

Utilizarea stațiilor infrasonice românești pentru monitorizarea furtunii din jud. Constanța (29 – 31 august 2024)

În perioada 29 – 31 august 2024, stațiile românești de monitorizare a infrasunetelor (AGIR, BURARI și IPLOR) au detectat o multitudine de semnale generate de furtuna violentă care a afectat județul Constanța de-a lungul coastei de est a României. Această furtună a fost indusă de un sistem cvasi-staționar de joasă presiune (ciclone) apărut deasupra Mării Negre.

Pentru prelucrarea și analiza datelor acustice înregistrate de stațiile menționate, s-a folosit un grup de aplicații software orientate spre detectarea semnalelor de infrasunete, care a fost dezvoltat recent de către Departamentul de analiză, supraveghere și mediu al Comisariatului de Energie Atomică din Franța (CEA/DASE – Commissariat à l'Énergie Atomique/Département analyse, surveillance, environnement): DTK-PMCC, DTK-GPMCC și DTK-DIVA. Prin utilizarea combinată a celor trei aplicații se poate realiza:

- configurarea algoritmului PMCC de detecție a semnalelor de infrasunete (*Cansi, 1995; LePichon and Cansi, 2003; LePichon et al., 2010; Garces, 2013*) și studierea detaliată a acestor detecții (GPMCC)
- studierea cu exactitate a detecțiilor asociate zgomotului coerent și interacțiunea lor cu semnalele de interes (GPMCC & DIVA)
- reprezentarea grafică a detecțiilor obținute pentru fiecare stație în funcție de parametrii calculați (azimut invers, viteză de parcurs, amplitudine, frecvență etc.), respectiv obținerea diagramelor de detectabilitate și identificarea parametrilor care influențează capacitatea de detecție a stației (condițiile meteorologice locale, sursele de zgomot, transportul de mase de aer din stratosferă etc.) (DIVA)

1. Semnale infrasonice de frecvență înaltă (0,6 – 7 Hz) observate cu stația AGIR, amplasată în estul României (Agigea, județul Constanța), în perimetrul Stațiunii Biologice Marine „Prof. Dr. Ioan Borcea”

Numeroasele fulgere și tunete asociate furtunii au generat o multitudine de semnale infrasonice în perioada studiată. S-au observat:

- Aproape 11000 de detecții ale descărcărilor electrice înregistrate cu sistemul satelitar MTG Lightning Imager într-o arie cu rază de 50 km în jurul stației AGIR (**Figura 1**). S-a considerat că această arie permite aplicarea ipotezei propagării directe a undelor infrasonice către stație pentru o corelare satisfăcătoare a detecțiilor de infrasunete cu detecțiile de fulgere.
- Aproape 1100 de detecții infrasonice într-o bandă de frecvență de 0,7 până la 7 Hz (**Figura 2**). Trenurile de undă conținând de lungă durată cu vârfuri frecvente ale amplitudinii înregistrate în timpul furtunii pot fi considerate ca provocate de descărcările electrice. Semnăturile acustice ale activității fulgerelor arată perturbări de scurtă durată cu frecvență dominantă de aproximativ 3 Hz și amplitudini variind între 0,01 și 3,4 Pa.

În **Figura 1** este reprezentată histograma polară a detecțiilor stației AGIR, afișată cu Google Earth pentru perioada 29 – 31 august 2024. Au fost adăugate și locațiile fulgerelor detectate cu sistemul MTG Lightning Imager.

În **Figura 2** este prezentată diagrama de detectabilitate a stației AGIR. Se observă o largă acoperire azimutală a direcțiilor detecțiilor.

