Contractor: Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Fizica Pământului Cod fiscal: 5495458 (anexa la procesul verbal de avizare interna nr.)

De acord, DIRECTOR GENERAL Dr. ing. Constantin Ionescu

Avizat, DIRECTOR DE PROGRAM Dr. ing. Gheorghe Mărmureanu

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: 21/11.03.2016

Proiectul: PN 16 35 03 03

Identificarea si caracterizarea surselor seismo-acustice antropogene și naturale de tip impulsiv: explozii accidentale/chimice, industriale (detonări în mine și cariere), explozii de meteoriți, furtuni puternice, utilizând măsuratori ale senzorilor de infrasunete și seismici

Faza: I/2016

Evaluarea performanțelor stației românești de măsurare a infrasunetelor (IPLOR) în detectarea și monitorizarea surselor seismo-acustice. Optimizarea metodelor utilizate pentru prelucrarea și analiza datelor în funcție de caracteristicile IPLOR (senzori, configurație, nivel de zgmot de fond) și de coerența semnalului detectat

Termen: 30.06.2016

1. Obiectivul proiectului:

Studierea aprofundată a fenomenelor seismo-acustice prin analiza unor instrumente performante și unice (array-ul infrasonic IPLOR) în țara noastră, pe baza aplicării unor tehnici avansate de prelucrare a datelor, cu eficiență superioară în extragerea semnalelor utile din microbarograme (înregistrările stației de infrasunete) și seismograme.

2. <u>Rezultate preconizate</u> pentru atingerea obiectivului:

• Metode optime de prelucrare și analiza datelor înregistrate cu stația IPLOR pentru extragerea eficientă și caracterizarea cât mai precisă a semnalelor infrasonice coerente, utile în detectarea și monitorizarea surselor seismo-acustice de interes în evaluarea hazardului geofizic.

• Set de evenimente de referință, provenite de la surse naturale și antropogenice (locale și regionale), cu caracter impulsiv (explozii chimice, detonări, bolizi, furtuni) și care au generat semnale înregistrate cu senzorii de infrasunete ai stației IPLOR și seismometrele RSN și analiza seismo-acustică a evenimentelor componente ale acestui set.

• Procedură de discriminare a evenimentelor seismice din catalogul ROMPLUS actualizat (*Oncescu et al., 1999*) (distingerea dintre cutremure naturale și explozii de carieră) elaborată pe bază aplicării rezultatelor obținute din analiza seismo-acustică.

3. Obiectivul fazei:

Evaluarea performanțelor obținute în monitorizarea infrasunetelor pe o perioadă de peste 6 ani cu stația IPLOR, în vederea identificării tipurilor de surse seismo-acustice (naturale și artificiale), care sunt predominante în înregistrările acesteia, prin aplicarea unor metode de prelucrare a datelor infrasonice specifice caracteristicilor stației (senzori de măsurare, configurație, sisteme de filtrare utilizate pentru îmbunătățirea raportului semnal/zgomot-SNR).

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

• Valorificarea unei importante cantități de date cu grad ridicat de încredere și potențial științific semnificativ, provenite de la stația românească de măsurare a infrasunetelor IPLOR și de la senzorii seismici din cadrul Rețelei Seismice Naționale (RSN), prin aplicarea atât a tehnicilor specifice, de înaltă rezoluție, pentru prelucrarea și analiza semnalelor cât și a altor programe de calcul avansate, în vederea obținerii unui sistem de monitorizare și detectare a surselor seismo-acustice, naturale și antropogene

• Selectarea unor metode optime de prelucrare și analiza datelor înregistrate cu stația IPLOR pentru extragerea eficientă și caracterizarea cât mai precisă a semnalelor infrasonice coerente, utile în detectarea și monitorizarea surselor seismo-acustice de interes în evaluarea hazardului geofizic

• Determinarea performanțelor stației IPLOR de monitorizarea infrasunetelor de la începutul instalării ei și până în prezent, în vederea identificării tipurilor de surse, naturale și artificiale, care sunt predominante în înregistrările acesteia, prin aplicarea metodelor de prelucrare selectate.

5. Rezumatul fazei:

I. Stația de măsurare a infrasunetelor instalată la Ploștina (IPLOR)

1.1. Amplasare

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Pământului (INCDFP) a instalat, operează și întreține singura (până în prezent) stație de măsurare a infrasunetelor din România – IPLOR. Această stație este un sistem de tip array desfășurat pe o suprafață cu apertură de aproximativ 2,5 km, în zona centrală a României, la Ploștina, județul Vrancea (**figura 1**).



Figura 1. Amplasarea geografică a stației de infrasunete de la Ploștina

Dezvoltarea stației IPLOR a început în anul 2009, ca parte integrantă a unui sistem complex de monitorizare amplasat în zona epicentrală Vrancea, conținând și alte tehnologii avansate: stație seismică de tip array (conținând seismometre de bandă larg), accelerometre, senzori de măsurare a câmpului magnetic (magnetometre) și a câmpului electric (electrometru), echipament de măsurare a temperaturii solului, precum și o stație meteorologică. Datele colectate sunt înregistrate continuu și transmise în timp real la Centrul Naționale de Date (CND), de la INCDFP, din Măgurele, unde sunt prelucrate, stocate și arhivate.

