

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

De acord,  
**DIRECTOR GENERAL**

**Dr. Ing. Constantin Ionescu**

Avizat,  
**DIRECTOR DE PROGRAM**

**Prof. Dr. Gheorghe Marmureanu**

## **RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI**

**Contractul nr.: PN 16 35 01 03**

**Proiectul: Structura crustei terestre în ariile tectonice din Romania, element esential în optimizarea caracterizării cutremurelor precum și în vederea creșterii gradului de cunoaștere al hazardului seismic pe baze deterministe.**

**Faza: II/2017, Modele crustale în Transilvania, Banat, partea de est a bazinului Pannonic.**

**Termen: 1.09.2017**

### 1. Obiectivul proiectului:

Proiectul are ca obiectiv realizarea unor modele ale crustei terestre în ariile tectonice din Romania, în special în zonele dens populate, unde se fac resimțite efectele cutremurelor puternice. Modelele crustale vor constitui datele de intrare pentru evaluarea efectelor mediului de propagare asupra undelor seismice, de la sursă până într-un punct de observație.

Propagarea undelor seismice prin mediile reale are loc în conformitate cu legi fizice specifice, ale căror variabile sunt legate de structura și parametrii elastici ai mediului (vitezele de propagare ale undelor seismice) și de densitatea mediului. Cunoașterea distribuției acestor parametri în mediul geologic aflat între focarul seismic și un punct de observație la suprafață permite predicția efectului seismic (intensitate și compoziție spectrală), în punctul de observație, înaintea producerii unui seism major și înregistrării lui instrumentale în acel punct.

### 2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:

Se vor obține modele crustale cu informații asupra evoluției 2D a principalelor interfețe din sedimentar (baza cuverturii neogene, sau unele interfețe din Mezozoic și Paleozoic) și crusta cristalină (fundamentul cristalin, interfața midcrustală și Moho), precum și vitezele de propagare ale undelor seismice în crusta cristalină. Gradul de încredere a acestor date va fi în funcție de adâncime și de sursa care le-a furnizat. Astfel pentru date provenite din măsurători, eroarea în adâncime crește de la câteva sute de metri pentru cuvertura sedimentară la  $\pm 1$  km pentru baza crustei, iar vitezele seismice crustale vor avea erori de  $\pm (0.5 - 2)$  km/s.

### 3. Obiectivul fazei:

În cadrul acestei faze vor fi integrate lucrările seismice realizate la scara regională obținute în perioada 1999 – 2001 pe principalele profile regionale de refracție, obținute de INCDFP în

colaborare cu Universitatea din Karlsruhe, Germania, în Transilvania. Acestea vor fi integrate într-un capitol ce va sintetiza modelele crustei terestre adânci, cu principalele adancimi la interfața midcrustala (IM) și adancimea la Moho(M). In capitole distincte se vor obține rezultate asupra tectonicii Depresiunii Transilvaniei, Banatului și Bazinului Pannonic (sectorul romanesc) la nivel crustal, precum și distribuția regionala a epicentrelor , pentru a contura zone cu seismicitate ridicata si eventuale falii(fracturi) noi, evidențiate doar prin seismicitate.

#### 4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

In anii 90' au fost înregistrate și interpretate o serie de profile seismice de reflexie în Depresiunea Transilvaniei și Depresiunea Pannonică care au adaugat noi informații asupra structurii crustale.

In 1999 și 2001 două profile seismice de refracție care traversează de la nord la sud și de la est la vest zona seismogenă Vrancea au furnizat modelele crustale cele mai complete până în prezent, întrucât sunt definite pe lângă poziția geometrică a principalelor discontinuități crustale, și distribuțiile vitezelor de propagare ale undelor seismice pe întreaga scară crustală. Rezultate noi au fost furnizate și prin utilizarea combinata a metodei funcțiilor Green și a funcțiilor de transfer aplicata asupra înregistrărilor seismologice executate în cadrul unei rețele internaționale ce a funcționat în Romania pentru un interval de 2 ani.

