

MONITORIZAREA INSTRUMENTALĂ A CONSTRUCȚIILOR LA CUTREMUR

Emil-Sever GEORGESCU

Dr. ing., Director Științific pentru activitatea de Construcții, INCĐ URBAN-INCERC

Ioan Constantin PRAUN

Ing., INCĐ URBAN-INCERC, Șef Laborator, Sucursala INCERC

Ioan Sorin BORCIA

Dr. mat., INCĐ URBAN-INCERC, Șef Laborator, Sucursala INCERC

Abstract. For the constructors, monitoring has common meanings with the usual terms surveillance, follow up, control etc. of the behavior of buildings determined by their location. The scientific literature uses "monitoring of the structural status". The analysis of the behavior of different categories of constructions in case of an earthquake and the assessment of effects presumes, in addition to a detailed visual examination of the state of constructions and recording the observed damages, a series of experimental determinations in order to know the real resistance capacity of the damaged construction, establishing the consolidation solutions. In this context, determining the own oscillation periods of a building and comparing them with the original data represent a first method to globally appreciate the variation of the rigidity of a building after earthquake solicitation. The paper specifically presents the manner of using field observation data and instrumental data within the seismic network of INCERC when associated with advanced processing. The paper underlines the need for an extended instrumentation of buildings of national interest, such that information on the behavior of some structural categories could be available in a short time interval after the occurrence of an earthquake.

Key words: earthquake, instrumental monitoring, constructions, consolidation

1. Monitorizarea instrumentală

Pentru constructori, termenul de monitorizare are conotații comune cu cele uzuale de supraveghere, urmărire, control etc. a comportării la amplasament a construcțiilor. În literatura de specialitate se utilizează chiar termenul "monitorizarea sănătății structurale".

Pentru a analiza comportarea construcțiilor, după fiecare cutremur puternic, autoritățile, proprietarii, specialiștii iau ca termen de referință mărimea mișcării seismice la amplasamentul respectiv. Ingineria structurală este strâns legată de parametri ca accelerație, viteză, deplasare, precum și de compoziția spectrală, de aceea, odată cu utilizarea pe scară largă a seismografele rezistente la mișcări puternice (tip Strong Motion Apparatus), în anii '70 s-a trecut la *instrumentarea seismică*, prin stații amplasate în construcții, baraje, poduri, etc..

Prin rețeaua seismică INCERC s-a obținut singura înregistrare de interes ingineresc de la 4 martie 1977 la subsolul clădirii din Șoseaua Pantelimon iar cu alte aparate instalate în construcții s-a obținut o înregistrare parțială într-un bloc din Cartierul Balta Albă (Bălan et al., 1982). De asemenea s-au obținut înregistrări valoroase la cutremurele din 1986 și 1990 (Lungu, 2004; Borcia, 2006).

Monitorizarea prin instrumentare seismică contribuie direct la:

- elaborarea hărților de zonare seismică, stabilirea criteriilor de microzonare a teritoriului;

- perfecționarea normativelor de proiectare antiseismică și verificarea noilor prevederi din normative;
- studiul influenței condițiilor geologice locale asupra efectelor seismice;
- caracterizarea modului de interacțiune teren-structură, a amortizării, în condițiile specifice de amplasament ale construcției date, corelate și cu datele înregistrate de aparatele pe teren liber învecinate;
- studiul transmiterii și propagării efectelor seismice în structuri multietajate, verificarea și certificarea modelelor dinamice structurale sau a modelelor matematice utilizate, comparația criteriilor de proiectare cu răspunsul real și avariile;
- identificarea caracteristicilor structurale, a efectului modurilor superioare proprii de oscilație, în comparație cu datele obținute la microseisme;
- verificarea deplasărilor relative de nivel maxime, a răspunsului de torsiune (dificil de stăpânit, în special pentru structurile asimetrice);
- identificarea necesităților de reparare și consolidare precum și a eficienței unor măsuri de intervenție precedente;

2. Experiența și tendințele de dezvoltare internajionale

În Statele Unite ale Americii, prevederile celui mai cunoscut normativ pentru construcții - Uniform Building Code, recomandă în cazul zonelor seismice 3 și 4, instalarea de acceleroografe în noile clădiri înalte cu mai mult de 6 etaje înălțime și o arie totală de minim 5.574 m². În general, este cerută instalarea a

minim 3 echipamente: la bază, la mijloc și la nivelul ultim al clădirii, echipamente interconectate pentru declanșare simultană, eșantionare și bază de timp comune. La clădirile cu mai mult de 10 niveluri, fără a se ține seama de aria construită, instrumentarea seismică este obligatorie și trebuie prevăzute minimum trei accelero grafe triaxiale.

Acum câțiva ani, în SUA, erau instrumentate seismic peste 1350 de amplasamente; în California erau instalate peste 550 instrumente în 135 clădiri, 20 baraje, 25 poduri, etc. (Celebi, 2000, 2001).

