



UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI

Facultatea de Fizică

Școala Doctorală de Fizică

Alina COMAN

DEZVOLTARE DE MODELE SEISMICE DE VITEZĂ PENTRU
TERITORIUL ROMÂNIEI

Rezumatul tezei de doctorat

Conducător științific:

Prof. Univ. Asoc. Dr. Mircea Radulian,

m.c. al Academiei Române

București, 2024

Mulțumiri

Această teză este rezultatul unei colaborări colective, iar aprecierile mele sincere se îndreaptă către toate persoanele care mi-au fost alături în această călătorie a evoluției științifice și care mi-au furnizat energia de rezonanță necesară pentru a finaliza cu succes studiul. Perioada pe care am parcurs-o a fost antrenantă, precum o odisee seismică, însoțită de oscilațiile caracteristice.

Îi sunt profund recunoscătoare domnului Prof. Dr. CSI Mircea Radulian, m.c. al Academiei Române, care mi-a coordonat activitatea pe toată durata procesului de cercetare. Sfaturile și observațiile dumnealui au jucat un rol esențial în obținerea rezultatelor dorite.

Mulțumesc membrilor comisiei de îndrumare, Dr. CSI Mihaela Popa, Prof. Dr.Em. Cristian Panaiotu, pentru timpul dedicat evaluării prezentei lucrări. Datorită dumnealor, calitatea acesteia a fost îmbunătățită.

Doresc să aduc mulțumiri speciale stimabilei Dr. CSI Carmen Ortanza Cioflan, busola care m-a călăuzit spre explorarea proceselor dinamice ale Pământului. Aprofundarea noțiunilor teoretice în acord cu subiectul tratat au fost posibile prin suportul pe care mi l-a oferit în mod constant.

Această lucrare nu ar fi fost posibilă fără sprijinul necondiționat al Dr. CSII Elena - Florinela Manea. Implicare dumneaei și lungile intervale temporale petrecute împreună în scopul analizelor seismice constituie o cărămidă fundamentală din evoluția mea ca doctor/cercetător în științele Pământului. Finalizarea cu succes a tezei se datorează colaborării noastre, deschizându-mi noi provocări intelectuale.

Vreau să îmi exprim aprecierea pentru Dr. CSII Laura Petrescu, care m-a învățat că perseverența aduce doar rezultate pozitive. Îi mulțumesc pentru răbdarea acordată pe toată durata colaborării și pentru ideile inovative pe care mi le-a transmis.

Munca actuală de cercetare s-a desfășurat în cadrul Institutului Național de Cercetare - Dezvoltare pentru Fizica Pământului. Așadar, pe această cale mulțumesc tuturor colegilor pentru sfaturile oferite, părerile științifice împărtășite și pentru oportunitatea de a progresa profesional alături de dumnealor. De asemenea, am avut

parte de susținere și din partea Dr. CSIII Anica Otilia Plăcintă, Dr. CSI Andrei Bălă, Lector Dr. Ing. Ioan Munteanu, Dr. CSI Luminița Ardeleanu, Prof. Dr. Gabriela Iorga.

Momentul declanșator al interesului pentru cercetare își are originea în perioada copilăriei ($t_0 - 20$), atunci când părinții și sora mea m-au introdus în tainele științei. Cuvintele sunt de prisos comparativ cu emoțiile resimțite, așadar, gândurile de gratitudine se duc spre familia mea, care nu m-a lăsat nicio clipă să îmi pierd motivația și încrederea în mine. Doresc să subliniez sprijinul moral și conversațiile savante constructive, primite din partea bunului meu prieten, Dr. Robert Poenaru, care au contribuit la realizarea mea academică.

Îmi doresc ca rezultatele pe care le-am obținut în cadrul analizei actuale să reprezinte un punct de inspirație pentru alți cercetători și să aducă, la rândul său, contribuții importante în sfera Fizicii Pământului!

Cuprins

Capitolul 1.	Introducere	1
Capitolul 2.	Analiza la o singură stație folosind înregistrări de zgomot ambiental.....	7
Capitolul 3.	Analiza la o singură stație folosind înregistrări seismice.....	10
Capitolul 4.	Determinarea modelelor de viteză ale structurii locale - Inversii seismice.....	15
Capitolul 5.	Determinarea structurilor de viteză pentru zona orașului București - Analiza de corelare încrucișată.....	19
Capitolul 6.	Concluzii generale	23
Anexa A.	Resurse utilizate	29
Anexa B.	Contribuții personale.....	30
B.1	Lucrări publicate în reviste cotate ISI.....	30
B.2	Capitole în cărți.....	31
B.3	Lucrări prezentate la sesiuni științifice	32
B.3.1	Conferințe naționale	32
B.3.2	Conferințe internaționale	32
B.4	Alte studii prezentate la conferințe naționale și internaționale.....	34
Referințe		36

Capitolul 1. Introducere

În condițiile îmbătrânirii dramatice a fondului de construcții civile și a necesității de a proiecta eficient obiective cu durată crescută de folosință, analizele de risc și hazard seismic (regional și local) oferă soluții care duc la creșterea rezilienței societății moderne la acțiunea cutremurelor.

România este afectată periodic de cutremure puternice, care sunt produse atât la adâncimi superficiale/crustale, cât și intermediare. Seismicitatea României este generată în mai multe zone seismogene, precum: Vrancea, Făgăraș – Câmpulung, Danubiană, Banat, Crișana – Maramureș, Depresiunea Bârlad, Depresiunea Predobrogeană, Depresiunea Transilvaniei (*Figura 1.1*). În zona seismică Vrancea se evidențiază atât o activitate seismică crustală (până la adâncimi de ~ 60 km), cât și una subcrustală/intermediară (60 - 180 km). Zona seismogenă Vrancea de la adâncimi intermediare este cea mai activă din punct de vedere seismic și produce 2 – 3 cutremure majore ($M_w > 7$) pe secol. Ea este localizată la contactul continental dintre trei unități tectonice: placa Est-Europeană, și subplăcile Intra - Alpină și Moesică (Radulian et al., 2000). Particularitatea sa este reprezentată de concentrarea focarelor într-un volum cu o extindere foarte restrânsă în plan orizontal. Unul dintre aspectele care explică unicitatea zonei Vrancea este distribuția focarelor cutremurelor într-un volum minimal (30×70×160 km; Craiu et al., 2023). Studiile efectuate au arătat că zona seismică Vrancea are un impact deosebit în analiza de hazard și risc seismic, aceasta controlând în proporție de peste 90% hazardul seismic din România (Ardeleanu et al., 2005). Ultimele cutremure cu impact major sunt cele produse în 10 Noiembrie 1940 (7,7 Mw) și 4 Martie 1977 (7,4 Mw).

Efectele specifice semnalate în cazul cutremurelor vrâncene de-a lungul mai multor secole, atât în documente și arhive istorice, cât și în datele măsurate instrumental, au fost puse pe seama a trei elemente cheie: proprietățile speciale ale sursei seismice, proprietățile de propagare în litosferă și efectele locale produse datorită structurii geologice complexe (Mărmureanu et al., 2016; Grecu et al., 2011; Manea et al., 2016).

România este o țară caracterizată printr-un potențial ridicat al riscului seismic, iar analiza de hazard seismic la nivel local constituie un pas important în estimarea acestuia. Studiarea propagării undelor seismice generate în urma producerii unui cutremur, dar și a

vibrațiilor ambientale, conduce la modelarea unei structuri de viteze prin interiorul Pământului, care oferă o imagine a configurației geologice și o bază documentată pentru estimarea răspunsului seismic local.

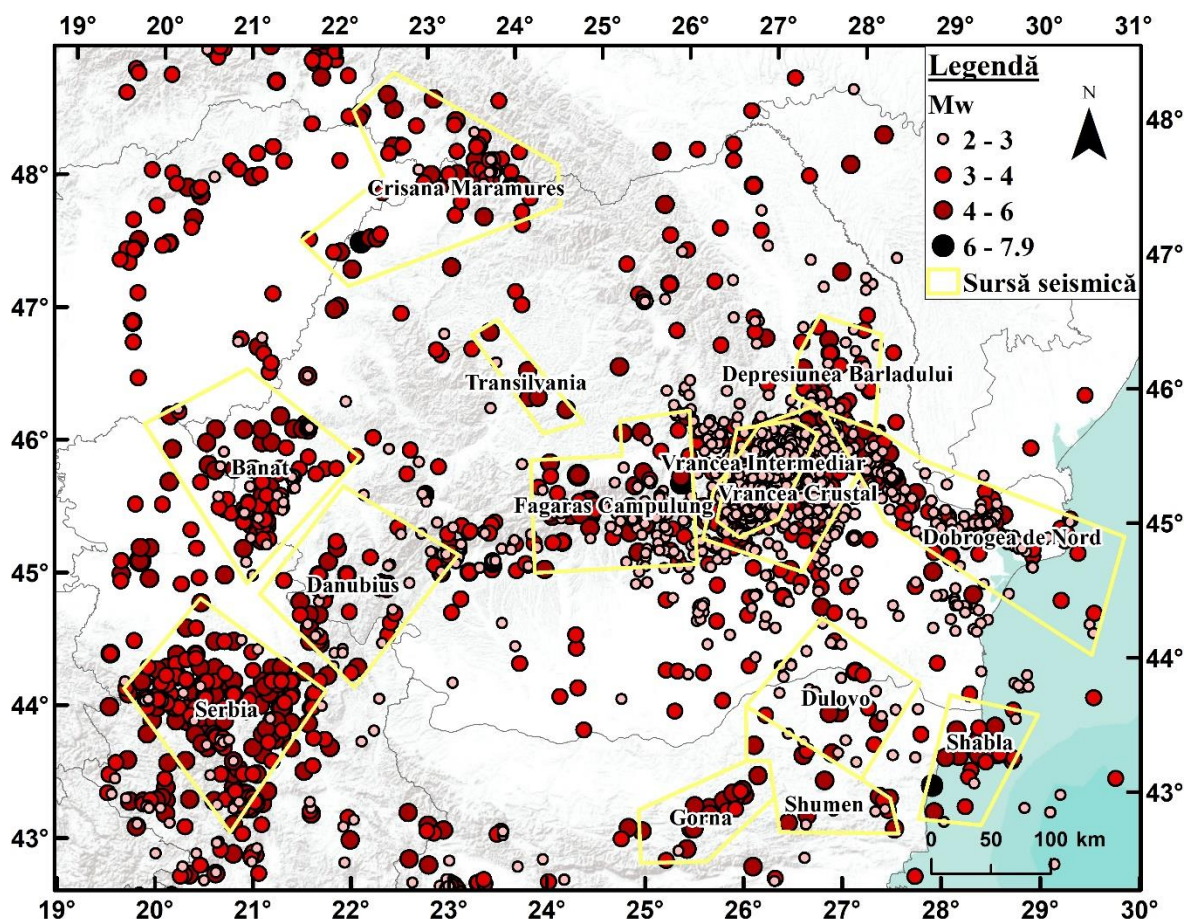


Figura 1.1. Seismicitatea pe teritoriul României și în zonele învecinate. Reprezentarea cutremurelor cu magnitudini cuprinse între 2 și 7,9 (M_w). Sursa: cataloagele Romplus (Oncescu et al., 1999; <http://www.infp.ro/romplus>), BIGSEES (www.bigsees.org), completat cu informația din platforma PhENOMeNAL (<https://ph.infp.ro/seismicity/data>), până la data curentă.

