

**PARTENERIATE**

**Proiect 69/2014**

**SIGURANTA BARAJELOR IN TIMPUL  
CUTREMURELOR DISTRUCTIVE: EVALUARE,  
IMBUNATATIRE, MONITORIZARE, AVERTIZARE SI  
PLANURI DE ACTIUNE IN SITUATII DE URGENTA  
DARING**



# PARTENERIATE

## Obiective prevazute/realizate

Barajele si rezervoarele mari de apa localizate in apropierea zonelor urbanizate reprezinta un risc potential atat pentru populatia cat si pentru proprietatile si infrastructurile aflate in aval, in cazul unei eliberari mari de apa ca urmare a producerii unui cutremur major.

Printre **factorii de tip seismic** ce pot constitui un risc pentru amenajările hidroenergetice menționăm: **seismicitatea indusă artificial; prezența surselor seismice naturale în zonă** și în apropierea sa; existența în compoziția versanților a materialelor instabile la oscilațiile seismice; producerea secvențelor de cutremure (preșocuri, replici, roiuri etc); migrația activității seismice; **prezența faliilor active in zona**; mișcări crustale recente (verticale și orizontale).

Un factor important de risc de tip seismic este dat de **existența unor surse seismice naturale în zona** amenajărilor hidroenergetice sau chiar în zone mai îndepărtate dar aflate la distanțe epicentrale care să nu depășească raza de acțiune a acestora. In acest scop este necesară cunoașterea zonelor seismogene delimitate pe teritoriul României și a țărilor învecinate, a caracteristicilor acestora (geologice, geofizice, seismice), a proprietăților de propagare ale undelor seismice (atenuare), a campului de tensiuni estimat pe baza cunoașterii mecanismelor focale de generare ale cutremurelor, etc.

Primul baraj documentat și care a prezentat avarii ca urmare a unui cutremur este barajul Augusta, în 1886, în timpul cutremurului din Charleston. De-a lungul timpului, din mai mult de 400 baraje supuse acțiunii unor cutremure majore doar 30 au fost raportate ca fiind distruse complet ca urmare a evenimentelor seismice, și doar câteva dintre acestea au fost baraje mari, din beton. Un singur baraj de greutate a fost distrus fiind construit chiar pe falia pe care s-a produs cutremurul. Cel mai recent dezastru datorat unui baraj care a cedat ca urmare a unui fenomen natural (Uraganul Maria), este cel datorat barajului Guajataca, din Porto Rico. 70000 de oameni au fost evacuați.

**Problema reducerii riscului la cutremure** este o problema multidisciplinara, deosebit de complexă. Ea implică cunoștințe de bază privind localizarea și caracteristicile sursei seismice ale cutremurului, modul cum energia emisă în focar acționează la suprafața pământului, evaluarea riscului efectelor secundare ca urmare a cutremurului (inundații, alunecări de teren etc). Prin urmare, strategiile de reducere a riscului seismic cer eforturi susținute pe multiple planuri, implicând multe discipline, de la științele geofizice de bază, la științe legate de inginerie, planificare sau protecție civilă. Proiectul de față este un exemplu de abordare interdisciplinară a problemei reducerii dezastrului natural și promovează o cooperare strânsă între domeniile implicate: seismologie, geofizică, fizica, mecanica, ingineria construcțiilor, planificare urbană, protecție civilă. Preocuparea pentru securitatea construcțiilor hidrotehnice existente și cele în curs de execuție a făcut ca în numeroase țări ale lumii, lacurile de acumulare să fie supravegheate din punct de vedere seismic. Unul din argumentele principale pentru supravegherea seismică a barajelor îl constituie riscul asociat seismicității induse. După o estimare statistică rezultă că la peste 75% din barajele construite lacurile au influențat seismicitatea locală.

O primă oficializare internațională a necesității supravegherii seismice a barajelor importante a fost inclusă în Rezoluția no.8.41 a Conferinței Interguvernamentale UNESCO privind evaluarea și diminuarea riscurilor seismice, care a avut loc la Paris în februarie 1976. În cadrul Rezoluției No.8.41 se menționează următoarele: "Pentru asigurarea gradului maxim de protecție a barajelor și a populației din zonele învecinate, ținând seama de riscul produs de seismicitatea indusă, Conferința recomandă Statelor Membre UNESCO, în care se proiectează mari lacuri de acumulare să organizeze o supraveghere seismică sistematică pentru a obține un control bun al zonelor hipocentrale și parametrilor focarelor care pot produce cutremure în zonele lacurilor de acumulare, cu cel puțin doi ani înainte de începerea construcției barajelor".

România este situată în câmpul de tensiune neogen din sud-estul Europei. În zona de curbura a Munților Carpați, o parte din zona hercinică a Europei este în contact cu placa euro-asiatică, ceea ce explică activitatea seismică în această zonă. Astfel, este justificată preocuparea pentru supravegherea seismică a barajelor mari din România și în special a celor aflate în raza de acțiune a cutremurelor majore din zona seismogenă Vrancea. În cadrul acestui proiect zonă de studiu este situată în partea de est a României și cuprinde baraje din județele: Vrancea, Galați, Bacău, Vaslui, Neamț și Iași plus județele din nordul țării, Suceava și Botoșani (Figura 1).

# PARTENERIATE

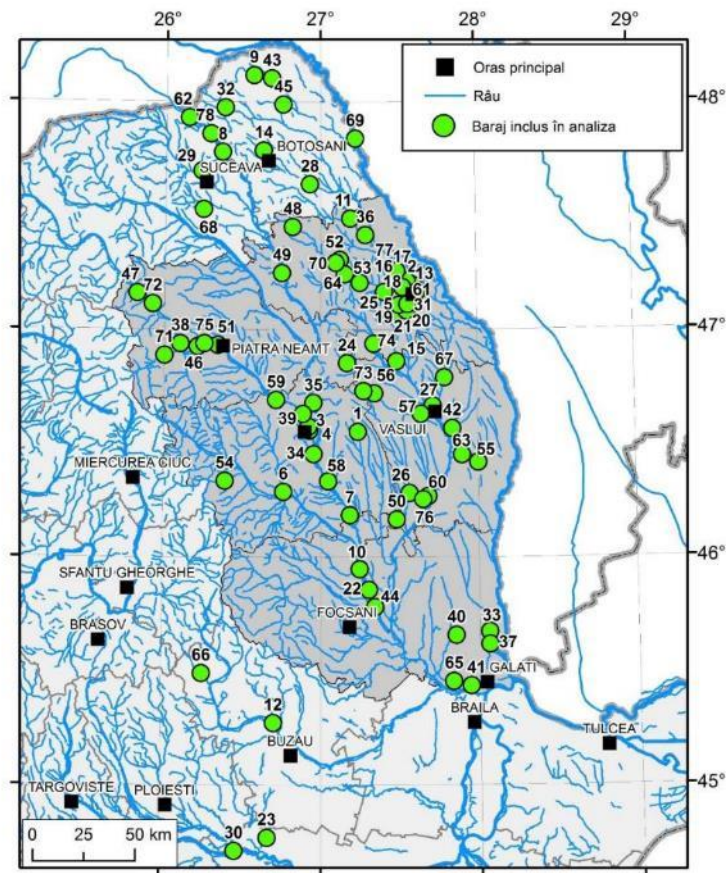


Figura 1. Zona DARING si cele 79 baraje studiate (<http://daring.infp.ro/miniportal.php>)

Proiectul **DARING - SIGURANTA BARAJELOR IN TIMPUL CUTREMURELOR DISTRUCTIVE: EVALUARE, IMBUNATATIRE, MONITORIZARE, AVERTIZARE SI PLANURI DE ACTIUNE IN SITUATII DE URGENTA** s-a desfasurat pe parcursul a patru ani calendaristici (2014-2017), fiecare an constituind o etapa a dezvoltarii si realizarii acestuia. Obiectivele fiecărei etape au fost realizate cu ajutorul activitatilor de cercetare industriala, rezultatele au fost apoi diseminate prin prezentarea lor la conferinte si publicarea unor articole in reviste indexate ISI si in carti sau capitole din carti publicate la edituri recunoscute CNCIS din Romania si la edituri de prestigiu din lume. Rezultatele au fost valorificate prin implementarea lor la beneficiari.

Mai jos sunt prezentate etapele proiectului, activitatile realizate si livrabilele asociate.

**Etapa I/2014: CONFIGURAREA TEORETICĂ A SISTEMULUI DE CERCETARE SI MONITORIZARE PENTRU SUPRAVEGHEREA SEISMICĂ A BARAJELOR a proiectului DARING** a fost organizata in patru activitati realizate de cei trei parteneri implicati, avand 5 livrabile (D1, D2, D3, D3' si D3''):

**Activitatea I.1.** Evaluarea probabilistica a hazardului seismic regional si local-Modele teoretice (Partea 1) (CO, P1)/D3. *Metode de estimare a hazardului si riscului seismic in zona barajelor;*

**Activitate I.2.** Evaluarea probabilistica a hazardului seismic regional si local (Partea 2) (CO, P1)/D3'. *Surse seismice care pot afecta amplasamentele barajelor in scopul estimarii acceleratiilor si intensitatilor in amplasamentele acestora. Cataloage, harti seismotectonice, mecanisme focale, parametri statistici; D3''. Magnitudini maxime si recurenta lor*

**Activitate I.3.** Configuratia optima a sistemului de monitorizare terestra pentru supravegherea seimica a barajelor: de la concept (C) la model experimental (EM) – Partea 1 (CO, P1); **D1. Sistem terestru de supraveghere si monitorizare seismica a barajelor: model conceptual**



## PARTENERIATE

**Activitate I.4.** Sistem spatial de monitorizare in scopul urmaririi stabilitatii pantelor: de la concept la model experimental - Partea 1 (P2); **D2.Sistem spatial de supraveghere si monitorizare a stabilitatii pantelor din zona barajelor: model conceptual**

In primele doua activitati (I.1 si I.2) au fost trecute in revista toate metodele de estimare probabilista a parametrilor seismicitatii, hazardului si riscului seismic, si apoi, dintre acestea s-au ales cele mai adecvate metode de prelucrare a informatiilor seismice tinandu-se cont de specificul cataloagelor de cutremure pentru zona de est a Romaniei.

Cataloagele de cutremure ale INCDFP (CO), au fost aduse la zi si apoi separate pe cele trei regiuni seismogene evidentiata prin studii geofizice si seismotectonice (Vrancea intermediare, Vrancea normale si depresiunea Barlad) – Figura 2. Evenimentele grupate de tip roiuri, secvente, pre si post socuri au fost separate pentru a obtine cataloage cu evenimente independente.