Instrumentarea seismică a clădirilor a evoluat odată cu trecerea timpului spre o instrumentare de tip „rețea” de captori pentru înregistrarea mișcării seismice, sau a altor parametri mecanici, amplasați pe baza unui studiu dinamic adecvat și conectați la o stație de înregistrare centrală, prin intermediul cărora poate fi urmărită în timp real oscilațiile, începând cu perceperea mișcărilor uzuale, până la mișcări seismice care pot produce avarii. Aceste date sunt obținute în condițiile în care seismicitatea de fond este monitorizată de alte sisteme.

Astfel, Sistemul de informare seismică pentru răspunsul de urgență CUBE (inițiat în 1990, de Caltech și USGS din Pasadena), transmite în câteva minute date privind magnitudinea și epicentrul unui cutremur, agențiilor de apărare civilă, autorităților, companiilor private, iar Sistemul de monitorizare automată a cutremurelor puternice (AMOES) furnizează prin INTERNET determinări rapide de accelerații ale mișcărilor seismice puternice.

În Japonia, rețelele seismologice s-au dezvoltat și dotat cu un mare număr de aparate din fondurile Ministerului Construcțiilor, prin grija institutelor de cercetări în construcții, în primul rând pentru amplasamentele unor mari porturi, poduri, tuneluri, clădiri.

După cutremurul Kobe din 1995, a fost realizată o nouă rețea de înregistrare a mișcărilor seismice puternice K-NET (Kyoshin), bazată pe 1000 de stații seismice noi, special construite, cu comunicare prin INTERNET; seismografele K-NET 95, instalate pe teren liber, la o distanță medie de 25 km pot înregistra orice cutremur de magnitudine 7 din Japonia.

Agenția de apărare împotriva incendiilor a inițiat un proiect pentru creșterea numărului de accelerometre la nivelul fiecărei municipalități din Japonia - în total 3.255, excluzând municipalitățile care dețin deja instrumente. În prezent, televiziunea japoneză transmite imediat atât harta zonei în care s-a produs un seism, cât și intensitățile seismice estimate pentru teritoriul adiacent.

În Europa dezvoltarea rețelelor seismice a fost mai lentă, dar în prezent sunt amplasate câteva mii de instrumente; recent, au cunoscut o dezvoltare deosebită rețelele telematice, pentru transmiterea mai multor categorii de date, cum ar fi cele de mediu.

În Italia, unul dintre proiectele prioritare ale Serviciului Seismic Național este Sistemul de observare seismică pe clădiri, care își propune atât crearea unei rețele instrumentale de măsurare și înregistrare a răspunsului seismic pentru un eșantion semnificativ de clădiri cât și crearea și actualizarea modelelor numerice pentru acestea, utilizând tehnici avansate.

În Turcia, pe lângă rețeaua de înregistrări seismice pentru mișcări puternice, care include peste 100 aparate, a fost realizat *sistemul de monitorizare a rezistenței structurale și de alarmare imediată în caz de cutremur pentru poduri de mari deschideri*. Un astfel de sistem este instalat pe noul pod suspendat de peste Bosfor.

3. Instrumentarea seismică în România

În România, în domeniul monitorizării seismice există câteva rețele: INCERC, INCDFP, ISPH/GEOTEC, METROU, dintre care o parte sunt orientate spre instrumentare-monitorizare în construcții și lucrări publice; au fost instrumentate experimental clădiri, baraje și alte lucrări ingineresti. În prezent, rețeaua seismografică de înregistrare a cutremurelor puternice funcționează în cadrul Laboratorului Rețeaua Seismică Națională pentru Construcții, Laborator atestat pentru monitorizarea construcțiilor, în cadrul Sucursalei INCERC București a I.N.C.D.URBAN - INCERC (RNSC) în colaborare cu Inspectoratul de Stat în Construcții (ISC) și cu rețeaua care a aparținut Centrului Național de Reducerea Riscului Seismic (CNRRS), în prezent absorbit în INCD URBAN-INCERC și operează cu 117 aparate în teritoriu (dintre care 4 instrumentează clădiri) și 39 aparate în București (dintre care 7 instrumentează clădiri) (<http://www.incerc2004.ro>, <http://www.incerc.ro>). Înregistrările pe teren liber și pe clădiri au fost și sunt extrem de necesare proiectanților, deși au fost perioade în care INCERC a avut dificultăți în recunoașterea interesului public pe care acestea îl reprezintă și în asigurarea resurselor pentru întreținerea și extinderea rețelei seismice. Rețeaua Seismică Națională INCERC este cea mai mare din România, constând din peste 100 de accelerometre, din care peste 50 % digitale, distribuite în București și pe teritoriul țării.

