

**UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI**

**Facultatea de Geologie și Geofizică**

**TEZĂ DE DOCTORAT**

**- REZUMAT -**

**LINIA SEISMICĂ DE MARE ADÂNCIME  
TRANSCARPATICĂ.  
CONTRIBUȚII LA STUDIUL STRUCTURII ADÂNCI  
A TERITORIULUI ROMÂNIEI**

*Titularul prezentei teze de doctorat a beneficiat pe perioada studiilor universitare de doctorat de bursa atribuită prin proiectul „Programe doctorale și post-doctorale de excelență pentru formarea de resurse umane înalt calificate pentru cercetare în domeniile Științele Vieții, Mediului și Pământului”, beneficiar Universitatea din București, cod POSDRU/159/1.5/S/133391, proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013.*

**Conducător științific**

*Prof. Dr. Ing. Victor Mocanu*

**Doctorand**

*Ing. Dorina Alina DRĂGUȚ*

**BUCUREȘTI**

**2017**

## CUPRINS

1. Introducere.....	3
2. Cadrul geologic și tectonic. Considerații generale privind structurile majore traversate de linia seismică de mare adâncime RomUkrSeis2014.....	5
3. Particularitățile cutremurelor normale și intermediare produse în ariile seismogene active din România.....	6
4. Linii seismice de mare adâncime pe teritoriul românesc.....	9
4.1 Linii seismice de mare adâncime de refracție.....	9
4.2 Linii seismice de mare adâncime de reflexie.....	11
5. Linii seismică de mare adâncime RomUkrSeis2014 Wide Angle Reflection and Refraciton (WARR).....	11
5.1 Scopul proiectului și obiective specifice.....	11
5.2 Amplasamentul proiectului pe teritoriul României.....	12
5.3 Date tehnice specifice proiectului.....	12
5.4 Generarea undelor elastice.....	14
5.5 Înregistrarea undelor elastice.....	15
5.6 Elemente de prelucrare primară a datelor seismice.....	16
5.7 Modelul distribuției de viteze.....	18
5.8 Efecte particulare de achiziție a datelor seismice asupra protecției mediului	19
5.8.1 Etapele documentației pentru obținerea acordurilor în vederea începerii lucrărilor seismice de mare adâncime.....	19
5.8.2 Măsuri de precauție a mediului.....	20
6. Metode geofizice neseismice utilizate în analiza profilului RomUkrSeis2014	26
6.1 Profilare magnetometrică la sol.....	26
6.2 Date aeromagnetice.....	28
6.3 Date gravimetrice.....	29
6.4 Date gravimetrie și magnetometrice regionale.....	30
7. Concluzii.....	33
Bibliografie.....	34

## **1. INTRODUCERE**

Prezenta lucrare prezentată pentru susținere publică în calitate de teză de doctorat a pornit de la proiectul de cercetare științifică Wide Angle Reflection and Refraction (WARR) – RomUkrSeis2014. În lucrare sunt descrise proiectarea, achiziția, prelucrarea și interpretarea (ultimele aspecte doar parțial, căci sunt încă foarte multe aspecte de continuat). Sunt incluse și rezultatele profilelor magnetometrice la sol, informații aeromagnetice și gravimetrice în lungul profilului seismic, în încercarea de a limita posibilitatea unor erori și a obține o interpretare geologică cât mai aproape de realitate.

În comparație cu țările central și est europene, în România densitatea liniilor seismic adânci este foarte mică, cauza fiind reprezentată de strategiile diferite de finanțare a cercetării geologice și geofizice din fiecare țară în parte.

În faza inițială au fost proiectate două linii seismice de mare adâncime: o linie seismică ce traversează Carpații Orientali de Nord, Bazinul Transilvaniei și Munții Apuseni (culoarul Mureșului) și cea de-a doua în Dobrogea, ambele cu o important component peticitoriul ucrainian. Din motive de restricții financiare, în vara anului 2014 s-a putut executa doar linia trans-carpatică, între Kiev și sudul localității Zam (județul Hunedoara). Linia seismică din Dobrogea a fost amânată, urmând a fi executată, probabil, în anii următori.

Acest proiect a avut caracter internațional, implicând specialiști și organizații științifice internaționale din România, Ucraina, Marea Britanie, Polonia și Germania.

Motivația pentru executarea cercetărilor RomUkrSeis2014 atinge două aspecte fundamentale: responsabilitatea socială și obiectivele științifice.

Primul aspect implică înțelegerea avansată a seismicității și riscului seismic în România în zone care nu sunt în directă legătură cu arealul seismic vrâncean, prin obținerea distribuției detaliate a vitezelor de propagare a undelor elastice între suprafața terenului și adâncimi situate chiar sub limita crustă/manta. În această categorie sunt incluse și excepționalele oportunități profesionale pentru studenții la programele de licență, masterat și doctorat de a fi luat parte la un program profesional de elită, foarte rar desfășurat în România (ultima oară în anul 2001). În aceeași categorie este inclus transferul tehnologic și schimbul eficient de experiență dintre industria de profil și învățământul superior, cercetarea geologică și geofizică din România și țările implicate.

Cel de-al doilea aspect, al obiectivelor științifice, include ținte ca arhitectura bazinelor de sedimentare și afinitățile fundamentului cristalin și arhitecturii crustale, localizarea și structura marginii de sud vest a Cratonului Est European. O țintă de perspectivă este reprezentată și de înțelegerea implicării fundamentului în formarea bazinelor de sedimentare, incluzând controlul structural și reactivările tectonice, cadrul tectonic și structura termică a acestor bazine.

Prezenta lucrare este structurată în șapte capitole, după cum urmează:

**Capitolul 1** este introductiv și debutează cu stabilirea scopului și obiectivelor acestei teze și se încheie cu o scurtă prezentare a structurii lucrării.

În **capitolul 2** este prezentat cadrul geologic și tectonic al structurilor majore traversate de linia seismică de mare adâncime RomUkrSeis2014, cu privire specială asupra teritoriului României.

**Capitolul 3** conține o descriere generală a particularităților cutremurelor de pământ normale și intermediare produse în ariile seismogene active din România, importanța înțelegerii corecte a cadrului seismic pentru conturarea detaliilor structurale românești fiind evidentă.

În **capitolul 4** se face o sinteză a profilelor seismice de mare adâncime realizate în România, profile seismice adânci de refracție și profile seismice adânci de reflexie.

**Capitolul 5** prezintă scopul și obiectivele specifice liniei seismice de mare adâncime transcarpatică, amplasamentul proiectului pe teritoriul românesc, date tehnice specifice proiectului. Se face o descriere a generării și înregistrării undelor elastice, se continuă cu o prezentare a elementelor de prelucrare primară a datelor seismice, metoda de modelare, modelul distribuției de viteze și ulterior interpretarea preliminară a rezultatelor.

În **capitolul 6** sunt prezentate metode geofizice neseismice utilizate în analiza profilului seismic de mare adâncime RomUkrSeis2014.

**Capitolul 7** prezintă principalele concluzii care reies din studiul efectuat.

## **2. CADRUL GEOLOGIC ȘI TECTONIC. CONSIDERAȚII GENERALE PRIVIND STRUCTURILE MAJORE TRAVERSATE DE LINIA SEISMICĂ DE MARE ADÂNCIME ROMUKRSEIS2014**

Linia seismică de mare adâncime RomUkrSeis2014 a traversat imensa majoritate a marilor unități tectonice ale României. Cercetarea modernă a teritoriului țării noastre a fost profund influențată de seismicitatea accentuată, factor de atracție pentru numeroși cercetători de elită, atât din România cât și din alte țări avansate, ceea ce a permis și concentrarea eforturilor pentru finanțarea acestor investigații.

Orogenul Carpatic, așa cum apare astăzi dezvoltat este o consecință a evoluției crustei continentale și a unor domenii oceanice în intervalul de timp Triasic - Terțiar. Unitățile de tip continental pot fi asociate domeniilor interioare (blocurile Tisza - Dacia și respectiv sistemului reprezentat de orogenul complex Alpi - Carpați - Dinarizi) și respectiv exterioare (Platforma Est Europeană, Platforma Scitică și respectiv Platforma Moesică) (Săndulescu, 1984; Săndulescu, 1988; Schmid et al., 2008). În perioada Mesozoic - Neozoic, înspre vest, blocurile Tisza și Dacia erau separate prin intermediul Oceanului Vardar (ramura sa estică), iar înspre est Dacia era separată de vorland prin intermediul Oceanului Ceahlău – Severin.

Oceanul Vardar (atât ramura sa estică cât și cea vestică ce se extinde dinspre Peninsula Balcanică spre Alpii de Est) reprezintă o fază evolutivă târzie a Oceanului Tethys care a început să funcționeze în Triasicul Mediu. În fazele sale târzii de evoluție a fost fragmentat și s-a închis sub presiunea blocurilor continentale Tisza și Dacia. Perioada de închidere a fost la limita dintre Jurasicul Superior și Cretacicul Inferior (Săndulescu, 1984; Săndulescu, 1988; Schmid et al., 2008).

Raportat la Carpați (mai ales cei Orientali), înspre exterior, în Jurasicul Superior a început să se deschidă și să evolueze Oceanul Ceahlău - Severin, poziționat între Blocul Dacia și sistemul platformelor Est Europeană, Scitică și Moesică. Acest sistem oceanic era conectat cu domeniul european. Odată cu retragerea fragmentului de placă litosferică a domeniului Tethys din timpul Neogenului (Sperner et al., 2001), fundamentul oceanic a fost încălecat (șariat) de către sistemul de blocuri Tisza - Dacia. Toate elementele componente ale acestui sistem de placă litosferică au fost consumate în timp, odată cu avansarea spre vest (spre Orogenul Carpatic) a sistemului de pânze relativ subțiri, acum cca. 11 - 9 Ma (Mațenco et al., 2010). Odată cu maturizarea contactului dintre blocurile Tisza - Dacia și respectiv fundamentul carpatic se pare că ar fi avut loc și o rotație a acestor blocuri în sensul acelor de ceasornic. În plus, sistemul Tisza - Dacia a fost afectat de o translație inițial spre nord, apoi spre nord est și, în final, spre est. Conform lui Mațenco și Bertotti (2000), Carpații Orientali au fost afectați mai ales de scurtări multi-puls în perioada Cretacic - Miocen, în special din cauza formării prisme acreționare din fața orogenului.

### **3. PARTICULARITĂȚILE CUTREMURELOR NORMALE ȘI INTERMEDIARE PRODUSE ÎN ARIILE SEISMOGENE ACTIVE DIN ROMÂNIA**

Cercetările seismologice efectuate până în prezent au furnizat un volum remarcabil de informații asupra ariilor seismogene din România, cu privire la particularitățile șocurilor seismice produse în cadrul acestora. Din acest punct de vedere se remarcă atenția acordată zonei seismogene Vrancea. Explicația este simplă și rezultă atât din caracterul special al acestei arii seismice cât și din pagubele financiare și materiale în cazul unor evenimente majore.

Împărțirea teritoriului României în zone seismogene a urmărit distribuția geografică a activității seismice. În cadrul acestor regiuni geografice, Radulian et al. (2000) au propus o definire a zonelor seismogene pe arii mai restrânse, care să țină cont, în primul rând, de caracteristicile geologice și seismotectonice ale unităților tectonice majore ale teritoriului României. Astfel, au fost analizate caracteristicile următoarelor zone seismogene: Vrancea, est Vrancea, Depresiunea Bârladului, Depresiunea Predobrogeană, Falia Intramoestică, Zona Shabla, Făgăraș-Câmpulung, Zona Danubiană, Banat, Crișana - Maramureș și Depresiunea Transilvaniei.

Ardeleanu et al. (2005) adoptă zonele definite de către Radulian et al. (2000) în studiul său de estimare al hazardului seismic pe teritoriul României. Zonele definite în publicația menționată mai sus nu diferă decât ca mod de definire, nu și ca particularități. Ca urmare, caracteristicile zonelor seismice ce urmează a fi prezentate se mențin pentru ambele abordări.

Studiile seismologice au arătat că regiunea seismică Vrancea constă dintr-o arie epicentrală redusă (cca 2.000 km<sup>2</sup>), sub care se produc cutremure intermediare, situată în zona cutată, internă (din punct de vedere tectonic) a Carpaților Orientali și o altă arie epicentrală (situată în estul celei dintâi), mult mai extinsă, plasată în zona externă a Avandosei Carpatice, unde se produc doar cutremure crustale (focare cu adâncimi de 0 - 40 km).

Voi trece în revistă mai întâi zona seismogenă subcrustală Vrancea (cea mai importantă), iar apoi voi prezenta ariile caracterizate de seisme crustale de pe teritoriul României.

**Zona subcrustală Vrancea** este cea mai importantă arie seismică din Europa, fiind o zonă complexă de convergență continentală localizată la contactul a trei unități tectonice majore, și anume: placa Est-Europeană, subplăcile Intra - Alpină și Moesică (Constantinescu et al., 1976).