#### 5. Rezumatul fazei: (maxim 5 pagini)

### **Rezumat Etapa II/2017**

In etapa II /2017 a fost alcatuita baza de date seismologice pentru Depresiunea Transilvaniei și Bazinul Pannonic, ce vor fi folosite pentru determinarea modelelor structurale și de viteze pentru zona de vest a Romaniei. Modelarile vor avea ca baza de plecare modelele tectonice și de viteze seismice cunoscute in prezent și descrise in cadrul raportului.

#### **1. Cadrul geologic și tectonic determinat pentru Depresiunea Transilvaniei, Banat și Bazinul Pannonic(sectorul romanesc).**

##### **1.1 Depresiunea Transilvaniei**

Depresiunea Transilvaniei (DT) aparține sistemului de bazine din interiorul arcului carpatic, care a evoluat ca o arie cu sedimentare și subsidență activă între segmentele catenei orogenice carpatice în curs de ridicare. *Ca element structural, DT reprezintă o unitate molasică post-tectonogenetică de vârstă neogenă*, iar ca element morfologic se suprapune în bună parte Podișului Transilvaniei. Depresiunea Transilvaniei este suprapusă peste două etaje tectonice (Săndulescu, 1984):

- elementele deformate ale diferitelor segmente de Dacide, inclusiv Transilvanide;
- cuvertura lor post tectonică care se extinde până în Miocenul inferior.

Conturarea depresiunii s-a produs la sfârșitul Miocenului inferior, primele sale depozite debutând cu "molasa de Hida". Depunerea tufului de Dej a condus la generalizarea conturului și ariei ocupate de depresiune, după care a urmat depunerea formațiunii cu sare badeniene.

Subsidența activă a reînceput în Badenianul superior și a continuat în Sarmațian și Pannonian când s-au depus formațiunile de molasă. După dispunerea depozitelor de molasă se presupune că axa depresiunii a suferit în timp o rotație de la direcția nord-sud la cea nord-est - sud-vest.

*Fundamentul cristalino-mezozoic al DT este alcătuit din șisturi cristaline prealpine (Dacide și Transilvanide) peste care stă cuvertura post-tectonică. Datele geologice și geofizice au evidențiat sub Depresiunea Transilvaniei și între M-ții Apuseni și Carpații Orientali mai multe elemente structurale majore reprezentând în mare parte prelungirile sub depresiune a unităților tectonice care afluorează la marginea ei, Dacidele Interne și Dacidele Mediane (Săndulescu și Visarion, 1978).*

Pe flancul vestic al depresiunii se află Autohtonul sau Unitatea de Bihor (AB) aparținând Dacidelor Interne, cu o largă extindere spre est și sud-est, sub cuvertura post-tectonică paleogenă. Spre nord, AB este delimitat de *fractură Nord-Transilvană*, iar spre sud-vest, AB vine în contact tectonic cu formațiunile ofiolitice, încălecându-le, Fig. 1.1

Zona Ofiolitică (ZO) aparține Transilvanidelor și conturează în subsasamentul părții centrale și sud-vestice a Depresiunii Transilvaniei (Soroiu et al., 1985). ZO este prinsă între două grupe de unități ale soclului cristalin: la vest Apusenidele nordice și/sau Metaliferii nordici, iar la est unitățile central-est-carpătice. Complexele ofiolitice cuprind pe lângă roci eruptive și cinerite, roci detritice și calcare. *Limita de est a zonei ofiolitice are o formă arcuită și reprezintă conturul frontului de șariaj cu vergență estică care acoperă părțile cele mai interne ale pânzelor central-est-carpătice.*

## 1.2 Orogenul Carpaților Apuseni

Carpații Apuseni reprezintă un masiv izolat în interiorului arcului carpatic, format din cîte complexe și centuri șariate formate în perioada Cretacică ca urmarea a interacțiunilor dintre mai multe microplăci separate de ramurile oceanului Tethys (Balintoni, 1998).

