Rezumatul Etapei a doua

Introducere

Pentru a monitoriza fluctuatiile de structura si altitudine ale ionosferei este utilizata o metoda simpla, care beneficiaza de existenta unor emitatoare de mare putere, folosite pentru comunicatii cu submarinele sau in alte scopuri, cum ar fi transmiterea marker-elor de timp. Aceste emitatoare transmit intr-o banda de frecvente foarte scazute, cuprinsa intre 11kHz si 50kHz. Monitorizarea propagarii semnalelor de foarte joasa frecventa (VLF), transmise de aceste emitatoare, precum si monitorizarea intensitatii semnalelor ce provin de la emitatoare in banda LF (100kHz-500kHz) ajuta la urmarirea comportarii stratului D al ionosferei, care are cea mai scazuta altitudine (60 - 90km) dintre toate straturile ionosferei (in conditii de activitate solara intensa, poate aparea si stratul C). Printre primele rezultate experimentale care au vizat verificarea comportarii ionosferei in conditiile pregatirii unui cutremur s-a aflat monitorizarea parametrilor de receptie ai semnalelor VLF inregistrate la sol. Modificarile amplitudinii si distorsiunile de faza au fost interpretate ca fiind datorate ghidului de unda sol-ionosfera prin care se propaga undele VLF. S-a ajuns la concluzia ca distorsiunile sunt produse de o scadere a altitudinii ionosferei deasupra zonei de pregatire a cutremurului. De asemenea, s-a presupus ca pozitia viitorului epicentru ar putea fi determinata prin triangulatie, iar prin interpretarea amplitudinii anomaliilor se va putea estima magnitudinea cutremurului. Momentul aparitiei cutremurului ar fi putut fi estimat in functie de momentul aparitiei anomaliilor de propagare. In aceste conditii, realizarea unei retele globale de monitorizare a propagarii VLF este impetuos necesara. Astfel, se poate analiza modul in care stratul D se comporta ca un indicator al anomaliilor ionosferice precursoare cutremurelor. Prima retea de acest tip a fost reteaua AWESOME, Stanford (http://solar-center.stanford.edu/SID/AWESOME/).

Obiectiv 2.1 Dezvoltarea metodelor de prelucrare avansata

In acest objectiv s-au prezentat metodele Timpului Terminator TT, metoda fluctuatiei pe timp de noapte (NT) si metodele spectrale ce includ metoda wavelet.

Activitate 2.1.1 Dezvoltarea metodei Timpului Terminator (TT), aplicata variatiei diurne a undelor radio VLF / LF și studiul perturbatiilor seismo-ionosferice.

Cu scopul de a studia perturbatiile seismo-ionosferice a fost propusa o prima metoda de analiza pentru variatiile semnalului VLF/LF: **metoda timpului terminator (Hayakawa et al., 1996; Molchanov si Hayakawa, 1990; Molchanov et al., 1998).** In aceasta prima medoda atentia se indreapta catre timpii terminatori din variatiile diurne subionosferice VLF/LF, care sunt definiti ca timpii de amplitudine minima (sau faza) din jurul rasaritului sau apusului. S-a observat ca acesti timpi terminatori variaza semnificativ in jurul momentului producerii unui cutremur. In cazul cutremurului din Kobe, Hayakawa et al. (1996) au observat variatii semnificative atat in timpii terminatori ai rasaritului cat si in cei ai apusului si au interpretat aceste rezultate ca o miscorare a ionosferei inferioare folosind teoria modului undei complete.

Activitate 2.1.2 Dezvoltarea metodei fluctuației nocturne (NT), aplicata propagarii subionosferice a undelor radio VLF/LF.

Tot cu scopul de a studia perturbatiile seismo-ionosferice a fost propusa o metoda alternativa de analiza pentru variatiile semnalului VLF/LF: metoda fluctuatiilor din timpul noptii (Shvets et al., 2004; Rozhnoi et al., 2004; Maekawa et al., 2006).

In cadrul celei de-a doua metode, cea a fluctuatiilor din timpul noptii, Maekawa et al. (2006) au observat si identificat in fluctuatiile ionosferice din timpul noptii efecte asociate cu cutremurele: (1)

scaderea amplitudinii medii si (2) amplificarea (cresterea) fluctuatiilor. In aceasta metoda se folosesc doar datele inregistrate noaptea. Prin noapte se inteleg orele la care este noapte pe toata suprafata traseului de propagare a undei. Metoda consta in estimarea diferentei dintre amplitudinea A(t) (amplitudinea A la momentul t in ziua z) si $\langle A(t) \rangle$ (media amplitudinii la ora t pentru 30 de zile in jurul zilei z: z-15 $\langle z \langle z+15 \rangle$). Dupa calcularea acestei diferente se vor masura urmatorii parametri fizici: (1) media amplitudinii oe timp de noapte si trendul, (2) dispersia datelor si (3) fluctuatiile din timpul noptii (definite ca dA(t) $\langle 0 \rangle$). S-a constatat empiric, din rezultatele obtinute pana in prezent de cercetatori renumiti, ca in timpul unei anomalii de propagare , amplitudinea medie (trendul) pare sa scada semnificativ si atat dispersia, cat si parametrul numit fluctuatia pe timp de noapte prezinta schimbari statistice semnificative (Hayakava et al, 2010).

Aceste doua metode prezentate in A2.1.1 si A2.1.2 (TT si NT) sunt folosite la distante scurte de pana la 2000Km traseu de propagare, si ambele au fost considerate la fel de bune la aceste distante. La distante medii (6000-8000 km) ale traseului de propagare metoda TT nu pare sa dea rezultate bune, in timp ce NT a dat rezultate bune (Kasahara et al, 2010) in descoperirea semnaturilor cutremurelor asociate cu anomaliile de p[ropagare datorate perturbatiilor din ionosfera joasa.

Activitate 2.1.3 Dezvoltarea metodei wavelet

Una din metodele de monitorizare a efectelor seismogeomagnetice este bazată pe diferența de semnale dintre o stație localizată în zona seismică și o stație de referință. Analizele efectuate în cadrul prelucrarilor primare au arătat că metoda clasică a diferenței dintre amplitudinile câmpurilor magnetice la doua statii (F) păstrează încă astfel de componente periodice. Scopul cercetărilor a fost identificarea si implementarea unei metode de analiză spectrală și în domeniul timp frecvență capabile să elimine componentele periodice produse de câmpuri geomagnetice externe din semnalul total măsurat. În urma studiului s-a optat pentru implementarea următoarei scheme de analiză spectrală și în domeniul timp-frecvență pentru semnalelor magnetice înregistrate în reteaua geofizica a acestui proiect: (i) analiza spectrală prin metoda Peridogramei Lomb-Scargle și (ii) analiza timp – frecvență utilizând distribuția Wignet-Ville cu ferestre de tip Hanning și (iii) filtrarea semnalului prin Transformata Wavelet discretă modulară cu suprapunere maximă. In continuare sunt prezentate caracteristicile principale ale algoritmilor implementați.

Dintre cele 3 metode spectrale, a fost aleasa metoda wavelet pentru a fi testata pe datele EM.

