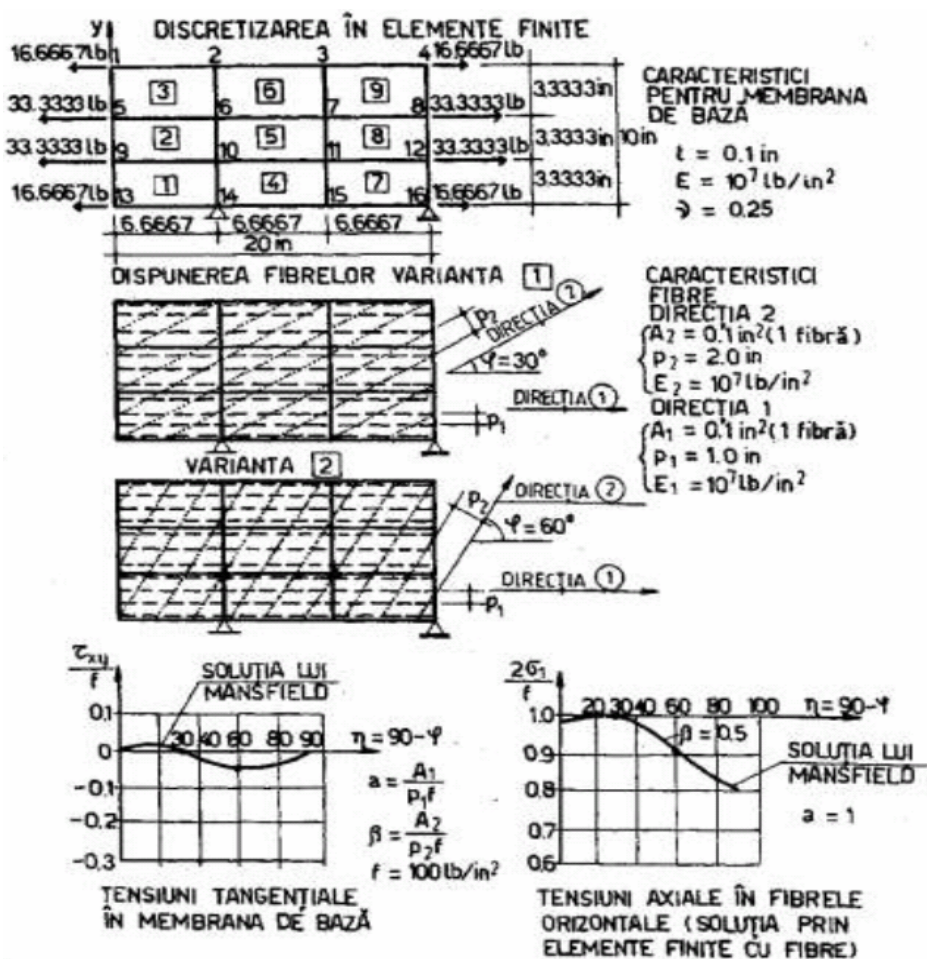


Fig.10

4.2. Studiul de caz nr.2

În cadrul acestui studiu se urmărește efectul placării unei structuri de zidărie (Fig.11) cu o membrană izotropă (Fig.12,a) și cu o membrană anizotropă (Fig.12,b).

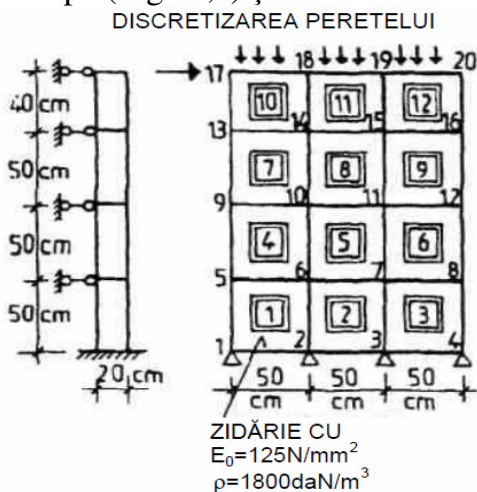


Fig. 11

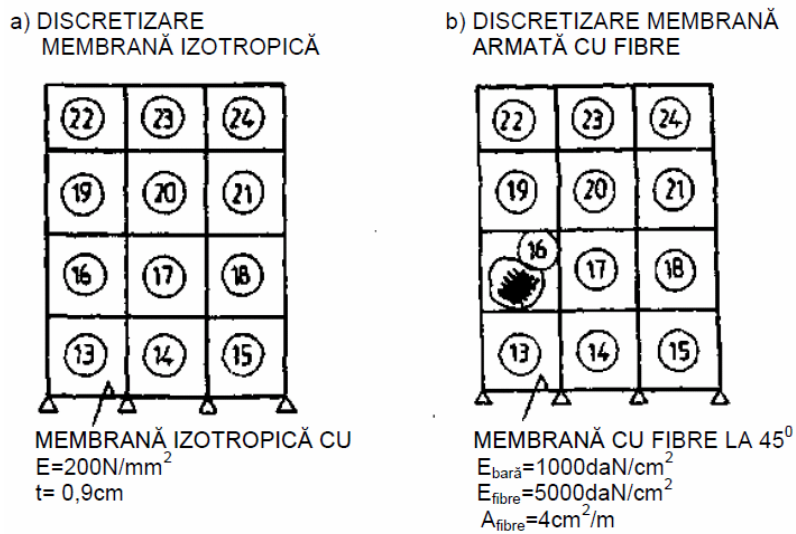


Fig.12

În tabelul 1 sunt prezentate primele patru frecvențe proprii pentru cele trei cazuri, iar în figura 13, diagramele $P - \Delta$.