1.2. Configurație și instrumentație

Inițial, array-ul de infrasunete IPLOR a avut în componența sa trei elemente: IPH4, IPH5 și IPH6. În anul 2010, a fost adăugat cel de-al patrulea element (IPH7), iar apoi, pe parcursul anului 2012, au mai fost instalați încă doi senzori de infrasunete, în locațiile IPH2 și IPH3 (**figura 2**), astfel încât în prezent configurația stației este compusă din 6 elemente.

Toate cele 6 elemente ale stației IPLOR instalate în prezent sunt echipate cu microfoane (microbarometre) Chaparral Physics model 25. Senzorii Chaparral Physics model 25 au o senzitivitate nominală de 2 V/Pa@1 Hz, pentru un domeniu de măsurare de 18 Pa (amplificare mare), și de 0,4 V/Pa@1 Hz, pentru un domeniu de măsurare de 90 Pa (amplificare mică). Toate punctele de măsurare ale array-ului infrasonic de la Ploștina sunt echipate cu digitizoare Quanterra 330 (Kinemetrics) cu precizie de 24-biți. Rata de eșantionare aplicată datelor înregistrate cu senzorii de infrasunete Chaparral este de 20 eșantioane/sec.



2009 - 2010

Figura 2. Evoluția în timp a configurației stației de măsurare a infrasunetelor de la Ploștina (stânga: geometria arrayului; dreapta: răspunsul array-ului ca funcție de număr de undă k [1/km])

1.3. Sisteme de reducere a nivelului de zgomotului de fond al înregistrărilor

Pentru reducerea nivelului de zgomotului de fond al înregistrărilor și îmbunătățirea performanțelor stației din punct de vedere al detectării și caracterizării semnalelor utile, la Ploștina s-au instalat și îmbunățățit în timp sisteme de reducere cât mai eficientă a zgomotului produs de vânt, deoarece s-a demonstrat că acesta este cea mai importantă sursă de zgomot datelor de infrasunete în banda de frecvență de monitorizare atât primară cât și secundară (*Walker and Hedlin, 2010*).

În prezent, începând cu luna iulie 2014, în toate cele 6 elemente ale array-ului infrasonic IPLOR sunt instalate filtre cu tuburi de plastic conectate în rozetă. Un astfel de tip de filtru este constituit dintr-un set de tuburi solide, dispuse radial și interconectate la un microbarometru central, având ca scop obținerea unui răspuns omni-direcțional al instrumentului și reducerea zgomotului produs de vânt într-o bandă de frecvență care depinde de apertura filtrului. Filtrul rozetă este un filtru standard de reducere a zgomotului produs de vânt, fiind folosit în configurațiile stațiilor infrasonice din cadrul Sistemului Internațional de Monitorizare (IMS) utilizat în scopul verificării respectării Tratatului de interzicere totală a experiențelor nucleare (CTBT–Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty) (*Walker and Hedlin, 2010*). În cazul IPLOR, configurația acestor filtre (dimensiune, număr de tuburi) este adaptată în funcție de condițiile existente în fiecare punct de măsurare (spațiu util de construcție, topografie). În toate cazurile, tuburile sunt conectate prin intermediul a patru sumatoare secundare la un sumator primar.

2. Sursele de infrasunete

Undele infrasonice sunt generate de o mare varietate de surse: naturale și provocate de activitatea umană (surse antropogene) (*Campus, 2004*). Sursele naturale includ: meteori, aurore boreale, furtuni de convecție și fulgere, tornade, valuri oceanice de mare amplitudine, cutremure, crioseisme, alunecări de teren, avalanșe, ruperi de aisberguri și ghețari, erupții vulcanice continue sau explozive, tsunami, cascade și valuri marine costiere. Sursele antropogene de infrasunete includ: explozii nucleare, explozii miniere și chimice, lansări și reintrări în atmosferă de sateliți, nave spațiale și rachete, avioane, surse industriale precum gazele emanate de instalații industriale, flăcările rafinăriilor de petrol și gaze, barajele hidrotehnice, turbinele eoliene etc. (*Campus și Christie, 2010*).

În **tabelul 1** este prezentată o listă a celor mai importante tipuri de unde infrasonice observate, inclusiv gama specifică de frecvențe, amplitudinile maxime observate în Pa (1 Pa = 10^{-5} bar), domeniul de distanțe maxim estimat pentru detecție. Un număr de surse relativ mici nu a fost inclus în acest tabel – uzine hidroelectrice, turbinele eoliene, crioseisme, micro-explozii, eclipse solare și surse asociate cu activități generatoare de zgomot cultural, precum autostrăzi, trenuri și aeroporturi (*Campus și Christie, 2010*).