Scopul acestei teze este de a determina parametri de bază necesari evaluării hazardului seismic local prin aplicarea diferitelor teorii și tehnici analitice dezvoltate recent. Rezultatele obținute sunt folosite pentru a realiza profile geofizice de viteză corespunzătoare undelor primare (P) și secundare (S), conținând și adâncimea diferitelor strate geologice. Acestea vor fi calibrate și interpretate folosind date geologice/geofizice din baza de date BIGSEES (<http://bigsees.infp.ro/Results.html>) și comparate cu rezultate publicate și recunoscute la nivel internațional (ex. Răileanu et al., 2007; Ren et al., 2013).

Prezenta lucrare urmărește integrarea tuturor datelor disponibile de suprafață și de adâncime, într-un model geofizic realist pentru teritoriul României.

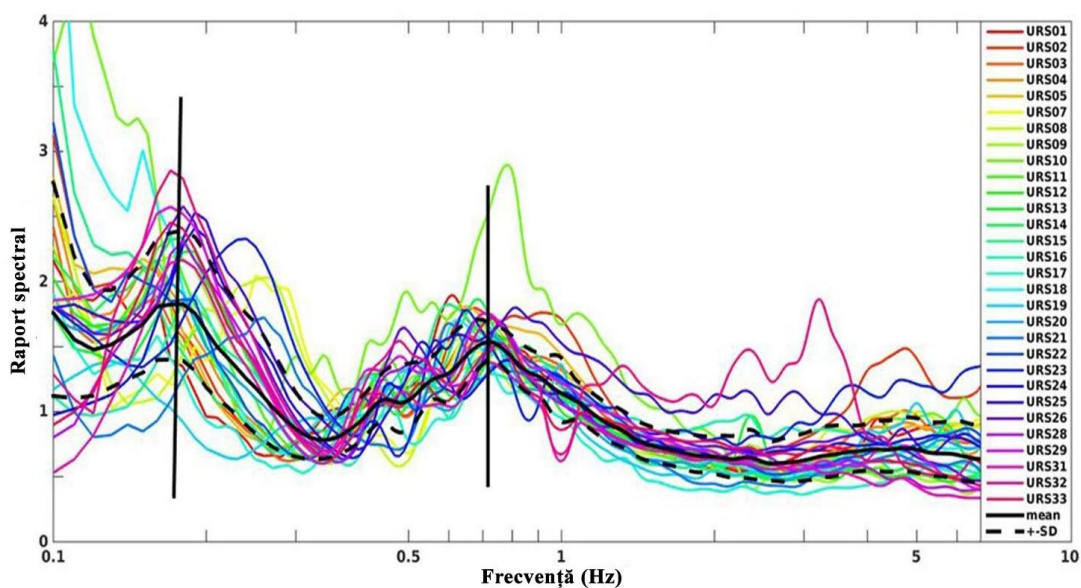


Figura 1.2. Exemplu de curbe rezultate din raportul spectral HVSR aplicat vibrațiilor ambientale pentru fiecare stație URS (Urban Seismology; Ritter et al., 2005) din București (Manea et al., 2016).

Analizarea undelor de suprafață din înregistrări (seisme și/sau vibrații ambientale), permite investigarea structurii geologice locale fără a fi nevoie de foraje costisitoare. Măsurătorile seismice la o singură stație au fost utilizate în principal pentru a evalua frecvența fundamentală de rezonanță a unde S caracteristică unui anumit amplasament (Lermo, 1994). Această frecvență de rezonanță (inversul perioadei fundamentale de rezonanță a structurii geologice) este interpretată generic ca un indicator al grosimii depozitelor sedimentare și implicit al adâncimii rocii de bază.

Cele mai mari amplificări ale semnalului seismic în drumul către suprafața liberă a terenului se produc în stratele geologice superficiale de natură sedimentară. Metoda raportului spectral (Horizontal to Vertical Spectral Ratio - HVSR; Nogoshi & Igarashi, 1971; Nakamura, 1989) arată faptul că frecvența fundamentală de rezonanță a unui teren este corelată cu primul vârf predominant rezultat din curba raportului spectrelor Fourier dintre componentele orizontale și verticală ale unui semnal înregistrat pe trei componente (Figura 1.2).

Utilizarea acestor tipuri de metode este eficientă în investigarea structurii geologice a zonei de studiu, în vederea microzonării sale seismice, iar aplicarea lor ajută la identificarea variației/distribuției spațiale a frecvenței de rezonanță. Pentru determinarea profilelor de viteză pentru undele P și S, se mai pot utiliza și metode dezvoltate pentru o rețea de stații. Aceste metode sunt folosite atât pentru determinarea informațiilor geofizice din apropierea suprafeței ($h < 1$ km; analiza înregistrărilor pe 3 componente frecvență - număr de undă; Poggi et al., 2012; Manea et al., 2016), cât și de adâncime (funcții receptor; Clitheroe et al., 2000).

În scopul determinării profilelor de viteză pentru stațiile din aria de studiu se va folosi o metodă de inversie, algoritmul de vecinătate. Aceasta a fost folosită la nivel internațional de autori ca: Wathelet et al. (2005, 2008), iar la nivel național a fost aplicată de către Manea et al. (2016) pentru municipiul București, unde o structură geofizică tridimensională a fost construită pentru prima dată.

Metodele se vor aplica pentru analizarea vibrațiilor ambientale, dar și a evenimentelor seismice. În cazul vibrațiilor ambientale, există parametri care influențează semnalul înregistrat, precum: perioada temporală (diurnă/nocturnă) și perioada sezonieră, deoarece topirea zăpezilor sau ploile abundente pot modifica modurile de vibrație ale solului. În acest sens, semnalul analizat prezintă variații semnificative care se iau în considerare folosind medieri statistice ale eşantioanelor (serii de timp) selectate.

În prezenta lucrare se va folosi și tehnica de corelare încrucișată (Boschi et al., 2013; Kästle et al., 2016). Aceasta reprezintă o metodă complexă de analizare a datelor, folosită la nivel mondial. Aplicarea acesteia pe teritoriul României, prin procesarea atât a vibrațiilor ambientale, cât și a înregistrărilor de cutremure crustale și de la adâncimi mari, reprezintă o noutate în domeniul seismologiei. Informații importante despre structura internă a Pământului au fost obținute prin studii de tomografie seismică, utilizând propagarea undelor seismice. Neomogenitățile stratelor interne, dar și acoperirea incompletă cu stații seismice în ariile studiate, conduc la limitări inerente ale modelelor de viteze determinate pentru structurile străbătute de undele seismice. O rezolvare a problemei o reprezintă implementarea corelării încrucișate din care se poate estima funcția Green între perechi de stații seismice. Funcția Green reprezintă răspunsul mediului de propagare la o perturbație și poate fi estimată ca o soluție a ecuației undelor, iar cunoașterea sa oferă informații despre structura amplasamentului.

Determinarea structurii de adâncime ce vizează teritoriului României folosind studii de seismicitate prezintă un interes major în estimarea hazardului seismic al terenului. Rezultatele vor aduce un aport esențial la calculul amplificării seismice și evaluării microzonării locale și vor deschide direcții noi de cercetare în domeniul hazardului seismic local.

Cunoașterea parametrilor solului (ex. densitatea mediului, viteza undelor seismice, frecvența predominantă de rezonanță,) este esențială pentru estimarea hazardului seismic. Relevanța prezentei lucrări constă în abordarea unei teme importante pentru științele Pământului la nivelul României. Rezultatele vor avea aplicații în numeroase domenii ale geostiințelor și vor prezenta un model al structurii de viteză seismică pe teritoriul României, atât la nivel crustal, cât și în adâncime.

Lucrarea este structurată în mai multe capitole, precum urmează.

În introducere sunt prezentate ideile esențiale ale studiului, precum argumentarea temei alese și noutățile pe care analiza le aduce în domeniul științific.

Capitolele 2 și 3 cuprind o descriere teoretică detaliată și rezultatele analizei la o singură stație, utilizând metoda rapoartelor spectrale (HVSr), unde au fost extrase frecvențele fundamentale și predominante de rezonanță pentru amplasamentele stațiilor seismice de pe teritoriul României. Au fost prelucrate atât semnale provenite din vibrații ambientale, cât și înregistrări seismice locale. De asemenea, aici a fost analizată contribuția factorilor geologici în mișcarea seismică înregistrată pe diferite zone ale României.

În *Capitolul 4* se prezintă profile generice de viteză seismică realizate pentru diferite regiuni ale României: vest (partea românească a Bazinului Panonic), centru (Bazinul Transilvaniei), sud și sud-est (Platforma Moesică și zonele adiacente). Adâncimea rocii de bază seismică (bedrock) a fost determinată prin intermediul inversiilor seismice (Fah et al., 2003; Hobiger et al., 2013). S-au comparat rezultate obținute în studiul prezent cu datele geologice/geofizice disponibile din foraje.

Capitolul 5 descrie analiza de corelare încrucișată (Boschi et al., 2013; Kästle et al., 2016), unde au fost obținute funcțiile Green. Am corelat seismograme (componenta verticală) pentru a obține forme de undă Rayleigh virtuale și am extras curbele de dispersie ale vitezei de fază între perechi de stații, folosind un algoritm automatizat analogic al funcției Bessel. Curbele de dispersie au fost integrate într-o tomografie seismică folosind

tehnica “fast marching seismic tomography” (FMST; Rawlinson, 2005) pentru a estima distribuția laterală a vitezelor de fază la perioade discrete.

Discuțiile și concluziile finale sunt cuprinse în *Capitolul 6*, cu evidențierea contribuțiilor personale și a progresului înregistrat față de nivelul în domeniu existent la standard național. O descriere a resurselor utilizate pentru procesarea datelor este menționată în *Anexa A*.

În ultima parte a tezei sunt notate referințele bibliografice utilizate, dar și o listă a activităților științifice îndeplinite pe durata anilor studiilor doctorale (*Anexa B*). *Anexa C* cuprinde o listă suplimentară a figurilor rezultate în *Capitolul 3*.

Capitolul 2. Analiza la o singură stație folosind înregistrări de zgomot ambiental

Începând cu anul 1989, metoda rapoartelor spectrale HVSR (Horizontal - to - Vertical Spectral Ratios) a devenit foarte populară în lumea științifică, având o aplicabilitate diversă în domeniul seismic. Primii care au utilizat metoda HVSR au fost cercetătorii japonezi, Nogoshi și Igarashi (1971), care au pornit de la ipoteza că zgomotul seismic constă predominant în unde de suprafață. Pe baza studiilor făcute, Kanai & Tanaka (1961) au arătat conexiunea dintre curba HVSR și elipticitatea undelor Rayleigh. La rândul său, Nakamura (1989) a fost cel care a răspândit tehnica la nivel internațional, i-a adus îmbunătățiri și a prezentat o explicație despre efectele conținutului de unde Rayleigh al înregistrărilor de microcutremure. Scopul inițial al metodei era determinarea amplificării locale (site effects) pe un anumit amplasament.

Datorită costurilor reduse și a implementării rapide, metoda HVSR a devenit foarte utilizată, în principal pentru extragerea informațiilor esențiale despre structura geologică a unui amplasament, în scopul evaluării efectelor locale apărute în timpul unui eveniment seismic. Cunoașterea frecvenței de rezonanță caracteristică terenului oferă posibilitatea de a estima care tipuri de construcții sunt expuse unor daune majore (Ohmachi et al., 1991; Bălan et al., 2008), contribuind la dezvoltarea unor strategii de evitare a fenomenului de rezonanță clădire - teren în timpul cutremurelor puternice (Bratosin et al., 2017).