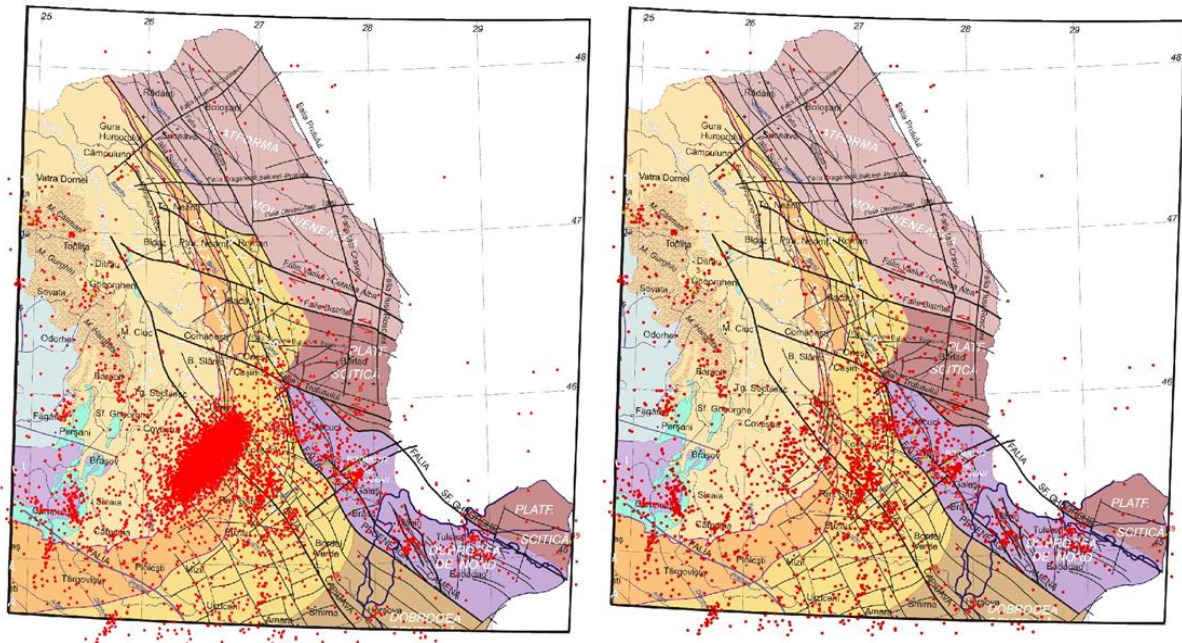


Figura 2. Seismotectonica zonei de studiu (a. Cu seismicitatea intermediare si b. Doar seismicitatea crustala);  $M_w \geq 2.5$ ; Perioada 1000-2014; Tectonica după Visarion et al., 1993, 1998, Polonic 1986

Pe cataloagele astfel obtinute s-au aplicat trei din metodele statistice prezentate teoretic si s-au obtinut relatii de recurenta, parametri statistici ai seismicitatii, magnitudini maxime probabile, asteptate, posibile cat si perioadele de recurenta ale acestora.

Rezultatele obtinute in urma realizarii acestor doua activitati au fost grupate in trei livrabile D3, D3' si D3'' (<http://daring.infp.ro/rezultate.php>), care constituie un „input” obligatoriu pentru activitatea II.1 din etapa urmatoare.

**Urmatoarele doua activitati (I.3 si I.4)** prezinta modelele conceptuale ale sistemelor de monitorizare spatiale si terestre (in situ) ale barajelor. In **Activitatea I.3** s-a realizat configuratia optima de monitorizare in situ a barajelor in scopul obtinerii celor mai importante informatii legate de seismicitatea regionala si locala naturala si indusa, despre nivelul apei in lacul de acumulare, despre conditiile atmosferice cat si despre situatia hidrologica din avalul barajelor. Scopul principal al monitorizarii complexe a barajelor este de a obtine toate informatiile necesare realizarii sistemului de avertizare si informare a populatiei personalului de interventie in situatii de urgenta, cum ar fi cutremurele majore si efectele lor secundare (D1).

Pe langa monitorizarea terestra a amplasamentelor de test (baraje, lacuri, pante si zone din aval) urmarirea comportarii zonelor va fi realizată si prin tehnologii spatiale, care vor permite inregistrarea/observarea si caracterizarea comportamentului structurii barajului, terenului si stabilitatii pantelor din împrejurimile barajelor de test, sub actiunea seismică. Aceste tehnologii sunt prezentate in **Activitatea I.3**. In cadrul acestei activitati, a fost dezvoltat un model conceptual al unui sistem spatial de monitorizare, bazat pe date satelitare radar (D2).

## PARTENERIATE

Aceste activitati au fost descrise in cadrul unui raport complet si au fost rezumate pe pagina web a proiectului: <http://daring.infp.ro/>, grupate pe livrabile D1, D2, D3, D3' si D3''.

**Etapa a II a/2015: CONFIGURAREA TEHNICA A SISTEMULUI DE CERCETARE, MONITORIZARE SI AVERTIZARE PENTRU SUPRAVEGHEREA SEISMICĂ A BARAJELOR** a fost structurata in doua parti, Partea I, partea de cercetare continand 5 activitati, avand 11 livrabile (D5, 6, 7, 8, 9,10, 11, 13, 19\_1, 19\_2 si D24):

**Activitatea 2.1:** Evaluarea probabilistica a hazardului seismic regional si local **D6. Harta de hazard seismic probabilist a zonei de studiu (Neamt, Iasi, Bacau, Vaslui, Vrancea, Galati); si D7. Valori acceleratii si intensitati macroseismice intr-un grid ce acopera intreaga zona de studiu cat si in amplasamentele barajelor;**

**Activitatea 2.2:** Incadrarea barajelor in clase de risc seismic si alegerea barajelor de test; **D9. Incadrarea barajelor in clase de risc seismic;**

**Activitatea 2.3:** Studii detaliate cu privire la evaluarea hazardului, vulnerabilitatii si riscului seismic in zona barajelor de test (Partea I) **D10. Selectarea barajelor de test; D19\_1. Studii aprofundate de hazard si risc seismic si de seismicitate indusa in amplasamentul barajelor de test;**

**Activitatea 2.4:** Analiza seismicitatii induse de cantitatea de apa din lacurile de acumulare **D19\_2. Studii de seismicitate indusa in amplasamentul barajelor de test**

**Activitatea 2.5:** Analiza inundabilitatii si harti cu zonele inundabile din vecinatatea barajelor mari (Partea I) **D8. Harti de inundabilitate in cazul ruperii barajelor mari ca urmare a unui cutremur sau a altui fenomen neprevazut;**

si Partea a IIa, partea tehnica, ce contine 6 activitati:

**Activitatea 2.6:** Configuratia optima a sistemului de monitorizare terestra pentru supravegherea seimica a barajelor: de la concept (C) la model experimental (EM) - Partea a II-a)

**Activitatea 2.7:** Configuratia optima a sistemului de monitorizare terestra pentru supravegherea seimica a barajelor: Model experimental (EM)- Partea a III-a - Achizitia partiala a echipamentului si instalarea sistemului terestru de monitorizare in aria de testare selectata (Barajul Valea Uzului); **D5. Model experimental Sistem terestru de supraveghere si monitorizare seismica a barajelor;**

**Activitatea 2.10:** Proiectarea infrastructurii de comunicare si transmitere a informatiilor: de la concept la modelul experimental; **D13. Model experimental pentru transmiterea la CO a informatiilor obtinute in urma monitorizarii;**

**Activitatea 2.8:** Sistem spatial de monitorizare in scopul urmaririi stabilitatii pantelor: de la concept la model experimental - Partea a II-a- Metode de analiza a datelor satelitare; Alegerea si contractarea datelor **D11. Model experimental Sistem spatial de supraveghere si monitorizare a stabilitatii pantelor din zona barajelor;**

**Activitatea 2.9:** Procesarea datelor spatiale – interferograme Sentinel-1 din perioada octombrie 2014 – iulie 2015 pe zona de interes

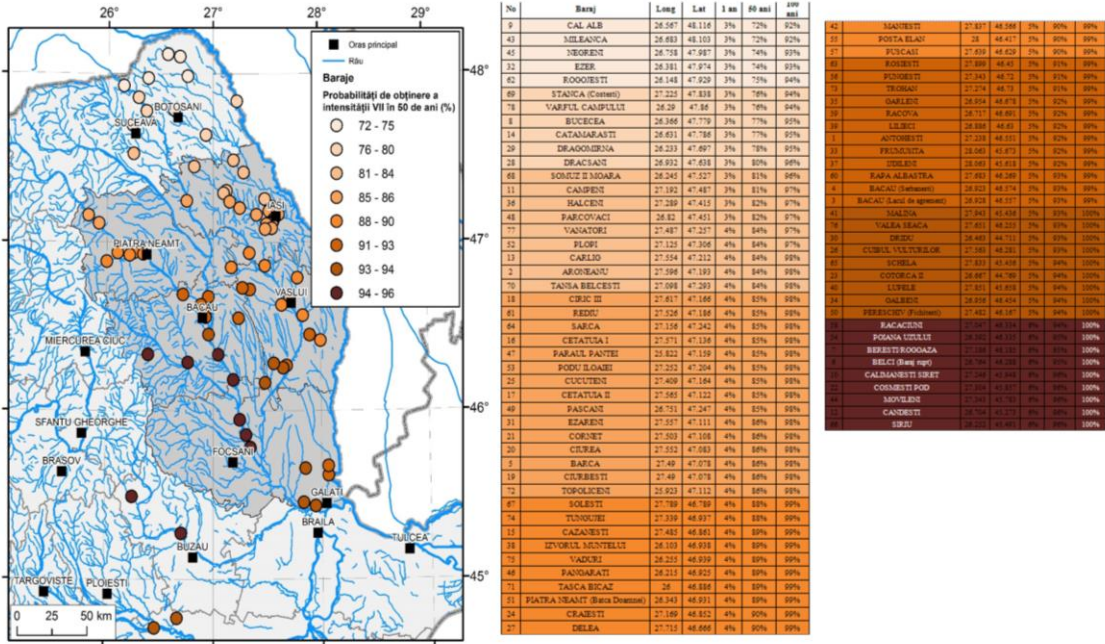
**Activitatea 2.14:** Proiectarea si implementarea unui mini portal continand informatii despre: baraje, seismicitate, hazard si risc seismic la barajele din zona de studiat **D24. Mini portal cu acces liber:** <http://daring.infp.ro/miniportal.php>

O activitate importanta a **etapei a II-a** a proiectului este estimarea hazardului seismic regional si local (**Activitatea 2.1**) in amplasamentele barajelor din zona de test situata in estul Romaniei (Figura 1), folosind zonele seismice delimitate si analizate in **etapa I**. Valorile obtinute in urma estimarilor de hazard (eg acceleratiile cele mai probabil sa apara in 475 de ani – Figura 3) au fost folosite in scopul determinarii factorului de risc al pierderilor si mai precis al “Indicelui distrugerilor prezise – PDI” (inițialele termenului englezesc “*Predicted Damage Index*” dupa cum este prezentat in Bureau, J., 2003) care depinde de tipul de baraj si de hazardul seismic in amplasament si de tectonica locului.