Pentru urmărirea comportării în timp a structurilor de construcții există, realizat în INCERC, un sistem performant românesc de monitorizare continuă 24h/24h, realizat prin Programul Național de

Cercetare-Dezvoltare, AMTRANS INCERC, UTCB și ICI, 2002), având aplicație directă în monitorizarea seismică a construcțiilor, cu software adecvat de înregistrare/prelucrare date, utilizând softul performant Kinematics (Kinematics, 1989), sistem premiat la al 31-lea Salon al Invențiilor de la Geneva, Aprilie 2003.

Sistemul are caracteristicile:

- colectarea datelor pentru senzori externi ce pot înregistra deplasări, viteze, accelerații sau pentru orice traductor ce generează o tensiune electrică în raport cu mărimea urmărită (converor DSP 24biti)
- vizualizarea în timp real a datelor colectate
- stocarea datelor în blocuri de maxim o ora de înregistrare pe un suport magnetic nevolatil (hard disk) pentru durate prestabilite de timp
- (local, de ordinul zilelor, 15-25zile și cu retransmitere a datelor în sisteme de stocare de 1-2 ani, funcție de capacitatea acestora) - 8 canale pe zi, rata de eșantionare 200, convertor 24biti 672Mb/zi)
- ștergerea automată, în sistem circular (primele date înregistrate înlocuite de ultimele)
- copierea pe alte sisteme în interiorul ciclului de înregistrare
- stocarea sau prelucrarea datelor copiate pentru a fi salvate, prin utilizarea de softuri specifice în vederea analizării acestora pentru scopurile propuse (diagrame timp - mărime urmărită, spectre de răspuns, spectre Fourier, etc)
- Conectica TCP/IP 10/100Mbps
- Sistem de operare Linux

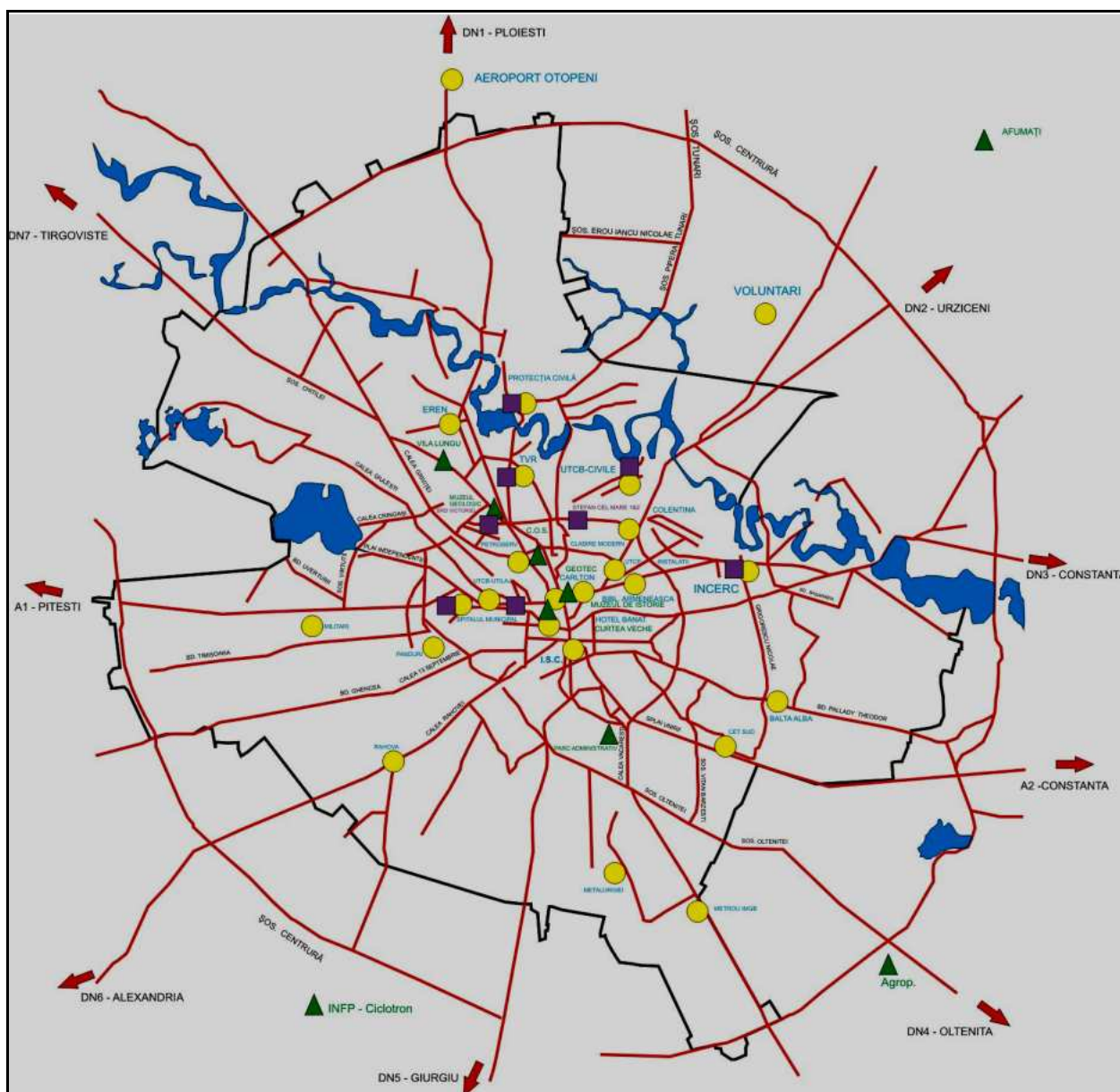


Fig. 1. Distribuția stațiilor de înregistrare seismică pe teritoriul municipiului București (Aldea et al., 2004)