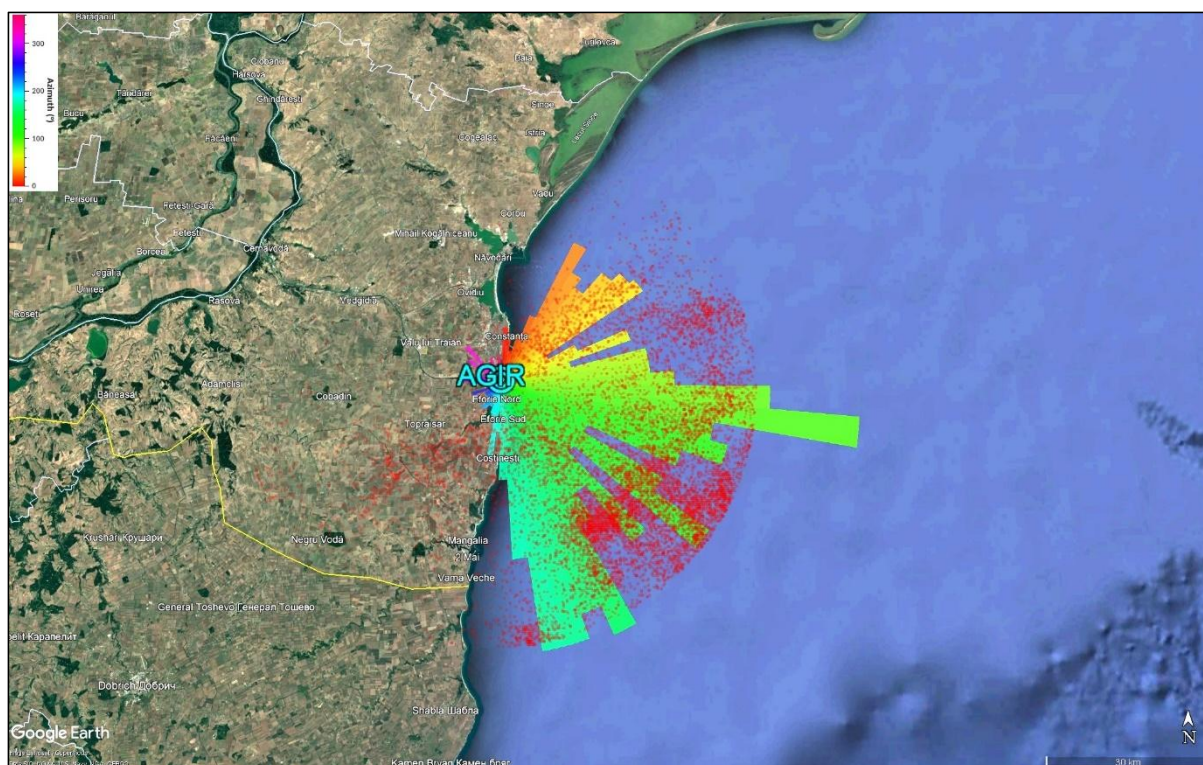


Figura 1. Histograma polară a detecțiilor stației infrasonice AGIR, afișată cu Google Earth, împreună cu locațiile fulgerelor detectate cu sistemul MTG Lightning Imager pentru perioada 29 – 31 august 2024. Poziția geografică a stației infrasonice AGIR este de asemenea reprezentată pe hartă.

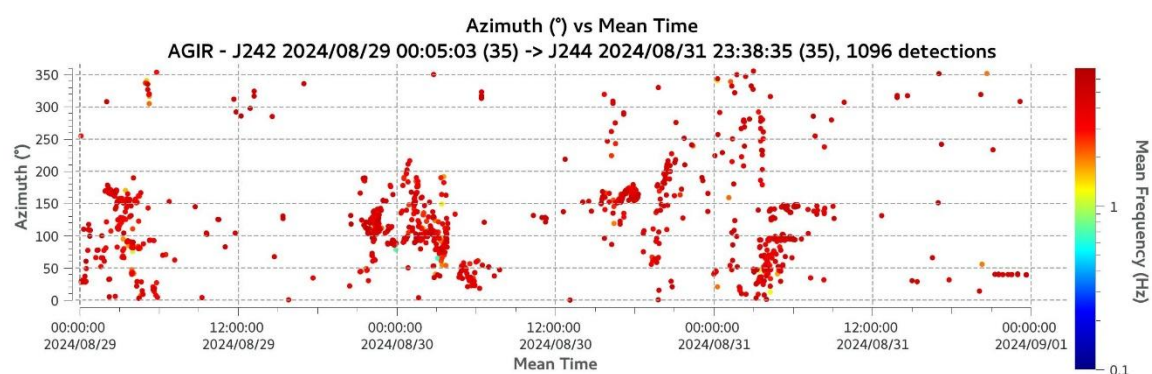


Figura 2. Diagrama detecțiilor de frecvență înaltă ale stației infrasonice AGIR între 29 și 31 august 2024