Sursa de infrasunete sau tipul de unde infrasonice	Gama de frecvențe (Hz)	Amplitudinea maximă observată (Pa)	Distanța estimată pentru detecție (km)
Explozii nucleare atmosferice	0,002-20	> 20	>20.000
Explozii nucleare subterane	~1-20	~1	~1.000
Explozii în mină	0,05-20	~5	>5.000
Alte explozii chimice	0,05-20	~10	>5.000
Poduri și alte structuri	0,5-20	~0,5	<100
Emanări de gaze din activități industriale	1-20	~0,5	~1.000
Lansări de rachete și navete spațiale	0,01-20	~5	~3.000
Reintrarea în atmosferă a sateliților și a navetelor spațiale	0,1-10	~1	>2.000
Avion subsonic	0,3-20	~2	<100

Tabelul 1. Caracteristicile câtorva tipuri de unde infrasonice (după Campus și Christie, 2010)

Avion supersonic	0.3-20	~10	~5.000
Meteoriți	0,01-20	>10	>20.000
Infrasunete generate de aurora boreală	0,008-20	~2	~4.000
Rupere de aisberguri și ghețari	~0,5-8	~1	~200
Erupții vulcanice	0,002-20	>20	>20.000
Furtuni severe (convective)	0,01-0,1	~0,5	~1.500
Cutremure	0,005-10	~4	>10.000
Incendii forestiere; incendii industriale	2 20	2	4 000
majore	2-20	~2	~4.000
Alunecări de teren; avalanșe	0,1-20	~1	~1.000
Unde microbarometrice	0,12-0,35	~5	~10.000
Unde asociate cu zonele muntoase	0,007-0,1	~5	~10.000
Valuri (surf)	1-20	~0,2	~250
Trăsnete	0,5-20	~2	~50
Tornade	0,5-20	~0,5	~300
Tsunami	0,5-2	~0,1	~1.000
Cascade	0,5-20	~0,2	~200

În **figura 3** sunt ilustrate numeroasele surse geofizice și artificiale care reprezintă emit infrasunete într-un domeniu de frecvențe cuprins între 0,02 și 4 Hz. În prezent, aceste infrasunete sunt înregistrate cu microbarometre cu o rezoluție de ~0,1 mPa.



Figura 3. Sursele de infrasunete: explozii, erupții vulcanice, avalanșe, aurora boreală, orografie, vreme severă, bolizi (explozii de meteoriți în atmosferă), unde oceanice

3. Determinarea performanțelor stației IPLOR de măsurare a infrasunetelor în monitorizarea surselor seismo-acustice

În vederea identificării tipurilor de surse acustice, naturale și artificiale, care sunt predominante în înregistrările stației IPLOR, s-au prelucrat și analizat datele înregistrate de aceasta de la începutul instalării sale și până în prezent (peste 6 ani de funcționare neîntreruptă). Metodele de extragere eficientă a semnalelor infrasonice coerente și de caracterizare cât mai precisă a acestora au fost selectate pe baza investigării amănunțite a caracteristicilor stației IPLOR (tip de senzori, configurație, nivel de zgmot de fond) și de coerența semnalului detectat.

3.1. Caracteristici generale ale sistemului de măsurare

Având în vedere că (1) din punctul de vedere al capabilităților senzorilor de măsurare, domeniul optim de măsurare a semnalului util este între 0,1 și 200 Hz, așa cum reiese din forma răspunsului

în frecvență a microbarometrului Chaparral Physics model 25 și (2) apertura array-ului este una medie (2,5 km), iar distanțele inter-senzori variază între 450 și 1240 m (**figura 2**), se poate afirma că stația IPLOR este utilă în special pentru observarea semnalelor acustice produse de surse specifice de tip impulsiv (cu conținut de frecvențe mai mari): explozii accidentale și controlate, erupții vulcanice, meteoriți, furtuni etc. În plus, în contextul existenței sistemului complex de monitorizare de la Ploștina, array-ul infrasonic se poate utiliza cu succes pentru evaluarea importanței amplasării comune a senzorilor seismici și acustici, prin monitorizarea seismică și acustică a evenimentelor locale și regionale, respectiv prin detectarea semnalelor infrasonice produse de explozii, detonări în mine și în cariere.

3.2. Programul utilizat pentru prelucrarea datelor înregistrate cu stația infrasonică IPLOR

Pentru prelucrarea datelor înregistrate cu stația infrasonică IPLOR, s-au folosit tehnicile specifice de prelucrare și analiză a semnalelor înregistrate de array-uri acustice, bazate pe aplicarea metodei de corelare încrucișată (cross-correlation) a formelor de undă, respectiv algoritmul PMCC (Progressive Multi-Channel Correlation – corelare multi-canal progresivă) (*Cansi, 1995; Cansi și Klinger, 1997*). Această metodă specifică array-urilor a fost inițial dezvoltată pentru prelucrarea datelor seismice, dovedindu-se eficientă în identificarea semnalelor coerente de amplitudine mică din zgomotul incoerent.

Principiul de funcționare și modul de prelucrare a semnalelor înregistrate de o stație infrasonică cu un software specializat care folosește acest tip de algoritm (dezvoltat la Centrul Internațional de Date IDC – International Data Centre) al CTBTO este prezentat pe larg de *Brachet et al., 2010*. Acest sistem relizează detectarea automată a semnalelor infrasonice, clasificarea și identificarea celor mai semnificative detecții ca faze (spre deosebire de zgomot), în vederea grupării acestor faze pentru a constitui evenimente acustice.