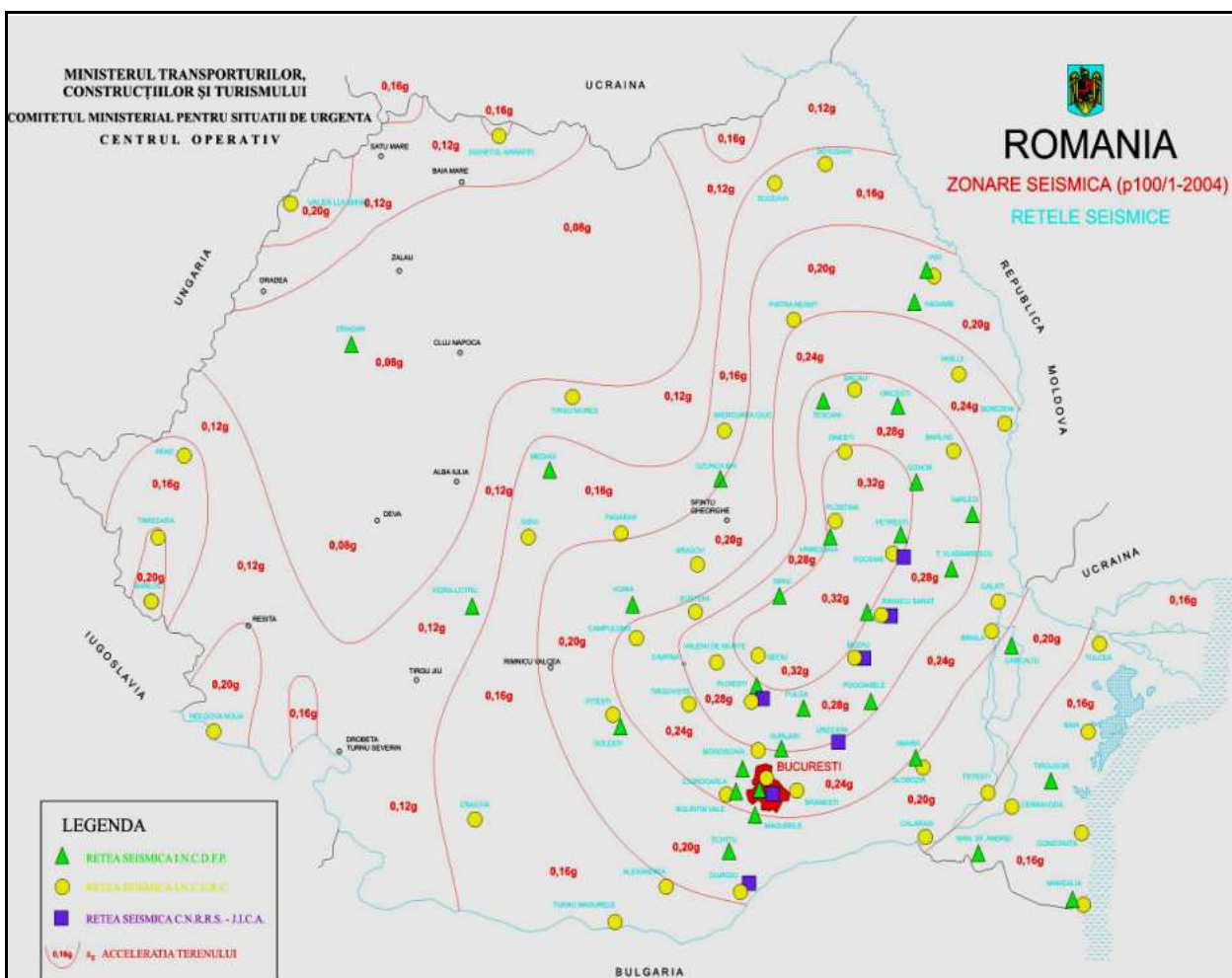


Fig. 2. Distribuția stațiilor de înregistrare seismică pe teritoriul României (Aldea et al, 2004)

INCERC a experimentat conecția wireless, pentru acces la punctele de colectare a datelor și a constatat ineficiența ei (lipsa de fiabilitate a sistemului și de funcționare în condiții critice - aplicație prin Facultatea de Construcții Agrozootehnice București - în monitorizarea alunecărilor de teren 2007 - Prof. Nedelcu) constatând că cel puțin pentru mediul urban sunt necesare conexiuni îngropate în teren de tipul fibrei optice.