# PARTENERIATE

Figura 3. Hazardul seismic in amplasamentele barajelor, pentru  $T_r=50$  ani



Tot in aceasta prima parte am estimat vulnerabilitatea din avalul barajelor si am obtinut **factorul de risc din aval** un termen important, necesar pentru incadrarea barajelor in clase de risc seismic. Pentru a putea calcula cu precizie acest factor de risc, s-au facut simulari de inundatii pentru doua din barajele de test pentru cazul cel mai rau, si anume ruperea totala a barajului (**Activitatea 2.5**) – Figura 4.

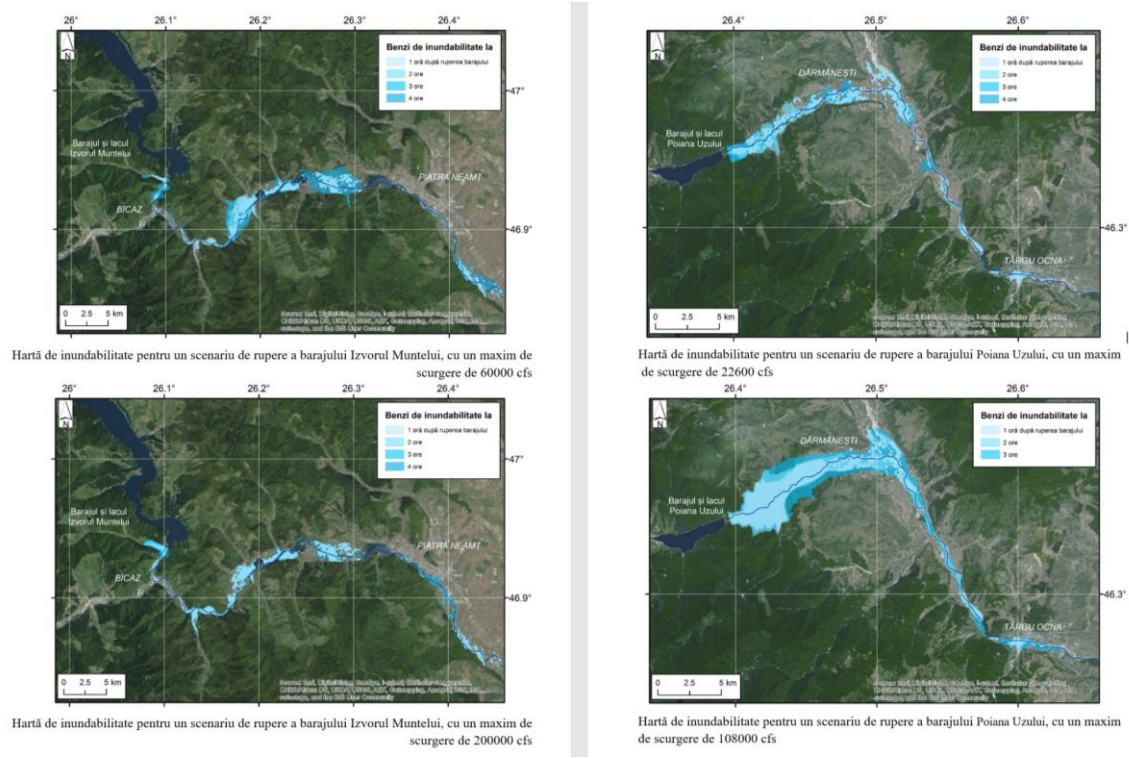


Figura 4. Scenarii cu benzi de inundabilitate

Acest factor de risc din aval tine cont atat de valoarea proprietatilor ce ar putea fi afectate de o posibila rupere a barajului, cat si de numarul fatalitatilor ce ar putea sa apara. Pentru a putea calcula acest factor, in aceasta etapa s-au identificat principalele caracteristici ale celor mai apropiate localitati aflate in aval

## PARTENERIATE

barajelor: numarul de locuitori, numarul gospodariilor, cele mai importante cladiri, activitatea principala si s-au calculat distanta dintre baraj si localitate si diferenta de nivel.

Apoi, folosind rezultatele obtinute in urma evaluarii hazardului seismic, studiile de vulnerabilitate in aval si caracteristicile constructive ale barajelor am calculat toti factorii de risc asociati si am incadrat barajele in clase de risc seismic (**Activitatea 2.2**) folosind metodologia lui Bureau, J., (2003). In urma evaluarii claselor de risc seismic, dar tinand cont si de importanta barajelor, s-au ales cele doua baraje de test – Barajul Poiana Uzului, Darmanesti, Judetul Bacau si Barajul Izvorul Muntelui, Biczaz, Judetul Neamt (**Activitatea 2.2**) pentru care s-au realizat studii detaliate de hazard seismic (**Activitatea 2.3**). In afara de aceste doua baraje s-au mai tratat ca baraje de test, cu studii aprofundate si instalari de aparatura seismica si meteo si barajele Rapa Albastra, Barlad, judetul Vaslui si barajele mari de pe cursul mijlociu al raului Siret, intre Bacau si Movileni. Folosind caracteristicile constructive ale barajelor s-au calculat ceilalti factori de risc si s-au incadrat barajele in clase de risc (**Activitatea 2.2**), avand ca scop final reducerea riscului seismic. S-au trecut in revista performantele seismice si au fost prezentate caracteristicile constructive pentru cele 78 de baraje identificate in zona de studiu – Figura 5.

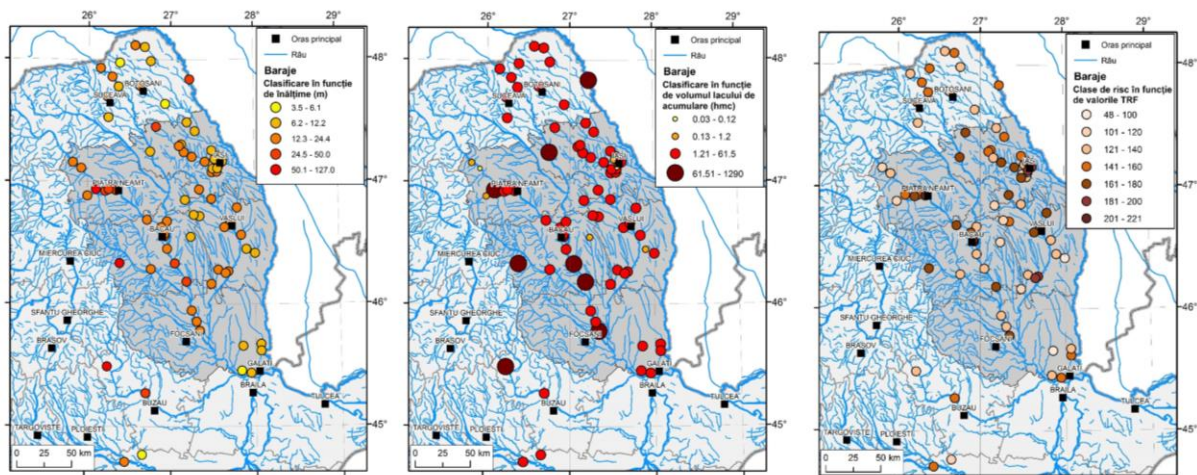


Figura 5. Incadrarea barajelor in clase de risc

Principala sursa de informatii privind barajele din Romania ce a fost folosita pentru realizarea studiilor de vulnerabilitate si risc seismic este **Registrul Roman al Marilor Baraje (RRMB - [http://www.baraje.ro/rmb/rmb\\_idx.htm](http://www.baraje.ro/rmb/rmb_idx.htm))** care contine in format Excell informatii privind anul punerii in functiune, dimensiuni, caracteristici, etc pentru 249 de baraje din Romania. Informatiile din RRMB au fost completate cu informatiile existente pe site-ul RoWater. Din cele 78 de baraje din Tabelul 1, 57 s-au regasit in Registrul Roman al marilor Baraje si 21 au fost identificate pe siteul RoWater – Apele Romane sucursalele Prut – Barlad si Bacau. Pentru cele 57 de baraje din RRMB s-au verificat valorile caracteristicilor constructive folosindu-se informatiile de pe siteul RoWater, intrucat s-au descoperit neconcordante intre realitate si datele furnizate de RRMB.

Localizarea geografica (Latitudine si longitudine) a celor 78 de baraje (Figura 1) din zona de studiu din Figura 1, zona care acopera 6 judete din Moldova (Vrancea, Galati, Bacau, Vaslui, Neamt si Iasi, plus cele doua judetele adiacente de la nord de zona de studiu, Suceava – 2 baraje si Botosani – 8 baraje) a fost realizata folosind hartile oferite de Google Earth. Pentru toate cele 78 baraje, pe langa determinarea exacta a coordonatelor geografice s-au aflat si informatii despre caracteristicile constructive necesare in calculul riscului seismic: anul punerii in functiune PIF, tipul de baraj, inaltimea barajului (in metri) si volumul lacului in hm<sup>3</sup> (milioane de m<sup>3</sup>). Dupa incadrarea in clase de risc si alegerea barajelor de test, s-au facut studii amanuntite privind seismicitatea si seismicitatea indusa (**Activitatea 2.4**) si hazardul din zona acelor baraje .