În această arie epicentrală se produc cutremure intermediare (subcrustale). Zona epicentrală este suprapusă unei suprafețe relativ reduse din cuprinsul zonei cutate interne a Carpaților Orientali. Focarele seismice normale (subcrustale) sunt situate la adâncimi de 60 - 220 km, cel mai frecvent în intervalul de adâncime 110 - 160 km (Oncescu, Trifu, 1987).

Studiile realizate în ceea ce privește mecanismul cutremurelor vrâncene intermediare vin în sprijinul ipotezei privind subducția litosferei din această arie seismogenă atât de activă și complicată. În dinamica acestui proces complex un rol important l-au jucat resturile unui ocean situat între Europa și Eurasia, care s-a restrâns în timp geologic, făcând posibilă coliziunea celor trei plăci litosferice majore (Eurasia, Africa și Placa Arabiei).

Partea estică a **zonei crustale Vrancea** se caracterizează prin prezența cutremurelor crustale (cu magnitudini maxime de 5,1-5,6) și având focarul activ de la Râmnicu Sărat evidențiat pentru prima dată încă de către Atanasiu (1949). Seismele din această zonă nu au depășit magnitudinea de 5,6 (Radulian et al., 2000).

Malița și Rădulescu, (1999) au investigat acest areal precum și mecanismul focal a 28 seisme produse în perioada 1952 - 1994. Astfel, s-a putut evidenția existența unui plan de falie orientat NV - SE, paralel cu prelungirile către NV ale faliilor dobrogene crustale Peceneaga-Camena și Capidava-Ovidiu. Focarele cutremurelor produse într-o perioadă mai lungă de timp (1945 - 1997) au fost localizate astfel: 26 evenimente în intervalul 0 - 10 km adâncime, 35 seisme în intervalul 10 - 30 km, 38 seisme în intervalul 30 - 50 km. În ceea ce privește stress-ul tectonic (dedus din soluțiile de mecanism în focar), s-a putut evidenția un regim compresional orientat predominant NV - SE (similar paleostresului determinat în Carpați în timpul Pliocenului). Tipul principal de falie a fost de falie inversă, urmat de falii de alunecare și falie normală.

**Zona Platformei Moesice** a căpătat o importanță deosebită după descoperirea acumulărilor de petrol și gaze de la Tiulenovo (Bulgaria) în anul 1951 și de la Ciurești (România) din 1956. Acest fapt a condus în perioada următoare o dezvoltare remarcabilă a prospecțiunilor seismice și a forajelor de explorare. Forajele realizate au interceptat fundamentul cristalin, evidențiind o structură complexă (Paraschiv, 1979). Fundamentul Platformei Moesice a este compartimentat într-un sector vestic, valah, și un sector estic, dobrogean, separate de Falia Intramoestică.

La nord de Falia Peceneaga - Camena este situat **Orogenul Nord – Dobrogean**, o altă zonă seismogenă. Acesta are o poziție intracratonică față de platformele adiacente (Platforma Est - Europeană, Scitică și Moesică) ale căror subunități află în acest areal și se prelungesc către NV, constituind Promontoriul nord-dobrogean, acoperit de cuvertura neogenă a avanfosei. Cutele chimerice ale acestui orogen sunt mărginite la nord de faliile de alunecare Sfântu Gheorghe și Troțușului, iar la sud de fractura crustală Peceneaga – Camena (Săndulescu, 1984).

Această zonă este caracterizată prin activitate seismică moderată, definită prin cutremure crustale, de adâncime mică. De regulă, seismele locale nu au magnitudini mari dar pot fi resimțite mai intens în zonele lor epicentrale, așa cum se întâmplă în cazul cutremurelor din zona Tulcea.

În **regiunea Galați – Tecuci** structura litosferei indică faptul că majoritatea seismelor au fost localizate în litosfera cristalină caracterizată prin viteze mari ale undelor seismice. Aici s-a produs o rotație către partea de vest a direcțiilor determinate în sectorul platformei iar direcția de falie corespunde, probabil, orientării Făliei Peceneaga - Camena (prelungirea către partea de NV a acesteia). Aria dintre această falie și Prut se caracterizează printr-o seismicitate ridicată.

Evenimentele seismice produse în zona Galați sunt de natură tectonică, infirmându-se ideea conform căroră seismele ar fi generate datorită extracției îndelungate a țițeiului prin cele două sonde ale unui operator petrolier privat (de la adâncimi foarte mici, de cca. 800-900 m) sau datorită fracturării hidraulice. Localizarea acestor evenimente a indicat un aliniament tectonic orientat NE - SV de-a lungul unui sistem de falii active, cu adâncimi focale situate între 1-7 km, aliniament perpendicular pe sistemul fracturilor majore ce se continuă dinspre Dobrogea de Nord, acesta fiind orientat NV - SE.

**Zona seismică Făgăraș-Câmpulung-Sinaia** este situată în partea de sud-vest a cristalinelor getice al Munților Făgăraș și în Depresiunea Loviștei. Conform unor ipoteze anterioare (Cornea, Lăzărescu, 1980), cutremurele făgărășene activează fracturi de vârstă hercinică, falii de origine alpină, dar și falii profunde ce separă Orogenul Carpatic de Depresiunea Transilvaniei.

Din punct de vedere geologic, regiunea este situată în sudul Masivului Leaota, în zona de tranziție dintre Carpații Meridionali și cei Orientali; aceasta este reprezentată de formațiuni cristaline și de flișul Masivului Piatra Craiului. Adâncimea redusă a seismelor (în partea superioară a crustei cristaline) reflectă existența unor mișcări tectonic-active ale blocurilor crustale constituente ale masivelor Leaota și Piatra Craiului. O altă posibilitate ar fi ca anumite evenimente seismice să fie declanșate prin influență de către cutremurele produse în zona Vrancea.

**Regiunea Crișana – Maramureș.** Epicentrele seismelor produse se aliniază pe următoarele accidente tectonice majore: faliile Dragoș Vodă, Halmeu, Mara, Benesat-Ciucea. Importantă din punct de vedere seismologic este falia crustală Dragoș Vodă, falie care a fost activă în perioada Neogen-Cuaternar, cu mișcări diferențiale, de extensie și subsidență în sectorul vestic și mișcări de ridicare în sectorul estic (Polonic, 1980).

**Zona Banatului.** Studiile geologice și geofizice au evidențiat particularități ale acestui sector al Depresiunii Pannonice. Acestea se referă atât la distribuția câmpurilor geofizice naturale (câmpului geotermic), cât și la structura seismică locală și regională a litosferei crustale.



Studiile geodinamice bazate pe analiza mecanismului în focar al cutremurelor au furnizat informații asupra proceselor dinamice actuale. Astfel, un studiu realizat asupra seismelor produse în Banat în perioada 1988 - 1994 a indicat direcțiile câmpului de stress corespunzător blocurilor majore din componența regiunii (Polonic, Malița, 1997).

Din analiza cutremurelor produse în zona Banat (pentru perioada 1773-1991) a rezultat existența a 20 areale epicentrale, cu seisme caracterizate de intensități mai mari de gradul IV pe scara Mercalli. Dintre acestea amintim următoarele: Timișoara, Arad, Sag-Parta, Banloc-Dolant și Sânnicolaul Mare. Intensitățile epicentrale mari s-au înregistrat la Banloc, Liebling-Voiteg, Sag-Parta, Timișoara, Jimbolia, Periam, Arad și Sânnicolaul Mare (Oros, 1991).

Regimul tectonic al zonei seismice Timișoara se definește prin falierea cu alunecare pe direcție, reactivată în regim tensional conform. Astfel, se pot menționa mai multe tipuri de falii geologice asociate cu activitatea seismică: a) falii cu orientare NE - SV, b) falii cu orientare E - V și c) falii cu orientare N - S până la NNV - SSE (Oros, 2011).

**Zona seismică a Depresiunii Transilvaniei** este situată între râurile Târnava Mare și Târnava Mică. Cornea și Lăzărescu (1980) menționează un seism din data de 12 noiembrie 1978 cu o magnitudine de 3.3 și adâncimea de 10 km. Șocul respectiv este legat de una dintre fracturile crustale evidențiate de studiile de refracție (linia seismică de mare adâncime) efectuate pe profilul internațional XI (Galați – Cluj Napoca - Oradea), sectorul transilvan. Se apreciază caracterul tensional al acestor seisme produse în Bazinul Transilvaniei, având în vedere procesul multiplu ce a avut loc în centrul acestuia și prezența intruziunilor bazice în fundamentul bazinului.

#### **4.LINII SEISMICE DE MARE ADÂNCIME PE TERITORIUL ROMÂNESC**

În acest capitol vom face o sinteză a profilelor seismice de mare adâncime realizate în România: profile seismice adânci de refracție și profile seismice adânci de reflexie.

Totodată, majoritatea liniilor seismice adânci din România au fost concentrate pe zona seismogenă Vrancea și pe avanfosa de la curbura Carpaților, lipsind în totalitate atenția pentru alte zone seismogene (Maramureș, Banat, sudul Bazinului Transilvaniei, Falia Sf. Gheorghe).

##### **4.1 Linii seismice de mare adâncime de refracție**

Începând cu anul 1966 au fost realizate de către Comisia de Colaborare Multilaterală între Academii de Știință din Țările Socialiste (K.A.P.G), profile seismice adânci de refracție ce au traversat principalele unități tectonice din România, majoritatea cercetărilor fiind focusate

asupra Orogenului Carpatic și zona munților Apuseni. Astfel, au fost realizate: profilul II localizat, pe teritoriul României între Galați și Călărași, profilul XI (trans-carpatic) între Galați – Cluj Napoca – Oradea și profilul XII situat între Băilești și Petroșani. Obiectivele principale ale acestor cercetări seismice au avut ca scop stabilirea limitei sedimentarului – fundament cristalin și poziția discontinuităților Conrad și Mohorovicici.

**Profilul seismic VRANCEA99** a avut o lungime totală de 300 km între Bacău și București, traversând astfel zona seismogenă Vrancea pe o direcție NNE - SSV și având următoarele obiective principale: stabilirea vitezelor seismice din crustă și mantaua superioară, estimarea riscului seismic din zona metropolitană a Bucureștiului, îmbunătățirea localizării cutremurelor de pământ din zona seismogenă Vrancea și Platforma Moesi că și îmbunătățirea modelului geodinamic pentru seismicitatea din zona seismogenă Vrancea (Hauser et al., 2001; Răileanu et al., 2005).

Principalele rezultate ale profilului de refracție Vrancea99 au fost reprezentate de dezvoltarea în adâncime a secvențelor crustale și subcrustale pe baza zonării valorilor de viteze de propagare a undelor elastice de tip P. Astfel, tranziția între fundamentul cristalin al platformelor Moesică (înspre sudul profilului) și respectiv Scitică (înspre nord), îngroșarea de ansamblu a crustei sub zona seismogenă Vrancea (de la cca. 20 km la S și respectiv N până înspre 35 km la Curbura Carpaților). Deasemenea, poziția practic orizontală a discontinuității Moho înspre Platforma Scitică și zona Vrancea dar cu o poziție semnificativ mai elevată înspre domeniul Moesic. Variația adâncimii la care a fost plasată această limită este de la 30 km sub domeniul platformic la cca. 40 km sub Zona Vrancea. A fost evidențiată și existența unei zone cu viteze reduse amplasată sub arealul vrâncean, mai exact sub limita crustă/manta.

**Profilul seismic VRANCEA2001.** Scopul științific al proiectului a vizat următoarele aspecte: stabilirea vitezelor seismice din crustă și mantaua superioară, îmbunătățirea modelului geodinamic în zona seismogenă Vrancea (intersectându-se cu profilul seismic de mare adâncime Vrancea99) și calibrarea variațiilor vitezelor relative oferite de experimentul de tomografie teleseismică din anul 1999.

Modelul de refracție seismică sugerează variații de grosimi și viteze atât în succesiunea sedimentară cât și în crusta terestră. S-au evidențiat astfel trei blocuri crustale diferite, ce se caracterizează prin geometrii distincte: blocul crustal Tisza-Dacia care intră în componența fundamentului Bazinului Transilvaniei și în cea mai mare parte în estul Orogenului Carpatic, blocul crustal al Platformei Moesice ce intră în componența fundamentului Bazinului Focșani și blocul crustal al Orogenului Nord Dobrogean, ultimile unități tectonice fiind separate prin Falia Peceneaga-Camena (Hauser et al., 2007).

Blocul Tisza-Dacia are o grosime de cca. 35 km, prezentând zone cu viteze reduse până la adâncimea de 15 km. Această caracteristică este probabil datorată succesiunilor sedimentare din cuprinsul Orogenului Carpatic. Blocul crustal al Platformei Moesice nu depășește grosimea de 25 km, fiind acoperit (până la adâncimea de 22 km) de roci sedimentare. Blocul crustal al Dobrogei de Nord ajunge până la o adâncime de 44 km, suportând, la partea superioară, roci de vârstă Paleozoic-Mezozoic, până la adâncimea de 2 km (Hauser et al., 2007).