Această metodă presupune calcularea raportului spectral dintre spectrele Fourier ale componentelor orizontale ($FFT_{est}(f)$, $FFT_{nord}(f)$) și spectrul Fourier al componentei verticale ($FFT_{vertical}(f)$), ale formelor de undă înregistrate de o singură stație, având un senzor cu trei componente. Transformata Fourier se calculează pentru fiecare semnal seismic și este utilizată pentru realizarea spectrului de frecvență. Această tehnică poate fi utilizată atât vibrațiilor ambientale, cât și înregistrărilor provenite de la evenimente seismice. Folosind notațiile de mai sus, ea se transpune matematic astfel:

$$\frac{H}{V}(f) = \frac{\sqrt{F_{est}(f)^2 + F_{nord}(f)^2}}{|F_{vertical}(f)|} \quad (2.1)$$

Metoda se bazează pe presupunerea că mișcarea verticală a solului nu este amplificată de straturile de suprafață, prin urmare, raportul dintre rezultanta componentei orizontale și componenta verticală corespunde funcției de transfer sau de amplificare seismică dintre roca de bază seismică (bedrock) și suprafața liberă (Kassaras et al., 2017). Tehnica HVS este rapidă și eficientă, având o utilizare pe scară largă în studiile de microzonare (Lermo&Chavez-Garcia, 1993; Oros, 2007; Ozcep et al., 2010), obținând informații asupra structurii geologice care caracterizează amplasamentul. Numeroase studii teoretice și experimentale, efectuate cu privire la coerența metodei, au confirmat corelația dintre frecvența fundamentală a zgomotului ambiental HVS și răspunsul seismic al solului (Pertou et al., 2020).

În acest capitol, am aplicat metoda rapoartelor spectrale HVS pe înregistrări de vibrații ambientale (notată mai departe nHVS - noise horizontal to vertical spectral ratio), cu scopul de a determina frecvența fundamentală de rezonanță (f_0) în Bazinului Transilvaniei (Figura 2.1). Au fost calculate rapoarte pentru 20 de stații seismice, instalate temporar în cadrul a două proiecte internaționale: CALIXTO - Carpathian Arc Lithosphere X-Tomography (1999, Martin et al., 2005) și SCP - South Carpathian Project (2009 – 2011, Ren et al., 2013) și cele permanente operate de către Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Fizica Pământului (INCDFP).

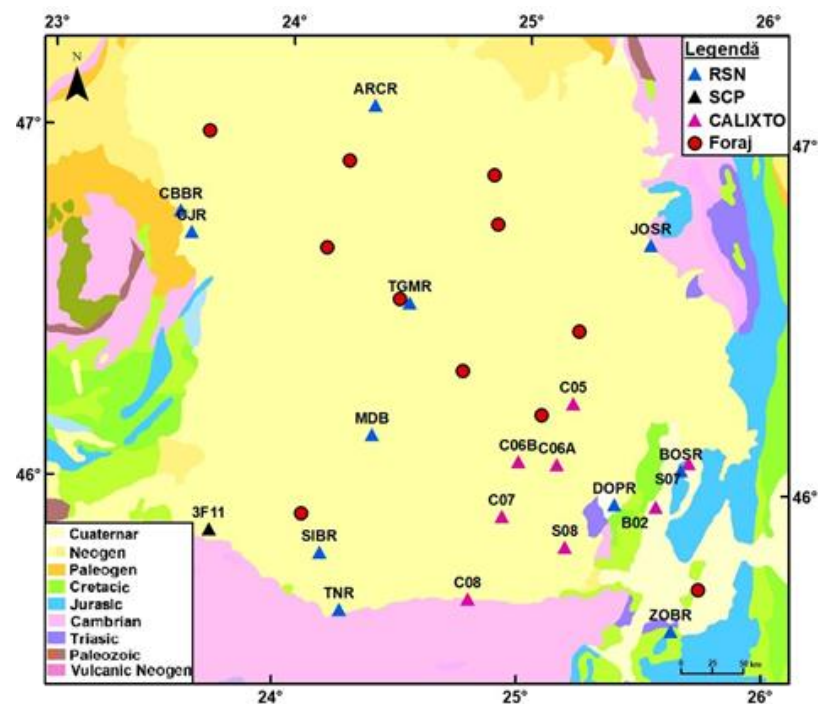


Figura 2.1. Locația stațiilor seismice și a forajelor utilizate în acest studiu (Coman et al., 2020).

Pentru a interpreta de ce tip de interfață geologică este legată această frecvență, s-a calculat adâncimea asociată printr-un model de regresie empiric care conectează grosimea depozitelor de sol deasupra rocii de bază seismică, viteza undelor din interiorul acesteia cu frecvența de rezonanță corespunzătoare. Roca de bază seismică se referă la un strat geologic din interiorul Pământului, primul strat de rocă ce se diferențiază prin duritate de patura sedimentară aflată deasupra sa. Servește ca punct de referință pentru comportamentul undelor seismice (ex. schimbări ale vitezelor seismice), descriind modul în care acestea pot afecta mișcarea terenului la suprafață, în timpul unui cutremur.

Curbele rezultate din rapoartele nHVSR arată o variabilitate semnificativă a adâncimii rocii de bază, respectiv a grosimii sedimentelor pe aria Bazinului Transilvaniei și sugerează faptul că roca de bază se ridică la suprafață în zonele periferice și sunt în concordanță cu informațiile de natură geologică descrise în Tiliță et al. (2013). Frecvența fundamentală de rezonanță variază de la 0,07 Hz la 11,2 Hz și corespunde ciclurilor timpurii de sedimentare Neogenă la stațiile situate în centrul bazinului și interfeței Cretacic/Neogene pentru restul. Rezultatele indică faptul că pentru majoritatea stațiilor s-a observat un al doilea vârf de rezonanță în domeniul de frecvență 0,35 - 4,4 Hz (toate stațiile cu excepția CBBR, TNR, JOSR, DOPR, B02, C08, ZOBR) și un al treilea vârf de rezonanță a fost identificat la stația BOSR - 4,4 Hz. Aceste vârfuri sunt corelate cu stratificarea geologică apropiată de suprafață și se vor face studii viitoare pentru interpretarea naturii lor la fiecare stație seismică.

Cu aceste noi rezultate, am făcut un pas înainte spre înțelegerea modului de propagare a mișcării undelor seismice în zona Bazinului Transilvaniei. Modelele de viteză propuse pe baza acestui studiu le-am centralizat în *Capitolul 4*.

Capitolul 3. Analiza la o singură stație folosind înregistrări seismice

Evaluarea efectelor seismice locale are un impact substanțial asupra analizării riscului seismic și reprezintă un pas crucial pentru reducerea acestuia în regiunile urbane dens populate. Daunele asupra infrastructurii au fost observate la nivel mondial datorită amplificării semnificative a mișcării solului cauzate de cutremure. Cuantificarea acestor efecte ale amplasamentului în modelele de mișcare a solului (GMM – Ground Motion Models) se bazează, de obicei, fie pe viteza medie a undei de forfecare - până la 30 m adâncime (V_{s30} , parametru în general derivat din geologia de suprafață, ex. Allen & Wald, 2009; Thompson & Wald, 2012; Heath et al., 2020), fie pe clasele de sol EC8 (CEN2004). Studii recente arată că diferiți parametri ai amplasamentului, cum ar fi frecvența fundamentală de rezonanță (f_0 ; Manea et al., 2021) și vârful de frecvență predominant (f_{pred} ; Hassani et al., 2016), contribuie în mod semnificativ la descrierea variabilității terenului în GMM-uri.

În acest capitol, frecvența predominantă de rezonanță a fost identificată și cartografiată de-a lungul regiunilor acoperite de Rețelele Seismice Naționale din România, Republica Bulgaria și Republica Moldova, având ca scop înțelegerea câmpului de undă seismic generat de un eveniment seismic semnificativ. Un cutremur cu magnitudinea locală $ML = 5,7$ a avut loc în regiunea Vrancea, pe 22 noiembrie 2014, la ora locală 21:14:17 (19:14:17 GMT), în crusta inferioară (40 km adâncime). S-a resimțit în Europa de Est, la distanțe de până la 600 km de epicentru (România, Republica Bulgaria, Republica Moldova), iar intensitatea seismică maximă observată a fost VI MSK (Constantin et al., 2016). Este considerat a fi unul din cele mai mari evenimente seismice crustale produse pe teritoriul României, în timpul erei digitalizării (alături de evenimentul din 14 februarie 2023, din zona Oltenia, 5,7ML), iar înțelegerea caracteristicilor seismice observate constituie un interes major pentru scopuri viitoare de microzonare. Metoda rapoartelor spectrale aplicată înregistrărilor cutremurelor (denumită în continuare eHVSR - earthquake horizontal to vertical spectral ratio) a fost aplicată, în primul rând, în intervalul de frecvență 0,1 - 15 Hz, pentru a determina frecvența predominantă (f_{pred}) de rezonanță de-a lungul zonei de interes (Figura 3.1). Pentru a înțelege complexitatea câmpului de undă seismică prezent în raportul spectral HVSR, a fost calculat și raportul spectral transversal -

vertical, notat eHVS(Tra), ca raport între spectrele Fourier ale componentei transversale (Tra) și spectrele Fourier ale verticalei (V).

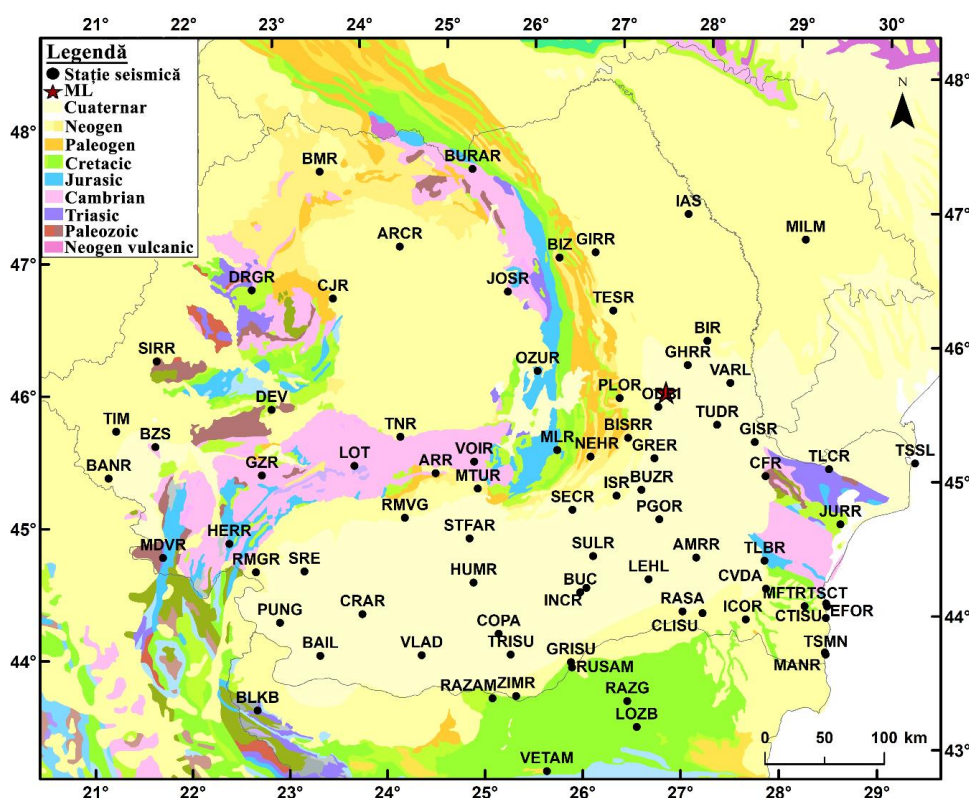


Figura 3.1. Poziția epicentrului evenimentului analizat (stea roșie) și a stațiilor seismice utilizate (după Manea et al., 2021).