O reconstrucție palinspastică făcută de Balintoni (1998) ia drept componente ale modelului marile cratoane ale Eurasiei și Apulian (African), microcontinentele Euxinic, Getic și Preapulian, și ramurile Tethysiene mezozoice Vardar, Transilvania, riftul dacidic extern și Meliata. În timpul perioadei de convergență riftul dacidic extern a fost subdus sub cratonul Getic, riftul Transilvan sub cratonul Preapulian și ramura Meliatică sub cratonul Apulian, Fig. 1.5. Perioada de coliziune a început în Cretacicul inferior între cratonul Getic și capătul vestic al cratonului Euxinic, în Albian (Cretacic inferior) s-a închis ramura estică a Tethysului Transilvan, ramura Meliatică s-a închis probabil în Jurasicul superior. Convergența între cratoanele Euxinic și Getic și între placa Eurasiatică și cratonul Getic a continuat până în Sarmatian (Neogen), iar între cratoanele Getic și Preapulian până în Turonian (Cretacic superior). Convergența a operat episodic fiind acționată de mișcările dintre continentele Apulian și Eurasian.

## 1.3 Depresiunea Pannonică (sectorul românesc)

*Sistemul bazinului Pannonic sau Depresiunea Pannonică (DP) este reprezentat de o arie cu relief jos, situat între munții Carpați, Alpi și Dinari, care conține cîteva bazine mai mici, formate prin subsidența miocenă a unui fundament pre-miocen, acoperit de depozite sedimentare de vârste de la Miocen la Cuaternar. Subsidența inițială a bazinelor s-a produs în același timp cu șariera miocenă a Carpaților externi (latura externă a Carpaților Vestici și Orientali) spre vorlandul european. Sistemul de bazine a apărut ca rezultat al proceselor extensionale miocene și se extinde peste o suprafață cu crustă continentală subțire, flux termic ridicat și cu temperaturi înalte la nivelul litosferei. Este considerat ca un bazin de tip mediteranean 'backarc' sau 'interarc', care s-a format în timpul subducției plăcii europene sub Carpații Interni (Royden, 1988).*

DP este o depresiune neogenă post-tectogenetică așezată peste elementele cutate și cuvertura lor post-tectogenetică, lipsită de formațiunea cu sare badeniană (Săndulescu, 1984).

*Sectorul românesc al DP se întinde de la Oravița în sud, la Baia Mare în nord, și are în subsasment elemente care aparțin, de la nord la sud, Pienidelor, Dacidelor interne, Transilvanidelor și Dacidelor mediane, Fig. 1.1*

Fundamentul cristalin interceptat în numeroase foraje are în compoziție roci metamorfice epi- și mezozonale (șisturi sericitoase, cloritoase, amfibolice și micașisturi) și este străpuns de roci eruptive (granite, grano-gneise, porfirite și melafire). Adâncimile de interceptare a fundamentului diferă de la un sector la altul, datorită compartimentării în blocuri denivelate.

Formațiunile sedimentare așezate pe fundament aparțin mai multor cicluri de sedimentare, cele mai vechi întâlnite în foraje fiind de vîrstă cretacică. Nu este exclus ca pe blocurile mai coborâte să existe și formațiuni mai vechi, jurasice, triasice sau chiar paleozoice, întâlnite de altfel în unele foraje din Ungaria (Ionescu, 1981).

## 2. Construirea bazei de date seismologice pentru Depresiunea Transilvaniei, Banat și Bazinul Pannonic

Capitolul 2 este constituit de prezentarea rețelei de stații seismologice permanente organizate în ultimii ani de INCDFP și a celei temporare organizată în cadrul unui proiect internațional desfășurat cu Universitatea din Leeds (UK), ale căror înregistrări de cutremure intra în baza de date și care acoperă cea mai mare parte a vestului României.