# PARTENERIATE

In **partea a doua a raportului** sunt prezentate **activitatile tehnice** ce contin pe langa alegerea si achizitionarea unor echipamente care sa aiba raportul calitate – pret cat mai mare si instalarea acestora in amplasamentele unui baraj de test si anume la Barajul Poiana Uzului, Bacau (nr. 54 in Tabelul 1) (**Activitatile 2.6 si 2.7**). In **Activitatea 2.10** s-au realizat softuri de transmitere si achizitie a datelor la sediul INCDFP. **Activitatile 2.8 si 2.9** prezinta sistemul spatial de monitorizare a zonei barajelor de test. Tot in aceasta etapa s-a realizat miniportalul interactiv cu informatii despre barajele din zona de studiu **DARING Activitatea 2.11**. - <http://daring.infp.ro/miniportal.php> -Figura 6

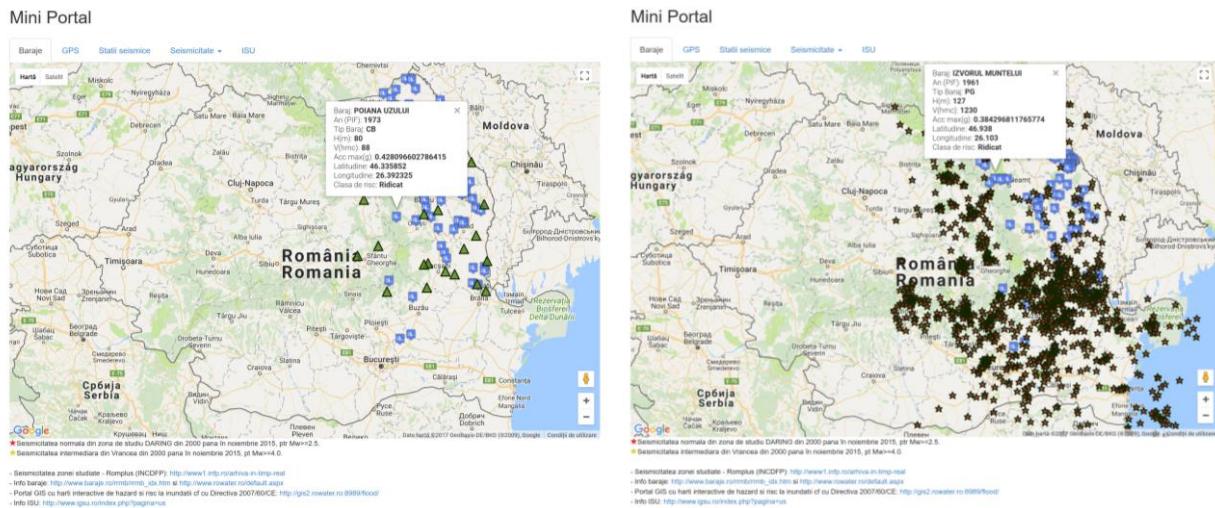


Figura 6. Imagini din miniportal

**Etapa a III-a / 2016 IMPLEMENTAREA SISTEMULUI DE CERCETARE SI MONITORIZARE IN AMPLASAMENTELE BARAJELOR DE TEST** a fost organizata in sapte activitati realizate de cei trei parteneri implicati, avand 8 livrabile (D15.1, 15.2, 16, 17, 18 si 19):

**Activitatea 3.1** Configuratia optima a sistemului de monitorizare terestra pentru supravegherea seimica a barajelor: model experimental - Partea a treia - Achizitia echipamentului si instalarea sistemului terestru de monitorizare in aria de testare selectata ; **D16. Model functional Sistem terestru de supraveghere si monitorizare seismica a barajelor instalat in amplasamentele barajelor de test (Partea I)**

**Activitatea 3.2.** Proiectarea sistemului IWS; **D15.1. Concept sistem informare si avertizare (IWS) pentru cazul special al barajelor de test -Barajul Poiana Uzului;** **D15.2. Sistem experimental de informare si avertizare (IWS) pentru cazul special al barajelor de test – Barajul Poiana Uzului**

**Activitatea 3.3.** Integrarea noilor sisteme proiectate in structura de monitorizare existenta a barajelor de test (Partea I); **D16. Model functional Sistem terestru de supraveghere si monitorizare seismica a barajelor instalat in amplasamentele barajelor de test (Partea a II a)**

**Activitatea 3.4.** Analiza seismicitatii naturale, artificiale si seismicitatii induse de cantitatea de apa din lacurile de acumulare folosind date provenite de la noile sisteme de monitorizare instalate; **D18.Studii aprofundate de seismicitate indusa in amplasamentul barajelor de test (Partea I)**

**Activitatea 3.5.** Procesarea datelor spatiale din zona barajelor de test. Identificarea zonelor cu instabilitati. **D17. Monitorizarea spatiala a stabilitatii pantelor din zona unui baraj de test - Interpretarea datelor**

**Activitatea 3.6.** Analiza inundabilitatii si harti cu zonele inundabile din vecinatatea barajelor mari (Partea a II a); **D19. Harti de inundabilitate in cazul ruperii barajelor mari ca urmare a unui cutremur sau a altui fenomen neprevazut**

**Activitatea 3.7.** Studii detaliate cu privire la evaluarea hazardului, vulnerabilitatii si riscului seismic in zona barajelor de test; **D18.Studii aprofundate de hazard si risc seismic in amplasamentul barajelor de test**



## PARTENERIATE

Principalele baraje de test: barajele Poiana Uzului (54 in Figura 1) din judetul Bacau si barajul Izvorul Muntelui din Judetul Neamt (38 in Figura 1), nu au fost alese datorita clasei de risc in care au fost incadrate (Clasa de risc ridicat, III) ci mai mult datorita caracteristicilor constructive impresionante (Figurile 7 si 8).



Figura 7. Barajul Poiana Uzului văzut dinspre tabara de copii Salatruc (<http://daring.infp.ro/poiana.php> - foto Constantin Cristache)



Figura 8. Barajul Poiana Izvoarelor văzut din aval

(<http://daring.infp.ro/izvorul.php>)

**Amplasamentul barajului Poiana Uzului** este situat la o distanta medie de 80 km sud-est de zona epicentrala Vrancea, zona a carei seismicitate intermediara ca persistenta, concentrare si intensitati maxime observate determina aspectul dominant al seismicitatii intreg teritoriului României. Distantele epicentrale ale celor mai puternice cutremure intermediare vrâncene produse in ultimii 200 ani fata de amplasamentul barajului sunt cuprinse intre 64 km [1940:  $M_s=7.4$ ;  $I_o=9.0$  (MSK);  $I_B=8.7$  (MSK)] si 72 km [1802:  $M_s=7.5$ ;  $I_o=9.5$  (MSK);  $I_B=9.1$  (MSK)]. Barajul Poiana Uzului este din beton, cu contraforti. Alte caracteristici ale barajului sunt urmatoarele: inaltimea 80 m; cota coronamentului, 513.5 m; cota nivelului normal de retentie, 510 m, volumul acumularii, 90 mil. m.c.; lungimea cuvetei lacului, 5 km; suprafata lacului, 340 ha. Barajul a intrat

## PARTENERIATE

in functiune in anul 1972. Amplasamentul barajului Poiana Uzului este situat conform noului standard de zonare seismica a României (SR 11100/1-1993), in macrozona de intensitate  $I=7_1$  (MSK) (unde indicele 1 corespunde unei perioade medii de revenire de 50 ani),

**Amplasamentul barajului si lacului Izvorul Muntelui** \se afla in regiunea seismica R8, numita Moldova, dupa C. Radu (1980). In aceasta regiune se produc numai cutremure superficiale ( $h < 5$  km) si normale ( $5 \text{ km} \leq h < 60$  km) de mica intensitate, magnitudinea maxima fiind sub  $M_s \leq 4.5-5.0$  (Scara Richter). Amplasamentul barajului Izvorul Muntelui-Bicaz, este incadrat in zona de macroseismicitate  $I=6$  pe scara MSK, conform standardului de zonare seismica a României SR 11100/1-93. După normativul P100-1/2006, amplasamentul barajului Izvorul Muntelui – Bicaz, se caracterizează prin următoarele valori de calcul: - perioada de control (colț):  $T_c = 0,7$  sec; - valoarea de vârf a accelerației terenului (PGA) pentru proiectare (pentru un interval mediu de recurență  $IMR = 100$  ani):  $a_g = 0,20$  g; Barajul Izvorul Muntelui se încadrează în categoria baraj de greutate, din beton si prezinta urmatoarele caracteristici: înaltimea 127 m; cotele coronamentului si talvegului amonte 520 m si respectiv 418 m; nivelele de retentie exceptional, maxim si minim de exploatare fara restrictii 516 m, 513 m, si respectiv 473 m. Barajul este fundat pe gresii quartitice. Lacul de acumulare are volumul de retentie normal, de 1230 mil.m.c., suprafata la acest volum este de 3100 ha si lungimea de 30,5 km. Umplerea lacului de acumulare a început în anul 1960.

Aceste doua baraje de test sunt in prezent monitorizate seismic, de nivel al apei din lac si meteo si au implementate si sunt in faza de testare sistemele de informare si avertizare locala sau la seism vrancean (**Activitatile 3.1, 3.2 si 3.3,** <http://daring.infp.ro/documente/D16.pdf> si [http://daring.infp.ro/documente/D16\\_1.pdf](http://daring.infp.ro/documente/D16_1.pdf)). - Figura 9



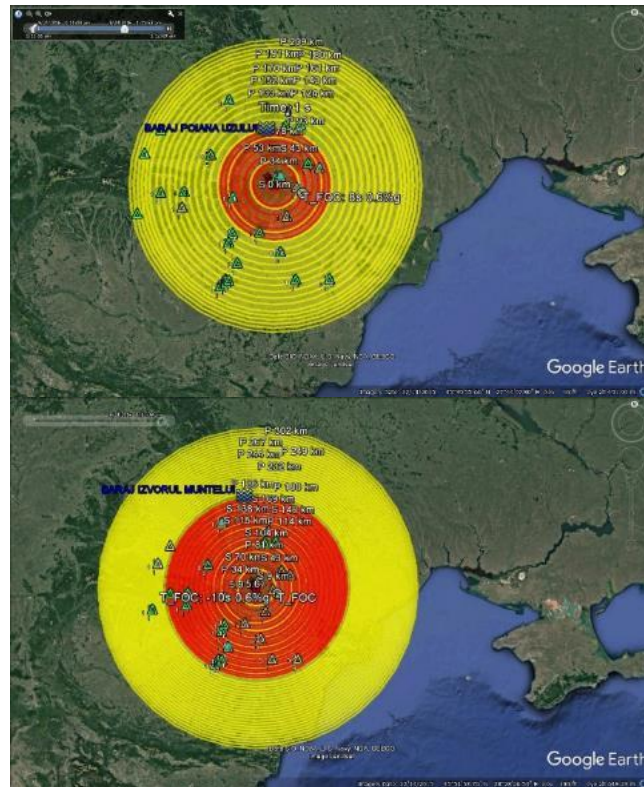
Figura 9. Monitorizare seismică și meteo în faza de testare la barajul Poiana Uzului

**Supravegherea seismică** a acestor doua baraje are in vedere urmatoarele obiective: evidentiarea intensitatilor seismice maxime in zona barajului; aplicarea criteriilor de avertizare ("de atentie") in scopul semnalarii eventualelor depasiri ale marimilor critice ale caracteristicilor seismice; evaluarea relatiilor de recurenta pentru magnitudini si intensitati; analiza relatiei dintre acumulare si seismicitatea locala.