A fost calculat raportul eHVS pentru înregistrările undelor S, pentru a aproxima răspunsul geologiei de suprafață. Rapoartele spectrale ale înregistrărilor seismice au fost calculate pentru 72 de stații seismice online, gestionate de Rețelele Seismice Naționale ale României, Republicii Bulgaria și Republicii Moldova. Rezultatele eHVS au fost comparate cu nHVS extrase din vibrațiile ambientale calculate la fiecare stație, așa cum este menționat de studii precedente (Manea et al., 2019; 2020; Coman et al., 2020). Pentru a înțelege complexitatea câmpului de undă seismică în zona de interes, funcția de transfer SH a fost preluată doar pentru undele secundare (S).

Un alt obiectiv atins în acest capitol este reprezentat de caracterizarea particularităților spectrale ale mișcării terenului cauzate de condițiile locale și regionale, dar și de estimarea răspunsul seismic în aria intracarpatică, luând în calcul și vestul României (Figura 3.2). Zona de interes include teritorii din Crișana - Maramureș, Banat și Transilvania. Hazardul seismic din aceste regiuni este controlat de activitatea generată de-a

lungul diferitelor zone seismogene: fie localizate în crustă (de ex. Crișana - Maramureș, Banat, Făgăraș - Câmpulung), fie în mantaua superioară (ex. Vrancea intermediară), Figura 3.2 (Radulian et al., 2018).

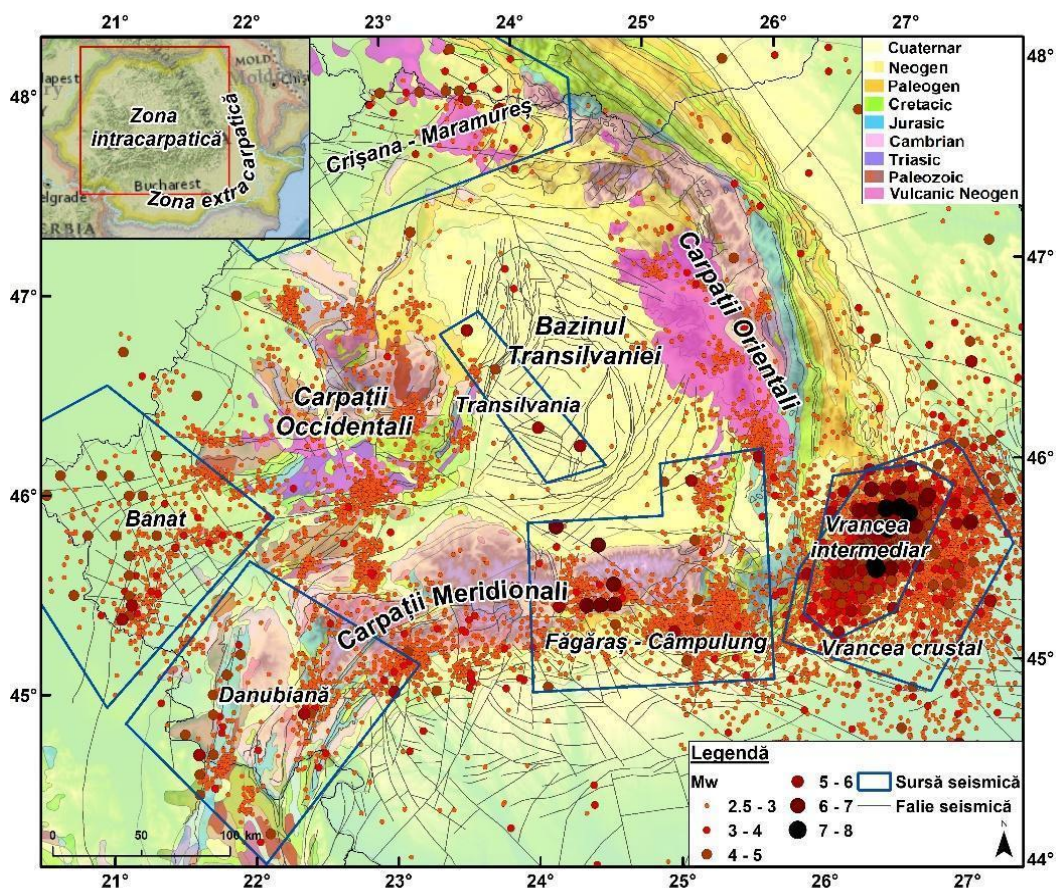


Figura 3.2. Seismicitatea crustală și de adâncime intermediară din regiunea de interes, dar și din jurul acesteia (după Coman et al., 2021).

Pentru a identifica anumite caracteristici ale mișcării solului, tehnica rapoartelor spectrale (HVS, Nakamura, 1989; Apostol et al., 2008) a fost aplicată pe înregistrări seismice disponibile de la 10 cutremure cu magnitudini cuprinse între 3,1 și 5,7 Mw, care au avut loc la diferite intervale de adâncime (2 km până la ~ 150 km, Figura 3.3). Unul dintre avantajele utilizării acestei metode este capacitatea sa de a fi aplicată atât pe vibrațiile ambientale (Manea et al., 2019; Coman et al., 2020) cât și pe înregistrările cutremurelor (Manea et al., 2020; 2021; Apostol, 2008), astfel încât curbele HVS pot fi calculate nu numai pentru zonele în care tind să se producă cutremure, ci și pentru zonele care nu sunt seismice.

Studiile anterioare au examinat înregistrările de vibrații ambientale în Bazinul Transilvaniei (Coman et al., 2020) și în orașul Timișoara (Oros, 2009). Au fost observate mai multe vârfuri pe curbele rezultate: unul fundamental atribuit frecvenței fundamentale de rezonanță (între 0,07 și 11,2 Hz) legată de fundamentul seismic și vârfuri mai înalte (0,35 - 4,9 Hz), care corespund răspunsului seismic complex al structurii geologice din apropierea suprafeței (Coman et al., 2020). Curbele HVS au fost preluate și din înregistrările cutremurelor pentru a evalua frecvența predominantă a structurii de mică adâncime din aria de studiu, dar folosind datele unui singur eveniment: evenimentul crustal de magnitudine 5,7 ML produs în partea de nord - est a regiunii Vrancea (Manea et al., 2021).

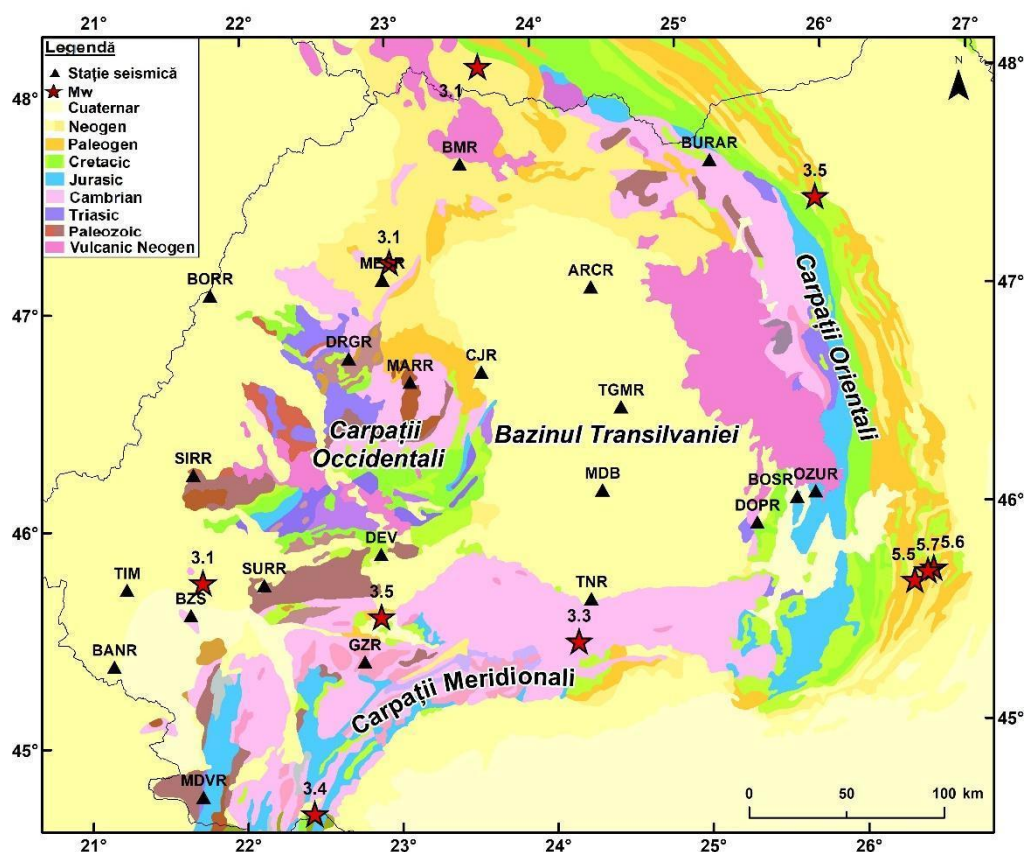


Figura 3.3. Poziția epicentrelor cutremurelor (stele roșii) și a stațiilor seismice (triunghiuri negre) în zona interioară a Carpaților din România (conform Coman et al., 2021).

Rezultatele obținute reprezintă un progres în înțelegerea impactului structurii geologice locale asupra mișcării solului generată în domeniul crustal de sursa Vrancea și poate aduce îmbunătățiri semnificative în evaluarea hazardului și riscului seismic.

eHVSR și eHVSR(Tra) prezintă caracteristici complexe în comparație cu rapoartele spectrale calculate din vibrațiile ambientale. În cazul stațiilor situate de-a lungul arcului carpatic și în zona intracarpatică, frecvențele predominante f_{pred} sunt identificate la aproape toate stațiile ca frecvență fundamentală de rezonanță din vibrația ambientală f_0 . În cazul stațiilor situate în zona extracarpatică, pe în nordul Dunării, frecvența predominantă poate fi atribuită celui de-al doilea vârf sau are o frecvență mai mare indicând un răspuns seismic complex al structurii geologice a Platformei Moesice. O caracteristică complexă a câmpului de undă este remarcată la frecvențe mai mari ($> 0,75$ Hz) și poate fi explicată prin împrăștierea semnificativă indusă de efectele 3-D ale Platformei Moesice. O atenuare semnificativă poate fi constatată pentru siturile situate în afara acestei zone (adică Nordul Bulgariei și Dobrogea), unde frecvența predominantă se potrivește cu cea fundamentală, energia seismică generată de evenimentul crustal nefiind capabilă să excite moduri superioare de vibrație în structura locală.

Amplitudinile curbelor calculate pentru evenimentele care au avut loc în zona extracarpatică (inclusiv sursa Vrancea) sunt puternic reduse de atenuarea din spatele arcului carpatic și nu se observă efecte semnificative în câmpul de undă înregistrat. Frecvența predominantă de rezonanță se potrivește cu cea fundamentală în cazul acestor evenimente. La mai multe stații situate în bazine sedimentare caracterizate de trăsături geologice complexe ca variații laterale semnificative, se identifică vârfuri mai mari în curbele eHVSR atunci când se utilizează evenimente de mică adâncime produse în interiorul arcului carpatic. Aceste vârfuri au fost interpretate ca un amestec al celui de-al doilea mod superior al undelor Rayleigh și alte tipuri de unde, cum ar fi undele SH în bazinele sedimentare complexe (Manea et al., 2017).

Această analiză reprezintă un pas înainte în înțelegerea efectelor structurii geologice din apropierea suprafeței și a atenuării produse de arcul carpatic asupra mișcării solului în zona intracarpatică, în scopul unei viitoare microzonări. Ea aduce rezultate semnificative în ceea ce privește influența caracteristicilor solurilor sedimentare slab consolidate cu referire la mediul de propagare a undelor seismice pentru regiunea de interes. Pe baza acestor rezultate se pot realiza studii pentru estimarea răspunsului seismic local și reducerea riscului.