#### **4.2 Linii seismice de mare adâncime de reflexie**

Profilul seismic de reflexie de mare adâncime cu numele de cod "DACIA PLAN" a fost înregistrat în vara anului 2001, în același timp cu profilul seismic de refracție VRANCEA 2001. Profilul DACIA PLAN a avut o lungime de 140 km (Bocin et al. 2005, 2009; Panea et al., 2005), direcție VNV - ESE, între Covasna și Brăila.

Principalele obiective ale acestui experiment au fost de a obține informații noi cu privire la structura pânzelor Carpaților de Curbură și detalii privind arhitectura bazinelor sedimentare de vârstă Terțiară/Cuaternară dezvoltate în aria seismogenă activă Vrancea și adiacent acesteia, inclusiv Bazinul Focșani.

În lucrarea lui Bocin et al., 2009 este prezentat modelul geodinamic complex rezultat din interpretarea integrată a informațiilor geofizice și satelitare, modelul tomografic al distribuției de viteze, modelul vitezelor dedus din trasele seismice și secțiune geologică în zona externă a curburii Carpaților Orientali și avanfosei.

**Profilul seismic DRACULA.** Obiectivele principale ale acestui studiu au fost: (a) identificarea distribuției, geometriei și tipului de falii active din avanfosa de la Curbură Carpaților; (b) stabilirea relațiilor spațiale dintre structurile crustale din avanfosă și manta și (c) definirea mecanismelor geodinamice acceptabile, responsabile pentru distribuția spațială a seismicității vrâncene (Mucuța et al., 2006; Enciu 2007; Enciu et al., 2009).

## **5. LINIA SEISMICĂ DE MARE ADÂNCIME ROMUKRSEIS2014 - WIDE ANGLE REFLECTION AND REFRACTION (W.A.R.R)**

### **5.1 Scopul proiectului și obiective specifice**

RomUkrSeis2014 este un proiect de achiziție, prelucrare și interpretare a datelor seismice de mare adâncime pentru a căror interpretare în termeni tectonici a devenit ulterior imperios necesară și utilizarea/achiziția unor date gravimetrice, magnetometrice și aeromagnetice.

Lucrările de achiziție a datelor geofizice (seismice) au fost executate de Universitatea din București, în cadrul Proiectului de cercetare științifică RomUkrSeis2014 - Linia seismică adâncă WARR Trans-Carpatică (TC) și a vizat două aspecte fundamentale, și anume (a) obiective științifice și (b) responsabilitate socială, astfel:

- a. înțelegerea avansată a seismicității și riscului seismic în România, prin obținerea distribuției detaliate a vitezelor de propagare a undelor elastice între suprafața terenului și adâncimi;
- b. remarcabilele oportunități profesionale pentru studenții aflați în programele de licență, masterat și doctorat de a lua parte la un program profesional de elită, foarte rar desfășurat în România (ultima oară în anul 2001).

## **5.2 Amplasamentul proiectului pe teritoriul României**

Lucrările s-au executat în lungul aliniamentului (profilului) orientat NNE - SSV, cuprins între locațiile sud Kiev (Ucraina) - Siret (granița României cu Ucraina) - Marginea - Coșna – Monariu – Pața – Abrud - Zam, traversând județele Hunedoara, Cluj, Bistrița Năsăud și Suceava, având lungimea totală de cca. 700 km, dintre care 350 km pe teritoriul românesc (figura 5.1).

## **5.3 Date tehnice specifice proiectului**

Lucrările de achiziție de date geofizice au presupus existența unor puncte de generare a semnalului geofizic unde, prin metode specifice, se emite un semnal geofizic (unda elastică). Punctele de generare a semnalului seismic au fost amplasate în zone izolate (fără perturbarea activităților economice și a vieții comunităților locale, cu o atenție specială acordată aspectelor de protecție a mediului), situate între 20 și 65 km în lungul profilului, iar recepția semnalului s-a realizat cu 225 de geofoni independenți (din clasa "stand alone", în România) amplasați la 2 km distanță unii de alții în lungul aliniamentului.

Înainte de începerea proiectului s-a realizat o primă recunoaștere a zonei de lucru pentru stabilirea punctelor de generare și de înregistrare a undelor elastice și a rutelor de acces.

Au fost contactate autoritățile locale și notificate asupra desfășurării lucrărilor în zonă. Pentru identificarea proprietarilor de terenuri s-a solicitat sprijinul primăriilor locale. S-au identificat toți proprietarii care dețin terenurile unde s-au desfășurat lucrările de achiziție a datelor seismice și s-a încheiat cu aceștia o înțelegere scrisă prin care s-a permis accesul pe proprietăți.

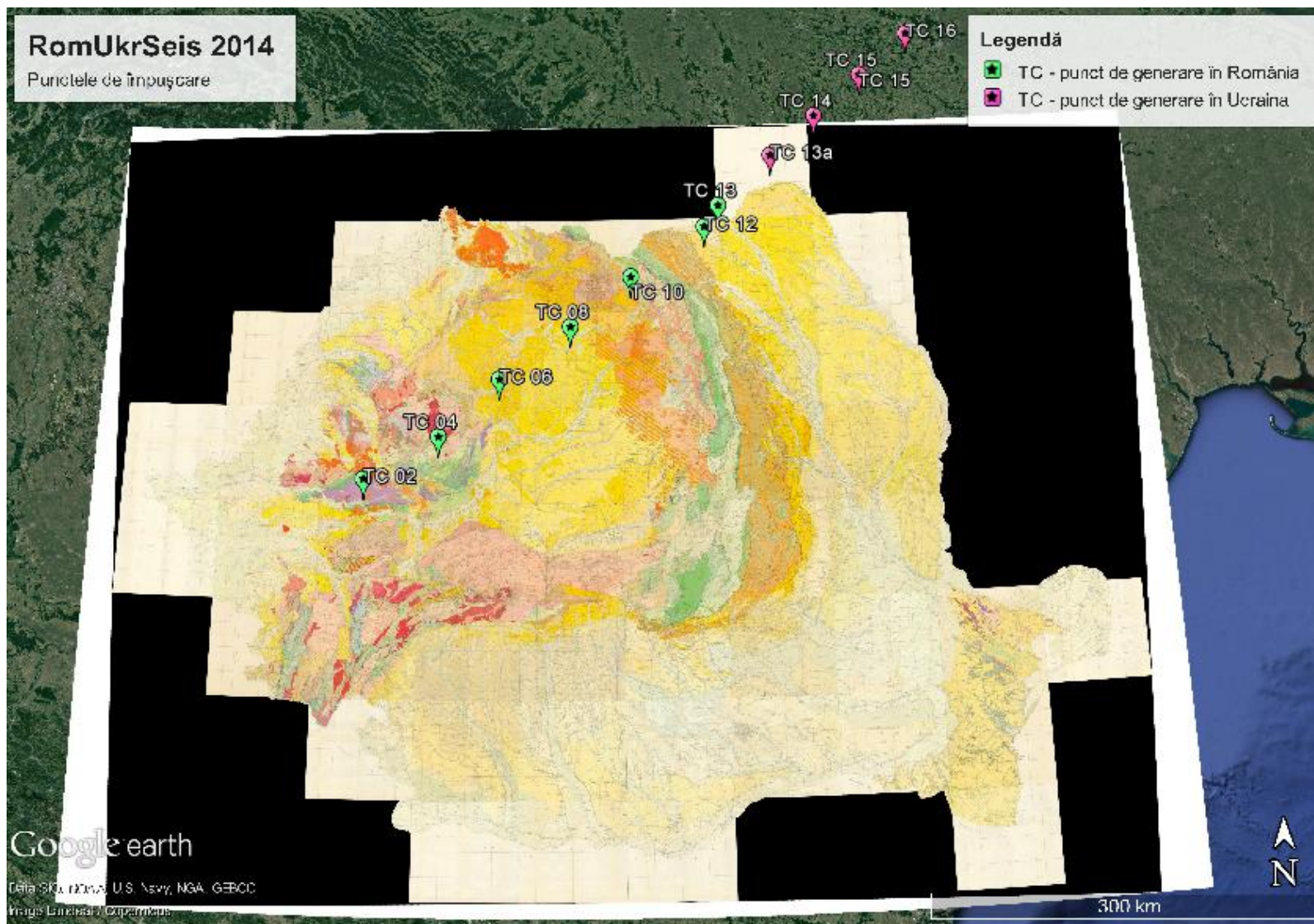


Figura 5.1. Distribuția punctelor de generare a undelor elastice în proiectul RomUkrSeis2014

Semnalul seismic emis succesiv, din fiecare punct de generare, este reflectat la suprafață de obiectivul cercetat aflat la diferite adâncimi în subsol și este recepționat de un dispozitiv de recepție constituit din geofoni independenți. Înregistrarea semnalului seismic s-a făcut în memoria internă a fiecărui sistem de înregistrare care este atașat printr-un cablu de cca. 40 cm lungime unui geofon independent.

Generarea undelor elastice a constat în derularea a trei etape importante: executarea găurilor de detonare, încărcarea găurilor de generare cu material explozibil și detonarea controlată.

Pentru punctele de generare a undelor elastice au fost realizate, într-o rețea pătratică, în funcție de condițiile locale, de la 16 până la 24 găuri de detonare, aflate la cca. 10 m distanță între ele, fiecare cu o adâncime maximă de 25 m și un diametru de maximum 12 cm.

Generarea undelor elastice s-a realizat utilizându-se detonarea controlată. Aceasta a presupus încărcarea celor 16 până la 24 de găuri de detonare aferente fiecărui punct de generare a undelor elastice cu materie explozivă de uz civil (50 kg Riogel/gaură).

Detonarea controlată a fost realizată de o echipă de generare, fiind comandată printr-un aparat numit Pelton, purtat în spate de un membru al echipei special autorizate în acest sens.

Datele înregistrate au fost transferate în format digital la Agenția Națională pentru Resurse Minerale (ANRM) și vor fi utilizate cu precădere pentru scopuri științifice fundamentale legate și/mai ales de lucrări de doctorat și/sau masterat și prezentări științifice la manifestări de specialitate în domeniul geologiei/geofizicii din țară și străinătate, eventual împreună cu partenerii internaționali.

După achiziția datelor geofizice urmează prelucrarea, modelarea și interpretarea rezultatelor, care se va face pe o durată de 3-4 ani și nu reprezintă în totalitate obiectivul prezentei teze.

#### **5.4 Generarea undelor elastice**

Undele elastice au fost generate în 11 puncte de împușcare amplasate de-a lungul profilului seismic RomUkrSeis2014, dintre care șapte au fost executate în România și patru în Ucraina.

În România au fost proiectate 13 puncte de împușcare pentru care s-au obținut toate avizele necesare dar în final au fost executate doar șapte, motivele de bază fiind nefinanțarea completă a acestor lucrări de către una dintre entitățile care inițial au anunțat că vor sprijini aceste lucrări. Cantitatea de explozibil utilizată în fiecare gaură de sondă a fost de 50 kg, cu excepția punctului Coșna unde forajele mai scurte nu au permis încărcarea cu mai mult de 28 kg/foraj. Explozibilul folosit a fost Riogel produs de către Maxam.

În Ucraina au fost proiectate și executate patru puncte de împușcare pentru care s-au obținut toate avizele. În fiecare locație s-au realizat 14 găuri de detonare cu adâncime de 30 m, cu excepția punctului de la extremitatea de NE a profilului unde s-au executat 18 foraje la aceeași adâncime. Cantitatea de explozibil utilizată în fiecare gaură de sondă a fost de 50 kg. Explozibilul folosit a fost dinamită.

În tabelul 5.1 este prezentată sinteza datelor tehnice ale profilului.

*Tabelul 5.1 - Parametrii de achiziție specifici proiectului RomUkrSeis2014*

Sursa	6850 kg în România 3000 kg în Ucraina
Distanța nominală între surse	~ 61 km
Adâncimea sursei	
Sisteme de înregistrare	DSS CUBE1 RefTek 125A
Distanța nominală între receptori	~ 2 km
Numărul de canale de înregistrare	334
Durată înregistrării	90 s
Intervalul de eșantionare	5 ms
Lungimea profilului	670 km

### **5.5. Înregistrarea undelor elastice**

Datele seismice din proiectul RomUkrSeis2014 au fost înregistrate cu 334 receptori seismici de tip stand-alone, absolut autonomi. Toți receptorii au fost de tip seismograf digital cu o componentă, și anume cea verticală. Din cei 334 receptori seismici, 170 au fost de tip DSS CUBE 1 și au provenit de la Geo Forschungs Zentrum Potsdam (Germania), fiind utilizați în totalitate pe teritoriul României. Restul de 55 receptori utilizați în țara noastră au provenit de la Institutul de Geofizică al Academiei Poloneze de Științe din Varșovia și au fost de același tip cu cei din Germania, și anume DSS CUBE 1. Pentru toate cele 225 stații seismice de înregistrare s-au utilizat geofoni de frecvență standard, și anume 1 Hz. Pentru teritoriul ucrainian au fost utilizate 109 sisteme din aceeași clasă, "stand-alone" de tip RefTek 125A ("Texan") fabricate în S.U.A. și aflate în proprietatea Institutului de Geofizică al Academiei de Științe din Ucraina.