### 2.1. Stații seismice existente în zona de studiu

Datele ce vor fi utilizate în cadrul acestui proiect provin de la două rețele seismice, una permanentă – Rețeaua Seismică Națională (RSN) și una temporară – rețeaua South Carpathian Project (SCP). RSN are ca scop principal monitorizarea activității seismice de pe teritoriul României. În prezent, RSN este alcătuită din 112 stații seismice, dintre care 63 sunt echipate cu senzori de viteză de bandă largă și 49 cu senzori de viteză de perioadă scurtă. În acest proiect vor fi folosite din cadrul RSN doar stațiile de bandă largă localizate în aria zonei de studiu, anume: 5 stații echipate cu senzori de bandă largă STS2 (ARCR, DOPR, GZR, LOT, VOIR), 4 stații echipate cu senzori de bandă largă KS2000 (BANR, DRGR, HERR, MDVR), 3 stații echipate cu senzori de bandă largă CMG40T (BMR, DEV, SIRR) și 3 stații echipate cu senzori de bandă largă CMG3ESP (ARR, BZS, CJR). Proiectul “South Carpathian Project” (SCP) a reprezentat o calaboare importantă în domeniul seismologiei între mai multe instituții din țară și străinătate: Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Fizica Pământului (INCDFP), Universitatea din Leeds (Marea Britanie- conducător de proiect), Institutul de Geofizică Eotvos Lorand din Budapesta (Ungaria) și Institutul de Seimologie din Serbia. În cadrul acestui proiect au fost instalate în perioada iunie 2009 – iunie 2011 53 de stații seismice în Ungaria (17), Serbia (4) și România (32). Stațiile au fost echipate numai cu senzori de viteză de bandă largă: 17 CMG-40T, 13-CMG-3T și 24 CMG-6TD. Distribuția stațiilor SCP instalate pe teritoriul României este prezentată în Figura 2.2.

Orice procedura standard de control al calității datelor are la bază analiza și caracterizarea zgomotului seismic înregistrat la stația seismică. Acest lucru s-a făcut în cadrul prezentei etape numai pentru stațiile SCP. Pentru stațiile românești permanente analiza calității datelor și implicit a zgomotului seismic a fost efectuată de către Grecu et al (2012).

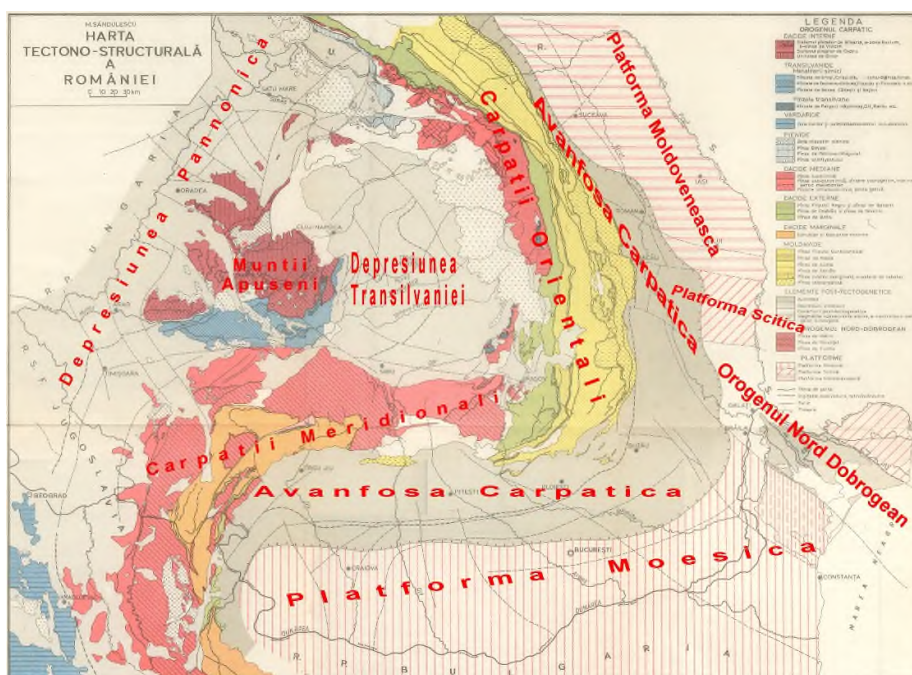


Fig.1.1 Harta tectono-structurală a României cu principalele unități tectonice (Sandulescu, 1984).