Capitolul 4. Determinarea modelelor de viteză ale structurii locale - Inversii seismice

Folosind datele rezultate în urma aplicării metodei menționate în capitolele anterioare (HVSR), dar și datele geologice/geofizice disponibile până la momentul actual, s-a realizat o inversie hibridă folosind o metodă Monte Carlo (Sambridge & Mosegaard, 2002), numită Neighborhood Algorithm (Sambridge, 1999, Wathelet et al., 2004; 2005; 2008), pentru a determina profilele de viteză corespunzătoare stațiilor seismice de pe teritoriul României. De asemenea, s-a folosit și algoritmul HV-Inv (García-Jerez et al., 2016) pentru situațiile în care simularea Monte Carlo nu a putut fi aplicată din cauza lipsei datelor corespunzătoare.

Aplicarea metodelor de inversie constituie o variantă optimă pentru a analiza structura Pământului în adâncime. Prin aplicarea metodei Monte Carlo în sectoarele conexe științelor Pământului (seismologie, geologie, geofizică) se pot extrage informații care să dezvolte modelele de viteză din structura superficială și adâncă, se pot realiza imagini tomografice, se pot determina parametri care caracterizează sursa seismică (Sambridge & Gallagher, 2011).

HV-Inv este un cod de prelucrare a datelor geofizice, utilizat pentru estimarea structurilor de viteze în stratele sedimentare, bazate pe analiza rapoartelor spectrale HVSR. Reprezintă un instrument potrivit pentru calculul inversiilor HVSR, având vibrații ambientale ca semnal de intrare. Principiul său de funcționare are la bază teoria câmpului difuz, care presupune că energia undelor seismice este distribuită uniformă, în toate direcțiile, prin interiorul Pământului. Codul de inversie este scris în Matlab și include implementări ale unor algoritmi, precum Monte Carlo Sampling, Simulated Annealing Method, Interior Point Method.

Evaluarea locală a terenului reprezintă un pas esențial în înțelegerea amplificării mișcării seismice induse de structura geologică complexă și estimarea sa pentru viitoarele cutremure puternice. Este un element cheie în studiile de hazard și microzonare din regiunile urbane. Unul dintre parametri critici pentru evaluarea efectelor de amplificare este adâncimea rocii de bază (bedrock), a cărei interfață cu sedimente moi este responsabilă de dezvoltarea fenomenelor de rezonanță. Adâncimea rocii de bază este un

parametru esențial care trebuie luat în considerare în evaluarea hazardului seismic, deoarece mișcarea terenului generată de cutremur poate fi amplificată semnificativ în straturi de sedimente în care viteza de propagare a undelor seismice este mică (Manea et al., 2017). Evaluarea efectelor locale (microzonare seismică) reprezintă un impact substanțial în estimarea hazardului și a riscului seismic și este un pas important în reducerea unui potențial risc seismic ridicat în regiunile urbane dens populate.

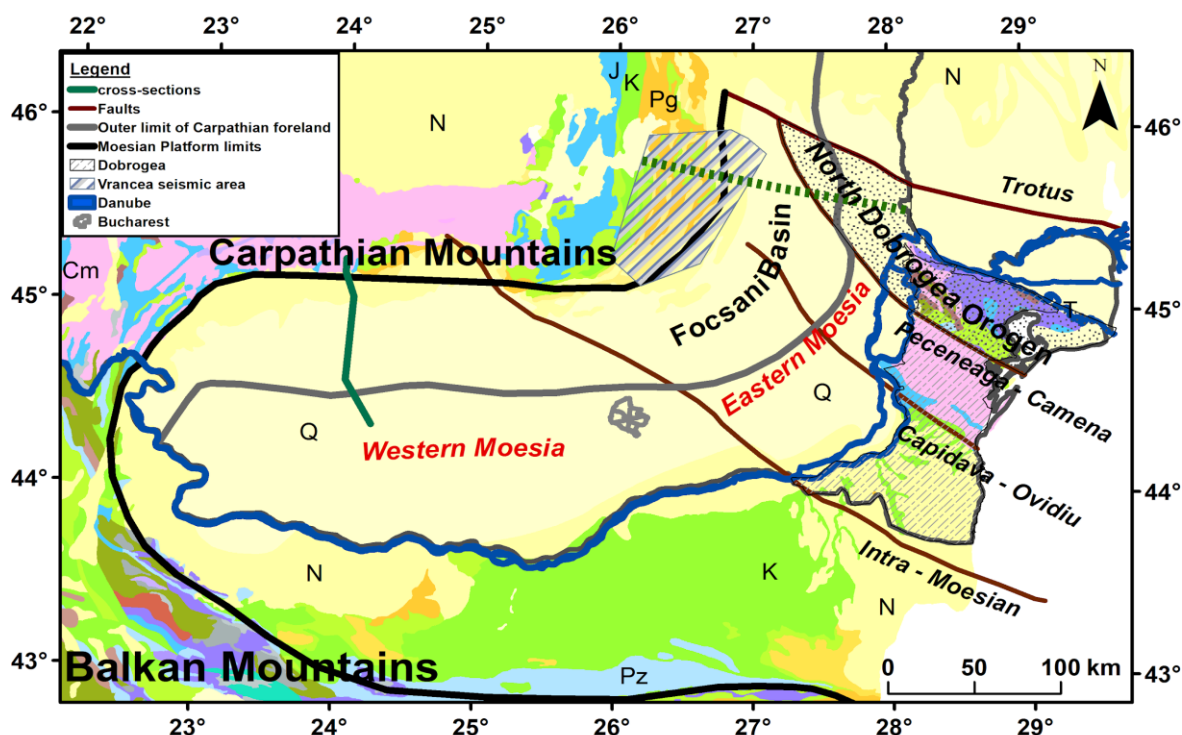


Figura 4.2. Schița Platformei Moesice pe fundalul geologic al Asch (2003). Liniile verzi (umplute și punctate) sunt două secțiuni transversale reprezentative prezentate în secțiunea geologică. Linia cenușie este limita avanfosei carpatice. Linia neagră este limita Platformei Moesice, iar acronimele sunt vârstele geologice: K - Cretacic, Q - Cuaternar, N - Neogen, Pg - Paleogen, Cm - Cambrian, J - Jurassic, Pz-Paleozoic (după Manea et al., 2020).

Acest studiu este axat pe estimarea adâncimii rocii de bază de-a lungul zonei extracarpătice a României (Platforma Moesică și zonele adiacente) prin corelarea și interpolarea rezultatelor obținute din măsurătorile la o singură stație cu datele geologice/geofizice disponibile. Regiunea extracarpătică este una dintre cele mai populate zone din România (incluzând capitala țării, București) și a suferit pagube semnificative în timpul cutremurelor generate în sursa Vrancea (Mărmureanu et al., 2008; Constantin et al.,

2011). Doar în secolul anterior, 4 cutremure cu $M_w > 7$ au fost generate la adâncimi intermediare (70-160 km) în regiunea Vrancea, efectele macroseismice maxime (de ex. IX MSK pentru evenimentul din 1940, $M_w = 7,7$; VIII + MSK pentru evenimentul din 1977, $M_w = 7,4$) fiind, de obicei, observate în afara zonei epicentrale, în Bazinul Focșani și/sau în orașele dens populate (de exemplu, București).

Structura geologică, împreună cu proprietățile sursei seismice, sunt responsabile pentru modelul complex al mișcărilor puternice de pământ înregistrate în regiunea extracarpatică, în special în Platforma Moesică (*Figura 4.2*; Manea et al., 2016). Amplificarea locală, durata lungă a înregistrărilor și a efectelor neliniare (Mărmureanu et al., 2017) au fost observate în timpul acestor evenimente și au fost corelate cu geometria complexă și structura geologică complexă a bazinului sedimentar (Manea et al., 2017). Pentru a prezice aceste caracteristici puternice ale mișcării solului pentru evenimente mari viitoare, este crucial să se dezvolte un model realist al structurilor geologice/adâncimilor rocii de bază și al acoperirii sedimentare.

Zona a fost investigată prin calculul rapoartelor spectrale (nHVSR) din măsurători ale vibrațiilor ambientale cu o singură stație cu trei componente. Adâncimea rocii de bază a fost calculată folosind o metodă de inversie în două etape, bazată pe determinarea vârfului de elipticitate al undelor Rayleigh la fiecare stație seismică folosind un profil generic de viteză regional. Analiza prezentă este prima încercare de a estima adâncimea rocii de bază și de a interpreta natura sa la scară regională în România, zona extracarpatică fiind situată la sud de Carpații Meridionali (Platforma Moesică), folosind o metoda de inversie în două etape. Prima etapă constă în stabilirea unor profile generice de viteză (în termeni de viteze P și S) pentru partea sedimentară a diferitelor zone, luând în considerare structurile geologice și caracteristicile lor tectonice. În a doua etapă, primul vârf de frecvență rezultat în urma raportului spectral nHVSR la o singura stație este utilizat pentru a constrânge adâncimea rocii de bază prin analiza elipticității unde Rayleigh. Estimarea adâncimii rocii de bază folosind analiza vibrațiilor ambientale a fost făcută la nivel internațional prin numeroase studii axate pe terenuri cu un puternic efect de contrast de impedanță între roca de bază și stratele de deasupra (Parolai et al., 2005; D'Amico et al., 2008; Paolucci et al., 2015; Mascandola et al., 2019).

O relație între adâncime și frecvență a fost obținută pentru fiecare zonă de-a lungul Platformei Moesice, permițând estimarea directă a adâncimii rocii de bază în zonele

studiate, pentru care este disponibilă o determinare a frecvenței fundamentale de rezonanță, fără a fi necesară efectuarea unei metode de inversie.

Algoritmul HV-Inv a fost aplicat cu succes în calcularea inversiilor pentru arii din centrul și vestul României. Modelul obținut urmează foarte bine curba nHVSr, iar adâncimea rocii de bază determinată este similară cu cea calculată în studii precedente (Coman et al., 2020; Horvath et al., 2006), unde s-a aplicat calculul teoretic.

Aceste rezultate noi sporesc înțelegerea noastră despre proprietățile mișcării solului în Platforma Moesică, Bazinul Transilvaniei și Bazinul Panonic, ca urmare a propagării undelor seismice. Roca de bază geofizică este o interfață majoră de luat în considerare în evaluarea hazardului și a riscului seismic. Studiile viitoare se vor concentra pe preluarea informațiilor despre amplasament, prin inversarea întregii curbe nHVSr la fiecare stație seismică, pentru a construi modele locale de viteză 1D și pentru a interpreta natura vârfurilor mai înalte. De asemenea, pe baza acestor rezultate, în prezent au fost demarate studii de efecte seismice locale (<https://program-nucleu.infp.ro/pdfcrypt/viewpdf.php?file=pbqYANrVHxZ5h3lvEa%2Fgbxk6HabLXFN9%2BSYey0VH2RdnuLWJkd8y3OXn6dgKrcLd>): este studiată influența nivelului rocii de bază asupra răspunsului amplasamentului seismic, iar parametrii efectelor seismice locale vor fi integrați în analiza hazardului.