Tabelul 1

Frecvențe naturale [Hz]

	CAZ 1	CAZ 2	CAZ 3
f1	0,3100	0,3102	0,3295
f2	0,9203	0,9204	0,9448
f3	2,0112	2,0114	2,2230
f4	6,0329	6,0331	6,3214

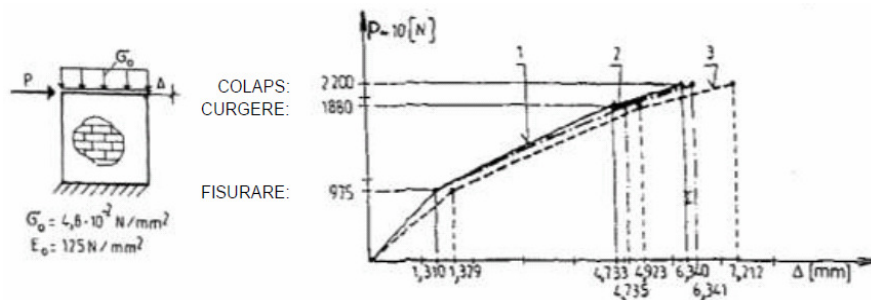


Fig.13

Rezultă clar efectul favorabil al intervenției cu materiale compozite.

Observație: Conceptul de intervenție cu materiale compozite este aplicabil cu succes în cazul clădirilor din centre istorice, realizate fără prevederea unui rost seismic (clădiri lipite). În aceste cazuri, structurile aflate la capetele șirului de clădiri lipite sunt puternic afectate la un eventual cutremur, prin avarii de tip cedări locale sau crăpături.

Placarea cu material compozit a acestor clădiri elimină în mare măsură degradările.

5. Concluzii

- Realizarea siguranței clădirilor istorice reprezintă o problemă delicată, atât în România cât și în restul Europei.

- Cu toate că tehnica modernă permite realizări spectaculoase în domeniul ameliorării siguranței acestor clădiri, apar totuși îngrădiri serioase din cauza domeniului special pentru care se execută.

- Procedul măririi siguranței prin folosirea materialelor compozite conduce la creșterea ductilității, este o intervenție promițătoare datorită simplității execuției și răspunde în multe cazuri cerințelor specifice ale monumentelor istorice (compatibilitate, reversibilitate).

- Comportamentul structural, ca funcție a materialelor utilizate, determină decisiv tipul de intervenție.

- Stabilirea comportamentului structural presupune următoarele [18]:

- precizarea condițiilor geo și hidrologice pentru amplasament,
- informații asupra seismicității zonei,
- relevarea arhitecturală, structurală și topografică a clădirii,
- testarea materialelor structurale în situ și în laborator,
- cercetarea arhivistică a evoluției construcției,
- evidențierea tehnicii probabile de construire utilizată.

Referințe

- [1] L. Kopenetz, D. Simirea, "Probleme de analiză structurală la expertizarea monumentelor istorice", Revista Calitatea și disciplina în construcții, nr.4, 1994.
- [2] A Cătărig, L. Kopenetz, T. Hodișan, "Imaterial Structures and Real Structures", XXX IAHS World Congress on Housing, vol.1, Coimbra (Portugal), 2002, pg.187-191.
- [3] M. Page, "Historic Houses Restored and Preserved", Whitney, New York, 1979.
- [4] M. Mironescu, "Consolidarea Bisericii KRETZULESCU", Revista Calitatea și Disciplina în construcții, nr.3, 1993.
- [5] K.E. Kurrer, "Geschichte der Baustatik", Ernst & Sohn, Berlin, 2002.
- [6] E. Schunck, "Beitrage zur Geschichte der Bauingenieur", Vol.9, Vortage im Wintersemester 97/98, TU Munchen, 1998.
- [7] I. Opriș, "Ocotirea patrimoniului cultural", Editura Meridiane, București, 1986.
- [8] Teodora Voinescu, "Principii conducătoare în restaurarea monumentelor artistice de la Bibescu și până azi", Editura Universul, 1944.
- [9] V. Vătășianu, "Istoria artei feudale în Țările române", vol.1, Editura Academiei, București, 1959.
- [10] Gr. Ionescu, "Începuturile lucrărilor de restaurare a monumentelor istorice în România și activitatea în acest domeniu a arhitectului francez ANDRE LECOMTE DE NOUY", Revista Monumente istorice și de artă, nr.1, 1978.
- [11] F. Nather, „Arbeits und Schutzgeruste“, Traggeruste in Hutte Bautechnik III, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1977.
- [12] J. Eibl, "Erlauterungen zu DIN 4421 – Traggeruste", Beton und Stahlbetonbau 78, 1983, pg.325-331.
- [13] F. Lizzi, "The Static Restoration of Monuments", Sagep Editrice, Genova, 1982.
- [14] J. Ferry Borges, M. Castanheta, "Structural Safety", Lisbon, LNEC, 1971.
- [15] A. Cătărig, L. Kopenetz, P. Alexa, "Rehabilitation of Structures via Membranes", Proceedings of the Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco (Mexico), 1996, Paper No.512.
- [16] L. Kopenetz, A. Cătărig, "Teoria structurilor ușoare cu cabluri și membrane", Editura U.T. PRES, Cluj-Napoca, 2006, 233 pag.

[17] *J. Robinson*, “Integrated Theory of Finite Element Method”, John Willey and Sons, London, New York, Toronto, 1973.

[18] *M. Crișan*, “Restaurarea structurală a clădirilor de cult ortodox din Țara Românească și Moldova”, Universitatea de Arhitectură “Ion Mincu”, București, 1997.