**Avertizarea la seism vrancean** a fost testata post eveniment pe cazul cutremurului din 22 noiembrie 2014 si in timp real in cazul cutremurului din 24 septembrie 2016 (Figurile 10 a si b)



## PARTENERIATE



a

b.

Figura 10. Momentul când unda S ajunge la barajul Poiana Uzului : 01:11:53. (15 secunde timp de alarmare) și Izvorul Muntelui: 01:12:09. (31 secunde timp de alarmare)

Pentru aceste baraje s-au realizat pe lângă studiile de seismicitate naturală (locală și regională) și studii de seismicitate indusă (**Activitatea 3.4** <http://daring.infp.ro/documente/D18.pdf>) – Figura 11.

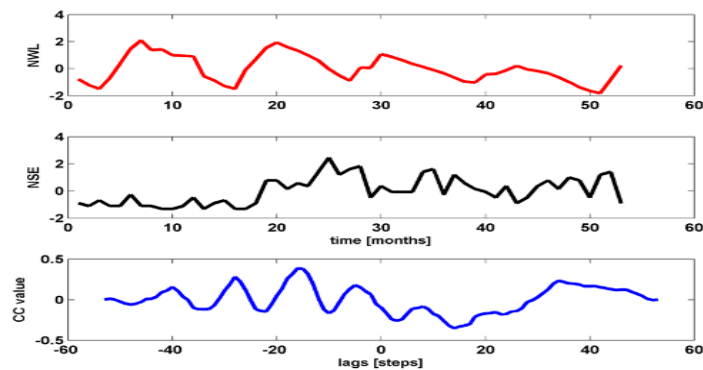


Figura 11. Seriile de timp normale prezentând variația nivelului apei în baraj (rosu), activitatea seismică (negru) și variația coeficienților de corelare în timp (albastru)

Chiar dacă la contractare au fost propuse doar două baraje de test, s-au mai ales și alte baraje pentru a fi studiate în extenso: cele de pe râul Siret și afluenții săi și barajele din zona orașului Barlad. Alegerea acestora a fost făcută din diverse motive, motivul principal fiind însă apropierea de orașe mari din România, cum ar fi Bacăul, Adjudul sau Barladul. Pentru acestea s-au efectuat studii de hazard și risc seismic (**Activitatea 3.7**), și s-au realizat scenariile de inundabilitate (la o posibilă rupere a barajului ca urmare a unui seism sau a altui eveniment neprevăzut – Figura 12) (**Activitatea 3.5** <http://daring.infp.ro/documente/D19.pdf>).

## PARTENERIATE

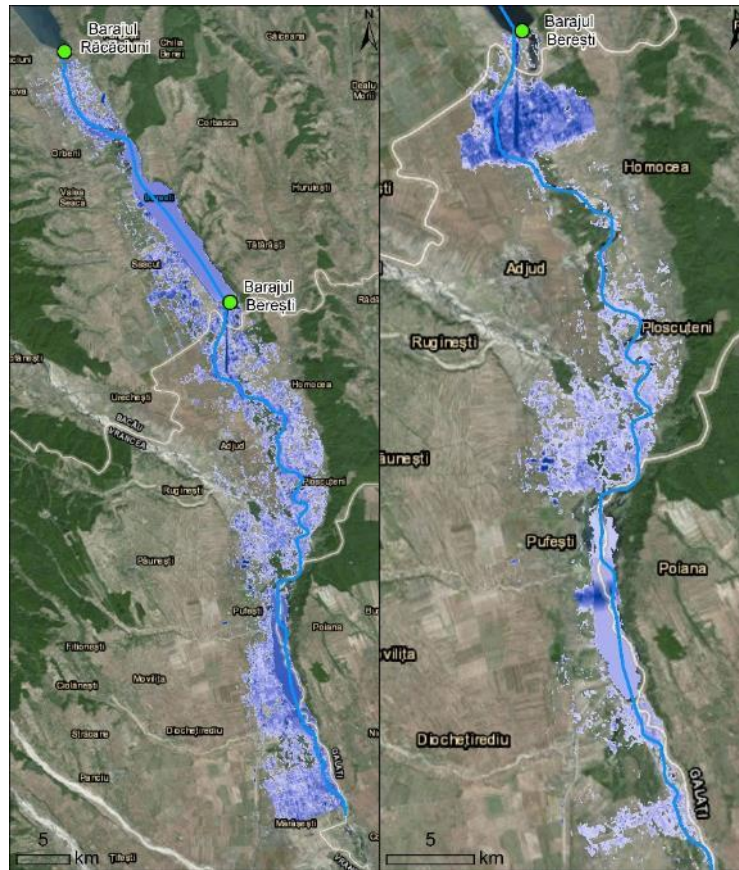


Fig. 12. Hărți de inundabilitate pentru scenariul de rupere a Barajului Răcăciuni (stânga) și Berești (dreapta), pe raul Siret.

Zona barajelor de test (Figura 13) și a celor de pe raul Siret și afluenții săi a fost supravegheată folosind tehnici spațiale și datele oferite de satelitul Sentinel în scopul urmăririi zonelor cu instabilități (**Activitatea 3.6**).

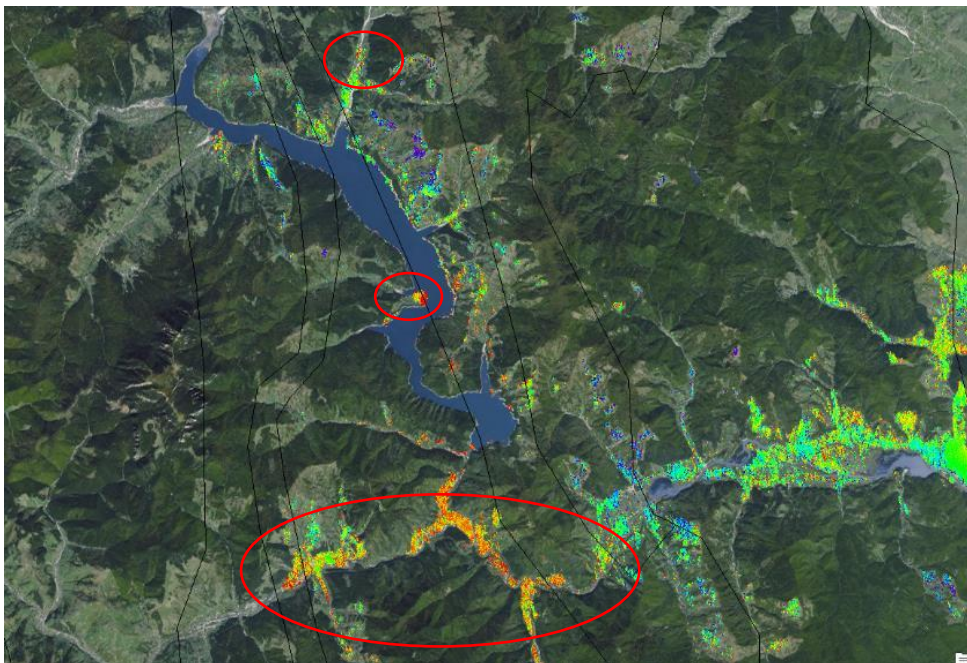


Figura 13. Harta de deformare, 2014-2016, Izvorul Muntelui



## PARTENERIATE

Cea mai importanta instabilitate este cea din zona localitatii Cosmesti, situata in imediata vecinatate a barajului Movileni, care a fost pusa in evidenta intamplator prin interferometria pe datele satelitare provenite de la satelitul Sentinel, fiind situata la coada lacului Movileni. Aceasta instabilitate a dus la surparea partiala a drumului european DE85 (Figurile 14 a si b).

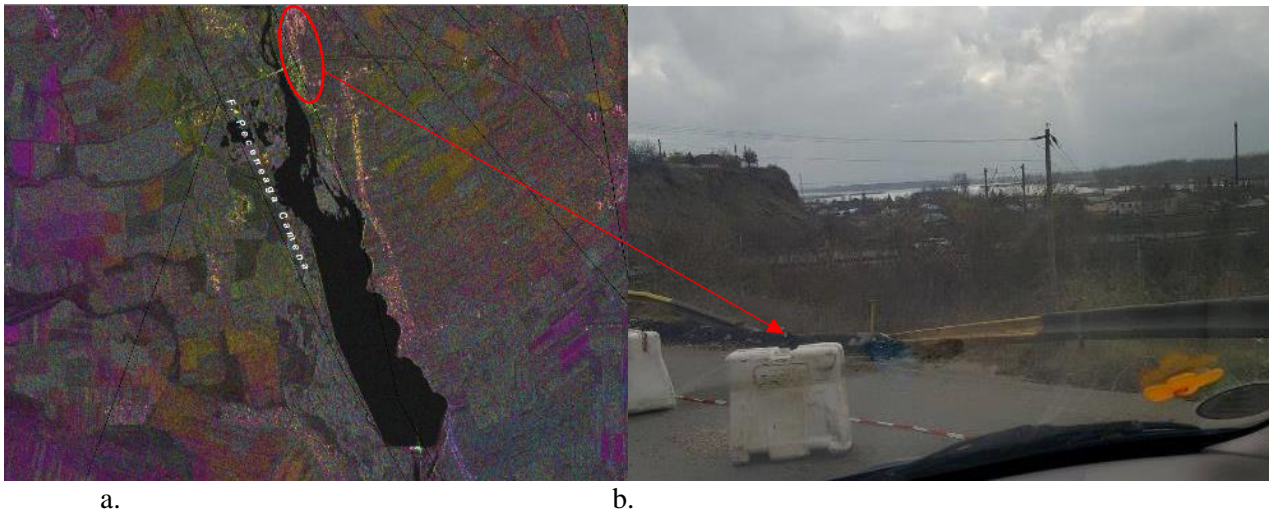


Figura 14. Barajul Movileni, Siret – Zone de instabilitate a pantelor  
(<http://daring.infp.ro/documente/D17.pdf>)

**Etapă a IV-a IMPLEMENTAREA SISTEMULUI DE AVERTIZARE SI INFORMARE IN AMPLASAMENTELE BARAJELOR DE TEST** a fost organizata in noua activitati realizate de cei trei parteneri implicati, avand 6 livrabile (D18, 20, 21, 22, 23 si 26):