Obiectiv 2.2. Aplicarea metodelor în analiza propagarii undelor radio VLF / LF pentru studiul perturbatiilor seismo-ionosferice. Alegerea celei mai bune metode

Sistemul de monitorizare a campului electromagnetic produs de emitatoare aflate la mare distanta este un sistem performant, modern, care permite alcatuirea retelei de monitorizare electromagnetica cu acoperire regionala si nu numai. Receptoarele care alcatuiesc reteaua INFREP sunt distribuite in Europa si monitorizeaza permanent nivelul semnalelor care se propaga pe deasupra zonelor seismogene din aceasta regiune. Prin intermediul acestei monitorizari "incrucisate" se doreste a se urmari aparitia perturbatiilor ionosferice bruste care apar in fazele finale de pregatire ale seismelor importante din sursele pe deasupra carora trece semnalul monitorizat.

In prezent reteaua INFREP consta din 15 receptoare localizate pe tot cuprinsul Europei, care monitorizeaza fiecare transmisiile a cate 10 emitatoare din Europa si Africa pe frecvente VLF (15~50 kHz) si LF (150~300 kHz) (<u>http://beta.fisica.uniba.it/infrep/Home.aspx</u>). Receptoarele sunt instalate in Portugalia, Italia, Malta, Grecia, Romania, Turcia/Georgia si Cipru – **Figura 1/Tab 1.**

Tabelul 1. Caracteristicile receptoarelor INFREP folosite in acest studiu si frecventelemonitorizate in 2017

Ri	Sinmol	Locatie	Lat	Long	Start	LFi	VLFi
R1	CIP	Nicosia, Cyprus	35.17	33.35	3/2012	T1,T2,T4,T9,T8	T10, T13,T14,T6, T5
R4	POR	Evora, Portugal	38.57	-7.9	9/2010	T1,T2,T9,T8,T7	T10,T13,T14,T5
R 11	Dob-RO	Eforie Nord, Romania	44.08	28.63	9/2009	T11, T8,T7, T4	T10,T13,T14,T12, T5, AWT25
R12	BIR-RO	Barlad	46.23	27.64	06/2017	T11, T8,T7, T4	T10,T13,T14,T12, T5, AWT25
R13	PLOR- RO	Plostina	45.85	26.65	06/2017	T11, T8,T7, T4	T10,T13,T14,T12, T5, AWT25
R15	MAG- RO	Magurele	44.35	26.03	08/2016	T11, T8,T7, T4	T10,T13,T14,T12, T5 AWT25



Figura 1. Receptoarele (Ri) retelei INFREP (Tabel 2), emitatoarele LF si VLF (Ti) (Tabelul 3) si seismicitatea european cu Mw>6.0 produsa dupa 2009 (Tabelul 2)

Pe Figura 1 sunt reprezentate si cutremurele cu M>6.0, care s-au produs in Europa pe perioada de functionare a retelei INFREP (2009-prezent).

In **Tabelul 2** sunt prezentate cele 16 cutremure ce s-au produs in zona euro-Mediteraneana in perioada de functionare a retelei INFREP (2009-2017) si au avut Mw>6.0. Cel mai mare eveniment a fost cel din 24 mai 2014, Mw=6.9 (evenimentul numarul 10 din **Figura 1, Tabelul 2**). In plus fata de evenimentele cu Mw>6.0, in Figura 1 au mai fost reprezentate si cele 5 evenimente din Romania, din Vrancea cu Mw>5.0 (evenimentele R1-R5).

Emitatoarele ale caror frecvente sunt monitorizate de reteaua europeana INFREP sunt prezentate in **Figura 1 si in Tabelul 3**.

	(uupu Livis C)											
No	Nr	Date	Time UTC	Lat	Long	Depth	Mw	Region Name				
E7	1	06.04.2009	01:32:41	42.38	13.32	2	6.3	CENTRAL ITALY				
E13	R1	25.04.2009	17:18:48	45.7	26.63	96	5.3	ROMANIA				

Tabelul 2. Cutremure cu Mw>6.0 in Europa si Mw>5.0 in Romania in perioada 2009-2017 (dupa EMSC)

E17	2	01.07.2009	09:30:11	34.13	25.42	30	6.4	CRETE, GREECE
E33	3	08.03.2010	02:32:35	38.84	40	10	6	EASTERN TURKEY
E49	4	01.04.2011	13:29:11	35.54	26.63	60	6	CRETE, GREECE
E73	5	20.05.2012	02:03:53	44.9	11.24	10	6.1	NORTHERN ITALY
E108	R2	06.10.2013	01:37:21	45.64	26.69	134	5.3	ROMANIA
E109	7	12.10.2013	13:11:54	35.56	23.31	47	6.4	CRETE, GREECE
E114	8	26.01.2014	13:55:43	38.19	20.41	18	6.1	GREECE
E115	9	03.02.2014	03:08:45	38.26	20.32	2	6	GREECE
E121	10	24.05.2014	09:25:02	40.29	25.4	27	6.9	AEGEAN SEA
F174	D3	22 11 2014	10.14.17	45.05	27.17	20	5.0	DOMANIA
E1/4	KJ	22.11.2014	19:14:17	45.87	27.10	39	5.0	ROMANIA
E174 E187	11	16.04.2015	19:14:1 7 18:07:44	45.8 7 35.03	27 .16 26.81	39 30	5.0 6.1	CRETE, GREECE
E174 E187 E196	11 12	16.04.2015 17.11.2015	19:14:17 18:07:44 07:10:08	45.8 7 35.03 38.76	27.16 26.81 20.45	39 30 10	5.0 6.1 6.5	CRETE, GREECE GREECE
E174 E187 E196 E207	11 12 13	16.04.2015 17.11.2015 25.01.2016	19:14:17 18:07:44 07:10:08 04:22:02	45.87 35.03 38.76 35.7	27.16 26.81 20.45 -3.71	39 30 10 10	6.1 6.5 6.3	CRETE, GREECE GREECE GIBRALTAR
E174 E187 E196 E207 E218	II 11 12 13 14	22.11.2014 16.04.2015 17.11.2015 25.01.2016 24.08.2016	19:14:17 18:07:44 07:10:08 04:22:02 01:36:32	45.87 35.03 38.76 35.7 42.71	27.16 26.81 20.45 -3.71 13.22	30 10 10 4	5.0 6.1 6.5 6.3 6.2	KOMANIACRETE, GREECEGREECEGIBRALTARCENTRAL ITALY
E174 E187 E196 E207 E218 E220	II II 11 12 13 14 R4 14	22.11.2014 16.04.2015 17.11.2015 25.01.2016 24.08.2016 23.09.2016	19:14:17 18:07:44 07:10:08 04:22:02 01:36:32 23:11:20	45.87 35.03 38.76 35.7 42.71 45.71	27.16 26.81 20.45 -3.71 13.22 26.62	39 30 10 10 4 92	5.0 6.1 6.5 6.3 6.2 5.7	KOMANIACRETE, GREECEGREECEGIBRALTARCENTRAL ITALYROMANIA
E174 E187 E196 E207 E218 E220 E228	11 12 13 14 R4 15	22.11.2014 16.04.2015 17.11.2015 25.01.2016 24.08.2016 23.09.2016 26.10.2016	19:14:17 18:07:44 07:10:08 04:22:02 01:36:32 23:11:20 19:18:07	45.87 35.03 38.76 35.7 42.71 45.71 42.92	27.16 26.81 20.45 -3.71 13.22 26.62 13.13	39 30 10 10 4 92 8	5.0 6.1 6.5 6.3 6.2 5.7 6.1 6.1	KOMANIACRETE, GREECEGREECEGIBRALTARCENTRAL ITALYROMANIACENTRAL ITALY
E174 E187 E196 E207 E218 E220 E228 E231	R3 11 12 13 14 R4 15 16	22.11.2014 16.04.2015 17.11.2015 25.01.2016 24.08.2016 23.09.2016 26.10.2016 30.10.2016	19:14:17 18:07:44 07:10:08 04:22:02 01:36:32 23:11:20 19:18:07 06:40:18	45.87 35.03 38.76 35.7 42.71 45.71 42.92 42.84	27.16 26.81 20.45 -3.71 13.22 26.62 13.13 13.11	39 30 10 10 4 92 8 10	5.0 6.1 6.5 6.3 6.2 5.7 6.1 6.5	KOMANIACRETE, GREECEGREECEGIBRALTARCENTRAL ITALYROMANIACENTRAL ITALYCENTRAL ITALY