Funcțiile receptor au fost folosite pentru calculul adancimilor limitei la Moho prin metoda dezvoltata de Zhu si Kanamori (2000) (Z&K) si pentru inversia structurii de viteze (vezi sectiunea *Inversia comuna a curbelor de dispersie si a functiilor receptor*. Pentru statiile la care s-a aplicat cu succes metoda Zhu & Kanamori rezultatele se gasesc in Tabelul 1.

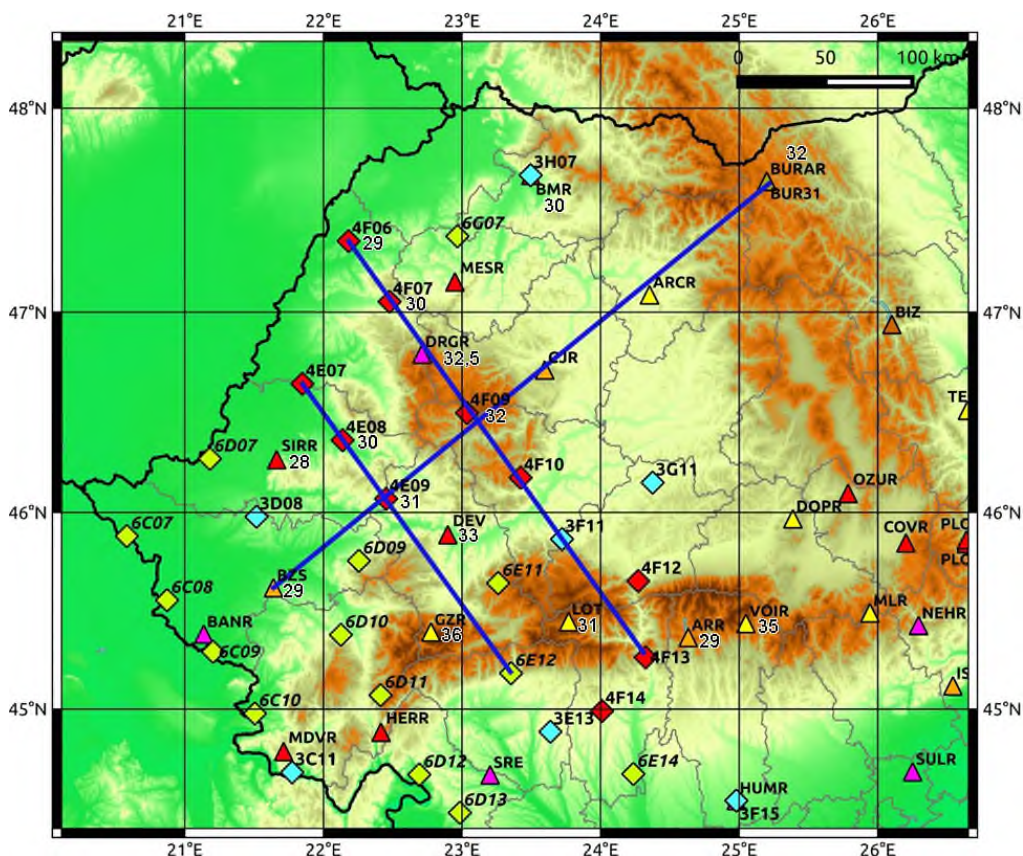


Figura 2.2. Distribuția stațiilor seismice de bandă largă (stațiile RSN – triunghiuri colorate, stațiile SCP – romburi colorate) pe teritoriul României și în aria de studiu (aria marcată printr-un pătrat).