În vederea asocierii detecțiilor infrasonice cu descărcările electrice observate în aria cu rază de 50 km în jurul stației AGIR, s-a aplicat o formulă de calcul (*Assink et al, 2008*) a timpului de sosire al detecțiilor infrasonice (t) bazată pe timpul de observare al semnalelor de descărcare electrică (t_{MTG}):

$$t = t_{\text{MTG}} + d/c + \Delta t$$

d – distanța dintre locația fulgerului și stația AGIR, $c = 340\text{m/s}$ (viteza sunetului), $\Delta t = \pm 10\text{s}$ (deviația în timp acceptată)

S-a considerat o deviație maximă de 10° între valoarea azimutului invers calculată pentru detecțiile infrasonice (observată) și valoarea azimutului invers calculată pentru sosirea detecțiilor de fulgere la stația AGIR (teoretică).

În **Figura 3** este prezentat rezultatul asocierii detecțiilor infrasonice AGIR (infrasound detections) cu detecțiile de fulgere (lightnings) pentru perioada de timp studiată.

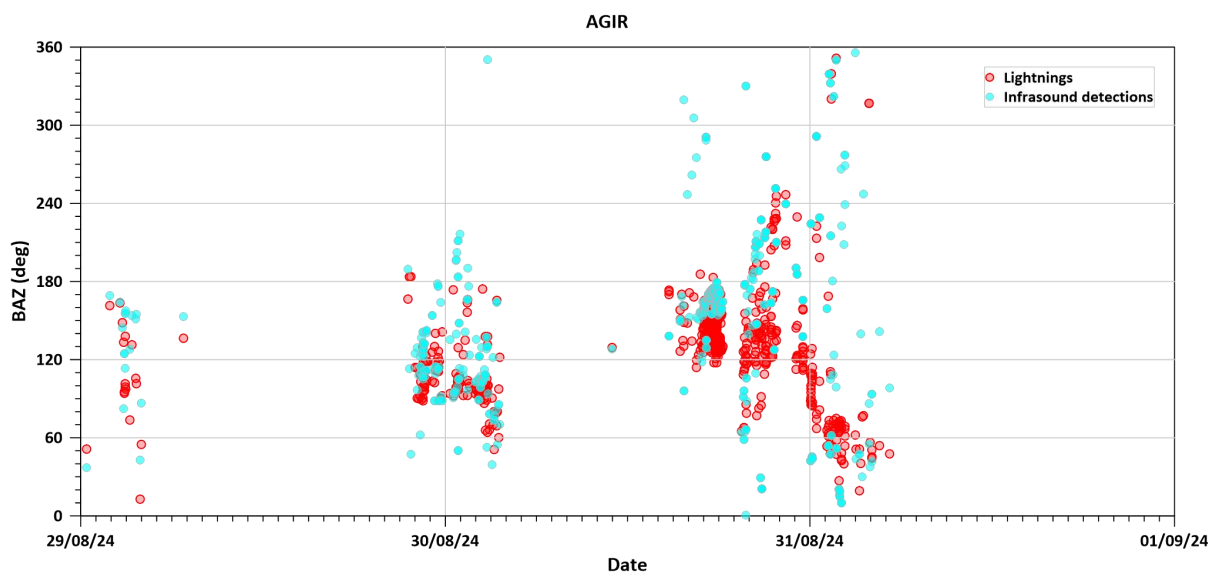


Figura 3. Diagrama detecțiilor infrasonice de frecvență înaltă ale stației AGIR asociate cu detecțiile de fulgere în perioada 29 – 31 august 2024

2. Semnale infrasonice de frecvență joasă (0,1 – 1,0 Hz) observate cu stația BURARI, amplasată în nordul României (Benea, județul Suceava), și stația IPLOR, amplasată în centrul României (Ploștina, județul Vrancea)

Pe lângă descărcările electrice puternice din timpul furtunii, ciclonul a fost însoțit și de vânt puternic care a produs valuri în Marea Neagră. Putem considera ca aceste valuri sunt cauza fluctuațiilor semnificative observate în detecțiile de microbaroame (interacțiunea neliniară a valurilor marine cu atmosfera) din regiunea Mării Negre.