 Tabelul 3. Transmitatoarele monitorizate de receptoarele INFREP (* Transmitatoarele AWT sunt monitorizate si de reteaua AWESOME)

Ti	Simbol	Locatie	Lat	Long	Frecventa (Hz)	Putere (KW)	Tip
T1	TRT	Polatli, Turkey	39.76	32.42	180000	1200	LF
T2	RRO	Brasov, Romania	45.75	25.61	153000	1200	LF
Т3	RRU	Taldom, Russia	56.73	37.66	261000	2500	LF
T4	CZE	Topolna, Czech R	49.12	17.51	270000	500	LF
T5	ITS	Niscemi, Italy	37.13	14.44	45900	-	VLF
T6	ICV	Tavolara, Sardinia	40.91	9.71	20270	-	VLF
T7	CH1	Ouargia, Algeria	31.92	5.08	198000	2000	LF
Т8	МСО	Roumoules, France	43.78	6.15	216000	1200	LF
Т9	EU1	Felsberg-Berus, Germany	49.28	6.68	183000	2000	LF
T10	DHO	Rhauderfehn, Germany	53.08	7.62	23400	-	VLF
T11	FRI	Allouis, France	47.17	2.22	162000	2000	LF
T12	HWU	Le Blanc, France	46.71	1.24	21750	-	VLF
T13	GBZ	Anthorn, UK	54.91	-3.28	19580	-	VLF
T14	NRK	Keflavik, + Iceland	64.02	-22.57	37500	-	VLF
AWT04*	GBZ1	Anthorn, UK	52.91	-3.28	22100	-	VLF
AWT9*	HWV	StAssise,France	48.544	2.576	20900	-	VLF
AWT25*	TBB	Bafa,Turkey	37.43	27.55	26700	-	VLF

Receptoare VLF/FL instalate in Romania

Observatorul seismologic Dobrogea

Receptorul Dob-RO (**Figura 2**), realizat de Elettronica Italia, apartine de reteaua europeana INFREP si a fost instalat la observatorul de la Eforie Nord la sfarsitul anului 2009. Acesta monitorizeaza trasee de propagare ce trec peste parti din Romania, Bulgaria, Grecia de Nord, Sudul

si Nordul Italiei. In **Figura 3** este prezentata configuratia frecventelor monitorizate de Dob-RO si corespondenta acestora cu seismicitatea recenta a Europei (Tabelul 2).



Figura 3. Zonele seismogene din Europa traversate de a 5a zona Fresnel a traseelor radio monitorizate de receptorul DOB-Ro plus cutremurele din Tabelul 2

Statia seismica Barlad (Sediul ANM) – Noul sistem de monitorizare instalat in aceasta etapa Receptorul Bir-RO (Figura 3), realizat tot de Elettronica Italia, apartine de reteaua europeana INFREP si a fost primit in 2016 de la Universitatea din Bari. Antenele magnetice au fost realizate in Romania. Receptorul si antenele au fost instalate la statia seismica Barlad in 20 iunie 2017 (Figura 4).



Figura 4. Sistem monitorizare propagare unde radio VLF/LF instalat la Barlad

Impreuna cu antenele si receptorul radio, au mai fost instalate si un electrometru Boltek, care monitorizeaza variatiile potentialului electric vertical, un detector de fulgere si o statie meteo Conrad, care da informatii despre presiune, teperatura, umiditate, directie si viteza vant si cantitatea de precipitatii.

In prima etapa s-au evaluat mai multe posibile locatii pentru receptorul Elettronica si din acelea a fost aleasa statia seismica Barlad, datorita indeplinirii simultane a mai multor conditii: existenta alimentarii cu curent electric, existenta unui personal permanent (apartinand de ANM Iasi) si paza si supraveghere video permanente, pozitionarea in varful unui deal, departe de surse perturbatoare

din punct de vedere electric. Inaintea instalarii antenelor la statia seismica Barlad, antenele au fost intai testate la Magurele pe o perioada de cateva luni.

Din **Figura 5** se vede ca din cele 16 evenimente europene cu Mw>6.0 produse in ultimii 8 ani, doar zona de pregatire (Dobrovolski, et al, 1979 : $r=10^{(0.43*M)}$) a unui eveniment ar fi fost traversata de a 5-a zona Fresnel (Pulliam and Snieder, 1998) a traseelor radio monitorizate de Bir-RO (**Tabelul 4 si Tabelul 5**) si anume, evenimentul 5 (pe traseul R12-T8). Cu rosu sunt marcate emitatoarele de unde lungi (frecvente joase LF – 150-300KHz) si cu albastru emitatoarele de unde radio foarte lungi (frecvente foarte joase VLF – 15-60KHz).



Figura 5. Zonele seismogene din Europa traversate de a 5a zona Fresnel a traseelor radio monitorizate de receptorul BIR-Ro plus cutremurele rosii si albastre

Tot din Figura 5 se vede ca toate epicentrele evenimentelor din Vrancea ar fi fost traversate de traseele de propagare ce pleaca din R12.

