

CUANTIFICAREA EVOLUȚIEI STRUCTURALE A MARILOR BARAJE PRIN INVESTIGAȚII NUMERICE ȘI EXPERIMENTALE

Proiect CEEEX 37/2005

1. SCURTĂ PREZENTARE A PROGRAMULUI DE CERCETARE

În anul 2005, Ministerul Educației și Cercetării a inițiat un nou program de cercetare intitulat „Cercetare de excelență” (CEEEX), unul dintre scopurile principale ale acestuia fiind promovarea cercetării științifice la un grad cât mai înalt de performanță. Centrul Național de Inginerie Seismică și Vibrații (C.N.I.S.V.) din cadrul Universității Tehnice de Construcții București a câștigat prin competiție proiectul intitulat „Cuantificarea evoluției structurale a marilor baraje prin investigații numerice și experimentale”, la care a avut ca parteneri Academia de Științe Tehnice din România (A.S.T.R.), Administrația Națională „Apele Române” (A.N.A.R.) și Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” din Iași.

Marile baraje reprezintă un caz deosebit de important de evaluare a riscului seismic. Pe de o parte barajele în sine au o valoare ridicată, acestea având implicații în întreaga economie prin activitatea de producere de energie electrică, de alimentare cu apă a sistemelor de irigații și de prevenire a inundațiilor etc. Pe de altă parte, avarierea structurală a unui baraj poate conduce la dezastre majore prin expunerea populației la efecte produse de inundații neașteptate. Situația din România este de o asemenea natură încât trebuie să se aibă în vedere siguranța viitoare a barajelor existente. Primul motiv este acela că aceste baraje au fost proiectate și construite pe baza unor norme tehnice care, în marea lor majoritate, nu mai sunt în vigoare în prezent, un al doilea motiv fiind reprezentat de schimbările majore ale climei din ultima perioadă de timp, care au condus la volume de apă din ce în ce mai mari în lacurile de acumulare ale acestora. Un al treilea motiv logic, este reprezentat de vechimea barajelor existente.

Scopul principal al acestui proiect a fost acela de a dezvolta și de a îmbunătăți procedee de calcul și procedee experimentale pentru studierea stării tehnice actuale a barajelor de beton existente în vederea reducerii riscului la acțiuni dinamice a acestora. Activitățile desfășurate au condus la formularea unor concluzii referitoare la predicția evoluției structurale a marilor baraje de beton și la realizarea unui program modern de monitorizare, pentru început pentru cele trei baraje pilot selectate, având intenția de extindere la toate barajele importante din România. În plus, s-a avut în vedere și instrumentarea seismică a unuia dintre cele trei baraje pilot selectate, acesta fiind barajul „Paltinu”, celelalte două fiind barajul „Poiana Uzului” și barajul „Gura Râului”.

Ținând seama de aria tematică a proiectului, programul de cercetare a fost axat pe reducerea vulnerabilității barajelor la acțiuni dinamice, inclusiv seismice și pe eliminarea consecințelor posibile ale dezastrelor naturale asociate marilor baraje de beton.

2. ACTIVITĂȚILE PRINCIPALE ALE PROIECTULUI

Pe perioada de desfășurare a proiectului s-au avut în vedere următoarele direcții de activitate:

- 1) investigații instrumentale *in situ*, pentru determinarea caracteristicilor dinamice proprii ale celor trei baraje pilot;
- 2) elaborarea modelelor de calcul structural și determinarea modurilor proprii de vibrație (frecvențe proprii, forme proprii, amortizări); corelarea rezultatelor obținute prin calcul cu cele rezultate în urma programului de investigații instrumentale;
- 3) implementarea unui concept de monitorizare în timp a fiecărui baraj pilot în parte și instrumentarea seismică a unuia dintre acestea;
- 4) elaborarea unui concept de control evoluat pentru urmărirea siguranței structurale a barajelor și stabilirea unor măsuri pentru reducerea riscului reprezentat de aceste construcții inginerești;
- 5) studii teoretice cu caracter analitic.