### **5.6. Elemente de prelucrare primară a datelor seismice**

Înregistrările cu punct de generare comun sunt vizibile în figurile 5.2. Acestea sunt prezentate în stare neprelucrată -raportul semnal / zgomot este destul de variabil, cu diferențe între semnalele înregistrate de la puncte de împușcare diferite. Calitatea înregistrărilor a depins în mod evident de distanța dintre receptori și sursă, condițiile locale de foraj în sursă, proprietățile fizico-mecanice ale rocii în care s-a generat explozia, calitatea burării etc.

Calitatea raportului semnal / zgomot a fost acceptabilă pentru generările în cariere cu roci cu proprietăți fizico - mecanice bune. Pentru generările din avanfosă dar și din bazinul Transilvaniei s-au obținut calități bune spre foarte bune ale semnalului seismic până la distanțe remarcabile, de peste 300 km. Chiar și în cazul particular al punctului de la Coșna unde s-a putut utiliza doar o cantitate de 45 kg de explozibil/gaură de sondă, semnalul seismic de calitate s-a propagat deosebit de mulțumitor.



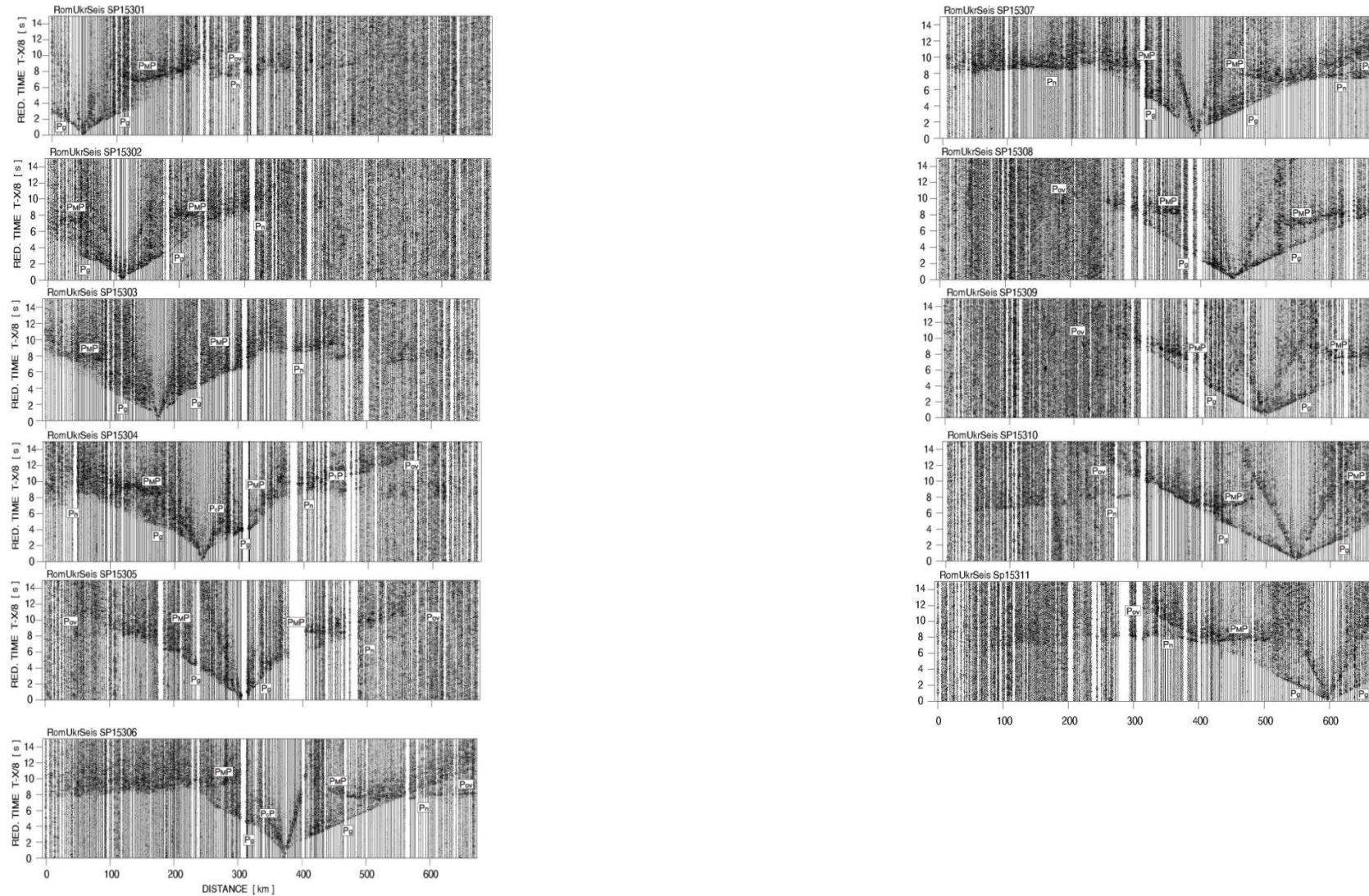


Figura 5.2 - Seismograme ale componentei verticale. Trasele sunt normalizate. Filtrul aplicat a fost de tip trece - bandă (2 - 12 Hz).  $P_{sed}$  - refracții de la nivele sedimentare;  $P_g$  - refracții de la limita Conrad;  $P_{ov}$  - faze crustale critice;  $P_cP$  - reflexii provenite de la discontinuitățile din crusta mediană;  $P_M P$  - unde reflectate de discontinuitatea Moho;  $P_n$  - refracții din mantaua superioară. Valoarea vitezei folosită în reduceri: 8,0 km/s.

## **5.7. Modelul distribuției de viteze**

### ***Interpretarea preliminară a rezultatelor***

Grosimea pachetelor de roci sedimentare este foarte variabilă, fiind cuprinsă între câteva zeci de metri înspre capetele profilului, atât înspre NE (în zona Platformei Est Europene) cât și înspre SV (în zona aluviunilor din Culoarul Mureșului) și pot atinge valori mari, spre 6000-6500 m în zona de la contactul avansosei Carpaților cu Orogenul Carpaților Orientali propriu-ziși.

Trebuie însă menționată o zonă anomală remarcabilă, cu dimensiuni de cca. 40 km lățime și 19 km adâncime în care vitezele de propagare ale undelor elastice ating valori anomal de mici, de 4,77 km/s, 4,95 km/s și respectiv de 5,35 km/s. Această zonă este amplasată sub Avanfosa Carpaților Orientali, în dreptul km 300 - 350 ai profilului RomUkrSeis2014.

În general se poate remarca faptul că, de-a lungul profilului RomUkrSeis2014, Avanfosa Carpaților separă fundamentul cristalin în două componente. Unul dintre ele corespunde segmentului de SV, și anume Munții Apuseni, Bazinul Transilvaniei, Carpații Orientali (figura 5.5). Acest areal este conturat și caracterizat de viteze de propagare a undelor elastice P de cca. 6,0 – 6,45 km/s, extinzându-se până la nivele de adâncime de 30-37 km. Bazinul Pannonic este caracterizat de valori de viteze similare, cu deosebirea că grosimea în domeniul Pannonic este cu cca. 7 – 13 km mai redusă. Înspre suprafață se pot contura două corpuri ce sunt caracterizate de valori ale vitezelor de propagare ale undelor P superioare celor de la adâncime mai mare. Unul din aceste corpuri este plasat între km. 0 și 90, vitezele de propagare ale undelor P fiind de 6,35 km/s la adâncimi de ordinul a 5 - 10 km.

Al doilea corp anomal este amplasat în zona km. 90 - 200, cu valori de viteze de deplasare a undelor P de cca. 6,15 km/s la adâncimi de ordinul a 0,5 - 6,5 km (figura 5.4).

Pe ansamblu, crusta terestră în zona km. 340 - 460 se prezintă ca fiind caracterizată de valori ale vitezelor de propagare a undelor elastice similare cu zona de SV a profilului. Dincolo de km 460 se remarcă o crustă de grosime cca. 25 km și viteze de propagare a undelor elastice P de 6,7 - 6,85 km /s, adică o crustă ce pare a fi considerată tipică pentru Platforma (Cratonul Est European) traversat la suprafață de linia RomUkrSeis2014 între km 385 și capătul de NE al profilului. În ce privește primele două strate dinspre suprafață, pentru întregul sector de NE al profilului valorile vitezelor de propagare a undelor elastice P par a fi relativ omogene, și anume 6,1 și respectiv 6,2 km /s. O asemenea structură a crustei este foarte complicată și determină dificultăți reale pentru modelare. Într-o asemenea situație, calitatea acceptabilă a informațiilor despre undele supracrive permite obținerea de valori relativ stabile și cărora le putem acorda încredere în încercarea de a obține o structură bine justificată a crustei terestre.

Modelul conturat prezintă variații importante în ce privește adâncimea discontinuității Moho. De la capătul de SV al profilului și până spre km 460, adâncimea acestei limite fundamentale este de cca. 31 - 33 km, cu două maxime amplasate la km. 200 (37 km) și respectiv km 340 (41 km). Spre capătul de NE al profilului, sub Scutul Ucrainian, adâncimea limitei Moho atinge valori extreme, de cca. 50 km (la km. 670). Sub limita Moho, vitezele de propagare a undelor elastice P ating valori de cca. 8 km/s pentru capătul de SV. Înspre capătul de NE, cam din dreptul km 340, valorile acestor viteze sunt mai mari, de cca. 8,15 km/s.

Rămân multiple semne de întrebare în ce privește modelul prezentat, ca spre exemplu geometria ambiguă a discontinuității Moho sub Avânfosa Carpatică (aproximativ km. 200), mai ales în ce privește comparația cu alte profile transcarpatice din zona Vrancea sau din Ucraina.

## **5.8 Efecte particulare de achiziție a datelor seismice asupra protecției mediului**

### **5.8.1 Etapele documentației pentru obținerea acordurilor în vederea începerii lucrărilor seismice de mare adâncime**

O sarcină dificilă a constat în anunțarea autorităților locale și identificarea proprietarilor de terenuri unde s-au desfășurat lucrările (mai ales pentru punctele de generare a undelor elastice), fiind solicitat sprijinul primăriilor locale. Terenurile extravilane traversate au fost redactate la starea lor inițială proprietarilor de drept, conform documentelor semnate cu aceștia înainte de începerea lucrărilor (prin „Înțelegere” și „Proces Verbal” de constatare a daunelor).

Recunoașterea zonei de lucru pentru stabilirea punctelor de generare și înregistrare a undelor elastice a reprezentat o sarcină anevoioasă. Astfel, la alegerea locațiilor pentru generarea undelor elastice au fost luate în considerare numeroase aspecte, cum sunt cele enumerate mai jos:

- evitarea siturilor arheologice și a monumentelor istorice de orice fel;
- evitarea ariilor naturale protejate, a siturilor "Natura 2000", RO SPA, RO SCII, etc;
- păstrarea distanțe de siguranță față de așezările umane, construcții de orice fel, elemente de infrastructură (sonde, conducte sau rezervoare de petrol și gaze, drumuri, poduri, căi ferate, linii electrice aeriene, relee de telecomunicații, foraje sau rezervoare de apă, diguri, facilități miniere, cariere și balastiere), obiective de interes local sau național (izvoare, fântâni, bazine piscicole, ape curgătoare, arii protejate, stâne, flora și fauna, frontiera de stat), pentru evitarea daunelor de orice fel în urma generării undelor seismice;

- asigurarea unui impact minimal asupra mediului, rezumat strict la locul și perioada operațiunilor, fără urmări negative după finalizarea lucrărilor de achiziție de date;
- starea fizică a drumurilor și folosirea căilor de acces existente;
- morfologia terenului, vegetația acoperitoare, poziționarea în raport cu zonele agricole și urbane învecinate, ariile protejate și ținând cont și de sezonul agricol în care au avut loc activitățile de teren;
- litologia zonei, atât cât s-a putut observa la suprafață și deduce din alte surse;
- organizare logistică facilă (pentru parcarea autovehiculelor, amplasarea instalațiilor de foraj și a facilităților anexe, pentru stocare temporară de lubrifianți, combustibili, materiale absorbante anti-poluanti, acumulatori, deșeuri menajere, etc).
- posibilitățile de telecomunicații existente.

### **5.8.2 Măsurile de precauție a mediului**

În România, echipamentul de înregistrare a semnalului seismic a fost reprezentat de 180 geofoni complet independenți ("stand-alone") ([www.gfz.potsdam.de](http://www.gfz.potsdam.de)), amplasați în puncte situate din 2 în 2 km de-a lungul aliniamentului și îngropați la aproximativ 30 cm sub pământ, împreună cu sistemul de înregistrare "CUBE" DSS produs în Germania, la GeoForschungsZentrum Potsdam. Conform recomandării fabricantului, aceștia au fost protejați împotriva umidității folosind pungă de plastic de înaltă calitate și au fost recuperați în totalitate odată cu ridicarea echipamentului din teren.

Generarea undelor elastice a implicat derularea a două etape importante și anume: (a) executarea găurilor de detonare, și (b) încărcarea găurilor de generare și detonarea controlată.