Datele înregistrate de IPLOR într-un interval de timp de peste 6 ani au fost prelucrate cu programul WinPMCC (*Le Pichon and Cansi, 2003*), care reprezintă versiunea *CEA/DASE* (*Commissariat à l'Énergie Atomique/Département analyse, surveillance, environment,* Franța) a detectorului PMCC. Acest program permite efectuarea unei analiza interactive a datelor înregsitrate în vederea identificării semnalelor infrasonice utile și extragerii caracteristicilor lor specifice din buletinele familiilor de detecții: timp de detecție, direcție de sosire (azimut invers), viteză orizontală a fazei infrasonice, conținut de frecvențe, amplitudine, durată a semnalului etc.). Programul WinPMCC utilizat rulează sub sistemul de operare Windows, fiind posibilă configurarea integrală a modului de filtrare a datelor și a parametrilor de detectare.

3.3. Aplicarea programului WinPMCC pentru prelucrarea și analiza datelor de infrasunete înregistrate de stația IPLOR

Detectorul PMCC, din cadrul programului WinPMCC a fost aplicat pentru prelucrarea datelor înregistrate de stația IPLOR pe o perioadă de peste 6 ani, urmărindu-se extragerea și caracterizarea semnalelor infrasonice utile. Analiza rezultatelor acestei prelucrări a vizat:

(1) reprezentarea grafică a diagramelor de detectabilitate a stației în perioada 1 iunie 2009 – 31 decembrie 2015, pe baza informațiilor prezente în buletinele de detecții obținute prin prelucrarea datelor cu programul WinPMCC

(2) identificarea tipurilor de surse acustice, naturale și artificiale, care apar ca predominante în înregistrările IPLOR, și

(3) observarea posibilelor variații ale consistenței parametrilor măsurați pentru caracterizarea semnalelor utile (azimut invers, viteză medie), a variațiilor temporale și spațiale ale pragurilor de detecție în funcție de evoluția geometriei array-ului și de condițiile dinamicii stratosferei etc.

3.3.1. Diagramele de detectabilitate ale stației IPLOR în perioada 2009-2015

Detecțiile obținute din prelucrarea datelor înregistrate de IPLOR în perioada 2009-2015, cu programul WinPMCC au fot reprezentate grafic în funcție de azimut invers și frecvență. În **figura 4** este aratată distribuția fazelor infrasonice detectate – conținutul în frecvență al semnalelor.



Figura 4. Distribuția fazelor infrasonice detectate - conținutul în frecvență al semnalelor

Se observă că, în urma modificării progresive a configurației array-ului, creșterea numărului de canale folosite în prelucrarea datelor, dar și modernizarea sistemelor de reducere a zgomotului provocat de vânt au condus la îmbunătățirea capacității de detecție a semnalelor infrasonice utile și, implicit, la îmbunătățirea performanțelor de monitorizare cu stația IPLOR a câmpului acustic ambiental ce conține semnale generate de o gamă largă de fenomene geofizice atât naturale cât și artificiale. Această afirmație se corelează și cu formele funcției de transfer a array-ului (**figura 2**), răspunsului acestuia modificându-se în timp în favoarea îmbunătățirii performanței sistemului. Fenomenul de aliasing spațial al semnalelelor de frecvențe mai înalte s-a redus și a crescut gradul de corelație dintre semnalele înregistrate de senzori și provenind de la evenimente acustice regionale și depărtate, la frecvențe de peste 1 Hz. În plus, și în cazul frecvențelor joase (sub 0,5 Hz) se observă creșterea numărului de semnale detectate, respectiv îmbunătățirea rezoluției array-ului. De asemenea, se poate nota că datele înregistrate de stație în urma instalării în toate cele 6 puncte de măsurare a noilor sisteme de tip rozetă, de reducere a zgomotului provocat de vânt, au un raport semnal-zgomot (SNR) mai bun, ceea ce influențează pozitiv detectabilitatea stației.

Totodată, din diagramele de detectabilitate ale IPLOR se poate observa o comportare alternantă a capacității de detecției a stației, ceea ce este perfect explicabil prin faptul că este cunoscut că propagarea undelor infrasonice este puternic influențată de vânturile prezente în atmosfera superioară, respectiv de transportul sezonier al vânturilor stratosferice: propagare înspre vest pe timpul verii și înspre est, pe durata iernii (*de Groot-Hedlin et al., 2010*). În plus, pe lângă influența fenomenului de inversare sezonieră a direcției de propagare a vânturilor stratosferice, capacitatea de detecție a stației este afectată și de zgomotul produs de furtunile oceanice din emisfera nordică, care cresc în intensitate pe perioada toamnei și iernii, fapt observabil și în reducerea numărului de detecții infrasonice din datele înregistrate în intervalul de timp menționat.