În **Figurile 4 și 5** sunt prezentate diagramele detecțiilor de frecvență joasă (0,1 – 1,0 Hz) ale stațiilor BURARI și IPLOR pentru perioada 29 – 31 august 2024. Domeniile azimutale ale detecțiilor infrasonice (cu roșu în diagrame) asociate cu microbaroamele din Marea Neagră sunt: 135° – 150° pentru stația BURARI și 90° – 165° pentru stația IPLOR.

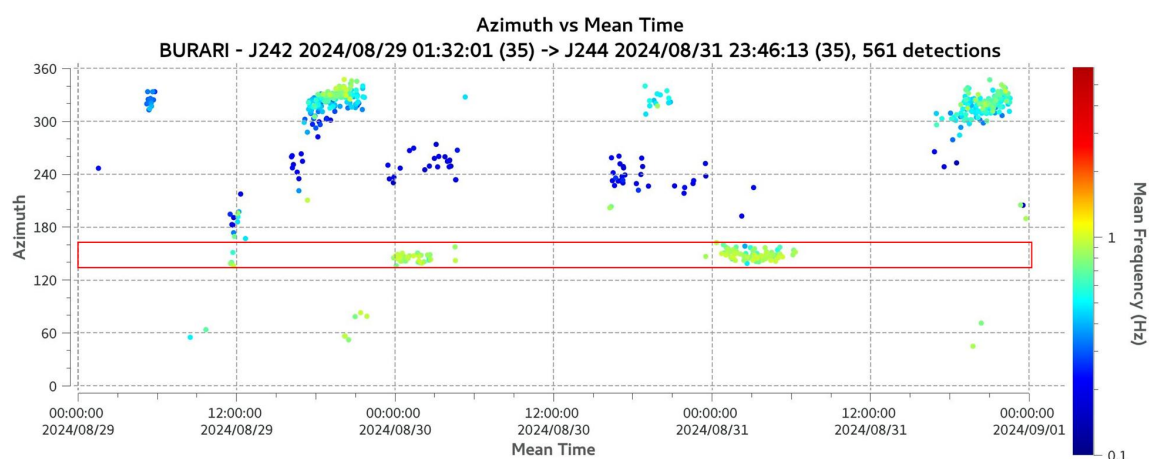


Figura 4. Diagrama detecțiilor de frecvență joasă ale stației infrasonice BURARI între 29 și 31 august 2024. Domeniul azimutal asociat microbaroamelor din Marea Neagră este 135° – 150° (cu roșu).

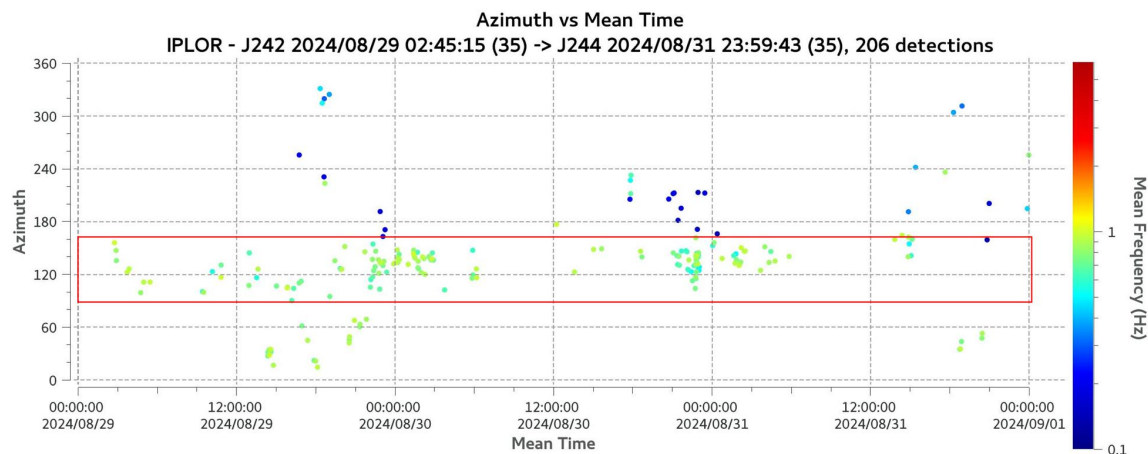


Figura 5. Diagrama detecțiilor de frecvență joasă ale stației infrasonice IPLOR între 29 și 31 august 2024, Domeniul azimutal asociat microbaroamelor din Marea Neagră este $90^{\circ} - 165^{\circ}$ (cu roșu).