1 abeiu	Tabelar 4. Freevente monitorizate de receptor ar DIR-RO si perioade de functionare												
Perioada (incepand cu)		Frecvente monitorizate (Hz)											
22/03/2017 (Magurele)	19580	19580 20270 21750 23400 153000 162000 183000 198000 216000 270000											
т:	GBZ	ICV	HWU	DHO	RRO	FRI	EU	CH1	MCO	CZE			
11	T13	T6	T12	T10	T2	T11	T9	T7	T8	T4			
20/06/2017 (Barlad)	19580	22100	21750	23400	37500	45900	198000	183000	216000	270000			
(Darrau) Ti	GBZ	GBZ1	HWU	DHO	NRK	ITS (NSI)	CH1	EU	МСО	CZE			
	T13	AWT04	T12	T10	T14	T5	T7	T9	T8	T4			

Tabelul 4. Frecvente monitorizate de receptorul BIR-RO si perioade de functionare

 Tabelul 5. Frecvente monitorizate de receptorul Dob-RO si perioade de functionare

Dob-RO		Frecvente monitorizate (Hz)														
Perioada (incepand cu)	T1	T2	Т3	T4	Т5	T6	T7	Т8	Т9	T10	T11	T12	T13	AWT 04	T14	AWT 25
22/03/2017	-	X	-	X	-	x	x	x	x	X	x	x	x	-	-	-
20/06/2017	-	-	-	X	x	-	х	х	x	X	-	x	X	X	X	-

La inceputul lui iulie, dupa 2 saptamani de testari se vor mai schimba frecventele monitorizate, intrucat T4,10, 13 si 14 sunt paralele cu planul antenei si receptia nu este optima. Din aceste 4 frecvente se va pastra cea care va dovedi cele mai bune caracteristici, intrucat este utila monitorizarea zonei traversate de ele, existand doua zone seismice cu seismicitate crustala, si anume: Depresiunea transilvaniei (TD) si Crisana Maramures (CM). T2 este emitatorul de la Bod, aflat la mai putin de 200km distanta si semnalul este suprasaturat si de aceea nu este recomandat a fi folosit de receptoarele din Romania.

In concluzie, instalarea unui nou receptor si a antenelor VLF si LF la Barlad, ne ofera posibilitatea de a monitoriza zona seismogena Vrancea, folosind ca referinta traseele monitorizate de Dob-Ro si care nu traverseaza zona Vrancea R11-T05, 07, 08, 11, 12 si AWT25.

Intrucat receptorul abia a fost instalat, nu am avut posibilitatea de a testa metodele pentru cazul specific al unui cutremur romanesc sau european.

Statia Barlad este deja pe siteul INFREP (<u>http://www.infrep-eu.it/</u>) si datele au inceput sa fie prelucrate si oferite echipei internationale.

Aplicatii pe datele INFREP pentru perioadele centrate pe cele mai importante evenimente seismice ce au avut loc în cursul perioadei studiate

In Tabelul 2 au fost prezentate cele mai puternice evenimente seismice care s-au produs in Europa in perioada 2009-2017.

Din **Figura 3** se vede ca din cele 16 evenimente cu Mw>6.0 produse in ultimii 8 ani, doar zonele de pregatire ((Dobrovolski, et al, 1979 : $r=10^{(0.43*M)}$) a 7 evenimente au fost traversate de a 5-a zona Fresnel (Pulliam and Snieder, 1998) a traseelor radio monitorizate de Dob-RO si anume, evenimentele 5 (pe traseul R11-T11/T12), 14, 15 si 16 (pe traseul R11-T8), 8, 9 si 12 (pe traseul R11-T5/T7). Cu rosu sunt marcate emitatoarele de unde lungi (frecvente joase LF – 150-300KHz) si cu albastru emitatoarele de unde radio foarte lungi (frecvente foarte joase VLF – 15-60KHz). Tot din **Figura 3** se vede ca toate epicentrele evenimentelor din Vrancea (mai putin al celui crustal de la Marasesti) au fost traversate de traseele de propagare R11-T4, R11-T10, R11-T14 si R11-AWT04.

Din pacate mare parte din traseele monitorizate nu trec peste zone seismice europene si pot fi folosite in principal ca inregistrari de referinta, ce nu sunt influentate de activitatea tectonica ci doar de conditiile locale la emitator sau receptor si fenomenele globale.

Tinand cont de distanta destul de mica dintre DobRo si epicentrul cutremurului din 2014 (250 Km), este posibil ca semnale anomale sa apara pe oricare dintre traseele de propagare inregistrate de Dob-Ro, intrucat anomaliile pot sa apara chiar la nivelul receptorului. Chiar daca din Figura 3, pare ca si cutremurul 1 este acoperit de inregistrarile noastre, in realitate acel eveniment a avut loc in 2009 inainte de instalarea echipamentului la Observatorul de la Eforie Nord si din acea cauza nu avem decat inregistrari de test din acea perioada, cu receptorul instalat la Magurele. Cutremurul cu numarul 10 este cel mai mare inregistrat in perioada de studiu in Europa. El nu este traversat efectiv de traseele DobRo-T5/T7, dar aria lui de pregatire de aproape 1000 km (datorita magnitudinii mari) este traversata de DobRo-T5/T7.

Mai jos vom prezenta cateva exemple de prelucrari ale datelor VLF/LF inregistrate inainte de producerea unora din cutremurele prezentate in Tabelul 12.

Cutremurele din Grecia (Creta si Marea Egee)

In aceasta parte a studiului am folosoti tehnica TT (terminator time) pentru a studia variatia amplitudinii semnalului radio in urma propagarii sale pe startele inferioare ale ionosferei, inaintea

si in timpul cutremurelor produse in Grecia intre anii 2011 si 2014, si anume evenimentele 4, 7 si 10, din tabelul 2, notate de acum inainte cu 1, 2 si 3 (Tabelul 6). Scopul acestui studiu este de a identifica posibile perturbatii datorate activitatii seismice.



Figura 6. Localizarea receptoarelor INFREP folosite in studiu, a cutremurelor (1, 2 si 3) si zonele Fresnel corespunzatoare

No	Mw	Data si ora (UTC)	R (km)	Lat (°)	Lon (°)	Depth (Km)	Regiune
1	6	4/1/2011 13:29	380	35.66	26.56	59.9	Crete Island,
							Greece
2	6.4	6/15/2013 16:11	463	34.45	25.04	10	Crete Island,
							Greece
3	6.9	5/24/2014 9:25	927	40.29	25.39	6.43	N. Aegean sea,
							Greece

Tabelul 6. Cutremurele studiate prin metoda TT

Am analizat caracteristicile propagarii semnalelor radio provenite de la emitatoare europene, in benzile LF si VLF si anume intre 30KHz si 300KHz si inregistrate de receptorul Dob-Ro, dar si de alte doua receptoare INFREP din Portugalia si Cipru (**Figura 6**).

Asa cum am prezentat intr-un capitol anterior, timpul terminator (TT) este definit ca timpul la care se obtine minimul amplitudinii (sau fazei) semnalului. Acest minim se obtine in apropierea rasaritului si apusului si prezinta ca o deplasare anormala de la trend in perioada premergatoare unui cutremur. Am urmarit timpul la care s-a produs minimul amplitudinii din preajma rasaritului pe o perioada de 10 zile (5 inainte si 5 dupa cutremur). Nu am considerat si minimele de la apus, intrucat au fost mai greu de identificat.

Epicentrele cutremurelor analizate se gasesc sub traseele CIP- T7, CIP T5 si CIP T9, unde CIP este receptorul INFREP din Cipru.

In **Figura 6** se vad atat epicentrele celor 3 cutremure, cat si receptoarele si emitatoarele monitorizate. Semnalele radio monitorizate cu o frecventa de o data pe secunda (1Hz) si care au fost folosite in studii sunt prezentate in **Tabelul 7**. Semnalul cu traseu de propagare intre T1 (TRT) si receptorul CIP a fost folosit ca referinta.