Pentrufiecare punct de generare a undelor elastice au fost executate, în funcție de condițiile locale, de la 16 până la 24 găuri de detonare aflate la 10 m distanță între ele, fiecare cu o adâncime de maximum 25 m și un diametru de maximum 12 cm.

Executarea găurilor de detonare s-a făcut prin două metode, în funcție de condițiile locale: (a) în sistem uscat, cu șneclul și respectiv (b) printr-un sistem rotativ cu circulație de fluid (apă). În cazul găurilor de detonare realizate în sistem uscat, detritusul rezultat a fost adus la suprafață prin extragerea periodică a șnecurilor și descăcarea materialului săpat.

Generarea undelor elastice a constat în încărcarea găurilor de generare cu explozibil care ulterior a fost detonat controlat. Detonarea controlată a presupus încărcarea celor 16 până la 24 de

găuri de detonare aferente fiecărui punct de generare a undelor elastice cu materie explozivă de uz civil (50 kg Riogel/gaură) cu o cantitate totală cuprinsă între 800 și 1200 kg/punct de generare.

Transportul, folosirea explozibililor și deținerea acestora s-au realizat în baza unui contract cu firma MAXAM România, autorizată (conform prevederilor legale în vigoare) de către Ministrul Muncii, Familiei și Protecției Sociale și Ministerul Afacerilor Interne. Aceste activități ce au implicat folosirea materialelor explozive au fost executate exclusiv de personal calificat, instruit și autorizat în ce privește regimul explozibililor.

Pentru activitatea de generare a undelor seismice s-au avut în vedere distanțele de siguranță față de așezările umane, construcții de orice fel, obiective de interes sau arii protejate, astfel încât să nu se producă niciun fel de daune în timpul lucrărilor sau după terminarea acestora.

Transferul și utilizarea materiilor explozive s-a realizat cu respectarea strictă a cerințelor legale. Astfel, din depozitele specializate s-au scos doar cantitățile necesare lucrului în ziua respectivă, încărcându-se găurile executate; toată cantitatea de exploziv a fost folosită.

În timpul lucrărilor de achiziție a datelor geofizice nu s-au utilizat substanțe sau amestecuri toxice pentru sănătatea și securitatea lucrătorilor, a populației și a mediului.

De asemenea, au fost respectate măsurile în caz de scăpări accidentale, incendii și alte evenimente neplăcute, în conformitate cu fișele de securitate ale produselor utilizate, cu acțiunile și măsurile pentru prevenirea și combaterea efectelor produse de eventualele poluări.



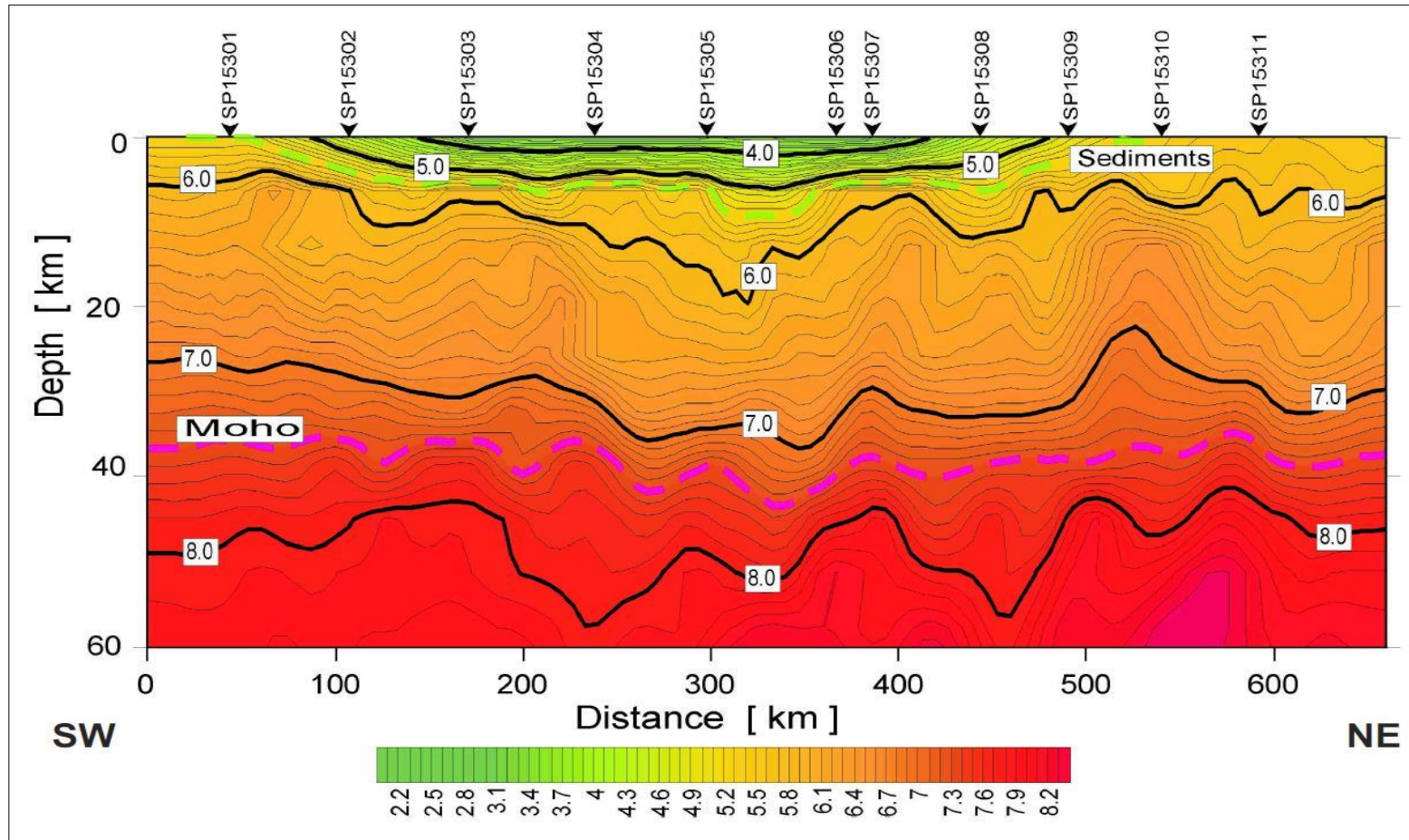


Figura 5.3- Modelul de viteze obținut prin inversia tomografică a primelor sosiri (unde P și fazele undelor P) prin intermediul pachetului FAST (Zelt, 1988). Izolinia de viteze cu valoarea de 7,5 km/s este acceptată ca reprezentând locația aproximativă a discontinuității Moho în cadrul unui model cu distribuție netezită (linie întreruptă de culoare mov).

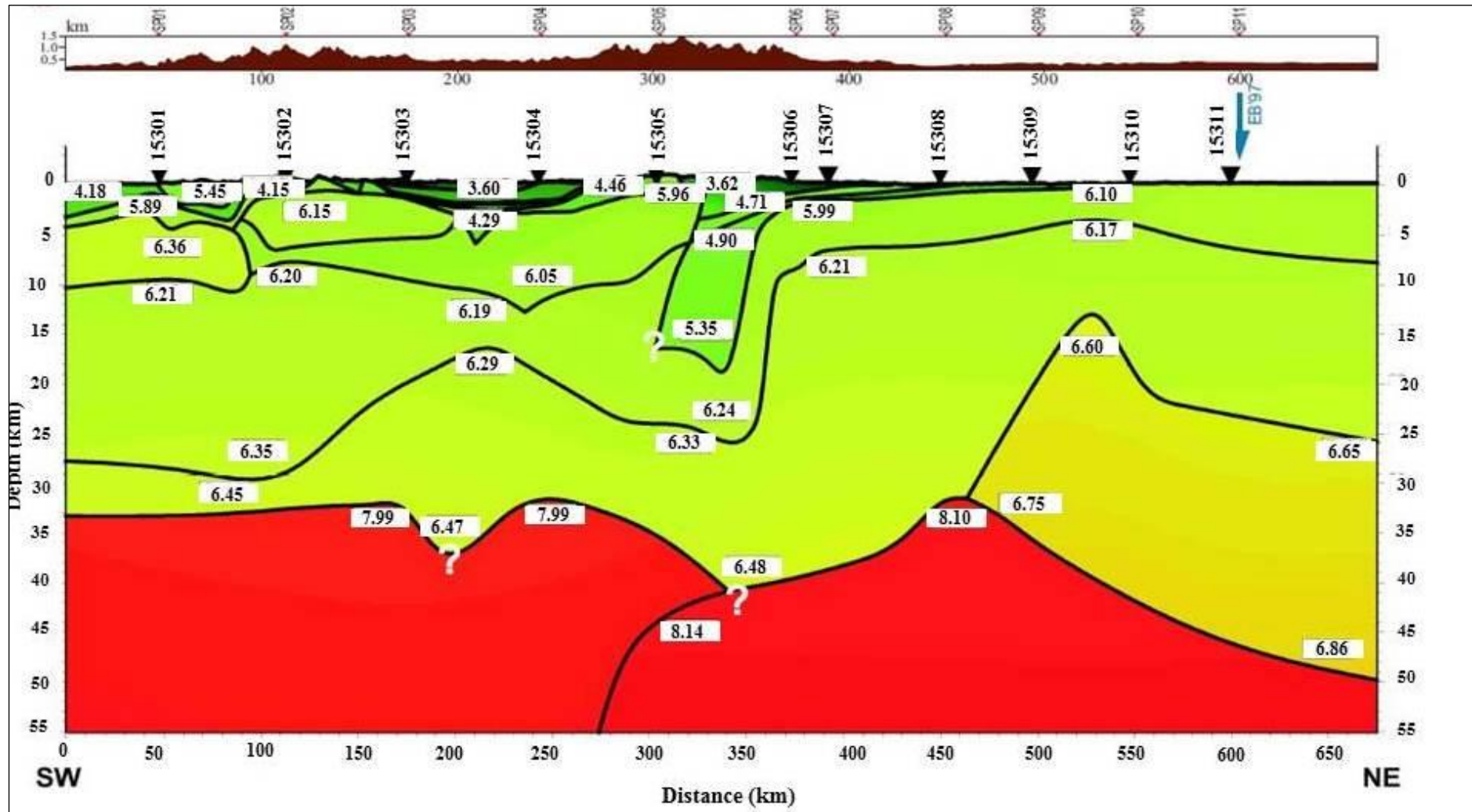


Figura 5.4. Modelul de viteze bidimensional preliminar pentru distribuția vitezelor de propagare a undelor P în crustă și mantaua superioară ca urmare a modelării parcursului undelor seismice în lungul profilului RomUkrSeis2014. Liniile negre îngroșate reprezintă discontinuități majore de viteze. Liniile subțiri reprezintă izolinii de viteze cu valori în km/s (în dreptunghiuri). Săgeata albastră reprezintă intersecția cu profilul EB'97 (Bogdanova et al., 2006)



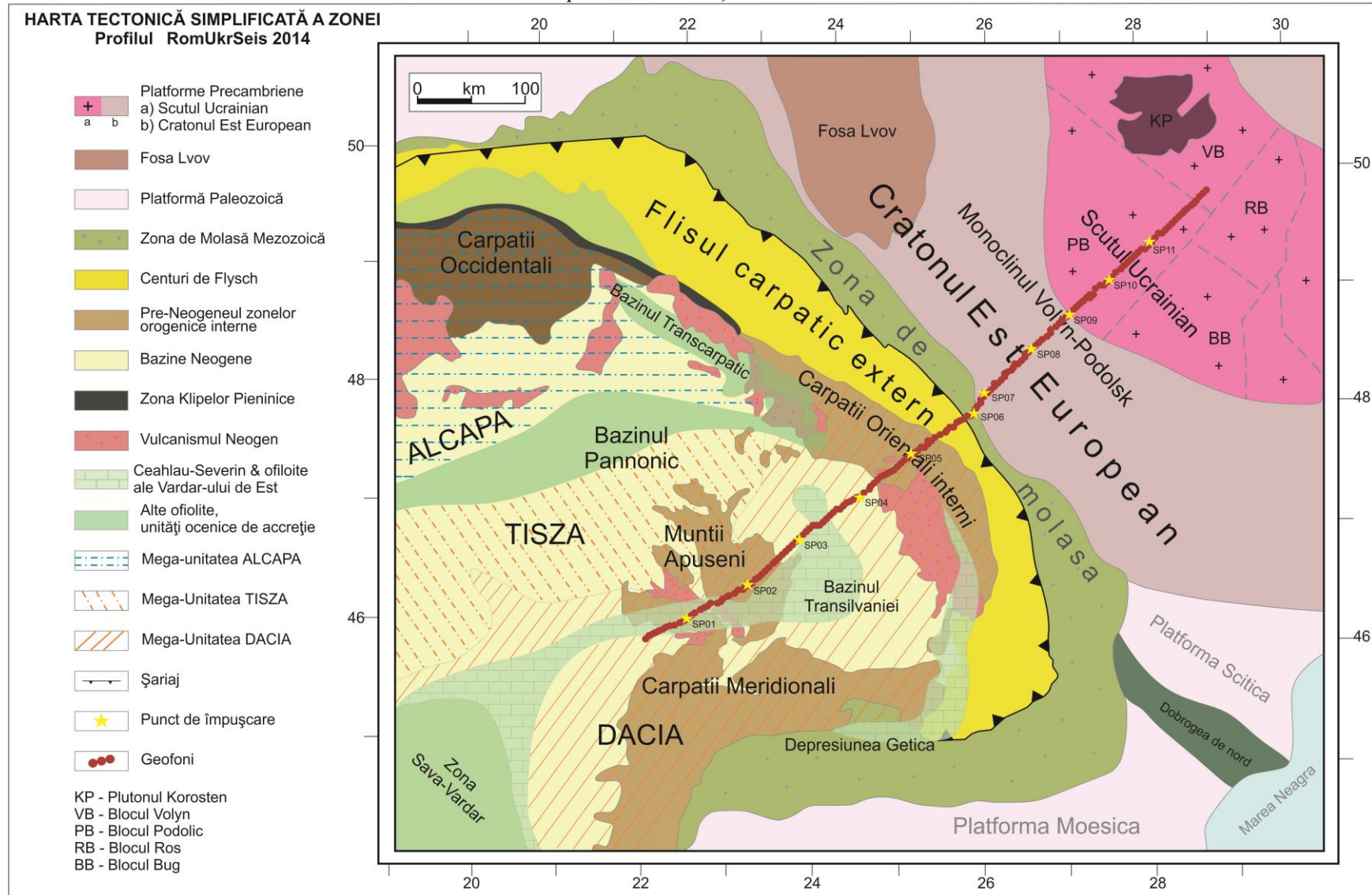


Figura 5.5. Schița principalelor unități tectonice traversate de profilul RomUkrSeis2014



Toate aceste pericole și efecte cauzate de utilizarea necorespunzătoare a acestui tip de material exploziv au fost eliminate datorită faptului că toate operațiile privind transportul, manipularea și utilizarea explozibilului s-au realizat cu personal autorizat, calificat, instruit și testat periodic privind regimul explozibililor.