Tabelul 1. Valorile adancimilor Moho obtinute prin metoda Z&K si valorile rapoartelor de viteza obtinute prin metoda Z&K

Cod statie	H [km] (Z&K)	vp/vs (Z&K)	Cod statie	H [km] (Z&K)	vp/vs (Z&K)
4F06	29 ± 1	1,81±0,02	VOIR	35 ± 1	1,69±0,03
4E08	30 ± 1	1,79±0,03	ARR	29 ± 1	1,69±0,02
4E09	31 ± 1	1,80±0,02	LOT	31 ± 1	1,68±0,04
4F07	30 ± 1	1,75±0,02	DEV	33 ± 0,5	1,72±0,03
4F09	32 ± 2	1,78±0,02	GZR	36 ± 2	1,68±0,04
BMR	30 ± 1	1,70±0,02	BZS	29 ± 1	1,75±0,03
BURAR	32 ± 1	1,72±0,03	SIRR	28 ± 1	1,73±0,04
			DRGR	32,5 ± 1	1,69±0,02



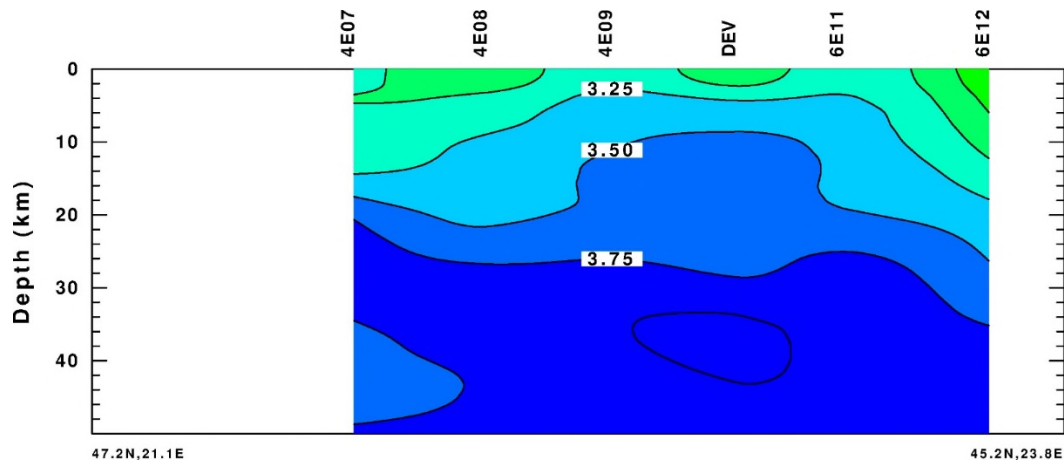
### 3. Construirea distributiei vitezelor de deplasare in crusta mediana si inferioara a Bazinului Transilvaniei pe baza informatiilor existente

In capitolul 3 sunt prezentate cunostintele actuale asupra structurii crustei terestre si a profilului de viteze seismice inregistrat in cadrul unui experiment important VRANCEA 2001.

In continuare pe baza modelelor de viteze 1D obtinute prin inversia simultana a functiilor Green si receptor au fost construite prin interpolare profile 2D de viteze cu adancimea pana la 50 km. In Figura 2.2 sunt prezentate pe harta localizarea profilurilor (4F06-4F13, 4E07-6E12, BZS-BURAR), iar Figura 3.1 arata distributia 2D a vitezelor undelor S de-a lungul celor 3 profile. Din analiza acestora se poate observa o corelare foarte buna intre bazinele sedimentare (bazinul Transilvaniei si bazinul Panonic) si regiunile cu viteze scazute in crusta superioara, in timp ce regiunile cu viteze ridicate se coreleaza foarte bine cu Muntii Apuseni si Carpatii Meridionali.