**Activitatea 4.1.** Integrarea noilor sisteme proiectate in structura de monitorizare existenta a barajelor de test (Partea II) ; **D18. Model functional pentru transmiterea la CO a informatiilor obtinute in urma sistemelor de monitorizare instalate in amplasamentele barajelor de test;**

**Activitatea 4.2.** Procesarea datelor furnizate de sistemele de monitorizare terestre instalate

**Activitatea 4.3.** Procesarea datelor spatiale si interpretarea lor in vederea evidentierii zonelor afectate de alunecari de teren din jurul unui baraj de test

**Activitatea 4.4.** Studii detaliate cu privire la reprezentarea zonelor inundabile din avalul barajelor de test (Rapa Albastra Barlad)

**Activitatea 4.5.** Evidentierea si cartarea rutelor de acces neinundabile in scopul realizarii planurilor de interventie si evacuare din avalul barajelor de test; **D20. Harti cu rutele de acces/interventie/evacuare in caz de inundare a zonei datorita ruperii barajelor de test;**

**Activitatea 4.6.** Instalarea si implementarea sistemului IWS la barajele de test alese. Testarea sistemului ; **D21. Sistem functional de informare si avertizare (IWS) pentru cazul special al barajelor**

**Activitatea 4.7.** Decizia de sprijin si interactiunea cu utilizatorul final; **D22. Implementarea locala, la baraj, a sistemului de informare si avertizare**

**Activitatea 4.8.** Implementarea sistemului de informare si avertizare la autoritatile locale din zona barajelor de test; **D23. Implementarea sistemului de informare si avertizare (IWS) la autoritatile locale, regionale si la centrele de interventie in caz de urgenta din zona barajelor de test**

**Activitatea 4.9.** Completarea mini portalului cu informatii legate de punctele de interventie din zona de studio; **D26. Brosura electronica "Masuri de siguranta pentru cei ce traiesc in zona marilor baraje"**

## PARTENERIATE

Asa cum s-a vazut si din etapele precedente, ca baraje de test au fost alese barajele Poiana Uzului (54 in Figura 1) din judetul Bacau, barajul Izvorul Muntelui din Judetul Neamt (38 in Figura 1), si barajul Rapa Albastra (60 in Figura 1) din judetul Vaslui, nu neaparat datorita clasei de risc in care au fost incadrate (Clasa de risc ridicat, III) ci mai mult datorita caracteristicilor constructive impresionante (Figurile 2 si 3) sau apropierii de orase importante (Barlad - Figura 15).



Figura 15. Barajul Rapa Albastra, Barlad (in 2010 cand lacul a fost golit)

Barajele de test Poiana Uzului, Izvorul Muntelui si Rapa Albastra sunt in prezent monitorizate seismic, de nivel al apei din lac si/sau meteo. In **Activitatea 4.1**. (*Integrarea noilor sisteme proiectate in structura de monitorizare existenta a barajelor de test - Partea II*) s-au instalat toate echipamentele achizitionate in etapele trecute sau in etapa aceasta si s-a realizat *Modelul functional pentru transmiterea la CO a informatiilor obtinute in urma monitorizarii (D18 - [http://daring.infp.ro/documente/D18\\_4.pdf](http://daring.infp.ro/documente/D18_4.pdf))*.

La Barajul Poiana Uzului, Darmanesti, judetul Bacau s-a renuntat la statia seismica provizorie, de test, care era instalata in interiorul cladirii apartinand SGA Bacau, Amplasament Uz si s-a realizat o statie seismica independenta, dotata cu senzori Nanometrics de viteza si de acceleratie de ultima generatie, cu statie meteo WS Lacrosse care masoara temperatura, presiunea, viteza vantului si cantitatea de precipitatii si umiditatea, cu sensor Nivelco de nivel in aval si amonte (Figura 16).



## PARTENERIATE



Figura 16. Statia seismica Poiana Uzului (ONER)

La Barajul Rapa Albastra, Barlad, judetul Vaslui, pe langa statia seismica dotata cu accelerometru si vitezometru, s-au mai instalat o statie meteo Conrad, de generatie noua si un receptor electromagnetic de urmarire a propagarii semnalelor radio de frecventa scurta si foarte scurta (VLF/LF) – Figura 17.

## PARTENERIATE



Figura 17. Statia seismica Barlad (BIR) – in apropiere de barajele Cuibul Vulturilor si Rapa Albastra

Transmiterea datelor se realizeaza cu ajutorul modemurilor GSM, si a cartelei Vodafone. Semnalul de la retea este amplificat cu ajutorul antenei din figura 18.



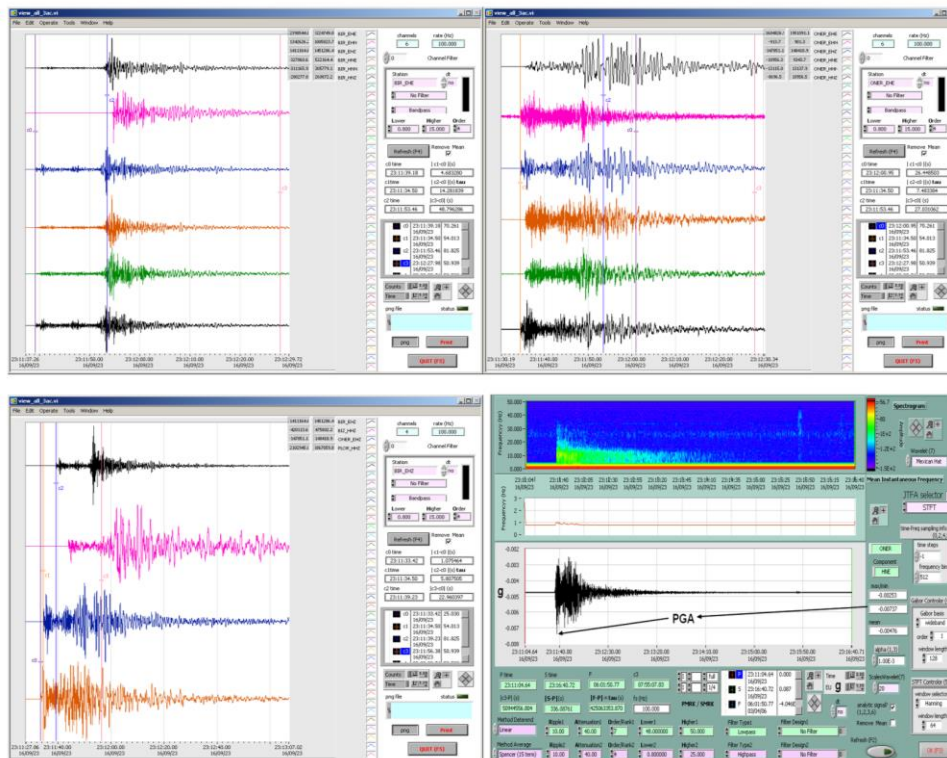
Figura 18. Antena si amplificator semnal GSM

Un router GSM (Huawei B310) cu o cartela Vodafone asigura conectarea la calculatoarele de achizitie a datelor seismice (regim continuu), de nivel si meteorologice (se transmit fisiere de 1 ora). Digitizorul seismic necesita un IP fix si public pentru transmiterea datelor. Prin acelasi router se transmit si mesajele de averizare seismica locala si globala.



# PARTENERIATE

In **Activitatea 4.2.** s-a realizat Procesarea datelor furnizate de sistemele de monitorizare terestre instalate, si anume: vitezometre, accelerometre (Figura 19), nivelmetre si date meteo. S-au obtinut valorile maxime ale acceleratiilor si vitezelor inregistrate la cutremurele vranceane normale si intermediare mai mari care s-au produs in perioada de desfasurare a proiectului (Noiembrie 2014, Septembrie 2016, Decembrie 2016, Februarie si August 2017). S-au realizat spectrele de acceleratii si viteze si s-au obtinut intensitatile macroseismice instrumentale. Acestea s-au comparat cu datele raportate din teren, in urma prelucrarii chestionarelor macroseismice.



Figurile 19. Inregistrari de acceleratie si viteza la ONER, statia seismica instalata la Poiana Uzului. Filtrari si spectre.

In **Activitatea 4.3.** s-au procesat datele spatiale si s-au interpretat lor in vederea evidentierii zonelor afectate de alunecari de teren din jurul barajului Poiana Uzului. Aceasta activitate a fost realizata la cererea condcerii barajului, care a constatat in ultimul an o accelerare a procesului de deplasare in masa a terenului din zona afluentilor raului Uz, afluenti care se varsa in Lacul Poiana Uzului (Figura 20).



Figura 20. Zonele cu potential de alunecari de teren din jurul barajului Poiana uzului

In Figura 21 sunt prezentate rezultatele analizei spatiale. Se constata ca pe unul din afluenti nu au loc deplasari notabile, in timp ce pe ceilalti doi da.

## PARTENERIATE

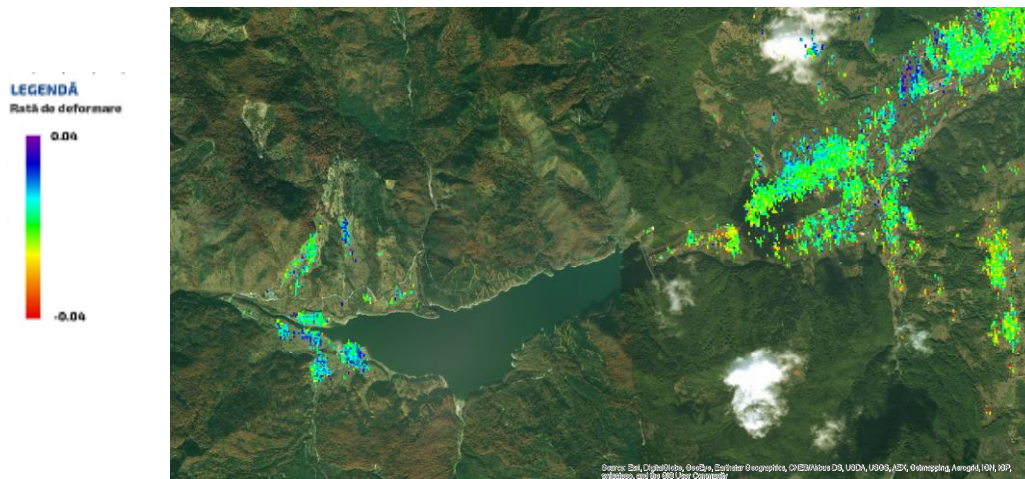


Figura 21. Harta de deformare obtinuta din date Sentinel-1, orbita ascendenta, 2014-2017, zona barajului Valea Uzului. Rata de deformare (exprimata in m / an, folosind legenda de culori din coltul stanga-sus) este reprezentata peste o imagine optica de inalta rezolutie. In general s-au obtinut deplasari ale terenului in jur de 1 cm / an, cu maxime izolate de 4 cm / an.