Necesitatea instrumentării extinse a unor clădiri de interes național, astfel încât informații cu privire la comportarea unor categorii structurale să fie disponibile într-un interval de timp redus de la producerea unui cutremur de pământ sunt aplicații pe care I.N.C.D. URBAN-INCERC le dezvoltă cu prioritate în acest moment, vizavi de restructurarea RNCS, pentru dezvoltare și integrare în Uniunea Europeană.

Astfel au fost instrumentate în București o serie de clădiri noi, construite în ultimii cinci ani, cu mai mult de zece nivele, pe lângă construcțiile vechi monitorizate.

Pe măsura relansării economice și a integrării depline în Uniunea Europeană, în zonele seismice din țara noastră se construiesc tot mai multe structuri înalte, precum și alte dotări importante, multe având parteneri străini, care doresc protecția capitalului investit. În acest scop sunt necesare abordări avansate, bazate pe tehnici și echipamente automatizate.

4. Exemplu de exploatare a informațiilor instrumentale

În ultima perioadă de timp zona seismogenă vrânceană a fost relativ activă. Unul dintre evenimentele seismice semnificative a fost cel din 14 mai 2005, produs la ora locală 04:53 ($M_w = 5.2$, $h = 147\text{km}$, coordonate epicentru (45.64N, 26.53E), codificat 051) (<http://www.infp.ro/>)

Blocul de locuințe instrumentat seismic din București, Șos. Ștefan cel Mare nr. 44 face parte din rețeaua seismică ICA/CNRSS, este instrumentat cu un sistem cu înregistrare numerică K2 (Kinematics) cu senzori instalați la 4 nivele (subsol (codificat 11), etajul median (codificat e4), etajul 10 (pe planșeul

inferior (codificat k2) și pe planșeul superior (codificat e11) și este reprezentat în figură (Lungu, 2004) împreună cu istoriile în timp ale accelerațiilor absolute, în plan orizontal, înregistrate la cutremurul din 14 mai 2005. Acest bloc este primul care a oferit înregistrări pe 4 nivele la cutremure vrâncene de intensitate moderată.

Pe lângă istoriile în timp ale accelerațiilor absolute, în cele ce urmează vor prezentate unele prelucrări care contribuie la înțelegerea răspunsului structurii, cum ar fi spectrele de răspuns în accelerații absolute (spectre de etaj), spectre Fourier de amplitudine și funcții de amplificare pentru înregistrările obținute la cutremurul vrâncian din 14 mai 2005 în blocul de locuințe instrumentat seismic analizat (Borcia, 2005).

În acest context, precizăm că pentru înregistrările obținute în clădiri instrumentate seismic spectrele de răspuns reprezintă spectre de acțiune (spectre de nivel sau spectre de etaj) pentru echipamente, instalații, etc. amplasate la acel nivel al structurii. Trebuie subliniat faptul că respectivele spectre NU reprezintă spectre de proiectare pentru structură.