Din punct de vedere al vitezelor valorile sunt destul de eterogene in partea de sus a crustei inclusiv sedimentarul, între 2.75 și 3.50 km/s, în functie de unitățile structurale pe care le traverseaza fiecare profil. In partea de jos a crustei, la interfața Moho se contureaza o viteza de 3.75 km/s, in acord cu viteza obținuta în Transilvania pe profilul VRANCEA 2000 (Hauser et al., 2007). La baza crustei superioare nu pare sa existe o separare clara a vitezelor, ele fiind in intervalul 3.25 – 3.50 km/s.

Modelul initial a fost divizat pentru primii 50 km in strate subtiri de cate 2 km si urmatorii 50 km in strate de cate 5 km. Acest lucru s-a dovedit util pentru a da un grad sporit de libertate modelarii. Procedura de inversie permite alocarea unor ponderi fiecarui strat care sa regleze gradul de libertate al parametrilor in interiorul acestuia. Pentru primii 50 km (25 de strate) s-a folosit o pondere de 0.9 (max=1), permitand variatii maxime ale valorilor de viteza. Pentru urmatorii 50km ponderile scad progresiv pana la valoare de 0,1.



A.

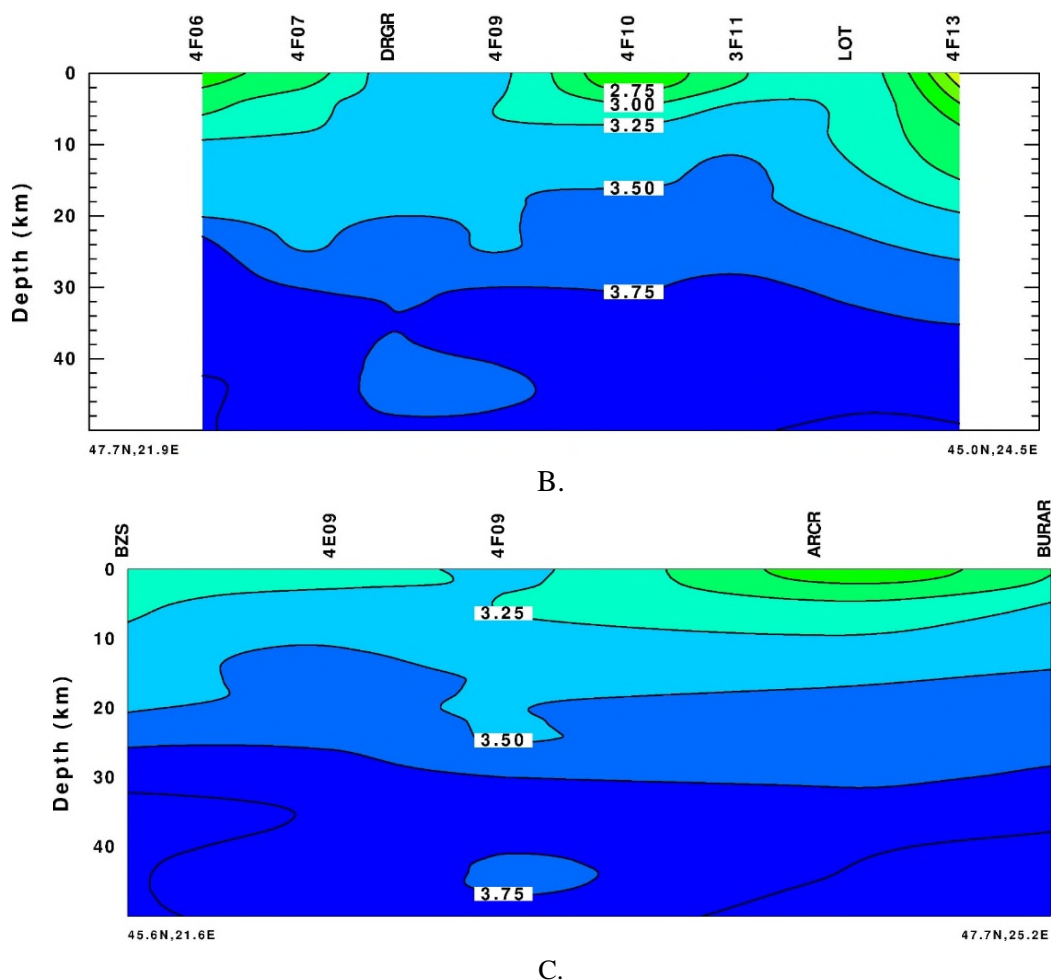


Figura 3.1. Profile de viteze 2D obtinute prin interpolarea modelelor 1D obtinute sub fiecare statie analizata. A: 4E07 – 4E12; B: 4F06 – 4F13; C: BZS - BURAR

6. Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului (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).

Lucrările de investigație crustală realizate până în prezent nu sunt distribuite uniform pe teritoriul național, gradul de acoperire fiind destul de heterogen: o densitate mai mare de informații este înregistrată în Platforma Moesică si Avânfosa Carpatică, și una slabă în Transilvania și Bazinul Pannonic în vest. Necesitatea unei sinteze a datelor acumulate până acum se face resimțită prin cerințele exprimate de utilizatorii din domeniul seismologiei, a tectonicii și chiar a hazardului seismic.