3.3.2. Surse acustice predominante observate în înregistrările infrasonice ale IPLOR

Figura 5 prezintă rezultatele prelucrării cu un detector PMCC a peste 6 ani de date înregistrate de array-ul IPLOR. Analizând capacitatea de detecție a stației în timp, pot fi evidențiate câteva surse predominate de infrasunete, naturale, care sunt în mod constant detectate și care sunt referențiale pentru investigarea evenimentelor de acest tip:

• Între 0,1 și 0,5 Hz, pot fi evidențiate două tipuri de surse infrasonice naturale care sunt continuu detectate:

(1) Microbaroame, reprezentând interacțiunea non-liniară a suprafeței în continuă mișcare a mărilor (valuri, furtuni) cu atmosfera și pentru care se poate observa foarte clar variația sezonieră a valorilor azimutului invers detectate, corespunzătoare circulație stratosferice generale între vară și iarnă. În cazul IPLOR, direcția de sosire a acestui tip de semnale acustice poate fi asociată cu Marea Nordului, în domeniul azimutal (azimut invers) 250° – 350° (**figura 7**, *Ghica et al., 2015*, poster).



Figura 5. Reprezentările grafice ale rezultatelor detectorului PMCC (dreapta) și histogramei polare a direcției de sosire în funcție de azimut (stanga) pentru semnalele acustice produse de sursa de microbaroame Marea Nordului

(2) Unde infrasonice asociate cu zonele muntoase (MAW – Mountain Associated Waves), generate de fluxul eolian troposferic (vânt care bate peste zone muntoase mai înalte), în domeniul azimutal (azimut invers) $0^{\circ} - 100^{\circ}$.

• Peste 0,5 Hz, în domeniul azimutal (azimut invers) 210° – 250°, se observă detecții care pot fi asociate cu episoadele eruptive produse la vulcanul Etna. Un număr mare de detecții au fost identificate în cazul erupțiilor majore, fazele infrasonice identificate fiind cele propagate prin ghidul de unde stratosferic (faze stratosferice). În câteva cazuri, s-au observat semnale puternice, cu amplitudini mari și întinse pe perioade mai lungi de timp, ajungând chiar la câteva zile (4 – 7 decembrie 2015, **figura 6**, *Ghica et al., 2016*, poster).



Figura 6. Reprezentarea grafică a rezultatelor detectorului PMCC (dreapta) pentru semnelel acustice produse de un erupția craterului Voragine al vulcanului Etna (4 - 7 Decembrie 2015)

• Peste 1 Hz, în domeniul azimutal (azimut invers) $100^{\circ} - 160^{\circ}$, se poate observa zgomotul infrasonic marin de tip "surf", generat de acțiunea valurilor care se lovesc de țărm, și care poate fi asociat în acest caz cu Marea Neagră (*Ghica et al., 2015*, poster). Semnalele infrasonice generate de zgomotul de tip "surf" este caracterizat de mișcarea aerului la presiuni scăzute (e.g., *Arrowsmith and Hedlin, 2005*).

3.3.3. Surse acustice incidentale observate în înregistrările infrasonice ale IPLOR

Pe lângă sursele repetitive de infrasunete, din înregistrările stației IPLOR au putut fi detectate semnale acustice provenind de la surse incidentale seismo-acustice (naturale și antropice) precum: explozii experimentale și accidentale, detonări în mine și cariere, bolizi (explozii de meteoriți), furtuni locale puternice, cutremure. În continuare, sunt prezentate câteva exemple concludente ale semnalelor infrasonice identificate cu stația IPLOR ca provenind de la anumite evenimente de referință selectate din diferite surse, precum:

- buletinele revizuite, conținând localizări ale evenimentelor acustice, realizate la IDC și la care CND are acces securizat

- catalogul de cutremure ROMPLUS (*Oncescu et al., 1999*) actualizat, conținând și explozii realizate în cariere

- rapoarte ale altor instituții asupra exploziilor chimice accidentale

- înregistrările stațiilor Rețelei Seismice Nationale (RSN) operată de INCDFP

- înregistrările atmosferice și de câmp electric ale stației meteo și electrometrului din cadrul sistemului complex de monitorizare de la Ploștina.

a) Surse naturale de infrasunete

• Cutremur produs în zona epicentrală Vrancea, 22.11.2014, 19:14:17 UTC, ML = 5.7, h = 39km În **figura 7** sunt prezentate detecțiile semnalelor infrasonice, iar în **figura 8** – localizarea CND a cutremurului (inclusiv secvența seismică) și semnalele seismice înregistrate de stațiile RSN (*Ghica et al., 2015*, poster)



Figura 7. Reprezentările grafice ale rezultatelor detectorului PMCC (dreapta) și histogramei polare a direcției de sosire în funcție de azimut (stanga) pentru semnalele acustice generate de cutremurul vrâncean produs în data de 22.11.2014 (**figura 8**)





Figura 8. Seismograme înregistrate cu stațiile RSN (dreapta) și localizarea cutremurului vrâncean produs în data de 22.11.2014 în contextul secvenței seismice (stânga)

• Explozia unui meteorit deasupra regiunii Vrancea, 07.01.2015, 01:03:30 UTC

În **figura 9** sunt prezentate detecțiile semnalelor infrasonice, iar în **figura 10** – semnalele seismice înregistrate de stațiile RSN (*Ghica et al., 2015*, poster)