În **Figura 6** sunt reprezentate histogramele polare ale detecțiilor de joasă frecvență ale stațiilor BURARI și IPLOR, afișate cu Google Earth pentru perioada 29 – 31 august 2024.

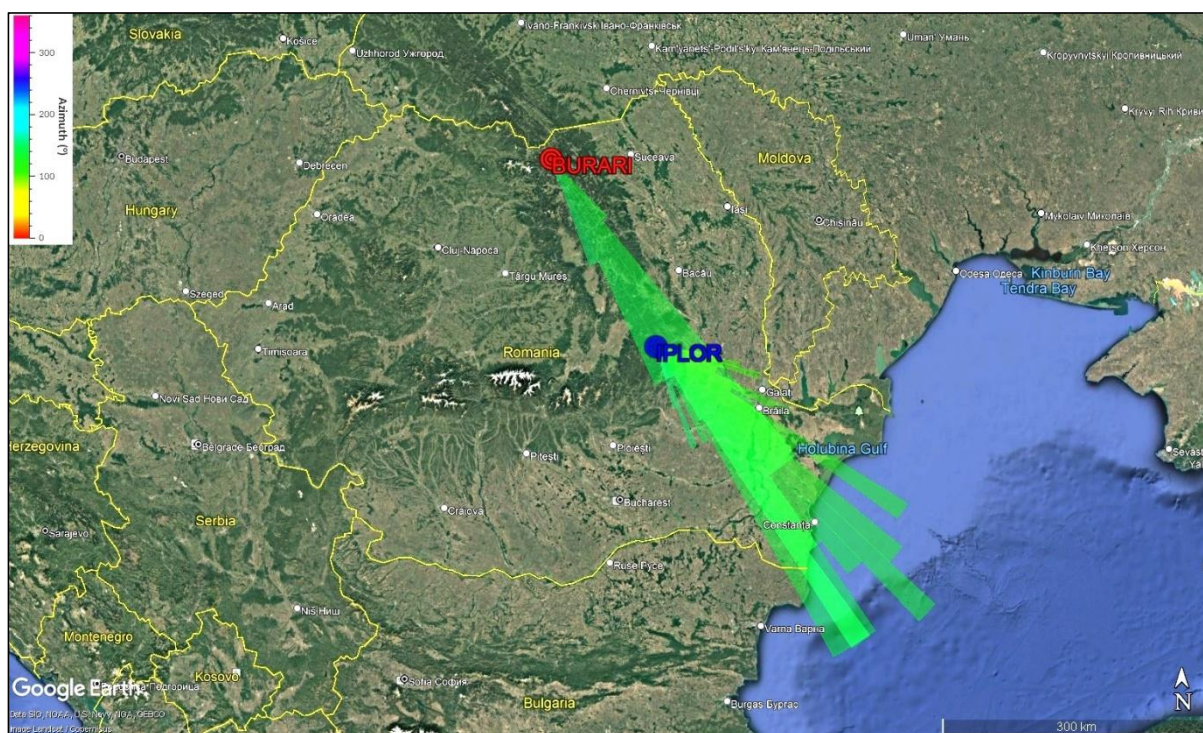


Figura 6. Histogramele polare ale detecțiilor de joasă frecvență ale stațiilor BURARI și IPLOR, afișate cu Google Earth pentru perioada 29 – 31 august 2024

În urma analizei modului de propagare a semnalelor infrasonice pe baza corelării modelelor specifice – atmosferic (ECMWF) și de valuri în Marea Neagră (https://data.marine.copernicus.eu/product/BLKSEA_MULTIYEAR_WAV_007_006/description) din cadrul serviciului Copernicus Marine Service (componenta marină Programului Copernicus a Uniunii Europene) –, detecțiile infrasonice de frecvență joasă (0.1 – 1 Hz) ale stațiilor amplasate la distanță mai mare de coasta românească a Mării Negre (BURARI – aprox. 500 km, IPLOR – aprox. 250 km) au putut fi corelate cu variația spectrală a înălțimii valurilor din Marea Neagră din perioada studiată. În **Figura 7** este prezentat un exemplu de corelare a detecțiilor infrasonice ale celor două stații

(reprezentate sub formă de histograme polare) cu înălțimea valurilor din Marea Neagră pentru o oră (00:00:00 – 00:01:00, UTC) din data de 30 august 2024.