Tabelul 7. Detalii privind emitatoarele si receptarele INFREP folosite in acest studiu

\geq		Semn	LOCATIE	LAT	LON	FREQ	Tara
				(°)	(°)	(Hz)	
Emitatoare	T1	TRT	Polatli	39.76	32.42	180000	Turkey
	T7	CH1	Ouargia	31.92	5.08	198000	Algeria
	T9	EU1	FelsbergBerus	49.28	6.68	183000	Germany
Receptoare	R1	CIP	Nicosia	35.17	33.35	-	Cyprus
	R11	Dob-Ro	Eforie Nord	44.08	28.63	-	Romania
	R4	POR	Evora	38.57	-7.9	-	Portugal

Rezultate

Traiectoriile de propagare a semnalelor LF pentru cele trei evenimente au fost în mare parte în planul meridianului est-vest, în special pentru evenimentele seismice de la 1 aprilie 2011 și 15 iunie 2013, prin urmare, în conformitate cu Maekawa and Hayakawa, 2006, metoda TT ar trebui să fie eficientă în identificarea Unor perturbatii seismo ionosferice.

În **Figura 7**, este prezentată variația amplitudinii diurne a undelor radio LF pentru o perioada de 5 zile înainte si de 5 zile dupa cutremurul de la 1 aprilie 2011. După cum se poate observa, calea de propagare în timpul zilei (lumina soarelui) a fost între 6-18 UT și în întuneric complet peste 19-3 UT.



Figura 7. Variatia diurna a undelor radio emise de TRT (18 kHz) receptionate in Portugalia (PO) in perioada 27 Martie–6 Aprilie 2011. Linia rosie verticala arata momentul rasaritului si triunghiurile rosii arata abaterea minimului de la linia rasaritului



Figura 8. Variatia diurna a undelor radio emise de MS (45.9 KHz) receptionate in Romania (DOB-Ro) in anul 2011. Steluta rosie marcheaza momentul producerii cutremurului. Limiile curbe negre arata momentul rasaritului si apusului si variatia lor pe parcursul unui an

In **Figura 8** este prezentat un model mai de impact al variatiei zilnice a amplitudinii undelor radio, inregistrate de receptorul din Romania.

S-a urmarit modelul zilnic si s-a corelat cu momentul producerii cutremurului. Amplitudinea medie pe timpul nopții a fost mai mare decât amplitudinea zilnică medie. Trecerea de la răsărit (timpul în care se termină tranziția la răsăritul soarelui între emițătorul receptorului și cel care produce minime în amplitudinea semnalului primit) este de asemenea prezentat în aceeași figură. Un minim de semnal în fiecare zi a fost clar identificat si marcat prin săgeți roșii. Timpul minimelor de răsărit de soare a avut variatii de până la 40 de minute, cu 3 zile înainte și 2 zile după cutremurul din 1 aprilie 2011, din Insula Creta. Acestea au început să fie intarziate incepand cu 29 martie și s-au decalat treptat avand o întârziere maximă cu o zi înainte de cutremur

După cutremur, minimele au început să se deplaseze înapoi în pozițiile lor normale. Astfel, la răsăritul soarelui, la care semnalul LF a arătat minime, s-au observat schimbări anormale în TT, ca și cum noaptea ar fi fost prelungită cu până la 40 de minute cu o zi înainte și în timpul cutremurului, după cum se vede în **Figura 7**.



Figura 8. Variatia diurna a undelor radio emise de CH1 (T7) (19.8 kHz) receptionate in Cipru (CIP) in perioada 10-20 iunie 2013. Linia rosie verticala arata momentul rasaritului si triunghiurile rosii arata abaterea minimului de la linia rasaritului

Figura 8 prezinta variația in timp a amplitudinii diurne a undelor radio LF pentru o perioada de 5 zile înainte si 5 zile dupa cutremurul din 15 iunie 2013 ca serie zilnică amplitudine-timp.

Similar cu evenimentul seismic precedent, calea de propagare a fost în timpul zilei între 06-18 UT și în întuneric complet peste 19-03 UT, iar amplitudinea medie pe timpul nopții este mai mare decât amplitudinea zilnică medie așteptată. Momentele de minim al răsăritului de soare au fost deplasate până la 20 de minute pe parcursul a 5 zile înainte și 1 zi după cutremur. Acestea au început să fie decalate pe 10 iunie și s-au mutat în mod constant până la o întârziere maximă de 20 minute cu o zi înainte de eveniment, în timp ce după aceasta minimele s-au mutat treptat în pozițiile lor obișnuite. Aceste schimbări anormale ale minimelor de răsărit au fost considerate precursori ionosferici posibili.

În **Figura 9** sunt prezentate variațiile de amplitudine LF diurnă pentru perioada de 10 zile, 5 zile anterioare si 5 zile după cutremurul din 24 mai 2014. Spre deosebire de cele două evenimente seismice anterioare, calea de propagare între transmițătorul T9 și receptorul CIP a fost mai scurtă și astfel timpul de tranziție la răsărit a fost de asemenea scurt, totuși, s-a observat un minim de răsărit. Modelul zilnic cu amplitudinea medie pe timpul nopții fiind mai mare decât amplitudinea medie pe timp de zi este, de asemenea, observat.



Figura 9. Variatia diurna a undelor radio emise de EU1 (T9) (19.8 KHz) receptionate in Cipru (CIP) in perioada 10-20 iunie 2013. Linia rosie verticala arata momentul rasaritului si triunghiurile rosii arata abaterea minimului de la linia rasaritului

Timpul minimelor de răsărit a fost deplasat cu până la 20 de minute cu 2 zile înainte de cutremurul din 24 mai 2014. Întârzierea minimelor de răsărit a început la 20 iunie și a fost maxima la 22 mai (2 zile înainte de eveniment), dupa care minimele au început să se mute înapoi la pozițiile lor obișnuite. Aceste schimbări anormale ale minimelor răsăritelui ar putea fi descrise ca precursori ionosferici.

Cutremurele din Romania

Cutremurul crustal din 22 noiembrie 2014 (cutremurul R3 din Tabelul 2) s-a produs la 21:14:17 ora locala (19:14:17 GMT) in zona seismogena Vrancea, in apropierea orasului Marasesti, la adancimea de aproximativ 39 km, avand magnitudinea $M_L=5.7$ (Mw=5.4) si intensitatea epicentrala $I_0 = VI$ grade MSK. Epicentrul cutremurului a fost localizat la 45.87° latitudine nordica si 27.16° longitudine estica.

Receptorul DobRo se afla la limita zonei de pregatire a cutremurului (**Figura 3**) asa ca toate inregistrarile ar trebui sa fie perturbate. Campul geomagnetic din acea perioada a prezentat variatii de la 0 la 4 (maximul posibil fiind 9). Furtuni geomagnetice slabe au fost semnalate in zilele de 4 si 5 noiembrie, 10 noiembrie si 16 noiembrie. Cu 5 zile inainte de producerea cutremurului din 22 noiembrie, conditiile geomagnetice au fost destul de linistite Kp avand valori intre 1 si 3.

Pentru acest cutremur am aplicat deasemenea metoda TT. In **Figura 10** s-a reprezentat variatia temporala a amplitudinii semnalului VLF emis de CQD (UK) si receptionat de Dob-Ro.



Figura 10. Variatia diurna a undelor radio emise de CQD (UK) si receptionate de Dob-Ro, in perioada 17-22 noiembrie 2014.