Materialul exploziv a fost introdus în interiorul găurii de detonare care a fost etanșată cu sol mărunțit sau argilă, evitându-se pierderea de energie spre suprafață și, totodată, apariția de fragmente la suprafața solului.

În urma detonării controlate nu s-a observat nici un impact semnificativ al generării simultane a undelor elastice asupra mediului (figura 5.6). Toate terenurile unde s-au desfășurat activitățile geofizice au fost predate proprietarilor în starea inițială (figura 5.7) și nu au existat nemulțumiri de nici un fel din partea acestora.

Ca urmare a detonării controlate, compușii de gaze rezultați sunt: monoxid și dioxid de carbon ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), azot ( $\text{N}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ), oxigen molecular ( $\text{O}_2$ ) și vapori de apă. Acești compuși gazoși sunt similari cu cei prezenți în mod natural în compoziția chimică a atmosferei. Datorită burării realizate înaintea detonării nu au fost detectate urme de particule sau compuși chimici în zonele de lucru.



*Figura 5.6. Efecte adverse minime după generarea simultană a terenurilor slab consolidate - fotografie la 30 de minute după generare*



*Figura 5.7. Efectul secundar după producerea simultană - fotografii: două luni mai târziu*

## **6. METODE GEOFIZICE NESEISMICE UTILIZATE ÎN ANALIZA PROFILULUI ROMUKRSEIS2014**

### **6.1 Profilare magnetometrică la sol**

Profilul magnetic corespunzător unei părți a teritoriului României a fost înregistrat în luna mai a anului 2016. Datorită restricțiilor financiare și a deficitului de resurse umane, acest profil a putut fi înregistrat doar cu echipamentul din dotarea Departamentului de Geofizică al Universității din București, și anume două magnetometre cu precizie protonică Scintrex, tip G-856 și a acoperit două segmente (figura 6.1).

Segmentul de la extremitatea de NE a liniei seismice se extinde de la granița României cu Ucraina până la V de Municipiul Bistrița, în dreptul localității Ghinda. Lungimea a fost de cca. 150 km, incluzând 90 stații de înregistrare amplasate identic peste locațiile geofonilor utilizați la înregistrarea undelor seismice în cadrul achiziției din anul 2014. Această zonă a fost selectată pentru a acoperi contactul dintre Platforma Est Europeană (Cratonul Est European) și structurile Carpaților Orientali, respectiv contactele între unitățile tectonice majore ale Carpaților Orientali: Avanfosa, depozitele de flysch, formațiunile preneogene și chiar zona vulcanitelor Neogene, atingând rama de NE a Depresiunii Transilvaniei.

Al doilea segment a avut ca obiectiv investigarea comportării câmpului geomagnetic la contactul între formațiunile preneogene din Munții Apuseni și Munții Metaliferi (suitele ofiolitice de la nord de Zam), pe o distanță de aproximativ 67 km.

Intenția de a efectua determinări ale intensității câmpului geomagnetic total nu a putut fi complet realizată din cauze locale: căi de acces temporar inaccesibile din cauza condițiilor meteorologice nefavorabile, proximitatea unor surse de zgomot geomagnetic care ar fi determinat caracterul nerelevant al valorilor măsurate (ferme, locuințe, drumuri, fire electrice etc.). În medie, distanța dintre stații a fost de cca. 1,7 km, la fel ca în cazul receptării undelor elastice.

În ce privește prelucrarea datelor trebuie menționat că s-a aplicat corecția de variație diurnă, variația de referință fiind preluată de pe pagina de internet a programului INTERMAGNET, datele fiind înregistrate și gestionate de către Observatorul Geomagnetic Surlari ([www.intermagnet.org](http://www.intermagnet.org)). Datele au fost deasemenea corectate pentru efectele teoretice IGRF (International Geomagnetic Reference Field). Variația diurnă a fost considerată robust determinată. Analiza preliminară a arătat că în perioada efectuării determinărilor geomagnetice variația câmpului geomagnetic a fost relativ calmă.

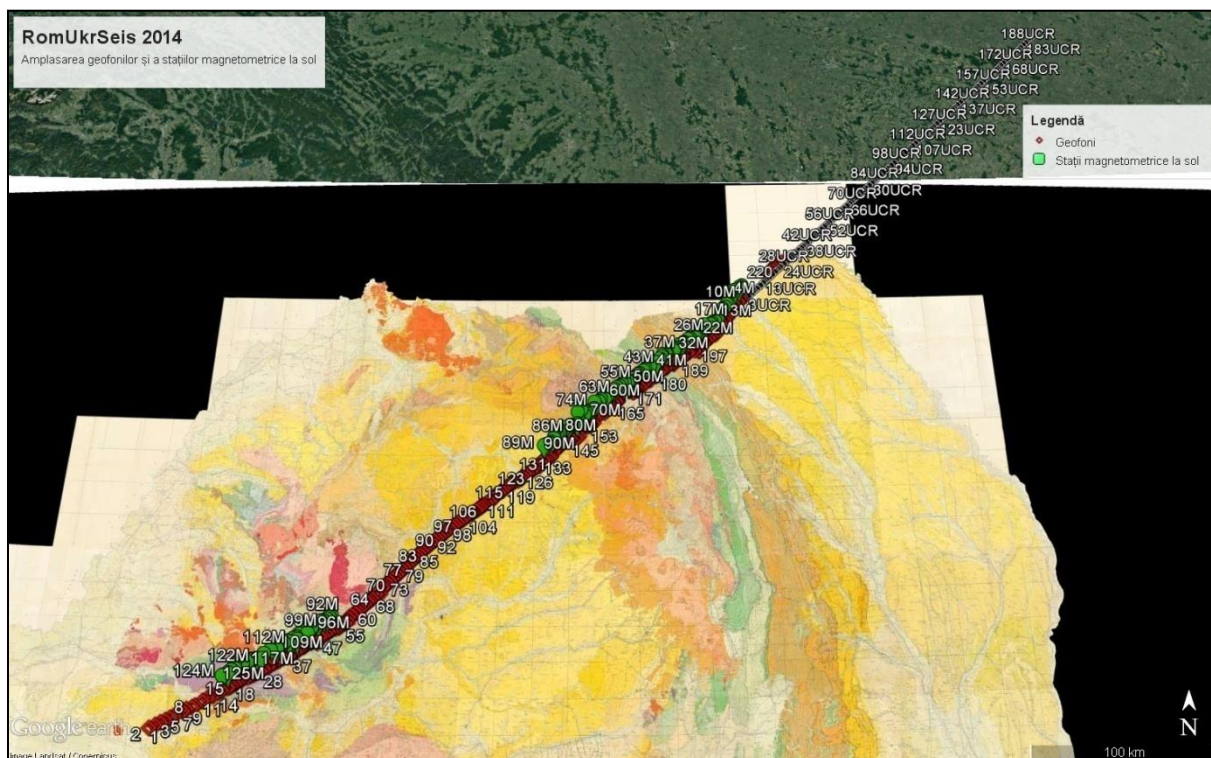


Figura 6.1 - Distribuția geofonilor și a stațiilor magnetometrice la sol (RomUkrSeis2014)

În figura 6.2 este reprezentată curba interpolată folosind valorile obținute prin aplicarea metodei mediilor mobile (2D) pe câte 3 valori, în încercarea de a elimina zgomotul magnetic de fond reprezentat de surse ne semnificative de la suprafața terenului. Stațiile de înregistrare au fost suprapuse perfect stațiilor de înregistrare a undelor elastice.



## 6.2 Date aeromagnetice

Informațiile din clasa aeromagnetism au provenit din compilația oferită cu generozitate de către domnul dr. ing. Sprânceană, parte a tezei de doctorat a domniei sale, datele magnetometrice fiind compilate după Traian Cristescu (1962 - 1968). Altitudinea de zbor utilizată a fost de 2600 m (figura 6.3).

Lucrările aeromagnetice au avut un caracter regional începând cu anul 1962 în regiunea Banat-Crișana. Prospekțiunea aeromagnetică propriu-zisă a fost urmată de o lucrare având caracter experimental, realizată în Câmpia Dunării în scopul verificării sensibilității aparatului și însușirii metodologiei de lucru.

Măsurătorile aeromagnetice au fost realizate pe profile de zbor cu orientare în general nord-sud, excepție făcând zona Banatului și partea vestică a Carpaților Meridionali, unde acestea sunt orientate VNV - ESE, NNE - SSV sau NV - SE.

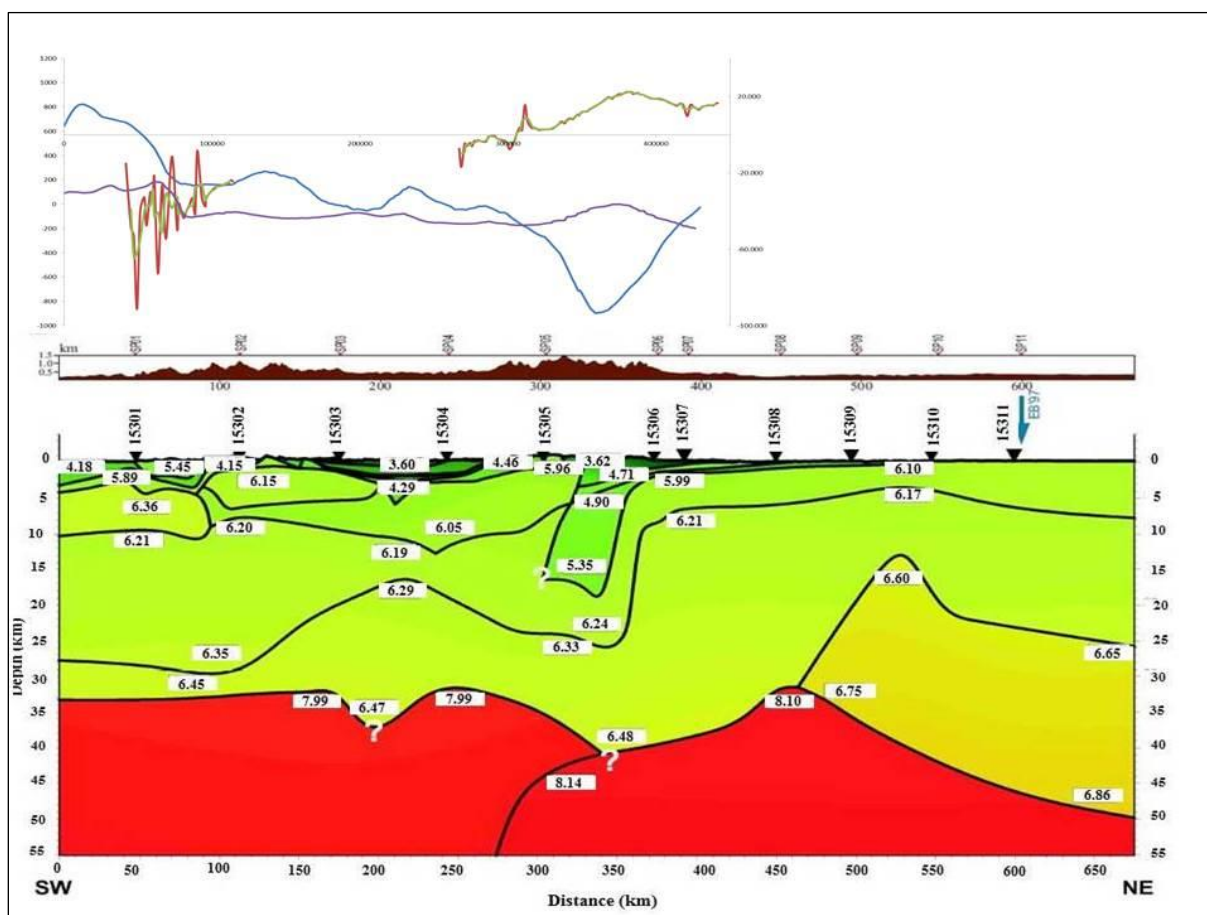


Figura 6.2. Prezentarea profilelor magnetice la sol, aeromagnetice și gravimetric în lungul profilului RomUkrSeis2014 pe teritoriul României. Profilul gravimetric – culoarea albastră, profilul aeromagnetic – culoarea moc, profilul magnetometric la sol (culoarea roșu, profilul inițial și culoarea verde, profilul folosind valorile obținute prin aplicarea metodei mediilor mobile 2D pe câte 3 valori).