3. BARAJE PILOT SELECTATE PENTRU PROIECTUL DE CERCETARE

În ultimele decenii, pe plan mondial s-au realizat progrese semnificative referitoare la: înțelegerea modului în care cutremurele de pământ acționează asupra barajelor de beton armat, monitorizarea mișcărilor seismice, monitorizarea comportării acestora la acțiuni generate în timpul evenimentelor seismice, evaluarea procesului de proiectare a barajelor noi și expertizarea tehnică a celor existente. „*Un baraj prezintă siguranță dacă acesta asigură populației și bunurilor materiale un nivel de protecție cerut în cazul cedării barajului și care îndeplinește criteriile de siguranță curent utilizate în domeniul ingineriei*”. Principiul de bază utilizat în controlul siguranței presupune că tuturor persoanelor trebuie să li se asigure același nivel de protecție împotriva unui potențial hazard și același nivel de pregătire pentru cazurile de urgență, independent de mărimea barajului sau a lacului de acumulare.

În prezent, în România există 18 baraje de tip „arc”. Domeniul maxim de înălțime a acestora variază de la 24 la 64 m, iar înălțimea a trei dintre acestea depășește 100 m. Din această grupă de baraje a fost selectat ca baraj pilot, *barajul „Paltinu”*, ținând seama de următoarele aspecte: vechimea sa (perioada de construire cuprinsă între anii 1960 și 1971), amplasamentul seismic (la incidența zonelor seismogene Vrancea și Câmpulung-Făgăraș), înălțimea maximă deasupra structurii de fundare – 108 m și comportarea anormală a barajului din anul 1974 (deplasări mai mari decât cele calculate, mișcări la nivelul structurii de fundare, deschiderea rosturilor, apariția unor crăpături în masivul de rocă de la suprafață și o creștere semnificativă a infiltrațiilor, de la 10l/s la 150l/s).

Cel de-al doilea baraj pilot selectat a fost barajul de tip „cu contraforți”, *„Poiana Uzului”*. Acesta are în alcătuirea sa patru contraforți masivi cu înălțimi maxime variabile între 41 și 82 m și a fost construit în perioada anilor 1970-1980. Motivul principal pentru selectarea acestui baraj a fost înălțimea lui de 82 m, constituind cel mai înalt baraj de acest tip din țară. Cel de-al doilea motiv care a stat la baza alegerii sale a fost comportarea sa în timp, în mod special în perioada 16 aprilie – 15 mai 1984, când au fost constatate deplasări semnificativ mai mari decât cele așteptate și mișcări verticale ale ploturilor situate în vecinătatea versantului din dreapta acestuia.

Cel de-al treilea baraj *„Gura Râului”* (baraj de tip „cu contraforți”), a fost ales din cauza unor condiții geologice favorabile de fundare. În cazul acestui baraj, deplasările și infiltrațiile au fost mai reduse decât la alte baraje „cu contraforți” aflate în exploatare.

4. REZULTATE OBȚINUTE

O evaluare a acțiunilor seismice asupra răspunsului unui baraj este o sarcină complexă. Aceasta presupune nu numai conceperea unor modele de calcul structural realizate cu acuratețe, ci și cunoștințe de calcul matematic și de utilizare a unor algoritmi specifici, prin intermediul cărora să poată fi transferată informația obținută pe cale instrumentală în procesul de proiectare, urmărind rafinarea modelelor de calcul structural.

Începând cu anul 2005, a fost inițiat un program de achiziție a datelor instrumentale asociate vibrațiilor barajelor, utilizând ca excitație *agitația microseismică* și funcționarea unor echipamente aflate în corpurile barajelor. Pentru fiecare set de investigații instrumentale, au fost determinate frecvențe proprii, forme proprii și fracțiuni din amortizarea critică, informații utilizate ulterior în procesul de concepere a modelelor de calcul structural pentru barajele pilot selectate. Pe baza rezultatelor investigațiilor instrumentale a putut fi evaluată evoluția comportării structurale și răspunsul acestora în domeniul liniar elastic. Pe parcursul desfășurării programului de cercetare, investigațiile instrumentale au fost realizate în mai multe etape, urmărind *„sezonul cald”* și *„sezonul rece”* și nivelul apei din lacurile de acumulare.