Anomalia de propagare este foarte clara in ziua de 22 noiembrie atat ca amplitudine cat si ca frecventa. Tinand cont de cele explicate mai sus, concluzionam ca anomalia de propagare observata in ziua producerii cutremurului din 22 noiembrie poate fi considerata anomalie precursoare.

In acelasi fel au fost prelucrate si datele radio din lunile septembrie si octombrie 2013 (evenimentul vrancean de adancime intermediara s-a produs la data de 6.10.2013 si a avut Mw=5.2), si cele din 2016, dar nu s-au observat anomalii notabile. Explicatia ar putea fi datorata faptului ca evenimentele R1-R2 si R4-R5 au avut loc la adancime intermediara spre deosebire de cutremurul

crustal R3, din 2014, si o magnitudine destul de mica daca o comparam cu Mw=6, magnitudinea de la care s-au semnalat in literatura de specialitate diverse anomalii electromagnetice.

Metoda fluctuatiilor pe timp de noapte (NT)

In metoda NT am estimat diferenta dA(t) dintre variatiile pe timp de noapte ale amplitudinii A(t) a semnalului radio si am calculate media corespunzatoare pentru o luna. Se considera anomalie tot ce depaseste nivelul de 2σ , unde σ este deviatia standard. Am aplicat aceasta metoda tot pe cutremurele din Grecia, din 1 aprilie 2011, 15 iunie 2013 si 24 mai 2015.

In **Figura 11** am prezentat fluctuatiile puterii semnalului din timpul noptii, in perioada 27 martie-6 aprilie 2011. Se observa o crestere a lui dA(t) < 0 incepand cu 28 martie pana pe 3 aprilie in anumite perioade ale noptii, marcate cu dreptunghiuri rosii.



Figura 11. Metoda NT aplicata pe o perioada centrata pe cutremurul din 1 aprilie 2011, din Grecia

In **Figura 12** am reprezentat variatiile diurne care prezinta fluctuatiile puterii semnalului inregistrat in timpul noptii in perioada 10-16 iunie 2013. Se observa o crestere a aparitiei perioadelor cu dA(t)<0 cu 4 zile inainte de cutremur si in noaptea cutremurului. In Figura 17 am reprezentat variatiile diurne care prezinta fluctuatiile puterii semnalului inregistrat in timpul noptii in perioada 19-27 mai 2015. Se observa o crestere a aparititi conditiei dA(t)<0 cu 4 zile inainte de cutremur ar si mentinerea acestei cresteri pe o perioada de 3 zile dupa cutremur. Perioadele anomale sunt marcate cu dreptunghiuri rosii.



Figura 12. Metoda NT aplicata pe o perioada centrata pe cutremurul din 15 iunie 2013, din Grecia



Figura 13. Metoda NT aplicata pe o perioada centrata pe cutremurul din 15 iunie 2013, din Grecia

Concluzii

Investigarea celor trei cutremure europene puternice crustale care au avut loc în Grecia prin aplicarea metodei TT pe semnalele radio de frecventa joasa (LF) si foarte joasa (VLF) a aratat ca timpul terminator de la rasaritul soarelui a fost intraziat cu pana la 20-40 min in zilele premergatoare cutremurelor si a revenit la valoarea initiala, dupa cutremur. In cazul cutremurelor din Romania, sa observat acest comportament, doar in cazul cutremurului din 2014, cutremur de adancime normala, produs langa Marasesti, Vrancea. In cazul cutremurelor inermediare din 2013, si 2016 nu s-a vazut acest comportament. Explicatia este data atat de adancimea mai mare a cutremurelor, dar si de magnitudinea mai mica de 6 grade Mw.

S-a observat si o crestere a aparitiei valorilor dA(t)<0 corespunzatoare metodei NT, cu cateva zile inainte, dar si dupa cutremur. Aceasta metoda nu da rezultate la fel de spectaculoase cum da metoda TT.

In cadrul unui articol acceptat la Romanian Journal of Physics (RJP) si care va fi publicat in 2017 (http://www.nipne.ro/rjp/accpaps/006-Moldov_D9217A.pdf), metoda TT a fost completata cu analiza spectrala asupra datelor GNSS TEC, in cazul celor 3 cutremure din Grecia. Aceasta analiza a arătat că pot fi observate anomalii TEC ionosferice cu 7 zile până la câteva ore înainte de cutremur. Aceste anomalii ar putea fi legate de cutremurul iminent. Anomaliile au durat aproximativ 2-3 ore și au avut perioade de aproximativ 20 de minute. Anomaliile TEC care au avut loc cu câteva ore înainte de cutremur au prezentat perioade de 3-5 minute. Cu ajutorul analizei spectrale a fost posibilă diferențierea între perturbațiile ionosferice TEC legate de cutremure și cele induse de tranziția terminatorului solar. Mai mult, am putut exclude anomaliile ionosferice TEC produse de condițiile geomagnetice perturbate prin restricționarea intervalului de timp al spectrogramelor până la 40 de minute.

La fel ca si in etapa precedenta, si in aceasta etapa s-a realizat baza de date cu furtunile geomagnetice, prin intermediul valorilor Kp la latitudini medii.

Abordarea multiparametru si prin mai multe tehnici de prelucrare este o cerință pentru identificarea precisă a precursorilor seismo ionosferici și este foarte recomandat a fi utilizata impreuna cu alte metode, cum ar fi metoda monitorizarii campurilor geofizice naturale (camp magnetic, electric, infrasonic).

O continuare a acestor studii se poate face prin imbunatatirea metodelor de prelucrare wavelet pe date inregistrate doar in timpul noptii, cand Soarele nu mai afecteaza ionosfera si nu mai produce recombinari multiple in plasma. De asemenea se va incerca o automatizare a procesului de prelucrare primara si reprezentare a datelor inregistrate de receptoarele INFREP instalate in Romania si corelarea anomaliilor cu potentialele surse seismice.

Objectiv 2.3. Diseminarea rezultatelor

Activitatea 2.3.1 Diseminarea rezultatelor la conferințe

Prezentari la conferinte:

16th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science IBWAP 2016 (7-9, July, 2016 – aceasta conferinta a fost dupa finalizarea Etapei I)

- The Modeling Of The Macroseismic Field Associated With Romanian Normal And Intermediate Depth Earthquakes, Iren-Adelina Moldovan, Raluca Partheniu, Cristian Ghita, Angela Petruta Constantin, Dragos Toma Danila
- Testing The Macroseismic Intensity Attenuation Laws On The Romanian Crustal Seismic Events, Angela Petruta Constantin, Iren-Adelina Moldovan
- Investigation Of Pre-Earthquake Ionospheric Anomalies Using Vlf/Lf Infrep European And Gnss Global Networks, Haris Haralambous, Christina Oikonomou, Iren-Adelina Moldovan – Prezentare Oral
- Investigation Of Infrasonic Signals Recorded On The Romanian Black Sea Coast, Iren-Adelina Moldovan, Victorin Emilian Toader1 Adrian Septimiu Moldovan, Angela Petruta Constantin