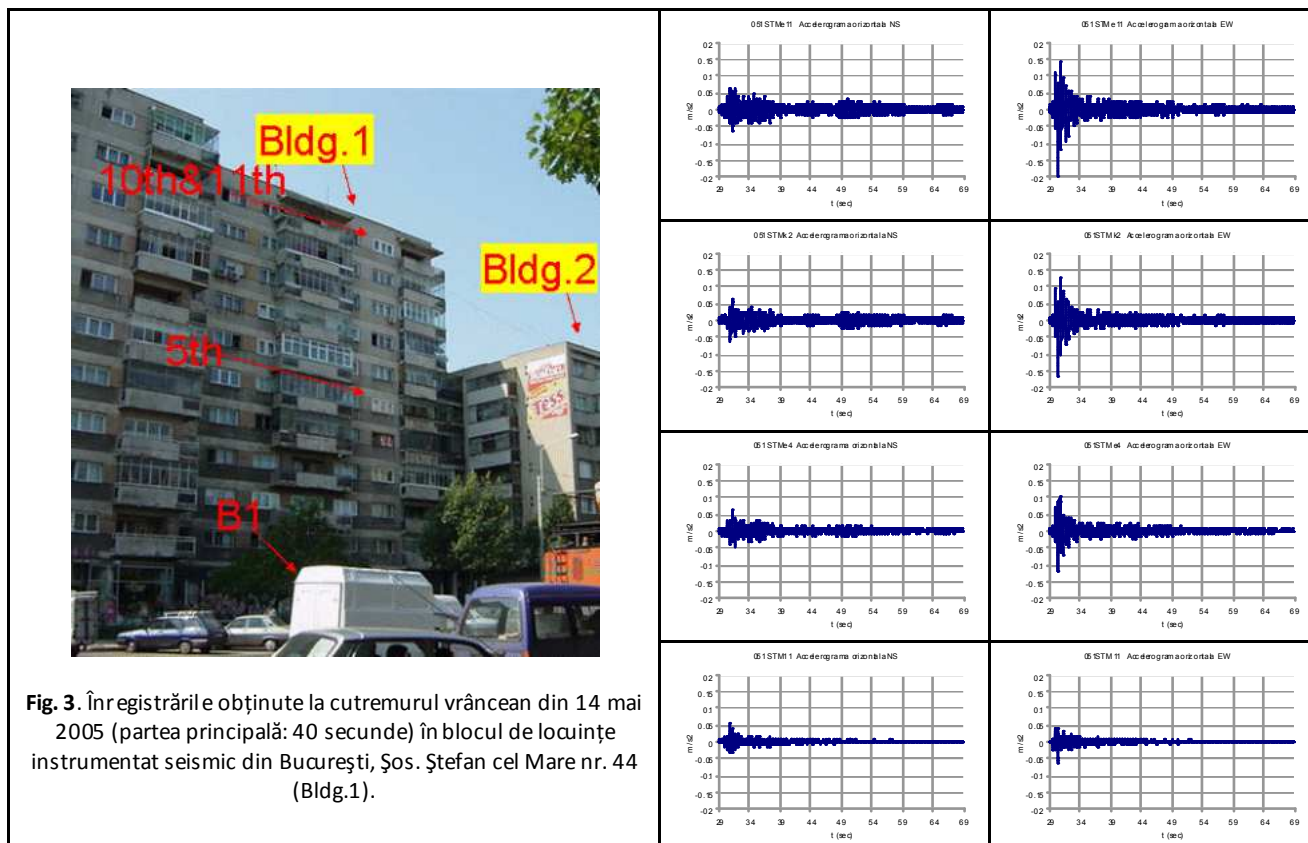
Spectrele de răspuns în accelerații absolute (spectre de etaj) furnizează valorile maxime ale accelerației bazei unui pendul cu o anumită perioadă proprie T

amplasat, de exemplu, la nivelul terenului (11) sau a ultimului nivel (e11); astfel (coloana din stânga a figurii 4), un pendul cu perioada proprie $T=0.18$ sec. ar fi fost supus unei accelerații la bază de 0.697 m/s² dacă ar fi fost amplasat la nivelul e11 și unei accelerații la bază de 0.207 m/s² dacă ar fi fost amplasat la nivelul terenului; de asemenea, un pendul cu perioada proprie $T=0.57$ sec. ar fi fost supus unei accelerații la bază de 0.469 m/s² dacă ar fi fost amplasat la nivelul e11 și unei accelerații la bază de 0.068 m/s² dacă ar fi fost amplasat la nivelul terenului.

Pentru compararea cu prevederile din noul „Cod de proiectare seismică - Partea I: Prevederi de proiectare pentru clădiri” – indicativ - P100-1 / 2006:

„ $K_z = 1 + 2 \frac{z}{H}$ coeficient care reprezintă amplificarea

accelerației seismice a terenului pe înălțimea construcției, în care: z cota punctului de prindere de structură a Componentelor NeStructurale ale construcțiilor; H înălțimea medie a acoperișului în raport cu baza construcției;” se prezintă, în tabelul următor, accelerațiile seismice înregistrate la trei nivele ale clădirii, pentru cele două direcții NS și EW în plan orizontal, amplificările accelerațiilor și valorile coeficientului K_z .