Ținând seama de parametrii modali, cât și de intensitatea vibrațiilor pusă în evidență de rezultatele investigațiilor instrumentale și efectuând compararea acestora cu rezultatele obținute după efectuarea calculului structural, au putut fi trase concluzii cu privire la starea tehnică și comportarea actuală a barajelor pilot, la capacitatea acestora de a răspunde la acțiuni dinamice, inclusiv seismice, la condițiile de întreținere și la predicția comportării acestora la solicitări cu caracter dinamic viitoare. În acest scop au fost efectuați mai mulți pași:

- stabilirea unor modele de calcul structural cu elemente finite, realizate în conformitate cu planurile de rezistență existente ale celor trei baraje pilot;

- determinarea frecvențelor proprii de vibrație și a formelor proprii de vibrație pentru fiecare baraj, pe baza calculului acestora la acțiuni dinamice; frecvențele proprii de vibrație au reprezentat un parametru esențial pentru descrierea comportării barajelor în domeniul elastic de comportare;
- stabilirea punctelor de amplasare a captorilor pentru efectuarea înregistrărilor de vibrații, pe baza rezultatelor obținute în procesul de calcul structural; achiziția datelor în aceste puncte, cu ajutorul unor echipamente de înaltă sensibilitate, de ultimă generație;
- reprezentarea grafică a rezultatelor obținute: reprezentări în domeniul timp (viteze, deplasări) și reprezentări ale spectrelor Fourier de amplitudine;
- compararea frecvențelor proprii identificate instrumental cu valorile obținute pe baza modelelor de calcul structural, recalibrarea acestora la fiecare etapă de măsurători și interpretarea inginerescă a diferențelor constatate;
- calculul fracțiunilor din amortizarea critică pe baza datelor instrumentale achiziționate; după cum este cunoscut din literatura tehnică de specialitate, proprietățile de amortizare au o semnificație deosebită în identificarea comportării structurale, în mod particular un indicator important cu privire la gradul de exploatare curentă a barajelor existente.

Un alt rezultat al proiectului a fost acela al realizării unui program de urmărire integrată a comportării construcțiilor hidrotehnice, denumit UCCWAT, ale cărui obiective principale constau în:

- achiziția (manuală sau de la stații automate) a datelor de UCC și prelucrarea primară a acestora (conversii, filtrări, validări, arhivări, protecții etc.);
- transferul datelor prin rețele de comunicație (intranet, rețele de firmă etc.) în întreaga țară, de la punctele de achiziție la laboratoarele autorizate de analiză și decizie;
- modelări matematice cu instrumente multiple, în vederea evidențierii tendințelor de evoluție a parametrilor monitorizați;
- realizarea de limite dinamice de evoluție a parametrilor modelați cu posibilitate de actualizare continuă a modelelor, în vederea obținerii de informații cu caracter operativ;
- asistarea elaboratorilor autorizați de documentații de analiză a comportării construcțiilor hidrotehnice la întocmirea acestor documentații prin predefinire și tipizare;
- realizarea unei componente operative care să poată avertiza autoritățile competente (în condiții stabilite de legile și normativele în vigoare);
- experimentarea programului UCCWAT prin implementări multiple, validarea și autorizarea pentru exploatare a modelelor matematice elaborate și a documentației tipizate.

UCCWAT este destinat utilizării lui de către Administrația Națională „Apele Române”, care are în patrimoniu baraje sau alte amenajări hidrotehnice, fiind deja instalat atât în punctele de colectare a datelor la cele trei baraje pilot, cât și la sediile Direcțiilor de Ape Olt, Buzău-lalomița și Siret. În cadrul proiectului, a fost de asemenea decisă instrumentarea seismică a barajului „Paltinu”, până în prezent fiind întreprinse următoarele etape:

- *faza preliminară* (stabilirea punctelor de amplasare a echipamentelor și a caracteristicilor acestora);
- *faza intermediară* (stabilirea tipurilor de echipamente potențiale pe baza analizelor tehnice, financiare și operative);
- *faza finală* (achiziția echipamentelor necesare).