Testing The Macroseismic Intensity Attenuation Laws On The Vrancea (Romania) Subcrustal Seismic Events, Maria Rogozea, Iren-Adelina Moldovan¹, Angela Petruta Constantin¹, Liviu Manea

European Geosciences Union General Assembly, EGU, Viena, Aprilie 2017:

- Investigation of Ionospheric Anomalies related to moderate Romanian earthquakes occurred during last decade using VLF/LF INFREP and GNSS Global Networks, Iren-Adelina Moldovan, Christina Oikonomou, Haris Haralambous, Eduard Nastase, Victorin Emilian Toader, Pier Francesco Biagi, Roberto Colella, and Dragos Toma-Danila, Tue, 25 Apr, 17:30–19:00, Hall X3, X3.162, EGU2017-17327 | Posters | NH4.5/AS4.31/EMRP4.4/SM9.3
- ULF radio monitoring network in a seismic area, Victorin Toader, Iren-Adelina Moldovan, Constantin Ionescu, and Alexandru Marmureanu, Tue, 25 Apr, 17:30–19:00, Hall X3, X3.163, EGU2017-17235 | Posters | NH4.2/SM3.11
- Seismic risk assessment for Poiana Uzului (Romania) buttress dam on Uz river Iren-Adelina Moldovan, Dragos Toma-Danila, Cosmin Marian Paerele, Victorin Emilian Toader, Angela Petruta Constantin, and Cristian Ghita, Mon, 24 Apr, 17:30–19:00, Hall X4, X4.357, EGU2017-18037 | Posters <u>NH4.5/AS4.31/EMRP4.4/SM9.3</u>

6th National Conference on Earthquake Engineering & 2nd National Conference on Earthquake Engineering and Seismology (Bucharest, June 2017)

- Seismicity analysis using earthquakes energy, V.-E. Toader, I.-A. Moldovan, C. Ionescu, A. Marmureanu
- Seismic Intensity estimation using macroseismic questionnaires and instrumental data Case Study Bârlad, Vaslui County, I.-A. Moldovan, B. Grecu, A.P. Constantin, A. Anghel, E.F. Manea, L. Manea, R. Partheniu
- Testing the macroseismic intensity attenuation laws for Vrancea intermediate depth earthquakes, M.-M. Rogozea, I.-A. Moldovan, A.-P. Constantin, E.-F. Manea, C.-O. Cioflan, L. M. Manea
- Abnormal animal behavior prior to the Vrancea (Romania) major subcrustal earthquakes, A.P. Constantin, I.-A. Moldovan, R. Partheniu

17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference and EXPO S G E M 2017

- Spectral Investigation Of Infrasonic Signals Recorded On The Romanian Black Sea Coast (Oral Presentation), Author/S: Phd Iren Adelina Moldovan, Phd Victorin Emilian Toader, Phd Adrian Septimiu Moldovan, Phd Daniela Ghica, Phd Angela Petruta Constantin
- Perception And Preparedness Of The Tsunami Risk Within The Black Sea (Romania) Communities (Poster Presentation), Author/S: Phd Angela Petruta Constantin, Phd Iren Adelina Moldovan, Phd Franck Lavigne, Phd Delphine Grancher, Raluca Partheniu
- Ambele prezentari au fost realizate si ca articol si ambele articole au fost acceptate pentru a fi publicate in Proceedings-ul ISI al conferintei.

Activitatea 2.3.2 Publicarea unui articol intr-o revista ISI

Detection of Events in a Multidisciplinary Network Monitoring Vrancea Area Victorin-Emilian Toader, Iren-Adelina Moldovan, Alexandru Marmureanu, Constantin Ionescu,

Romanian Journal of Physics, Volume 61, Number 7-8, pp 1437-1449, 2016 (ISI IF = 1.758 AIS = 0.243)

- Input Parameters for the Probabilistic Seismic Hazard Assessment in the Eastern Part of Romania and Black Sea Area, I.A. Moldovan, M. Diaconescu, E. Popescu, M. Radulian, D. Toma-Danila, A.P. Constantin, A.O. Placinta, Romanian Journal of Physics, Volume 61, Number 7-8, pp 1412-1425, 2016 (ISI IF = 1.758, AIS = 0.243)
- Probabilistic Seismic Hazard Assessment in the Black Sea Area, I.A. Moldovan, M. Diaconescu, R. Partheniu, A.P. Constantin, E. Popescu, D. Toma-Danila, Romanian Journal of Physics, Volume 62, Number 5-6, 2017 (ISI IF = 1.758, AIS = 0.243)
- Investigation of Pre-Earthquake Ionospheric Anomalies Using VLF/LF INFREP European and GNSS Global Networks, Christina Oikonomou, Haris Haralambous, Iren Adelina Moldovan, Razvan Greculeasa, Romanian Journal of Physics, Volume 62, Number 7-8, 2017 (ISI IF = 1.758, AIS = 0.243)
- Monitoring Of Radon And Air Ionization In A Seismic Area, Victorin-Emilian Toader, Iren-Adelina Moldovan, Alexandru Marmureanu, Pushan Kr Dutta, Raluca Partheniu, Eduard Nastase Rom. Rep. Phys. 69, 709 (2017) (IF = 1.367)
- Seismic Risk Assessment For Large Romanian Dams On Bistrita And Siret Rivers And Their Tributaries, Iren-Adelina Moldovan, Dragos Toma-Danilă, Angela Petruta Constantin, Anica Otilia Plăcintă, Emilia Popescu, Cristian Ghita, Mihail Diaconescu, Traian Moldoveanu, Cosmin Marian Paerele, Studia UBB Ambientum, LXI, 1-2, 2016, Pp. 57-72 (Revista indexata BDI)
- 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, Dacinia Crina Petrescu, Philippe Burny, Ruxandra Mălina Petrescu Mag Les Presses agronomiques de Gembloux, Belgium & Bioflux (acreditata CNCSIS), Romania ISBN 978–606 -8887 -08-1 ISBN 978-2-87016-148-7
- Spectral Investigation Of Infrasonic Signals Recorded On The Romanian Black Sea Coast (Oral Presentation), Author/S: Phd Iren Adelina Moldovan, Phd Victorin Emilian Toader, Phd Adrian Septimiu Moldovan, Phd Daniela Ghica, Phd Angela Petruta Constantin, acceptat la publicare in SGEM 2017 Proceedings (Indexed ISI, fara IF)
- Perception And Preparedness Of The Tsunami Risk Within The Black Sea (Romania) Communities (Poster Presentation), Author/S: Phd Angela Petruta Constantin, Phd Iren Adelina Moldovan, Phd Franck Lavigne, Phd Delphine Grancher, Raluca Partheniu, acceptat la publicare in SGEM 2017 Proceedings (Indexed ISI, fara IF)
- Seismicity analysis using earthquakes energy, V.-E. Toader, I.-A. Moldovan, C. Ionescu, A. Marmureanu, Proceedings 2CNISS&6CNIS, pp. 143-150, Editura Conspress (acreditata CNCSIS), Bucuresti 2017
- Seismic Intensity estimation using macroseismic questionnaires and instrumental data Case Study Bârlad, Vaslui County, I.-A. Moldovan, B. Grecu, A.P. Constantin, A. Anghel, E.F. Manea, L. Manea, R. Partheniu, Proceedings 2CNISS&6CNIS, pp107-114, Editura Conspress (acreditata CNCSIS), Bucuresti 2017
- Testing the macroseismic intensity attenuation laws for Vrancea intermediate depth earthquakes, M.-M. Rogozea, I.-A. Moldovan, A.-P. Constantin, E.-F. Manea, C.-O. Cioflan, L. M. Manea,

Proceedings 2CNISS&6CNIS, Proceedings 2CNISS&6CNIS, pp129-134, Editura Conspress (acreditata CNCSIS), Bucuresti 2017

Abnormal animal behavior prior to the Vrancea (Romania) major subcrustal earthquakes, A.P. Constantin, I.-A. Moldovan, R. Partheniu, Proceedings 2CNISS&6CNIS, pp.71-78, Editura Conspress (acreditata CNCSIS), Bucuresti 2017

Toate rezumatele, prezentarile si articolele au multumiri aduse Proiectului Nucleu 16 35 03 01/2014.