In **Activitatea 4.4.** s-au realizat studii detaliate cu privire la reprezentarea zonelor inundabile din avalul barajului Rapa Albastra, Barlad, Vaslui, intrucat pentru celelalte doua baraje de test s-au realizat aceste studii in etapele trecute. Barajul Rapa Albastra (46°16'50"N 27°40'59"E) a fost pus în funcțiune in anul 1975. Este situat pe cursul de apă, râu Simila, cod hidrografic: XII.1.78.28., județul Vaslui. Barajul are o lungime de 810 m, si o înălțime de 17,8 m. Volumul la NNR este de 8,78 mil mc si volum total 24,8 mil mc. Q max GF 49,67 mc/s, Q max DAM 550,00 mc/s.

In Figura 22 este prezentata harta de inundabilitate din avalul barajului Rapa Albastra, scenariul ruperii totale.

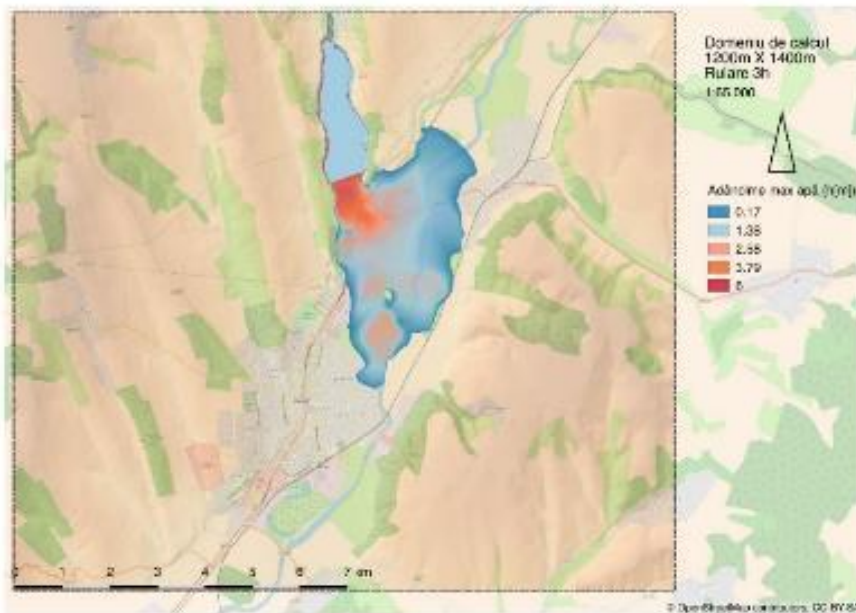


Figura 22. Adâncime max a apei (m[h]), scara 1:65000

In cadrul **Activitatii 4.5.** s-a realizat evidentierea si cartarea rutelor de acces neinundabile in scopul realizarii planurilor de interventie si evacuare din avalul barajelor Poiana Uzului si Izvorul Muntelui, avand ca livrabil D20. [Harti cu rutele de acces/interventie/evacuare in caz de inundare a zonei datorita ruperii barajelor de test](#) (Figurile 23 si 24);



## PARTENERIATE

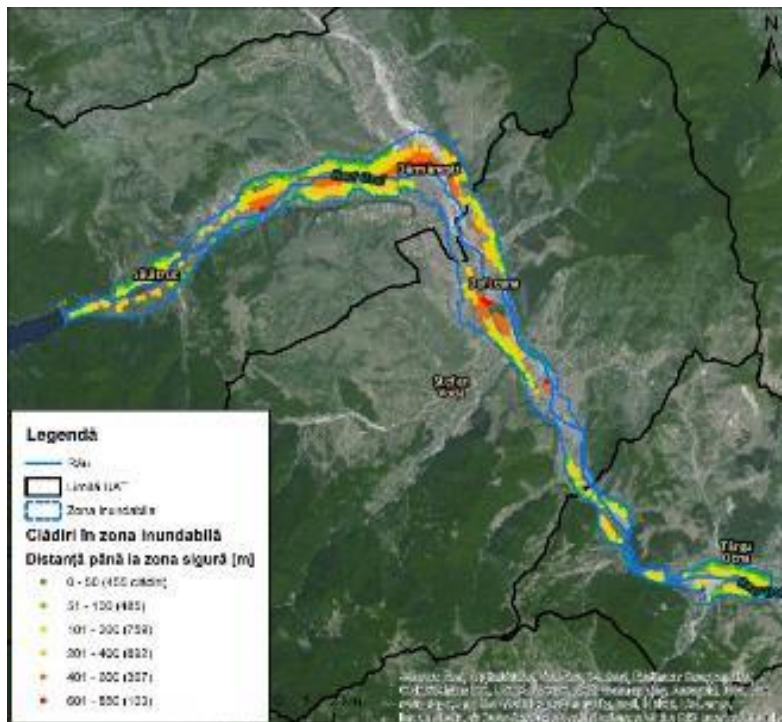


Figura 23. Clădirile aflate în zona posibil inundată prin ruperea Barajului Poiana Uzului, colorate în funcție de cât de aproape sunt ele de zona sigură neinundabilă (ținând cont și de o restricție impusă în traversarea râurilor)

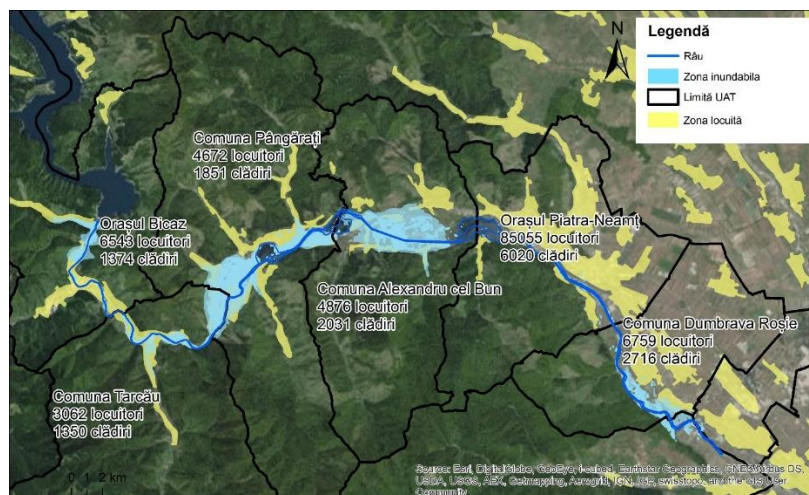


Figura 24. Clădirile aflate în zona posibil inundată prin ruperea Barajului Izvorul Muntelui, colorate în funcție de cât de aproape sunt ele de zona sigură neinundabilă (ținând cont și de o restricție impusă în traversarea râurilor)

**Activitățile 4.6.** (Instalarea și implementarea sistemului IWS la barajele de test alese. Testarea sistemului), **4.7.** (Decizia de sprijin și interacțiunea cu utilizatorul final) și **4.8.** (Implementarea sistemului de informare și avertizare la autoritățile locale din zona barajelor de test) au ca livrabile D21. Sistem funcțional de informare și avertizare (IWS) pentru cazul special al barajelor, D22. Implementarea locală, la baraj, a sistemului de informare și avertizare și D23. Implementarea sistemului de informare și avertizare (IWS) la autoritățile locale, regionale și la centrele de intervenție în caz de urgență din zona barajelor de test.

În cadrul acestor activități s-a instalat sistemul de avertizare în trei amplasamente: (i) Barajul Poiana Uzului, la șeful UCC (urmărirea compartimentului construcțiilor hidrotehnice), dl Cosmin Paerele (Figura 25), și la Șeful Barajului dl Mihai Gheorghiu; (ii) la SGA (Societatea de gospodărire a apelor Bacău), la dispeceratul, fiind în grijă șef Birou Exploatare dna Adriana Florescu și șef UCC Apele Române Bacău, Dna Cristina Manolescu și (iii) la ISU Anghel Saligni Vrancea, Focsani, Strada Dornisoarei nr. 10. În acest moment sistemul este funcțional.

## PARTENERIATE

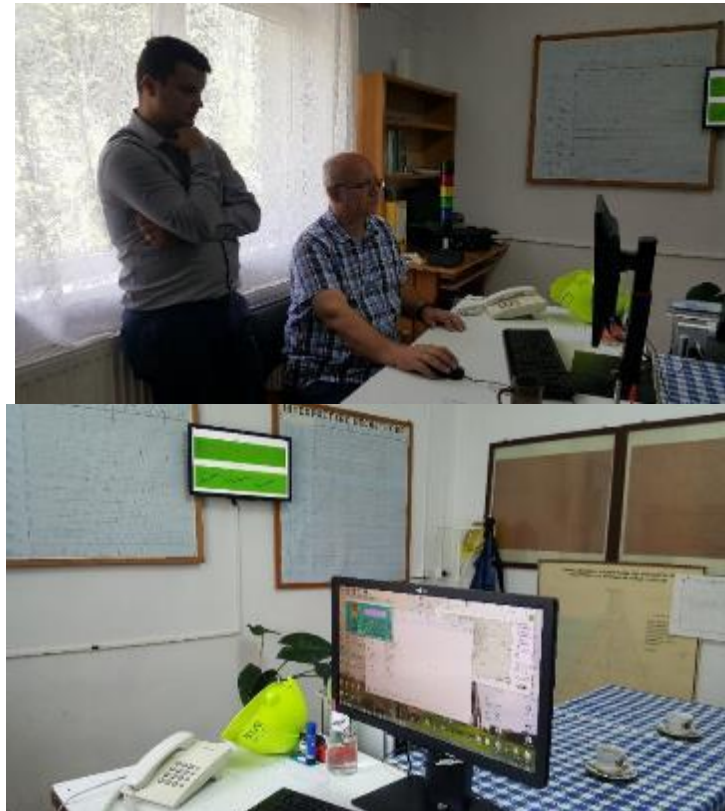
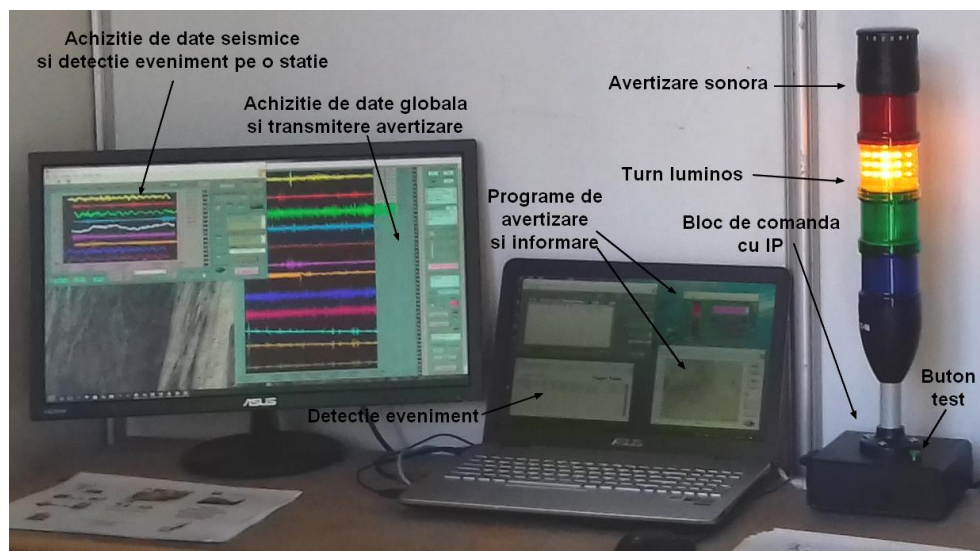