Administrația Națională „Apele Române” se va implica în efectuarea lucrărilor de pregătire în vederea instalării echipamentelor seismice achiziționate (postamente pentru accelerografe, alimentare cu energie electrică, interconectare a cablurilor, asigurarea securității echipamentelor etc.).

5. STUDII TEORETICE CU CARACTER ANALITIC

O primă direcție principală a acestor studii s-a referit la analiza vibrațiilor barajelor. După o serie de referiri la formularea sistemului de relații și a problemei matematice, au fost făcute referiri mai detaliate la unele aspecte care implică în prezent diferite dificultăți. Aspectele la care se face referire sunt interacțiunea dinamică baraj – rocă, natura nesincronă a acțiunii seismice

pe întinderea interfeței baraj – rocă și necesitatea teoretică de a se considera probleme de valori proprii neclasice în analiza modurilor proprii în scopul determinării soluțiilor problemei de oscilații. S-au făcut referiri la modele stochastice în legătură cu acțiunile nesincrone. Problema de valori proprii a fost examinată în spațiul imaginilor Laplace – Carson ale funcțiilor de variabilă timp întâlnite în analiza oscilațiilor. Un exemplu ilustrativ simplu a pus în evidență specificul soluțiilor (valori proprii și vectori proprii depinzând de frecvențele de oscilație, funcții de transfer determinate pe această bază).

O altă direcție s-a referit la analiza hazardului seismic care afectează amplasamentele barajelor. Au fost deduse expresii noi pentru funcțiile de recurență a magnitudinilor, pentru cele mai importante trei zone seismogene ale României. Pe baza unor convoluții probabilistice corespunzătoare, au fost determinate funcții de recurență pentru intensități într-o abordare parametrică, pentru câteva amplasamente de baraje din România.

A fost elaborată o privire de ansamblu asupra unor probleme principale ale monitorizării barajelor, în special în legătură cu riscul seismic. A fost prezentată o sinteză asupra activităților și experienței din România. Au fost prezentate, ca exemple de luat în considerare, câteva analize privind comportarea barajelor, elaborate de institute din California în colaborare cu alte institute.

O direcție de sinteză în acest domeniu s-a referit la o discutare a necesităților de dezvoltări viitoare. Ele au avut în vedere probleme analitice și, de asemenea, necesitățile de îmbunătățire a echipamentelor și, în consecință, a tehnicilor activităților experimentale, inclusiv a dezvoltării de rețele accelerografice adecvate, la amplasamentele barajelor.

6. DISEMINAREA REZULTATELOR

Rezultatele obținute în cadrul proiectului au fost prezentate la cei mai importanți agenți care au în administrare sau proprietate mari baraje. Au fost făcute demonstrații cu privire la dezvoltarea modelelor hibride și definirea modulului global de elasticitate (MGE). U.T.C.B. a organizat cursuri de perfecționare profesională adresate inginerilor proiectanți de construcții hidrotehnice și personalului încadrat în compartimentele de urmărire a comportării în timp a construcțiilor hidrotehnice. De asemenea au fost publicate 32 de lucrări la simpozioane și conferințe naționale și internaționale. În anul 2007 diseminarea rezultatelor a fost realizată în cadrul unui simpozion internațional organizat de C.N.I.S.V. – U.T.C.B., în cadrul căruia o secțiune specială a fost dedicată acestor construcții ingineresti.

Întregul program de cercetare a condus la un mai bun control al siguranței structurale actuale a barajelor și la inițierea de măsuri pentru reducerea riscului reprezentat de aceste structuri ingineresti și nu în cele din urmă, la creșterea nivelului general de cunoaștere în acest domeniu.