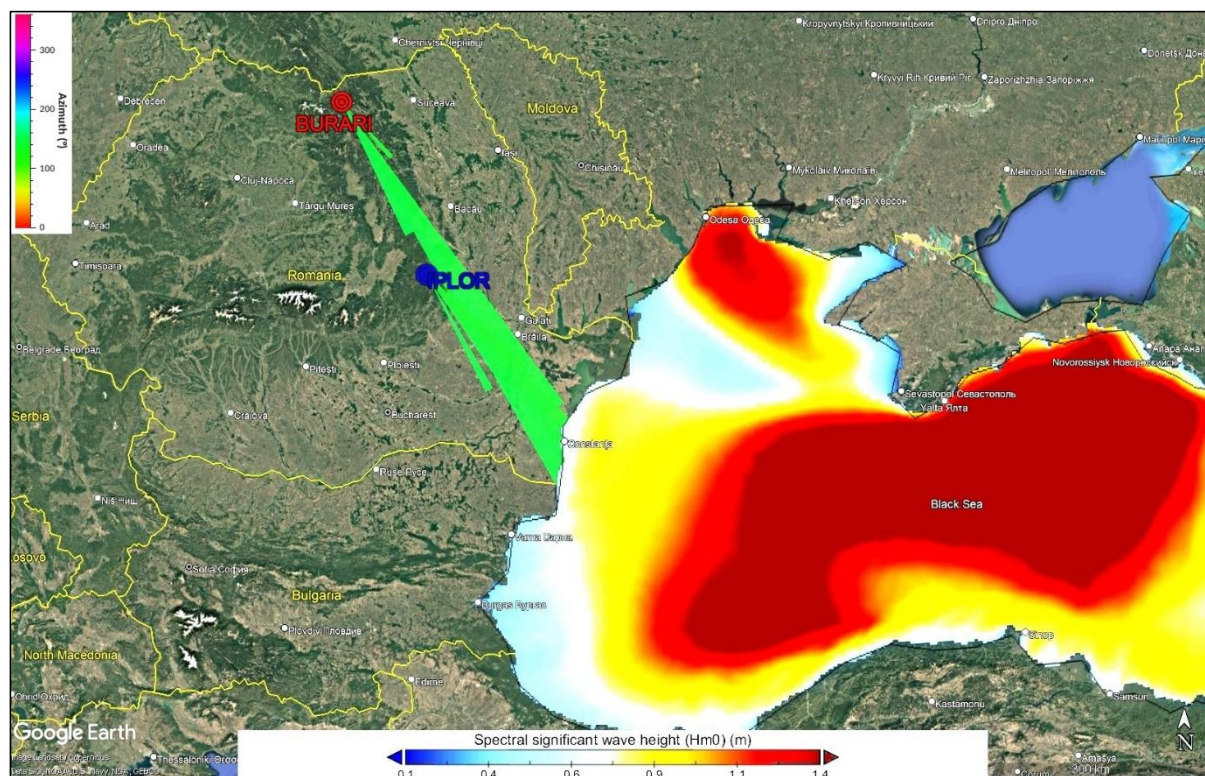


Figura 7. Histogramele polare ale detecțiilor de joasă frecvență ale stațiilor BURARI și IPLOR, afișate cu Google Earth pentru data de 30 august 2024 (00:00:00 – 00:01:00, UTC)

Înregistrările infrasonice ale microbaroamelor pun în evidență variații importante a amplitudinii și direcției semnalului, care sunt controlate de circulația sezonieră globală a vântului stratosferic, de amplitudinea și frecvența valurilor oceanice și de distanța de propagare (distanța dintre sursa și stația de măsurare).