Bibliografie

J. Artru, T. Farges and P. Lognonn'e. Acoustic waves generated from seismic surface waves: propagation properties determined from doppler sounding observation and normal-modes modeling. Geophys. J. Int., 158, 1067-1077 (2004).

L. Ciraolo. Evaluation of GPS L2-L1 biases and related daily TEC profiles, in: Proc. of the GPS/Ionosphere Workshop, 90–97, Neustrelitz (1993).

I.R. Dobrovolsky, S.I Zubkov and V.I. Myachkin. Estimation of the size of earthquake preparation zones. Pageoph, 117, 1025–1044 (1979).

P Dolea, O Cristea, Paul Vladut Dascal, Iren-Adelina Moldovan, Pier Francesco Biagi Aspects regarding the use of the INFREP network for identifying possible seismic precursors Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Volumes 85–86, 2015, 34–43, http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2015.05.010

M. Hayakawa. On the fluctuation spectra of seismo-electromagnetic phenomena. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 301–308 (2011).

Y. He, D. Yang, J. Qian and M. Parrot Response of the ionospheric electron density to different types of seismic events. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 2173–2180 (2011).

H. Le, J.Y. Liu and L. Liu A statistical analysis of ionospheric anomalies before 736 M6.0+ earthquakes during 2002–2010, J. Geophys. Res., 116, A02303 (2011).

I.A. Moldovan, A.P. Constantin, P.F. Biagi, D. Toma Danila, A.S. Moldovan, P. Dolea, V.E. Toader, T. Maggipinto. The Development of the Romanian VLF/LF Monitoring System as Part of the International Network for Frontier Research on Earthquake Precursors (INFREP), Rom. Journ. Phys., 60, 7–8, 1203–1217 (2015)

P.I. Nenovski, M. Pezzopane, L. Ciraolo, M. Vellante, U. Villante and M. De Lauretis. Local changes in the total electron content immediately before the 2009 Abruzzo earthquake. Adv. In Space Res. 55, 243-258 (2015).

S.A. Pulinets and K.A. Boyarchuk. Ionospheric precursors of earthquakes, Springer, Berlin (2004). A.A. Rozhnoi, M.S. Solovieva, P.F. Biagi, K. Schwingenschuh and M. Maekawa. Low frequency signal spectrum analysis for strong earthquakes. Annals of geophysics, 55 (2012).

V. Yu, Yasyukevich, S.V. Voeykov, I.V. Zhivetiev and E.A. Kosogorov. Ionospheric Response to Solar Flares of C and M Classes in January–February 2010. Cosmic Research, 51, 114–123 (2013).

<u>1. Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului</u> (se vor preciza stadiul de implementare a proiectului, gradul de indeplinire a obiectivului cu referire la tintele stabilite si indicatorii asociati pentru monitorizare si evaluare).

Rezultatele urmarite au fost obtinute in totalitate in aceasta a doua faza a proiectului :

(1) Metode si programe de prelucrare avansata; (2) Baza de date cu inregistrari VLF/LF; ; (3) Baze de date seismice si cu indicii geomagnetici Kp; (4) Analize de corelare a fenomenelor: seismic,

geofizic, solar, antropic si perturbatiile ionosferice identificate in comportamentul propagarii undelor EM; (5) Anomalii EM; (6) Articole publicate (5 ISI, 1 BDI, 1 capitol in carte), acceptate (2 ISI) si trimise la publicat in reviste ISI (1), si diseminarea rezultatelor la conferinte nationale si internationale – 17 prezentari; (7) Pagina WEB;

Stadiul realizării obiectivului fazei

Aceasta faza, numita **Prelucrari avansate ale inregistrarilor EM pentru evidentierea si corelarea anomaliilor de propagare ionosferica a undelor radio de frecventa joasa (LF) si foarte joasa (VLF) cu cauzele generatoare** a avut trei obiective mari:

Objectiv 2.1 Dezvoltarea metodelor de prelucrare avansata

Obiectiv 2.2. Aplicarea metodelor în analiza propagarii undelor radio VLF / LF pentru studiul perturbatiilor seismo-ionosferice. Alegerea celei mai bune metode

Objectiv 2.3. Diseminarea rezultatelor

care au fost indeplinite integral.

Concluzii

In Faza 2 a proiectului PN 03 01 s-au obtinut rezultate importante pentru ducerea la bun sfarsit a proiectului, dar s-au gasit si idei noi pentru o posibila continuare a sa.

Cele mai importante realizari sunt bazele de date seismice, electromagnetice, date privind activitatea soarelui, dar si gestionarea lor. S-au identificat anomalii de propagare atat pentru cutremure semnificative europene, dar si pentru evenimente recente romanesti (Mw>5.0). Zonele seismogene din Romania, neacoperite pana in prezent (BD si PD), sunt acum supravegheate de receptorul instalat la Barlad. Receptorul din Georgia si-a reluat functionarea si acum toate zone seismogene din Romania sunt acoperite de inregistrari atat de la receptorii instalati in tara cat si in starinatate.

S-au studiat cele mai importante evenimente seismice produse pe perioada de functionare a receptorului si s-au identificat cateva tipuri de anomalii posibile, cea mai importanta fiind scaderea amplitudinii semnalului pe timp de noapte si deplasarea timpului terminator in perioada imediat precedenta unui seism.

O alta concluzie observata in urma prelucrarilor semnalelor radio inregistrate de diferite receptoare INFREP, este ca inregistrarile de la DOB-Ro sunt cele mai bune. Explicatia este ca am inlocuit inca de la inceput antenele liniare cu care era echipat receptorul cu antene magnetice. Pentru noul receptor primit in locatie de gestiune, de la Universitatea din Bari in aprilie 2016, pentr a fi folosit pe acest proiect, am achizitionat deja antenele magnetice. De aceea si pentru noul echipament instalat la Barlad am realizat acelasi tip de antene.

Proiectul isi poate extinde studiile si in viitor prin realizarea acestui tip de analize si asupra surselor seismogene din Marea Neagra, in special Shabla, care poate afecta litoralul romanesc al Marii Negre, dar si prin automatizarea procesului de prelucrare a datelor si prin instalarea de noi receptoare in zonele seismogene.

Responsabil proiect MOLDOVAN IREN ADELINA