Figura 9. Reprezentările grafice ale rezultatelor detectorului PMCC (dreapta) și histogramei polare a direcției de sosire în funcție de azimut (stanga) pentru semnalele acustice produse de explozia unui meteorit deasupra regiunii Vrancea în data de 07.01.2015 (figura 10)





• Furtună locală puternica produsă în amplasamentul Ploștina, 19.05.2012

În **figura 11** sunt prezentate detecțiile semnalelor infrasonice, iar în **figura 12** – reprezentarea grafică a variației câmpului electric măsurat în amplasamentul de la Ploștina (*Grecu et al., 2013*, poster)



Figura 11. Reprezentările grafice ale rezultatelor detectorului PMCC (dreapta) și histogramei polare a direcției de sosire în funcție de azimut (stanga) pentru semnalele acustice generate de furtuna locală din amplasamentul Ploștina produsă în data de 19.05.2012



Figura 12. Reprezentarea grafică a variației câmpului electric măsurat în amplasamentul de la Ploștina cu sistemul EFM-100 Boltek

b) Surse artificiale (antropice) de infrasunete

• Explozie experimentală pentru calibrarea la scară largă a rețelei stațiilor de infrasunete din cadrul IMS, deșertul Sayarim desert, Israel, 26.08.2009

În figura 13 sunt prezentate detecțiile semnalelor infrasonice (Ghica et al., 2014, poster).



Figura 13. Reprezentările grafice ale rezultatelor detectorului PMCC (dreapta) și histogramei polare a direcției de sosire în funcție de azimut (stanga) pentru semnalele acustice generate de explozia experimentală realizată în deșertul Sayarim desert, Israel, în data de 26.08.2009

• Explozie accidentală produsă la un depozit de muniție din Bulgaria, 05.06.2012 În **figura 14** sunt prezentate detecțiile semnalelor infrasonice (*Ghica et al., 2014*, poster).



Figura 14. Reprezentările grafice ale rezultatelor detectorului PMCC (dreapta) și histogramei polare a direcției de sosire în funcție de azimut (stanga) pentru semnalele acustice generate de explozia chimică accidentală produsă în Bulgaria, în data de 05.06.2012

• Detonare produsă într-o carieră din partea centrală a regiunii Dobrogea, România, 19.06.2012 În **figura 15** sunt prezentate detecțiile semnalelor infrasonice ale acestei explozii, care a fost localizată în catalogul ROMPLUS, elaborat de INCDFP, ca eveniment seismic produs în centrul Dobrogei, România, având timpul de origine 16:12:43 UTC (*Ghica et al., 2016*).



Figura 15. Reprezentările grafice ale rezultatelor detectorului PMCC (dreapta) și histogramei polare a direcției de sosire în funcție de azimut (stanga) pentru semnalele acustice generate de detonarea produsă într-o carieră din partea centralăa regiunii Dobrogea, în data de 19.06.2012

3.3.4. Observații asupra rezultatelor obținute prin aplicarea detectorului PMCC

În urma prelucrării datelor înregistrate pe o perioadă de peste 6 ani și a analizei capacității stației IPLOR de detectare a semnalelor infrasonice, respectiv de identificare a tipurilor de surse care sunt predominante în detecțiile acesteia, s-au observat următoarele:

(1) Stația IPLOR este eficientă în observarea în special a semnalelor acustice produse de surse specifice de tip impulsiv (cu conținut de frecvențe mai mari): explozii accidentale și controlate, erupții vulcanice, meteoriți, furtuni etc.

Această observație este în concordanță și cu caracteristicile senzorilor instalați la array-ului de Ploștina (răspuns în frecvență, domeniu dinamic etc.) și apertura destul de mare a acestuia. Totuși, detectabilitatea semnalelor de frecvență relativ scăzută (sub 0,5 Hz) s-a îmbunătățit semnificativ odată cu creșterea numărului de elemente al array-ului.

În plus, array-ul de la Ploștina se poate utiliza pentru evaluarea importanței amplasării comune a senzorilor seismici și acustici, prin monitorizarea seismică și acustică a evenimentelor locale și regionale, respectiv prin detectarea semnalelor infrasonice produse de explozii, detonări în mine și în cariere.

(2) Capacitatea de detecție a stației IPLOR prezintă o comportare sezonier alternantă, deoarece modul de propagare a undelor prin "canalele infrasonice" este puternic influențat de direcția și viteza vânturilor stratosferice, care se modifică bianual: propagare spre vest, pe timpul verii și spre est, pe durata iernii (*de Groot-Hedlin et al. 2010*). În general, se observă că detecția semnalelor de frecvență relativ înaltă (peste 1 Hz) predomină în înregistrările IPLOR.

În plus, semnalele infrasonice sunt influențate de profilele atmosferice de temperatură și vânt, viteza efectivă de undă a semnalelor infrasonice depinzând atât de altitudine cât și de distanța la care se propagă acestea.