Pentru realizarea primei imagini aeromagnetice sinoptice a teritoriului României la un nivel unic de 2600 m, Sprânceană, 2004 a reorganizat vechea bază de date și a creat alta nouă ce a permis aplicarea procedeeleor de continuare analitică în semispațiul superior/inferior a valorilor câmpului geomagnetic măsurate la diverse altitudini. Totodată, a presupus și gruparea valorilor din baza de date în funcție de altitudinea de zbor, acestea putând fi continuate analitic în semispațiul superior/inferior la nivelul de dorit.

### **6.3 Date gravimetrice**

Caracterul special al informației gravimetrice a limitat accesul la informații cuprinzând datele brute, iar achiziția de date noi nu a fost posibilă din multiple motive: lipsa finanțării pentru aceste cercetări, lipsa resurselor umane necesare etc. De fapt, nu acesta a fost obiectivul de bază al prezentei lucrări. Considerăm că informația gravimetrică reprezintă o valoare geofizică remarcabilă și poate reduce în mod considerabil interpretarea eronată a altor informații geofizice. De aceea am făcut apel la informațiile oferite de literatura de specialitate, și anume setul de date cu valori ale anomaliei gravimetrice în reducere Bouguer, datele fiind mediate într-o rețea de 5'x 7,5' (Niculescu și Roșca, 1992). Această rețea a fost ulterior încorporată de către D. Ioane (1993) în rețeaua gravimetrică europeană. Valorile avute la dispoziție sunt omogen distribuite (Ioane și Ion, 1992) dar ele provin din interpolarea unor date primare la care nu am avut acces, deci re-digitizarea acestei imagini în lungul profilului seismic RomUkrSeis 2014 trebuie privită cu oarecare îngăduință. Totuși, dată fiind scara regională la care am încercat interpretarea integrată a informațiilor complementare, considerăm că profilul rezultat (figura 6.2) poate fi utilizat corespunzător scopului propus. Nu trebuie omis faptul că informația gravimetrică regională provine din utilizarea unei valori medii pentru fiecare 10 km<sup>2</sup>, adică suficient pentru o abordare la această scară.

Variația anomaliei gravimetrice mediate în reducere Bouguer, în lungul profilului RomUkrSeis2014 este de peste 109 mGal. Valorile minime sunt plasate între punctele de împușcare 15305 și 15306, corespunzând în mod evident ramei de est a Orogenului Carpaților Orientali, dar valorile minime nu se suprapun Avandosei Carpaților Orientali, așa cum pare a fi cazul la sud de Falia Troțușului (Ioane și Ion, 2005). Această anomalie de minim regional pare a fi generată de fragmentul litosferic caracterizat de viteze reduse de propagare a undelor elastice (3,62 km/s aproape de suprafață, crescând până la 5,36 km/s la adâncimi ce depășesc

20 km). Suprapunerea remarcabilă a corpului cu viteze reduse ce are poziție aproape de verticală atât anomaliei gravimetrice în reducere Bouguer (mediate) cu datele seismice oferă un grad de încredere ridicat asupra posibilei surse, comună pentru ambele anomalii. Anomaliile gravimetrice de maxim din cuprinsul Depresiunii Transilvaniei și respectiv Culoarului Mureșului par a fi cauzate de structurile ofiolitice corespunzătoare ramurii de NE a Vardarului, ramură ce află în cadrul Apusenilor de Sud și se continuă pe sub structurile transilvane până la NE de Cluj Napoca (Săndulescu, 1984). Acestea au fost însă confirmate prin forajele adânci executate după anul 1989 și interpretate de către Krézsek și Bally (2006) ca fiind o dovadă clară a dezvoltării ramurii transilvane a ofiolitelor de tip Vardar. Datorită tipurilor litologice incluse în structurile ofiolitice acestea pot da valori gravimetrice ridicate și probabil pot explica cele trei maxime gravimetrice dinspre SV, valorile maxime fiind imediat la nord de Zam unde, de altfel, formațiuni bazaltice sunt exploatate în carieră și unde a și fost amplasat punctul de împușcare SP 15301.

#### **6.4 Date gravimetrice și magnetometrice regionale**

În figura 6.4 sunt prezentate două imagini regionale ale arealului Europei Centrale și de Est. Informațiile gravimetrice sintetizate în figura 6.4a provin din compilarea informațiilor provenite de la satelitul GRACE. În ce privește informațiile geomagnetice sintetizate în figura 6.4b, acestea provin din datele magnetometrice satelitare ale programului WDMAM.

Pe ambele imagini este trasat aliniamentul Zonei de Sutura Tornquist-Teisseyre (TTZ), așa cum a fost interpretat la scară continentală de către Winchester (2002) și Pharaoh et.al. (2006). Sunt prezentate de asemenea locația profilului DACIA PLAN (Bocin et al., 2009) și noul aliniament propus de către acest autor pentru zona TTZ în zona terminală a suturii, în partea de SE a teritoriului României. Este de menționat că această zonă de sutură este plasată la o importantă tranziție listosferică a continentului european, și anume trecerea de la Cratonul Est European ce are vârsta Arhain - Proterozoic spre centurile orogenice cutate dinspre vest, cu vârste en-echalon, de la Caledonian înspre NV, spre Variscă în Europa Centrală și atingând vârsta Alpină înspre SV (Winchester, 2002; Pharaoh et al., 2006).

Din analiza corelată a datelor aeromagnetice, a celor la sol (restricționate doar la segmentele unde s-au efectuat determinări, respectiv spre capetele de NE și respectiv SV ale profilului), corobrate cu modelul de viteze bidimensional (figura 6.3) și imaginea tectonică de ansamblu a zonei traversate de linia seismică menționată, se poate concluziona că cele patru

**Dorina Alina DRĂGUȚ**

*Linia seismică de mare adâncime Transcarpatică. Contribuții la studiul structurii adânci a teritoriului României*  
anomalii aeromagnetice de cca. 200-400 nT din cuprinsul Scutului Ucrainian și respectiv Monoclinului Volyn-Podolsk nu pot fi atribuite unor surse sedimentare.

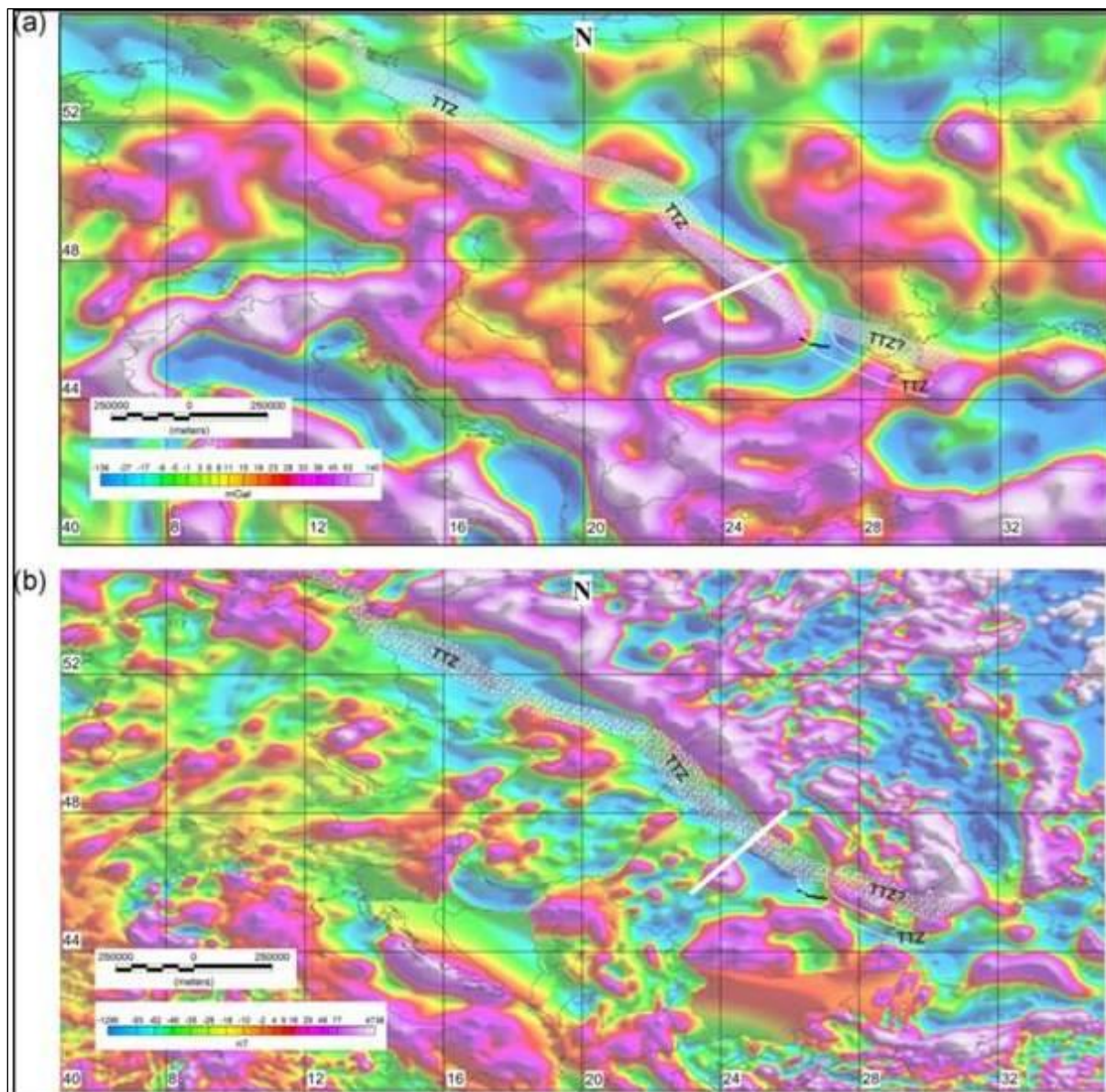


Figura 6.3. Anomalia gravitației (regională) așa cum este dedusă din misiunea GRACE (Tapley et al., 2007) și respectiv imaginea dedusă din anomalia magnetică a globului (Korhonen et al., 2007). TTZ - Zona de Sătură TTZ (conform Winchester, 2002) și Pharaoh et al., 2006, respectiv Bocin et al., 2009 (linii negre întrerupte). Linia albă- profilul RomSeis2014.

Ținând cont de toate datele avute la dispoziție interpretăm aceste patru anomalii aeromagnetice ca fiind determinate de unele intruziuni de tip granitic - granodioritic ce penetrează fundamentul.

Anomalia aeromagnetică de minim (-200 nT) de la contactul Cratonului Est European cu Orogenul Carpaților Orientali este probabil asociată căderii în trepte a fundamentului cristalin odată cu apropierea de orogen. În schimb, anomalia gravimetrică de minim important (-80 mGal) din dreptul zonei cu cea mai înaltă topografie traversată de profil (între punctele de

împușcare 15304 și 15305) este cauzată de flexura și poziționarea aproape de verticală a fragmentului de placă litosferică, interpretat în prezent aproape unanim ca fiind corpul în care sunt generate cutremurile din Zona Vrancea. În acest areal însă absența totală a seismelor ne face să concluzionăm că zona este relativ stabilă geodinamic și coborârea acestui fragment în manta nu mai este activă în prezent. Stiva de depozite cu densitate redusă determină însă această anomalie ce caracterizează zona frontală a întregului orogen carpatic.

În zona Munților Metaliferi se remarcă anomalii magnetometrice la sol cu frecvențe și amplitudini ridicate (cca. 100 nT), dar care nu se regăsesc deloc în imaginea aeromagnetică. Aceasta însă este caracterizată de o valoare de fond mult crescută. Aspectul arealului anomal și cercetările pe teren ne fac să concluzionăm că sursa este reprezentată de roci cu proprietăți magnetice importante din suita ofiolitelor ce intră în componența Munților Metaliferi.