Datele existente asupra structurii crustei terestre au fost însă centralizate și prezentate atât sub forma unor tabele ce cuprind adâncimile în kilometri la principalele interfețe crustale din zona. A fost realizată de asemenea și o hartă a Platformei Moesice cu poziția punctelor în care a fost determinată structura crustei terestre și principalele valori de adâncime până la principalele interfețe.

Pe baza rezultatelor etapei **II/2017** au fost prezentate și/sau publicate următoarele lucrări.

**1. A fost prezentată o lucrare la workshopul SGEM 2017, Albena, Bulgaria :**

1.1 A. Bala, D. Toma-Danila, B. Grecu, D. Tataru, *Assessing the crustal models and geodynamics behavior in western part of Romania*, 17-th SGEM 2017 Conference Proceedings, vol. 17, issue 14, 41-48. 2017.

Lucrarea a fost publicată în Conference Proceedings la SGEM 2017, care este catalogată Proceedings ISI.

**2. O lucrare a fost prezentată la 4-th Annual International Conference on Earth and Environmental Sciences, 5-8 June 2017, Athens, Grecia.**

2.1 Bala Andrei, *Crustal Models and Active Fault Systems in Western Part of Romania*.

Lucrarea a fost acceptată pt. publicare în Conference Proceedings 2017.

**3. O lucrare a fost prezentată la 2-nd National Conference on Earthquake Engineering and Seismology CNISS 2017, București, Romania.**

3.1 A. Bala, M. Radulian, E. Popescu, D. Toma-Danila, *Earthquake mechanism and correlation with seismogenic zones in the southern and eastern part of Romania*, Proceedings, 63-70, Ed. Conspress 2017.

3.2 A. Bala, M. Radulian, E. Popescu, D. Toma-Danila, *Earthquake mechanism and correlation with seismogenic zones in the south-eastern part of Romania*, Ed. Springer 2017.

**4. O lucrare acceptată pentru a fi prezentată la World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium, WMESS, 11-15 Sept. 2017, Praga, Republica Ceha.**

4.1 Andrei Bala, Dragos Toma-Danila, Dragos Tataru, Bogdan Grecu, *Crustal models assessment in western part of Romania employing active seismic and seismologic methods*, Conference proceedings WMESS 2017.

**Au fost îndeplinite toate obiectivele etapei II /2017 a proiectului NUCLEU PN 16 35 01 03.**

**Responsabil proiect**

**Dr. Ing. Andrei Bala, CS I**