Capitolul 5. Determinarea structurilor de viteză pentru zona orașului București - Analiza de corelare încrucișată

În acest capitol s-a folosit tehnica de corelare încrucișată, cu scopul de a construi o imagine 3D a structurii de suprafață în zona orașului București. În procesarea semnalelor, corelația încrucișată este o metodă standard de estimare a gradului de dependență a două variabile sau seturi de date, una față de cealaltă. Se aplică pentru perechi de stații și este similară cu convoluția a două funcții (Campillo și Paul, 2003). Metoda este folosită pe scară largă pentru identificarea unor informații esențiale despre structura internă a Pământului (ex. estimarea funcțiilor Green dintre două puncte, evaluarea proprietăților de dispersie ale undelor de suprafață) și se poate aplica diferitelor semnale, precum vibrații ambientale, înregistrări seismice locale, regionale, teleseismice. Un avantaj al acestei metode este acela că se poate pune în practică și în zonele unde nu există activitate seismică, prin utilizarea vibrațiilor din apropierea senzorilor. Rezultatele obținute în urma acestui proces pot fi integrate în realizarea tomografiilor seismice. Corelația încrucișată a vibrațiilor ambientale aplicată la două stații oferă o serie de timp echivalentă semnalului observat la una dintre locații, datorită unei surse punctuale de suprafață care acționează în cealaltă locație. Spectrul acestui semnal are încorporate atât efectele spectrului ambiental de mișcare, cât și excitarea funcției Green, iar informațiile despre fază reflectă structura elastică dintre stații (Cho et al., 2007). Funcția Green dintre diferiți receptori poate fi extrasă din corelarea încrucișată a înregistrărilor suficient de lungi ale unui câmp de unde aleator pentru un mediu neomogen (Wapenaar, 2004).

Corelațiile încrucișate aplicate unor secvențe lungi de vibrații ambientale au folosit la obținerea curbelor de dispersie ale undelor de suprafață într-un domeniu variat de distanțe, de la câteva sute de metri, până la câteva sute de kilometri (Campillo et al., 2003; Shapiro et al., 2005). Studiile lor au fost făcute pe baza informațiilor date de Lobkis și Weaver (2001), care au afirmat că un câmp difuz dintr-un corp finit poate fi exprimat în formă modală prin relația următoare:

$$\varphi(x, t) = R \sum_{n=1}^{\infty} a_n u_n(x) \exp\{i\omega_n t\}, \quad (5.1)$$

unde \mathbf{a}_n sunt amplitudini modale complexe și \mathbf{u}_n sunt formele reale ortogonale. În situația în care câmpul este elastodinamic, \mathbf{u} și φ sunt evaluate vectorial. Valorile \mathbf{u}_n sunt reale și ortonormale:

$$\int \rho \mathbf{u}_n \mathbf{u}_m d\mathbf{x}^3 = \delta_{nm} \quad (5.2)$$

Luând în considerare un câmp difuz, cu o densitatea spectrală normală, amplitudinile modale variabile aleatoare necorelate, se poate scrie:

$$\langle \mathbf{a}_n \mathbf{a}_m^* \rangle = \delta_{nm} F(\omega_n), \quad (5.3)$$

unde F este o funcție legată de densitatea spectrală, egală cu $1/2F\langle u^2 \rangle$ înmulțit cu densitatea modală.

Corelarea încrucișată între câmpurile \mathbf{x} și \mathbf{y} se poate scrie:

$$\langle \varphi(\mathbf{x}, t) \varphi(\mathbf{y}, t + \tau) \rangle = \frac{1}{2} R \sum_{n=1}^{\infty} F(\omega_n) \mathbf{u}_n(\mathbf{x}) \mathbf{u}_n(\mathbf{y}) \times \exp\{-i\omega_n \tau\} \quad (5.4)$$

Dacă F are o valoare aproape constantă, $F_n = \text{constant}$, rezultă echivalența dintre corelarea încrucișată și derivata în timp a funcției Green a mediului, G_{xy} , dintre câmpurile \mathbf{x} și \mathbf{y} (pentru $\tau > 0$):

$$G_{xy}(\tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \mathbf{u}_n(\mathbf{x}) \mathbf{u}_n(\mathbf{y}) \frac{\sin \omega_n \tau}{\omega_n} \quad (5.5)$$

Fiind situată în sectorul sudic al României, zona metropolitană București este una dintre regiunile urbane caracterizate printr-o densitate a populației ridicată (aproximativ 1.8 milioane de locuitori, reprezentând aproximativ 9% din populația totală a țării (<https://worldpopulationreview.com/world-cities/bucharest-population>)).

Zonele extracarpatice au suferit distrugerii substanțiale în trecut, din cauza evenimentelor seismice produse în zona seismogenă Vrancea (VRI), care domină hazardul seismic național (Cioflan et al., 2022a, b). Deși distanța dintre București și Vrancea nu este tocmai mică (aproximativ 150 km), energia seismică eliberată în zona Vrancea influențează condițiile geologice locale, conducând la o creștere a riscului seismic în această regiune. Deoarece orașul este poziționat pe un sol moale, amplificarea undelor seismice intensifică mișcarea terenului și poate produce pagube considerabile asupra infrastructurii și construcțiilor. Studiarea și înțelegerea structurii de suprafață a orașului pot

contribui la reducerea riscul seismic și la îmbunătățirea estimărilor privind hazardul seismic și rezistența la seisme.

Obiectivul acestui studiu este de a descrie structura din apropierea suprafeței corespunzătoare capitalei României, realizând o tomografie seismică prin metoda “fast marching surface tomography” (FMST; Rawlinson și Sambridge, 2005) pe înregistrări continue de vibrații ambientale. Evaluarea efectelor locale asupra terenului este esențială în studiile de hazard seismic pentru a reduce pagubele care pot apărea în timpul unui cutremur semnificativ. Prin analiza vitezei de fază a undelor Rayleigh, se poate extrage curba de dispersie la fiecare senzor seismic analizat, în scopul obținerii unei caracterizări complexe a stratului din apropierea suprafeței pentru o zonă definită (imagistică a mantalei superioare).

Analiza prezentă este concentrată pe capitala României, București, una dintre cele mai dense zone din estul Europei centrale, localizată în Platforma Moesică. Activitatea seismică locală este redusă, cauzată de falii seismice secundare, situate în apropierea Bucureștiului (Lăcătuș et al., 2008; Cioflan et al., 2022a), precum Tg. Fierbinți - Urziceni (40 km N; Cioflan et al., 2006), dar și alte falii superficiale

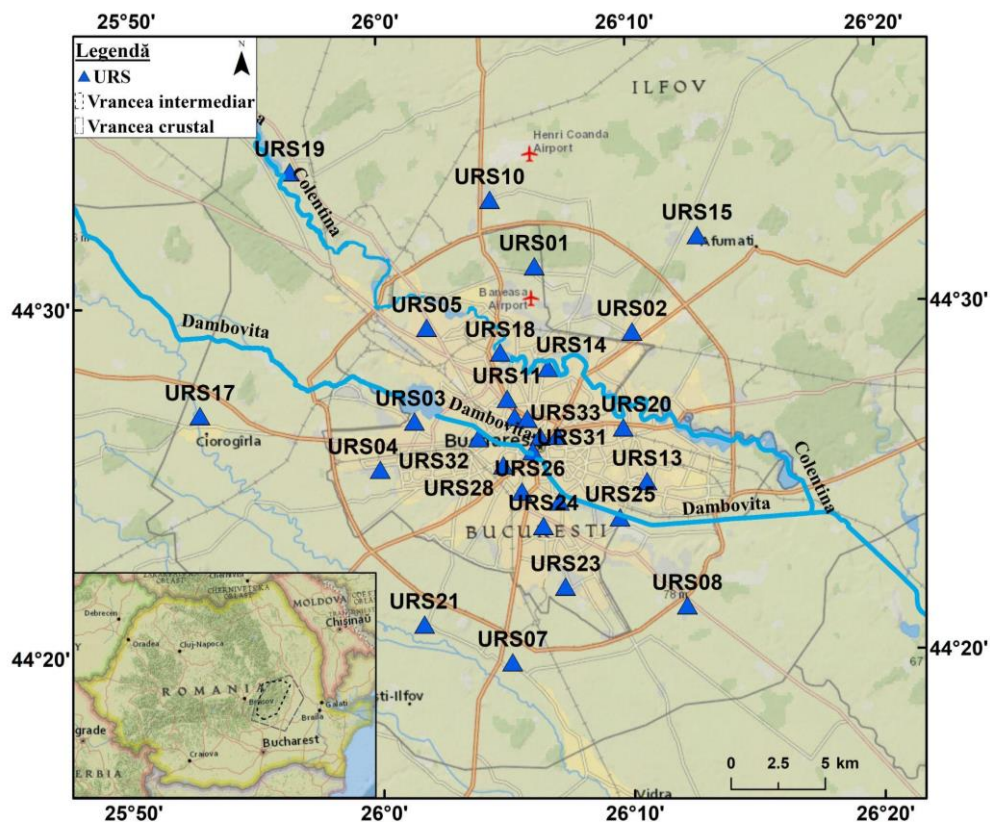


Figura 5.1. Locația stațiilor URS utilizate (după Coman și Petrescu, 2023).

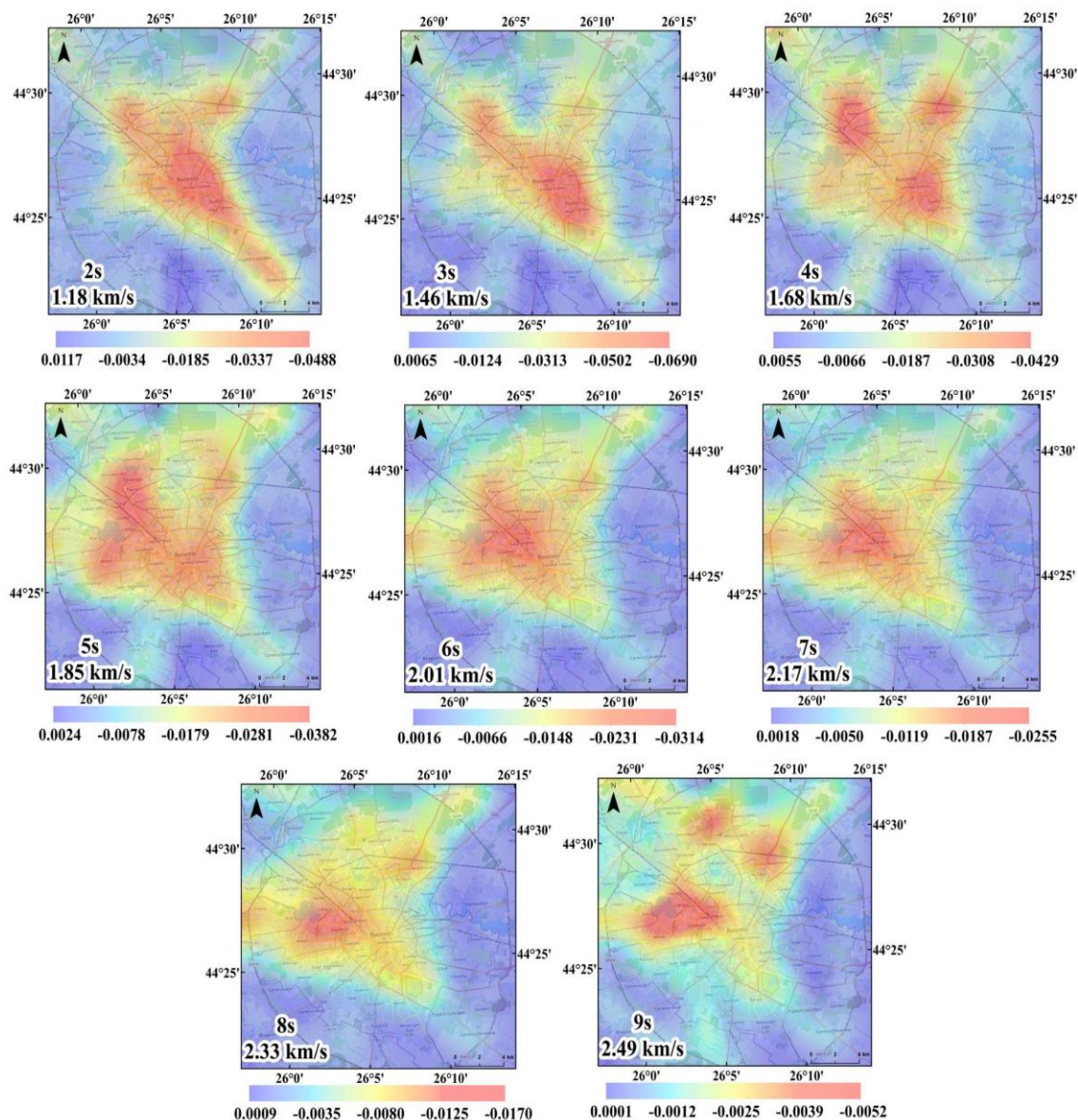


Figura 5.9. Distribuția vitezei de fază a undelor Rayleigh la perioade discrete pentru zona metropolitană București (perioada 2 - 9s). Perioadele și vitezele de referință sunt