Informațiile de adâncime din zona de NE (zona Munților Apuseni) a teritoriului României nu au existat până în prezent sau au fost mai mult rezultatul unor modele cu puține constrângeri. Trebuie luate în considerare tipurile de sedimentar (orogenic, de molasă și respectiv de platformă). Este de asemenea tentant să se considere existența și influența unei cuverturi sedimentare plasate imediat deasupra fundamentului cristalin, probabil de vârstă Mezozoică. Credem că trebuie de asemenea avută în vedere o suită Paleozoică, așa cum a fost anticipată de Panea et al (2005) ce ar putea include sedimente Permo-Triasice, poate chiar Precambriene. Evident, fundamentul cristalin este plasat deasupra mantalei superioare.

Aceste domenii majore guvernează jumătatea de NE a profilului seismic și sunt sprijinite de rezultatele tomografiei seismice a undelor P. Aceste informații sunt interpretate asemănător de către Bocin et al., 2009, Hauser et al., 2007 și confirmate prin modelul de viteze rezultat din proiectul DACIA PLAN (Bocin et al., 2005).

Bazinul Transilvaniei este caracterizat de o ușoară anomalie de maxim gravimetric, trădând subțierea crustei și apropierea discontinuității Moho de suprafață, aceasta aflându-se la cca. jumătate din adâncimea la care apare în dreptul Zonei de Molasă.

În ce privește sectorul Munților Apuseni traversat de linia seismică se pot remarca anomalii de gravitate cu amplitudine redusă (10 mGal) care, asociate și anomaliilor de tip armonică din datele magnetometrice la sol par a argumenta intruziuni asociate structurii ofiolitice a Munților Metaliferi, ramură de NE a zonei Vardar.



## **7. CONCLUZII**

Prezenta lucrare, prin tema abordată, prezintă proiectul RomUkrSeis2014 realizat în vara anului 2014, faza de achiziție, prelucrare și interpretare a datelor seismice de mare adâncime pentru a căror interpretare în termeni tectonici a devenit ulterior necesară și utilizarea/achiziția unor date gravimetrice, magnetometrice și aeromagnetice.

Acest proiect a implicat specialiști și organizații științifice internaționale din România, Ucraina, Polonia, Germania și Marea Britanie. Achiziția datelor seismice pe teritoriul românesc au fost coordonate de Facultatea de Geologie și Geofizică, București, acestea fiind efectuate prin contribuții importante ale unor parteneri economici reprezentativi (S.C. Prospeccțiuni S.A., Hunt Oil România, Repsol Spania, Maxam România).

Elementele de noutate și principalele contribuții personale în cadrul acestui proiect pot fi sintetizate astfel:

- activitatea de recunoaștere în teren a punctelor teoretice propuse în cadrul proiectului de seismică adâncă, ce a avut drept scop identificarea unor locații favorabile din punct de vedere operațional pentru generarea undelor seismice;
- întocmirea documentațiilor în vederea obținerii autorizațiilor corespunzătoare pentru începerea lucrărilor;
- proiectarea detaliată a generării și înregistrării undelor elastice;
- integrarea informațiilor gravimetrice mediate și aeromagnetice pe profilul selectat;
- integrarea informațiilor de date magnetometrice la sol pe profilul regional selectat (achiziția datelor, prelucrare și interpretare);
- obținerea unui model geologic integrat pentru profilul selectat.

În capitolul 5 este prezentată interpretarea preliminară a modelului de viteze obținut prin inversia tomografică a primelor sosiri (undele P și faze ale acestora) prin intermediul pachetului FAST și modelul de viteze bidimensional preliminar pentru distribuția vitezelor de propagare a undelor P în crustă și mantaua superioară ca urmare a modelării parcursului undelor seismice în lungul profilului RomUkrSeis2014.

Modelul rezultat prezintă variații importante în ce privește adâncimea discontinuității Moho. De la capătul de SV al profilului seismic de mare adâncime și până spre km 460, adâncimea acestei limite fundamentale este de cca. 31 - 33 km, cu două maxime amplasate la km. 200 (37 km) și respectiv km 340 (41 km).

La capătul de NE al profilului, sub Scutul ucrainian, adâncimea limitei Moho atinge valori extreme, de cca. 50 km (la km. 670). Sub limita Moho, vitezele de propagare a undelor elastice P ating valori de cca. 8 km/s pentru capătul de SV. Înspre capătul de NE, cam din dreptul km 340, valorile acestor viteze sunt mai mari, de cca. 8,15 km/s.

Așadar, rămân multiple semne de întrebare în ce privește modelul prezentat, ca spre exemplu geometria ambiguă a discontinuității Moho sub Avânfosa Carpatică (aproximativ km. 200), mai ales în ce privește comparația cu alte profile transcarpatice din zona Vrancea sau din Ucraina.

## **Bibliografie**

- Atanasiu, I., (1949). *Cutremurele de pământ și sensibilitatea seismică în România*. An. Acad. R.P.R.S. Științe Geol. Geogr. Și Biol.Ser. A.I, Mem. 5, București.
- Ardeleanu, L., Leydecker, G., Bonjer, K.-P., Busche, H., Kaiser, D., and Schmitt, T., (2005), *Probabilistic seismic hazard map for Romania as a basis for a new building code*. Natural Hazards and Earth System Science 5, 679 – 684.
- Bocin, A., Stephenson, R., Tryggvason, A., Panea, I., Mocanu, V., Hauser, F., Matenco, L., (2005). *2.5D seismic velocity modelling in the south-eastern Romanian Carpathians Orogen and its foreland*. Tectonophysics 410, 273-291.
- Bocin, A., Stephenson, R., Mocanu, V., Matenco, L., (2009). *Architecture of the south-eastern Carpathians nappes and Focsani Basin (Romania)*. Tectonophysics 476, 512-527.
- Bogdanova, S., Gorbatshev, R., Grad, M., Janik, T., Guterch, A., Kozlovskaya, E., Motuza, G., Skridlaite, G., Starostenko, V., Taran L., and EUROBRIDGE and POLONAISE Working Groups\*, (2006). *EUROBRIDGE: new insight into the geodynamic evolution of the East European Craton*. Geological Society, London, Memoirs, 32, 599-625.
- Constantinescu L., Constantinescu P., Cornea I. and Lăzărescu V., (1976). *Recent seismic information on the Lithosphere in Romania*, Rev. Roum. Geol., Geophys., Geogr., Ser Geophys., 20, 33-40.
- Cornea, I., Lăzărescu, V., (1980), *Tectonica și evoluția dinamică a teritoriului României*, preprint ICEFIZ, 89 p.
- Enciu, D. (2007), *Spatial relationships between crustal structures and mantle seismicity in the Vrancea Seismogenic Zone of Romania: Implications for geodynamic evolution*, Ph.D. thesis, 135 pp., Dep.of Geol. Sci., Univ. of S. C., Columbia.
- Enciu D. M., Knapp C.C., Knapp J. H., (2009). *Revised crustal architecture of the southeastern Carpathian foreland from active and passive seismic data*. Tectonics 28, TC4013.
- Hauser F., Răileanu V., Fielitz W., Bala A., Prodehl C., Polonic G., Schulze A. (2001). *VRANCEA99- the crustal structure beneath the southeastern Carpathians and the Moesian Platform from a seismic refraction profile in Romania*. Tectonophysics 340, 233-256.
- Hauser F., Răileanu V., Fielitz W., Dinu C., Landes M., Bala A., Prodehl C. (2007). *Seismic crustal structure between the Transylvanian Basin and the Black Sea, Romania*. Tectonophysics 430, 1-25.

**Dorina Alina DRĂGUȚ**

*Linia seismică de mare adâncime Transcarpatică. Contribuții la studiul structurii adânci a teritoriului României*

- Ioane, D. (1993). *Recent developments in geoid determination in Romania*. Proc. "GPS in Central Europe", Penc, Hungary.
- Ioane D., Ion D. (1992). *Bouguer gravity map of Romania built on 5'x7.5' mean values*. GETECH, University of Leeds, Leeds.
- Ioane D., Ion D., (2005). *A 3D crustal gravity modelling of the Romanian territory*. Journal of Balkan Geophysical Society, Vol.8, No 4, p.189-198
- Korhonen J., et al., (2007). *Magnetic anomaly map of the world. And associated DVD, commission for the geological map of the world*, UNESCO, Paris, France, Scale 1:50.000.000.
- Kr zsek, C., and A.W. Bally (2006). *The Transylvanian Basin (Romania) and its relation to the Carpathian fold and thrust belt: Insights in gravitational salt tectonics*. Marine and Petroleum Geology, v. 23, p. 405–442.
- Malita, Z., and F. Rădulescu (1999). *Lithospheric structure of the Ramnicu Sarat focus*, Rom. J. Phys.,44, 459–474.
- Mațenco, L., Bertotti, G., (2000). *Tertiary tectonic evolution of the external East Carpathians (Romania)*. Tectonophysics 316, 255–286.
- Mațenco, L., Kr zsek, C., Merten, S., Schmid, S., Cloetingh, S., Andriessen, P., (2010). *Characteristics of collisional orogens with low topographic build-up: an example from the Carpathians*. Terra Nova 22, 155–165.
- Mucuta D. M., Knapp C.C., Knapp J. H., 2006. *Constraints from Moho geometry and crustal thickness on the geodynamic origin of the Vrancea Seismogenic Zone (Romania)*. Tectonophysics 420, 23-36.
- Nicolescu, A., Rosca, V. (1992). *Romania: The Bouguer anomaly map, scale 1: 1,000,000*. Geological Institute of Romania, Bucharest
- Oncescu M.C., Trifu C.I. (1987). *Depth variation of moment tensor principal axes in Vrancea (Romania) seismic region*, Ann. Geophys. 5B, 149-154.
- Oros, E (1991), *Cutremurele de p m nt din C mpia Banatului*. Ed. Graffiti, Timișoara.
- Oros, E. (2011). *Cercet ri privind hazardul seismic pentru Banat*. Tez de Doctorat. Universitatea din București, Facultatea de Fizică.
- Panea I., Stephenson, R., Knapp, C., Mocanu, V., Drijkoningen, G., Matenco, L., Knapp J., Prodehl, K., 2005. *Near-vertical seismic reflection image using a novel acquisition technique across the Vrancea Zone and Focsani Basin, south-eastern Carpathians (Romania)*. Tectonophysics 410, 293-309.
- Paraschiv D., (1979), *Platforma Moesică și zăcămintele ei de hidrocarburi*, Ed.Academiei R.P.R, 196p.
- Pharaoh, T.C., Winchester, J.A., Verniers, J., Lassen, A., Seghedi, A., (2006). *The Western Accretionary Margin of the East European Craton: an overview*. Mem. Geol. Soc.Lond. 32 (1), 291–311.
- Polonic G. (1980). *Seismicity and tectonics of Baia Mare-Sighetul Marm ției area*. Rev. Roum. Geol. Geophys.geogr., Geophysique, 24, 2, București.
- Polonic G., Malita Z. (1997). *Geodynamic processes and seismicity in Banat (Romania)*. Revue Roumaine de Geophysique, 41, 67-78.
- S ndulescu M. (1984) – *Geotectonica României*, Editura Tehnic , București
- S ndulescu, M., (1988). *Cenozoic tectonic history of the Carpathians*. In: Royden, L.H., Horv th, F. (Eds.), *The Pannonian Basin, A Study in Basin Evolution: AAPG Memoir*, 45, pp. 17–25.
- Schmid, S., Bernoulli, D., F genshuh, B., Mațenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M., Ustaszewski, K., (2008). *The Alpine–Carpathian–Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units*. Swiss Journal of Geosciences 101, 139–183.

**Dorina Alina DRĂGUȚ**

*Linia seismică de mare adâncime Transcarpatică. Contribuții la studiul structurii adânci a teritoriului României*

- Sperner, B., Lorenz, F., Bonjer, K., Hettel, S., Müller, B., Wenzel, F., (2001). *Slab break-off - abrupt cut or gradual detachment? New insights from the Vrancea region (SE Carpathians, Romania)*. Terra Nova 13, 172–179.
- Răileanu V., Bala A., Hauser F., Prodehl C., Fielitz W. (2005). *Crustal properties from S-wave and gravity data along a seismic refraction profile in Romania*. Tectonophysics 410, 251-272.
- Radulian M., Mândrescu N., Panza G.F., Popescu E., Utale A. (2000), *Characterization of Seismogenic Zones of Romania*, Pure appl. geophys. 157, 57-77.
- Tapley, B., J. Ries, S. Bettadpur, D. Chambers, M. Cheng, F. Condi, and S. Poole (2007), *The GGM03 mean earth gravity model from GRACE*, Eos Trans. AGU, 88(52), Fall Meet. Suppl., Abstract G42A-03.
- Winchester, J.A., The PACE TMR Network Team (2002). *Palaeozoic amalgamation of Central Europe: new results from recent geological and geophysical investigations*. Tectonophysics 360 (Issues 1–4), 5–21.
- Zelt, C.A., Ellis, R.M. (1988). *Practical and efficient ray tracing in two-dimensional media for rapid traveltimes and amplitude forward modelling*. Canadian Journal for Exploration Geophysics, 24, 1, pp. 16-31.
- [www.gfz-potsdam.de](http://www.gfz-potsdam.de)