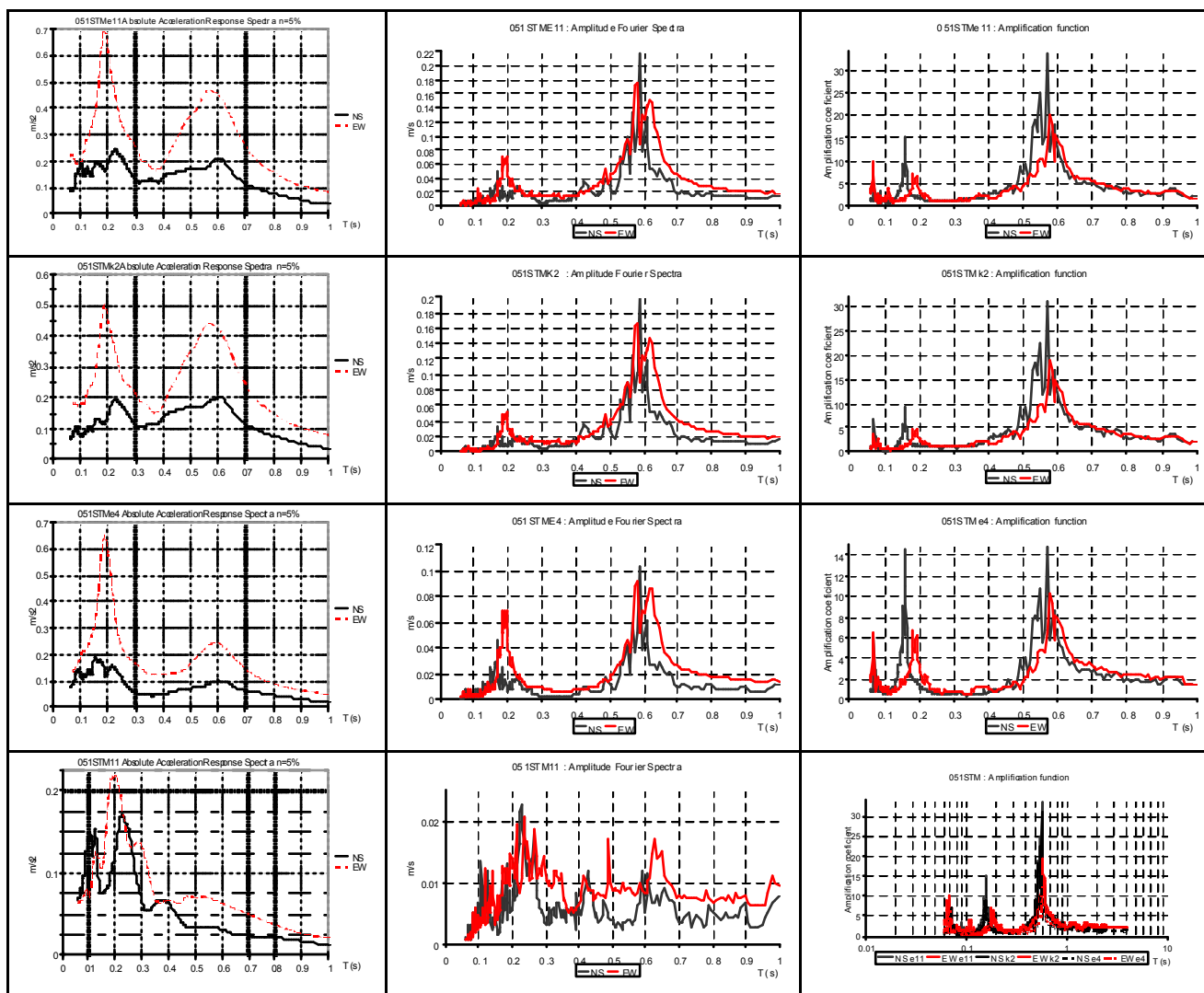


Fig. 4. Spectre de răspuns în accelerații absolute (spectre de etaj), spectre Fourier de amplitudine și funcții de amplificare pentru înregistrările obținute la cutremurul vrâncean din 14 mai 2005 în blocul de locuințe instrumentat seismic din București, Șos. Ștefan cel Mare nr. 44.

Cod seism 051	Acc. (m/s^2)		amplificarea accelerației seismice a terenului		cum este prevăzută în (P100-1/2006)
nivel	NS	EW	NS	EW	Kz
e11	0.0652	0.1975	1.17	3.13	3
e4	0.0612	0.1232	1.10	1.95	2
11	0.0558	0.0631	1	1	1

Se observă că, pentru exemplul prezentat, la cutremurul vrâncean moderat din 14 mai 2005, amplificarea accelerației seismice a terenului la nivelul superior al construcției depășește valoarea din noul cod de proiectare P100-1/2006, fapt care nu se întâlnește în cazul unor cutremure vrâncene puternice (Demetriu și Borcia, 2001; Borcia, 2006).

De asemenea, perioadele proprii ale structurii determinate din spectrele de etaj (de nivel) ale înregistrărilor sunt în jurul valorilor de perioade 0.6

sec și 0.2 sec (coloana din mijloc a Fig. 4) și, în sfârșit, că amplificările maxime se observă a fi de până la 33 ori în jurul valorii de $T = 0.57$ sec și de până la 15 ori în zona valorii $T = 0.17$ sec (coloana din dreapta a Fig. 4).

5. Concluzii

Instrumentarea seismică a clădirilor este o formă de monitorizare specifică și reprezintă un sistem modern, complex și multilateral de obținere a datelor seismice, atât cu privire la caracteristicile seismice ale

amplasamentelor, cât și referitor la caracteristicile dinamice de răspuns ale structurilor.

Considerăm normal și justificat ca atunci când la proiectarea unor investiții importante s-au utilizat programe de calcul avansat, sau atunci când clădirile au o mare utilizare, un rol social deosebit și s-au investit fonduri publice sau private importante, comparația de după seisme să fie efectuată cu date specifice certe, reale, date de instrumente corespunzătoare. Fără aceste date nu poate fi vorba de un progres în asigurarea unui nivel sporit de siguranță structurală.

Având în vedere caracterul aleatoriu al fenomenului seismic, fiecare cutremur furnizează informații suplimentare despre o anumită zonă seismică, date care trebuie integrate cu datele privind mișcarea seismică la sursă și în puncte de referință de pe traseul către epicentru, cu observațiile și analizele ingineresti privind comportarea structurilor la amplasament.