Pentru a realiza o imagine 3D cu rezoluție ridicată a structurii subsolului orașului București, am utilizat semnale continue de vibrații ambientale înregistrate la 29 de stații seismice (Figura 5.1) instalate în cadrul proiectului URban Seismology proiect în zona municipiului București (URS, Ritter et al., 2005). Rezultatele obținute prin tomografie seismică oferă o imagine 3D unică, cu cea mai înaltă rezoluție obținută până în prezent a structurii subterane a orașului București. Noile imagini pun în lumină structurile eterogene complexe din subsol și sunt de o importanță fundamentală pentru evaluările viitoare ale riscului seismic și pentru proiectarea ingineriei civile într-o arie extrem de vulnerabilă din punct de vedere seismic, adesea devastată de cutremurele de mare magnitudine generate în SE Carpaților.

Capitolul 6. Concluzii generale

Prezenta lucrare abordează o temă importantă pentru științele Pământului la nivelul României. Studiul înglobează o serie de investigații seismice care au avut ca obiectiv principal interpretarea vibrațiilor înregistrate seismic de pe teritoriul țării, în vederea dezvoltării unui model geofizic tridimensional de viteze seismice. Am analizat semnale care au constat atât în vibrații ambientale, cât și în cutremure, înregistrate la un număr semnificativ de stații (peste 180) instalate pe o arie largă și am obținut profile geofizice de viteză ale undelor primare și secundare. Am identificat adâncimea diferitelor interfețe geologice și am interpretat rezultatele cu datele geologice/geofizice (peste 150 de foraje) din baza de date BIGSEES (www.bigsees.org), dar și cu rezultate publicate și recunoscute la nivel internațional (ex. Răileanu et al., 2005, pentru parametri precum V_p , V_s , densitate; Ren et al., 2013, pentru V_s și identificarea diferitelor interfețe geologice; Răbăgea, 2009, pentru identificarea diferitelor interfețe geologice).

Modele rezultate sunt esențiale în estimarea efectelor seismice locale. Structura de adâncime ce vizează teritoriului României, împreună cu datele de seismicitate, sunt date de bază pentru estimarea hazardului seismic la scară regională/națională. Împreună cu efectele seismice locale, constituie inputul necesar pentru analiza de risc seismic.

Metoda rapoartelor spectrale (HVSR - horizontal to vertical spectral ratio; Nakamura, 1989) este o modalitatea modernă și folosită la scară mondială, fiind foarte utilă pentru analizele de evaluare a efectelor seismice locale. Studiile au demonstrat faptul că frecvența fundamentală f_0 a unui amplasament poate fi extrasă din curbele rezultate, indicând cea mai mică valoare (Hz) care caracterizează vibrația naturală a terenului (fără influența unor factori externi). Completând cu frecvența predominantă de rezonanță, parametru care indică valoarea maximă a energiei de vibrație, cauzată de stimuli externi, se poate efectua o evaluare precisă a răspunsului seismic local.

În studiul actual, metoda HVSR a fost aplicată cu succes pe semnale de intrare compuse din vibrațiile ambientale (nHVSR, *Capitolul 2*), dar și din vibrațiile provocate de evenimente seismice (eHVSR, *Capitolul 3*). Investigarea terenului prin prelucrarea vibrațiilor ambientale are ca avantaj fundamental independența față de apariția

cutremurelor. În acest fel, pot fi analizate și structurile zonelor caracterizate de seismicitate redusă, fără a implica proceduri costisitoare și lucrări de forare.

Asadar, frecvența f_0 a fost identificată pentru stații seismice localizate pe teritoriul României folosind nHVSr, în scopul de a evalua caracteristicile stratelor geologice din centrul (Bazinul Transilvaniei), vestul (Bazinul Panonic) și sud - sud-estul (Platforma Moesică) țării. Au fost procesate pachete continue de date (24h) înregistrate la stații permanente operate de rețelele naționale seismice din România, Republica Bulgaria și Republica Moldova, dar și temporare (CALIXTO, SCP), instalate în cadrul diferitelor proiecte de cercetare. Curbele rapoartelor spectrale rezultate demonstrează existența unor variații laterale în diferite arii ale zonei analizate prin identificarea vârfurilor multiple de rezonanță în cazul mai multor stații seismice (ex. AMRR, BOSR, TIM). Ele sunt corelate cu stratificarea geologică și pot fi considerate a fi marcatori ai complexității subsolului. Unul dintre parametrii critici în evaluarea efectelor de amplificare este adâncimea substratului geofizic (roca de bază seismică), a cărei interfață cu sedimentele moi este responsabilă pentru dezvoltarea fenomenelor de rezonanță distructivă. Cunoașterea acestui element este esențială în evaluarea hazardului seismic, deoarece mișcarea terenului generată de cutremur poate fi amplificată semnificativ în straturi de sedimente în care viteza de propagare a undelor seismice este mică (Baise et al., 2016; Manea et al., 2017). Adâncimea rocii de bază a fost calculată pornind de la valorile f_0 . Am aplicat o schemă de inversie în doi pași, bazată pe recuperarea vârfului de elipticitate a undelor Rayleigh la fiecare stație seismică, folosind un profil de viteză generic regional.

Pentru centrul României, frecvența fundamentală de rezonanță a fost identificată pentru 20 de stații seismice, în intervalul de valori 0,07 - 11,2 Hz (*Capitolul 2*) și corespunde ciclurilor timpurii de sedimentare Neogenă la stațiile situate în centrul Bazinului Transilvaniei și interfeței Cretacic/Neogene pentru stațiile situate spre exteriorul acestuia. Rezultatele arată o variabilitate semnificativă a adâncimii rocii de bază, respectiv a grosimii sedimentelor pe aria Bazinului Transilvaniei și sugerează faptul că roca de bază se ridică la suprafață în zonele periferice și se află în concordanță cu informațiile de natură geologică descrise în Tiliță et al. (2013). Adâncimea rocii de bază seismică variază de-a lungul Bazinului Transilvaniei în acord cu frecvența fundamentală de rezonanță. În cazul stațiilor C08, CJR, BOSR, S07 și ARCR, această adâncime corespunde unei schimbări de viteză la interfața dintre stratele Miocene și Mezozoice (Tiliță et al., 2013; Hauser et al., 2007). La stația TGMR, adâncimea calculată corespunde tranziției dintre formațiunile

Sarmațian și Badenian, iar pentru restul stațiilor cu interfața dintre sedimentele Badenianului Superior și Inferior, așa cum este descris de Tiliță et al. (2013). Folosind algoritmul HV-Inv, am obținut 6 modele de viteză, prin inversii seismice. Rezultatele se corelează cu cele obținute de Coman et al. (2020).

Pentru zona de S - SE a României (Platforma Moesică și zonele adiacente), cartografierea frecvenței fundamentale de rezonanță și a adâncimii rocii de bază corespunzătoare sunt prezentate în *Capitolul 4*. Am aplicat tehnicile menționate pe semnale înregistrate la 143 de stații seismice și am identificat faptul că f_0 variază de la valori foarte mici (0,07 Hz) până la valori mari (13 Hz). În interiorul avanfosei carpatice, valorile sunt foarte scăzute (0,074 Hz) în Bazinul Focșani, până la 0,35 Hz. În partea bulgară și în partea de est a României, f_0 este mai mare, ajungând până la 13 Hz și indică un fundament geofizic mai puțin adânc.

Un al doilea vârf a fost observat între Carpați și fluviul Dunărea, situat între 0,6 și 3 Hz și este interpretat ca fiind interfața dintre stratele cuaternare și neogene (Bălă, 2013). Natura sa complexă ar putea fi explicată prin contribuția SH la HVSR și nu prin manifestările elipsei Rayleigh în structura geologică locală (Manea et al., 2016).

Pentru fiecare zona localizată în Platforma Moesică, specificată în *Capitolul 4*, am determinat o relație între f_0 și adâncimea corespunzătoare, în scopul de a obține în mod direct valorile adâncimii rocii de bază.

Acest parametru calculat (de la 30 la 3500 m) arată o tendință de scufundare spre Carpații Meridionali. Caracteristici complexe, cum ar fi aflorimentele locale și variațiile laterale de adâncime, se suprapun acestei tendințe de scufundare treptată. De-a lungul avanfosei Carpaților, roca de bază este interpretată ca o tranziție între diferite strate de sedimente din Neogen, în timp ce în afara acestei zone este vorba de tranziția Neogen - Cretacic. De la sud la nord, adâncimea rocii de bază este aproximativ constantă în jur de 50-100 m pe latura sudică a fluviului Dunărea. În partea de nord a acestuia, în sudul României, roca de bază se scufundă spre nord, spre Carpații Meridionali, de la 30 m în apropiere de Dunăre, până la 2500-3000 m adâncime în fața munților. Adâncimea maximă se găsește în bazinul Focșani la aproximativ 3500 m. În partea de est a Platformei Moesice (zona Dobrogei), roca de bază de tip Cretacic se afundă și începe să se scufunde din nou sub Scutul Mării Negre. Traversând avanfosa carpatică de la est la vest, roca de bază este interpretată ca sedimente de tip Pliocen în zona Focșani deasupra faliei Capidava-Ovidiu

(FCO), sedimentele Meoțiene între FCO și FIM și ca sedimentele consolidate Sarmațiene în partea stângă a FIM. Modificarea naturii rocii de bază de-a lungul acestei zone se datorează subțierii rapide a sedimentelor Neogene din centrul Bazinului Focșani până la marginile sudice și vestice și de-a lungul avanfosei carpatice, datorită modelelor complexe de subsidență de-a lungul perioadei Badenian - Cuaternar (Tărăpoancă et al., 2004). În urma procesului de inversie (detaliat în *Capitolul 4*), am obținut modele de viteză seismică pentru toate stațiile localizate în zona de studiu (Platforma Moesică și aria înconjurătoare).

Aria vestică a României (partea românească a Bazinului Panonic) investigată în această lucrare este descrisă prin valori ale f_0 încadrate într-un interval restrâns la frecvențe joase f_0 , 13 - 0,21 Hz. Valorile adâncimii rocii de bază seismică pe care le-am obținut sunt cuprinse între 933 m și 3275 m și corespund datelor geologice/geofizice disponibile (Răbăgia, 2009). În partea de nord a zonei, am determinat faptul că stația seismică CEI (2400 m) se situează pe un fundament metamorfic, constituit din sedimente de tip Paleogen. Fundamentul metamorfic se regăsește și în cazul stației 4E07 (2600 m), situată aproape de Ridicarea Salonta - Tăut. În depresiunea Abrămuț (Crasna) este localizată stația 4F06, iar adâncimea rocii de bază (1700 m) corespunde unui fundament de tip Pannonian superior. Pentru BORR, situată în Depresiunea Borș (de tip Miocen), adâncimea rocii de bază corespunde cu interfața dintre Pannonian superior și Miocen mediu. Pentru restul stațiilor a fost atribuite sedimente de origine Cretacică (Tulucan, 1999).