(3) Pentru interpretarea rezultatelor detecțiilor infrasonice ale stației IPLOR și asocierea lor cu surse de referință (evenimente ale căror localizări și timpi de producere sunt cunoscute din buletine revizuite și rapoarte), s-a aplicat următoarea procedură simplă:

- s-au calculat valorile teoretice ale azimutului invers și distanței de la eveniment la stația de înregistrare (IPLOR);

- s-a calculat timpul teoretic de sosire al semnalului infrasonic de la sursă la stație, folosind distanța de propagare și timpul la origine (de producere a evenimentului); s-a considerat o viteză efectivă a undei acustice de 0,35 km/s.

- pentru asocierea efectivă a semnalelor detectate în înregistrările IPLOR cu sursele acustice referențiale, s-au considerat o deviație a azimutului invers (diferența dintre valoarea observată și cea teoretică) de maxim ±20°, și o diferență acceptabilă a timpului de sosire față de cel teoretic estimat de maxim +5 minute.

Această procedură a permis și observarea posibilelor erori ale parametrilor măsurați pentru caracterizarea semnalelor utile (azimut invers, viteza medie acustică aparentă), a variațiilor temporale și spațiale ale pragurilor de detecție în funcție de evoluția geometriei array-ului și de condițiile dinamicii stratosferei.

Bibliografie

Arrowsmith SJ, Hedlin MAH (2005) Observations of infrasound from surf in southern California. Geophys Res Lett 32:L09810. doi:10.1029/2005GL022761

Bass HE (1972) Atmospheric absorption of sound: analytical expressions. J Acoust Soc Am 52:821-825

Brachet N, Brown D, Le Bras R, Cansi Y, Mialle P, Coyne J (2010) Monitoring the Earth's Atmosphere with the Global IMS Infrasound Network. In: A. Le Pichon et al. (eds.), Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies, Chapter 3, pp 77-118, © Springer Science + Business Media B.V. 2010

Campus P (2004) The IMS infrasound network and its potential for detection of events: examples of a variety of signals recorded around the world. Inframatics 6:14–22

Campus P, Christie, DR (2010), Worldwide Observations of Infrasonic Waves. In: A. Le Pichon et al. (eds.), Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies, Chapter 3, pp 77-118, © Springer Science + Business Media B.V. 2010, Chapter 6, pp 181-230

Cansi Y (1995) An automatic seismic event processing for detection and location: The P.M.C.C. method. Geophys Res Lett 22:1021–1024

Cansi Y, Klinger Y (1997) An automated data processing method for mini-arrays, CSEM/EMSC European-Mediterranean Seismological Centre. News Lett 11:1021–1024

Evers LG, Haak HW (2010) The Characteristics of Infrasound, its Propagation and Some Early History. In: A. Le Pichon et al. (eds.), Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies, Chapter 1, pp 3-27, © Springer Science + Business Media B.V. 2010

de Groot-Hedlin CD, Hedlin MAH, Drob DP (2010) Atmospheric variability and infrasound monitoring., In: A. Le Pichon et al. (eds.), Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies, , Chapter 15, pp. 469–504, © Springer Science + Business Media B.V. 2010

Garcés M, Hansen R, Lindquist K (1998) Traveltimes for infrasonic waves propagating in a stratified atmosphere. Geophys J Int 135:255–263

Ghica D, Ionescu C, Tataru S (2014) Upgrade of the Plostina infrasound array, European Geosciences Union 2014, Vienna, Austria (poster presentation)

Ghica, D. (2014) Detection capabilities of the Plostina infrasound array, Infrasound Technology Workshop 2014, Vienna, Austria (poster presentation)

Ghica D, Grecu B, Popa M (2015) Seismo-acoustic analysis of the ocean swell sources observed with Romanian infrasound array and seismic stations, European Geosciences Union 2015, Vienna, Austria (poster presentation)

Ghica D, Ionescu C, Popa M (2015) Seismo-acoustic monitoring of local events, CTBT: Science and Technology 2015 Conference, Vienna, Austria (poster presentation)

Ghica D, Popa M (2016) IPLOR performance in detecting infrasound from volcanic eruptions, European Geosciences Union 2016, Vienna, Austria (poster presentation)

Ghica DV, Grecu B, Popa M, Radulian M (2016) Identification of blasting sources in the Dobrogea seismogenic region, Romania using seismo-acoustic signals, Physics and Chemistry of the Earth (2016), http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2016.04.006

Grecu B, Ghica D, Moldovan I, Ionescu C (2013) Seismo-acoustic analysis of thunderstorms at Plostina (Romania) site, European Geosciences Union 2013, Vienna, Austria (poster presentation)

Holton JR (1979) An introduction to dynamic meteorology. Academic Press, London

Le Pichon, A, Matoza, RS Brachet N, CansiY (2010) Recent Enhancements of the PMCC Infrasound Signal Detector, Inframatics Newsletter, http://www.inframatics.org/

Mutschlecner JP, Whitaker RW (2010) Some atmospheric effects on infrasound signal amplitudes, This volume pp. 449–468

Oncescu MC, Marza VI, Rizescu M, Popa M (1999) The Romanian Earthquake Catalogue between 984-1997, in Vrancea Earthquakes: Tectonics, Hazard and Risk Mitigation, F. Wenzel, D. Lungu (eds.) & O. Novak (co-ed), pp. 43-47, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands

Pain HJ (1983) The physics of vibrations and waves. Wiley, Great Britain

Salby ML (1996) Fundamentals of atmospheric physics. Academic Press, San Diego

Walker KT, Hedlin MAH (2010), A review of wind-noise reduction methodologies. In Le Pichon, A., Blanc, E., Hauchecorne, A. (2010), Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies, pp. 137–180

<u>6.</u> <u>Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea</u> <u>proiectului</u> *Rezultate*

• S-a făcut descrierea stației de măsurare a infrasunetelor instalată la Ploștina (IPLOR), pezentându-se:

- amplasarea

- configurația și instrumentația

- sistemele de reducere a nivelului de zgomotului de fond al înregistrărilor

• S-a realizat o descriere sintetică a procesului global de monitorizare a semnalelor infrasonice generate de fenomenele geofizice naturale și artificiale, evidențiindu-se:

- caracteristicile și propagarea infrasunetelor

- sursele de infrasunete

• S-a prezentat metodologia urmată în vederea determinării performanțelor stației IPLOR de măsurare a infrasunetelor în monitorizarea surselor seismo-acustice, punându-se în evidență:

- caracteristicile generale ale sistemului de măsurare

- programul utilizat pentru prelucrarea datelor înregistrate cu stația infrasonică IPLOR (caracteristici generale și modul de configurare a programului WinPMCC pentru prelucrarea datelor IPLOR)

- aplicarea programului WinPMCC pentru prelucrarea și analiza datelor de infrasunete înregistrate de stația IPLOR

• S-au prezentat rezultatele prelucrării datelor infrasonice înregistrate de IPLOR:

- diagramele de detectabilitate ale stației IPLOR în perioada 2009-2015 (distribuția fazelor infrasonice detectate – conținutul în frecvență al semnalelor și distribuția fazelor infrasonice detectate – conținutul de viteze al semnalelor)

- sursele acustice predominante observate în înregistrările infrasonice ale IPLOR: microbaroame, unde infrasonice asociate cu zonele muntoase, episoadele eruptive, zgomot infrasonic marin de tip "surf" (generat de acțiunea valurilor când se lovesc de țărm)

- sursele acustice incidentale observate în înregistrările infrasonice ale IPLOR

(1) surse naturale de infrasunete: cutremure, furtuni locale puternice, bolizi (explozii de meteoriți)

(2) surse artificiale (antropice) de infrasunete: explozii experimentale și accidentale, detonări în mine și cariere

- observațiile asupra rezultatelor obținute din prelucrarea datelor IPLOR prin aplicarea detectorului PMCC

Stadiul realizării obiectivului fazei Obiectivul a fost realizat integral.

Concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului

Pe baza rezultatelor obținute, se poate concluziona ca s-a reușit atingerea cu succes a obiectivelor propuse pentru prezenta fază și anume:

- investigarea amănunțită a capabilităților senzorilor de măsurare, a configurației array-ului și a influenței sistemelor de filtrare utilizate pentru îmbunătățirea raportului semnal/zgomot-SNR

- examinarea metodelor existente de prelucrare a datelor infrasonice și aplicarea lor pentru extragerea semnalelor cu amplitudine scăzută din câmpul de zgomot incoerent al datelor

- prezentarea tipurilor de surse, naturale și artificiale, de hazard geofizic, care sunt referențiale pentru investigarea evenimentelor seismo-acustice și propagarea prin atmosferă a semnalelor infrasonice generate de aceste surse

- evaluarea performanțelor obținute în monitorizarea infrasunetelor pe o perioadă de peste 6 ani cu stația IPLOR, pe baza căreia s-a făcut identificarea tipurilor de surse (1) predominante în înregistrările acesteia și (2) incidentale care au putut fi detectate

- evidențierea posibilelor erori ale parametrilor măsurați pentru caracterizarea semnalelor utile, a variațiilor temporale și spațiale ale pragurilor de detecție în funcție de evoluția geometriei arrayului și de condițiile dinamicii stratosferei.

Rezultatele obținute în prezenta fază vor fi aplicate în continuarea proiectului pentru:

(1) Stabilirea și analiza seismo-acustică a unui set de evenimente de referință, provenite de la surse naturale și antropogenice (locale și regionale), cu caracter impulsiv (explozii chimice, detonări, bolizi, furtuni) și care au generat semnale înregistrate cu senzorii de infrasunete ai stației IPLOR și seismometrele RSN.

(2) Valorificarea rezultatelor obținute din analiza seismo-acustică în vederea aplicării lor pentru elaborarea unei proceduri de discriminare a evenimentelor seismice din catalogul ROMPLUS actualizat: distingerea dintre cutremure naturale și explozii de carieră.

Se estimează că această procedură va putea fi extinsă și pentru identificarea și caracterizarea altor evenimente de tip impulsiv/exploziv care apar în amplasamente cu hazard geofizic ridicat (uzine chimice, centrale termice și nucleare, rafinării, mine) și care pot contribui la o monitorizare eficientă a riscurilor generate de acestea ca surse antropogenice de poluare.

Responsabil proiect,

Dr. Daniela Veronica Ghica