De altfel, noul „Cod de proiectare seismică - Partea I: Prevederi de proiectare pentru clădiri” – indicativ - P100-1 / 2006, prevede în anexa A, următoarele cu privire la instrumentarea seismică viitoare a construcțiilor din România („A.4. Instrumentarea seismică a construcțiilor):

In zonele seismice pentru care valoarea accelerației de proiectare a_g având $IMR \geq 100$ ani este $a_g \geq 0,24g$, construcțiile având înălțimea peste 50 m sau mai mult de 16 etaje sau având o suprafața desfășurată de peste 7500m², vor fi instrumentate cu un sistem de achiziție digital și minim 4 (patru) senzori triaxiali pentru accelerație.

Această instrumentare minimală va fi amplasată astfel: 1 senzor în câmp liber în vecinătatea construcției, 1 senzor la subsol și 2 senzori pe planșeul ultimului etaj. Instrumentele vor fi amplasate astfel încât accesul la aparate să fie posibil în orice moment.

Instrumentarea, întreținerea și exploatarea este finanțată de proprietarul construcției și este realizată de organizații autorizate.

Înregistrările obținute în timpul cutremurelor puternice trebuie puse la dispoziția autorităților abilitate și a instituțiilor de specialitate în 24h de la producerea cutremurului.”

Costul instalației este redus în raport cu valoarea totală a unei clădiri înalte moderne, cu finisaje, dotări, instalații și echipamente moderne, sau față de cea a unei investiții industriale, care altfel ar fi

scoasă din funcțiune în așteptarea expertizării tradiționale.

Înțelegerea corectă de către proiectant a importanței și a influenței diferiților factori asupra răspunsului dinamic structural, precum și corelarea lor cu obiectivele de interes pentru beneficiar, conduce la o alegere și la o distribuție adecvată a componentelor sistemelor de monitorizare seismică în clădire.

La cerere, specialiștii I.N.C.D. URBAN-INCERC pot asigura consultanța necesară proprietarilor și proiectanților de sisteme de monitorizare cat si instrumentarea unor clădiri cu echipament propriu (pentru clădiri de interes național și științific) sau cu echipamente ale proprietarilor de clădiri.

De asemenea prin laboratoarele atestate poate asigura prelucrarea și interpretarea datelor din monitorizări, cat si determinări experimentale, în vederea cunoașterii capacității reale de rezistență a construcției avariate/neavariate și a stabilirii soluțiilor de consolidare.

BIBLIOGRAFIE

- Aldea A., Kashima T., Lungu D., Vacareanu R., Koyama S., Arion C. (2004), *Modern Urban Seismic Network în Bucharest, Romania*, First International Conference on Urban Earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology, Japan.
- Bălan Ș., Cristescu V., Cornea I. - Coord. (1982), *Cutremurul de pământ din România de la 4 martie 1977*. Editura Academiei, București.
- Borcia I. S. (2002), *Prelucrarea înregistrărilor obținute în timpul cutremurelor vâncene puternice în două clădiri instrumentate seismic din municipiul Galați*, în: *Materialele Conferinței naționale, cu participare internațională - Comportarea în SITU a Construcțiilor*, Galați.
- Borcia I. S. (2005), *Prelucrarea înregistrărilor obținute în timpul cutremurelor vâncene recente într-un bloc de locuințe instrumentat seismic din București*, în: *Construcții civile și industriale* 6(66-68).
- Borcia I. S. (2006), *Procesarea înregistrărilor mișcărilor seismice puternice specifice teritoriului României*, Teza de doctorat, UTCB, București.
- Celebi M. (2000), *Seismic Instrumentation of Buildings*, Open-File Report 00-157 USGS, Menlo Park, California.
- Celebi M. (2001), *Current Practice and Guidelines for USGS Instrumentation of Buildings Including Federal Buildings*, în: *Proc. COSMOS Workshop on Structural Instrumentation*, USA.
- Demetriu S, Borcia I. S. (2001), *Seismic Response of Instrumented Buildings during Vrancea Earthquakes*, Bulletin of Technical University of Civil Engineering, Structural Mechanics and Structural Engineering 21-11.

INCERC, UTCB, ICI (2002), *Diagnosticarea siguranței în exploatare și a stării de degradare seismică pentru construcții civile și construcții în transporturi, pe baza măsurătoarelor dinamice la scară naturală*, referate la Programul AMTRANS nr. 1B02/2001.

Kinematics Inc. (1989), *Seismic Workstation Software, User's Manual*, SUA.

Lungu D. (2004), *Earthquake Mitigation în Romania: Synergy from International Projects*, în: *Review of the Collaborative Research Center 461 "Strong Earthquakes: A Challenge for Geosciences and Civil Engineering"*, Karlsruhe, September 28 - 29, 2004.

MDRL (2006), *Cod de proiectare seismică - Partea I - Prevederi de proiectare pentru clădiri, indicativ P 100-1/2006*, București