Figura 25. Instalarea sistemului IWS la Barajul Poiana Uzului

In afara de sistemul de avertizare timpurie instalat in versiune desktop si dotat cu turn luminos (Figura 26) si alarma Sonora, la cele doua persoane de la Barajul Poiana Uzului se trimit si alerte prin SMS si e-mail, dar si informatii post cutremur, cu parametrii cutremurului. Aceste informatii sunt necesare pentru urmarirea comportamentului barajului (deplasare baraj- penduli pe 3 directii) si variatii nivel apa.



In **Activitatea 4.9.** s-a completat mini portalului cu informatii legate de punctele de interventie din zona de studio si s-a realizat *D26. Brosura electronica "Masuri de siguranta pentru cei ce traiesc in zona marilor baraje"* - [Brosura electronica.pdf](#)



# PARTENERIATE

## Gradul de atingere a rezultatelor estimate;

### Obiectivele propuse si rezultatele estimate au fost realizate integral si uneori chiar depasite:

- numar mai mare de lucrari publicate decat numarul propus;
- mai multe baraje studiate detaliat decat cele doua propuse ca baraje de test.

“Primele valorificari ale rezultatelor primelor 6 luni de activitate (Etapa I) constau intr-un articol trimis la publicat si 7 prezentari la conferinte nationale si internationale. La conferinta europeana comuna a seismologiei si ingineriei seismice s-a prezentat ideea de derulare a acestui proiect si rezultatele pe care dorim sa le obtinem – [Prezentari la conferinte/Articole publicate 2014](#)

Rezultatele cercetarilor efectuate in Etapa a doua a proiectului au fost diseminate la 6 conferinte internationale (15 prezentari orale si poster) si 7 articole au fost acceptate spre publicare in reviste ISI – [Prezentari la conferinte/Articole publicate 2015](#).

Rezultatele cercetarilor efectuate in primele 3 etape au fost publicate ca articole (7 articole) in reviste ISI si inca 4 au fost acceptate pentru publicare tot in reviste ISI. Au mai fost trimise spre evaluare 2 articole (unul ISI si altul BDI) si un capitol intr-o carte. Toate acestea aduc multumiri proiectului DARING. In afara acestora, membrii echipei de cercetare au mai publicat 12 articole in reviste indexate ISI, in domeniul proiectului, dar cu omiterea multumurilor aduse DARING. Rezultatele au fost diseminate la 4 conferinte internationale (22 prezentari oral/poster) si doua nationale (3 prezentari oral/poster) [http://daring.infp.ro/documente/valorificari\\_2016.pdf](http://daring.infp.ro/documente/valorificari_2016.pdf)

Rezultatele cercetarilor din etapele trei si patru au fost publicate in 8 articole in reviste cotate sau indexate ISI, un articol BDI si inca 8 au fost trimise pentru publicare tot in reviste ISI. Rezultatele acestui proiect au fost publicate ca un capitol de 30 pagini intr-o carte cu ISBN dublu (roman si belgian). Toate acestea aduc multumiri proiectului DARING. In afara acestora, membrii echipei de cercetare au mai publicat 8 articole in reviste indexate ISI, in domeniul proiectului, dar cu omiterea multumurilor aduse DARING. Rezultatele au fost diseminate in 40 prezentari orale sau poster la 4 conferinte internationale si una nationala: [http://daring.infp.ro/documente/valorificari\\_2017.pdf](http://daring.infp.ro/documente/valorificari_2017.pdf) “

In total au fost publicate 12 articole ISI si unul BDI:

2016 – 6 articole ISI si unul BDI

2017 – 4 articole ISI si doua sunt acceptate si urmeaza sa fie publicate pana la sfarsitul anului

In anul 2017 au mai fost trimise la publicat inca 5 articole.

S-au publicat doua carti stiintifice in Editura Granada, editura recunoscuta CNCSIS in 2009, si un capitol de 30 pagini intr-o carte la o editura din Belgia.

Acest capitol, publicat intr-o carte este o realizare mare a proiectului. In acel capitol a fost publicata incadrarea in clase de risc seismic a tuturor barajelor din Romania. Este munca de aproape 10 ani a unui colectiv mic de oameni din INCDFP. Acest capitol se gaseste si online, dar este si tiparit.

Numele capitolului este:

**The Rating of Large Romanian Dams into Seismic Risk Classes**, Iren Adelina Moldovan, Angela Petruța Constantin, Anica Otilia Plăcintă, Dragoș Toma-Dănilă, Cristian Ghiță, Traian Moldoveanu, Cosmin Marian Paerele, Capitol in cartea Resilient Society Multidisciplinary contributions from economic, law, policy, engineering, agricultural and life sciences fields, Book Series: Environment and Human Action, Editors and Coordinators: Alexandru Ozunu, Ioan Alin Nistor, Dacina Crina Petrescu, Philippe Burny, Ruxandra Mălina Petrescu - Mag Les Presses agronomiques de Gembloux, Belgium ISBN 978-2-87016-148-7 & Bioflux (acreditata CNCSIS), Romania ISBN 978 – 606 -8887 -08-1

# PARTENERIATE

## Impactul rezultatelor obtinute, cu sublinierea celui mai semnificativ rezultat obtinut.

**Obiectivul final al proiectului a fost acela de a proteja populatia in cazul extrem al ruperii unui baraj si inundarea zonelor din aval, prin informarea si avertizarea timpurie a factorilor de decizie locali de la barajele de test, care sa permita serviciilor locale pentru situatii de urgenta interventia si evacuarea populatiei in conditii de siguranta, in zonele sigure.**

Pentru atingerea acestui obiectiv, proiectul s-a dezvoltat pe trei directii majore: cercetari seismologice, monitorizari terestre (locale) si satelitare si avertizare si informare. Rezultatele obtinute sunt importante si contribuie impreuna la realizarea obiectivului general.

### 1. Cercetari seismologice

**Evaluarea hazardului seismic probalist, vulnerabilitatii si riscului marilor baraje** din 6 judete din Moldova, pornind de la barajul Izvorul Muntelui si apoi pe Bistrita in jos spre Siret. Au fost studiate aproape 80 de baraje aflate pe aceste rauri si pe afluentii lor si cele mai vulnerabile au fost alese, ca amplasamente pilot, pentru monitorizare si avertizare. Hartile de inundabilitate realizate sunt utile pentru identificarea celor mai expuse localitati cat si pentru evaluarea riscului din avalul unui baraj, risc cu contributie importanta la clasa de risc in care se incadreaza un baraj. Evidentierea si cartarea rutelor de acces neinundabile sunt foarte utile realizarii planurilor de interventie si evacuare din avalul barajelor Poiana Uzului si Izvorul Muntelui.

### 2 Monitorizarea barajelor, lacurilor, pantelor si avalului

Tehnologiile terestre si spatiale ne permit sa inregistram si sa caracterizam comportamentul zonei din apropierea barajelor de test structurilor, stabilitatea terenurilor si pantelor amplasamentelor pilot si sa coroboram aceste informatii cu nivelul apei din lacuri si cu datele meteorologice. Observatiile **satelitare** ne-au furnizat date cu privire la deplasările milimetrice ale pantelor pentru perioade lungi de timp (2014-2017) si au pus in evidenta alunecările de teren din zona Lacului Poiana Uzului, Bacau si din apropierea barajului Movileni, in zona Cosmesti, Galati. Aceste alunecări de teren au fost confirmate apoi din studiile pe teren. Pe langa studiile de seismicitate indusa de marile acumulari de apa, monitorizarea seismicitatii locale si a stabilitatii pantelor din zona barajelor pilot au o importanta deosebita in crearea modelelor teoretice privind raspunsul amplasamentului barajului in cazul cutremurelor locale si intermediare vrance.

### 3 Sistemul de informare si avertizare

Acesta este unul din produsele practice, finale ale proiectului si are doua componente: **componenta de informare si cea de avertizare**. **Componenta de avertizare** va da avertizari la cutremurele locale sau vrance intermediare declansate de vibratiile puternice, de diferite tipologii, care afecteaza amplasamentul barajului si/sau de cresterea rapida a nivelului apei in aval. Aceasta componenta va avertiza factorii de decizie locali asupra iminentei producerii unui cutremur vrancean. Pe pagina WEB a proiectului este prezentata pe larg, atat pentru oamenii de stiinta, dar si pentru cei neavizati, notiunea de avertizare timpuri la cutremur, ce ofera ea, dar si modul de reactie la primirea unei astfel de alerte. **Componenta de informare** furnizeaza informatii in timp real legat de parametrii cutremurului produs si ajuta persoana de la baraj sa coreleze comportamentul barajului cu miscarea solului.

**Produsul final este miniportalul web care va prezinta pe harta: seismicitatea (informatii despre fiecare cutremur in parte), barajele (cu informatii detaliate inclusiv clasa de risc a barajelor), statiile seismice din zona de studiu, echipamentele GPS, punctele de interventie in situatii de urgenta, cu adrese.**

**Un alt produs este brosură electronica care prezinta informatii utile si masuri de siguranta pentru cei ce traiesc in zona marilor baraje din Romania.**