Pentru o analiză spectrală complexă asupra impactului pe care evenimentele seismice îl pot avea asupra structurii geologice din apropierea suprafeței și a atenuării produse de arcul carpatic asupra mișcării solului în zona intracarpatică, am evaluat vrăful de frecvență predominantă f_{pred} (*Capitolul 3*). Valorile au fost extrase prin investigarea cutremurelor crustale și intermediare ($M_w > 3,1$) generate în zone seismogene distincte (ex. Vrancea, Banat, Danubiană, Crișana-Maramureș, Făgăraș-Câmpulung) și variază în funcție de sursele care excită stratele geologice, dar și de proprietățile mediului. Am calculat rapoartele spectrale Fourier (eHVSR) pentru fiecare stație seismică tri-axială și am comparat rezultatele obținute cu cele determinate din vibrațiile ambientale (nHVSR), din studii anterioare (Manea et al., 2019; 2020; Coman et al., 2020).

Așadar, am observat că amplitudinile curbelor calculate pentru evenimentele care au avut loc în zona extracarpatică (inclusiv sursa Vrancea) sunt puternic reduse de

atenuarea din spatele arcului carpatic și nu se observă efecte semnificative în câmpul de undă înregistrat. Frecvența predominantă de rezonanță se potrivește cu cea fundamentală în cazul acestor evenimente. La mai multe stații situate în bazine sedimentare caracterizate de trăsături geologice complexe ca variații laterale semnificative, se identifică vârfuri mai mari în curbele eHVSR atunci când se utilizează evenimente de mică adâncime produse în interiorul arcului carpatic. Aceste vârfuri au fost interpretate ca o combinație a celui de-al doilea mod superior al undelor Rayleigh cu alte tipuri de unde, cum ar fi undele SH în bazinele sedimentare complexe (Manea et al., 2017).

În ideea de a construi o imagine 3D a structurii subsolului orașului București, am aplicat tehnica de corelare încrucișată pe semnale de vibrații ambientale înregistrate la 29 de stații seismice de banda largă, unde am determinat funcțiile Green dintre doi receptori și am evaluat proprietățile de dispersie ale undelor seismice Rayleigh (*Capitolul 5*). Am obținut forme de undă virtuale Rayleigh și am extras curbele de dispersie a vitezei de fază între perechi de stații, folosind un algoritm automat analogic al funcției Bessel pentru perioade cuprinse între 2s și 9s. Am integrat curbele de dispersie în algoritmul “fast marching surface tomography” (FMST) și am cartografiat variațiile laterale ale vitezelor seismice la perioade discrete, pentru a contura tomografia timpilor de deplasare în straturile apropiate de suprafață (Rawlinson & Sambridge, 2005).

În urma pașilor descriși, am obținut 462 de corelograme încrucișate și 222 de curbe de dispersie ale vitezei de fază a undelor Rayleigh corespunzătoare traiectoriilor de raze între perechi de stații seismice URS pentru zona orașului București. Hărțile tomografice (*Figura 5.2*) confirmă faptul că rezultatele pe care le-am obținut sunt în acord cu structura stratigrafică a zonei de studiu. În cazul perioadelor foarte joase (2-3s), am identificat o anomalie orientată pe direcția NV - SE, posibil datorată sedimentelor aluvionare cuaternare, care s-au depus de-a lungul râurilor Dâmbovița (centru) și Colentina (nord). Această anomalie de viteză se regăsește în vestul zonei investigate pentru perioade lungi (6-8s).

Rezultatele obținute dezvăluie structuri complexe, eterogene și stratificate sub zona metropolitană București și oferă constrângeri fundamentale privind amplificarea mișcării solului și relația sa cu structurile geologice complexe din scoarța superioară. Imaginea tomografică obținută prezintă cea mai înaltă rezoluție actuală care descrie structura de viteză din subsolul orașului. Lucrarea prezentă aduce rezultate semnificative, obținute

pentru prima dată la nivel național. Pe baza observațiilor determinate, se pot realiza studii în vederea evaluării microzonării locale, pentru reducerea riscului seismic, creșterea rezilienței construcțiilor în cazul cutremurelor și vor deschide direcții noi de cercetare în domeniul hazardului seismic local.

Anexa A. Resurse utilizate

Pentru realizarea studiului, s-au prelucrat pachete de date înregistrate la mai multe rețele seismice localizate pe teritoriul României, precum: RSN – Rețeaua Seismică Națională (Mărmureanu et al., 2021), operată de Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare pentru Fizica Pământului (INCDFP, https://doi.org/10.1007/978-3-319-14328-6_9), CALIXTO - Carpathian Arc Lithosphere X-Tomography (Martin et al., 2005), SCP – South Carpathian Project (2009-2011, Ren et al., 2012), URS - Urban Seismology (Ritter et al. 2005), senzorii de interes fiind de tip viteză. În cazul stațiilor care nu prezintă senzor de viteză, am folosit senzori de accelerație. Datele seismice au fost descărcate din bazele de date ale INCDFP, din Arhiva Europeană de Date Integrate (EIDA, <https://www.orfeus-eu.org/data/eida/>) și din platforma proiectului “Virtual Platform for the collEctioN and interactive analysis Of MultidiscipliNary GeophysicAL data” (<https://ph.infp.ro/seismicity/data>). De asemenea, au fost utilizate informații geologice care aparțin bazei de date BIGSEES (<http://infp.infp.ro/bigsees/default.htm>). Pachetele de date pot fi accesate necondiționat din baze de date online, fiind de foarte bună calitate. Pentru analizarea acestora se folosesc programe de calcul complexe și metode dezvoltate recent, asigurând redarea unor rezultate corecte. Existența informațiilor geologice permit interpretarea rezultatelor/soluțiilor obținute. Datele de intrare folosite pentru realizarea studiului au constat atât în vibrații ambientale (intervale înregistrate pe 24h, pe o perioadă de cel puțin jumătate de an), cât și în înregistrări ale cutremurelor locale (crustale, intermediare).

Pentru procesarea datelor s-au folosit seturi de programe precum Geopsy (www.geopsy.org), Matlab (mathworks.com/products/matlab.html), HV-Inv (García-Jerez et al., 2016), Esri ArcGIS (www.arcgis.com/index.html) și scripturi precum Fast Marching Seismic Tomography (Rawlinson, 2005). După extragerea pachetelor de semnale din baza de date a INCDFP și EIDA, acestea au fost convertite din fișiere de tip miniseed (Perrot et al., 1992), în fișiere de tip SAC (Seismic Analysis Code; Helffrich et al., 2013), folosind comenzi specifice modului de operare Linux. Miniseed este un format binar, comprimat, care stochează fișiere mari și oferă detalii despre calitatea datelor seismice (ex. stație, canal, timp la origine, sincronizare).

Anexa B. Contribuții personale

B.1 Lucrări publicate în reviste cotate ISI

1) **Coman, A.**, Manea, E. F., Cioflan, C. O., & Radulian, M. (2020). Interpreting the fundamental frequency of resonance for Transylvanian Basin. *Romanian Journal of Physics*, 65, 809.

FI = 1.888; AIS 0.194

2) Manea, E. F., Cioflan, C. O., **Coman, A.**, Michel, C., Poggi, V., & Fähr, D. (2020). Estimating geophysical bedrock depth using single station analysis and geophysical data in the extra-Carpathian area of Romania. *Pure and Applied Geophysics*, 177, 4829-4844. <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02548-3>

FI = 2.335; AIS = 0.598

3) Manea, E. F., **Coman, A.**, & Cioflan, C. O. (2021). Evaluation of the predominant frequency of resonance of sedimentary layers using 2014 5.7 ML Vrancea crustal event records. *Romanian Reports in Physics*, 73(3).

FI = 2.085; AIS = 0.202 (**autor corespondent**)

4) **Coman, A.**, Manea, E. F., & Radulian, M. (2021). EFFECTS OF SOFT SOILS ON SEISMIC GROUND MOTION IN THE CENTRE AND WESTERN ROMANIA. *Romanian Journal of Physics*, 66(7-8).

FI = 1.662; AIS = 0.172

5) Placinta, A. O., Borleanu, F., Moldovan, I. A., & **Coman, A.** (2022, November). Correlation between Seismic Waves Velocity Changes and the Occurrence of Moderate Earthquakes at the Bending of the Eastern Carpathians (Vrancea). In *Acoustics* (Vol. 4, No. 4, pp. 934-947). MDPI. <https://doi.org/10.3390/acoustics4040057>

FI = 2.1; AIS = 0.5

6) Ardeleanu, L., Neagoe, C., Placinta, A. O., & **Coman, A.** (2023). On the seismic wave attenuation at the bend of the Southeastern Carpathians. *Journal of Seismology*, 27(1), 233-240. <https://doi.org/10.1007/s10950-022-10125-5>

FI = 1.6; AIS = 0.466

7) Petrescu, L., Plăcintă, A. O., Borleanu, F., Mihai, A., Radulian, M., Popa, M., **Coman, A.**, Cioflan, C. (2024). The EENSANE (Eastern European Seismic Ambient Noise) project: providing a new free database of ambient noise cross-correlations and crustal seismic models in the Carpathian-Pannonian Region and beyond. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s40328-024-00438-x>

FI = 1.4; AIS = 0.29

8) **Coman A.**, & Petrescu L. 2023, în pregătire

B.2 Capitole în cărți

1) Cioflan C.O., Manea E.F., Apostol B.F., Mărmureanu Gh., **Coman A.** "Seismic hazard and microzonation studies in deterministic approaches for Bucharest metropolitan area". București – capitala europeană cu vulnerabilitatea cea mai mare la un cutremur vrâncean puternic, Editura Academiei, 2022, DOI:10.5281/zenodo.7351192.

2) Manea E.F., Cioflan C.O., **Coman A.** "3D modeling of the local structure in the Bucharest metropolitan area using ambient vibration analysis". București – capitala europeană cu vulnerabilitatea cea mai mare la un cutremur vrâncean puternic, Editura Academiei, 2022, DOI: 10.5281/zenodo.7351262.

3) Manea E. F., Cioflan C. O., Danciu L., Marmureanu A., **Coman A.** "Region - specific Ground Motion Models for Vrancea Intermediate - Depth Earthquakes". Number : 586, Proceedings of the 3rd European Conference on Earthquake Seismology and Engineering, Bucharest, Romania, September 4-9, 2022, 3783 – 3791, Editura Conspress, București.

4) **Coman A.**, Cioflan C. O., Manea E. F., Mihai M. N. "The evaluation of the path effects impact on ground motion from spectral ratios analysis". Number : 1612, Proceedings of the 3rd European Conference on Earthquake Seismology and Engineering, Bucharest, Romania, September 4-9, 2022, 4589 - 4595 Editura Conspress, București.

B.3 Lucrări prezentate la sesiuni științifice

B.3.1 Conferințe naționale

- 1) **A. Coman**, E. F. Manea, A. Predoiu, C. O. Cioflan, C. Panaiotu. „*Variability of the fundamental frequency of resonance along Pannonian Basin*”. Annual Scientific Conference, University of Bucharest, Faculty of Physics, 21 – 22 June 2018 (prezentare orală).
- 2) **A. Coman**, E. F. Manea, C. O. Cioflan, M. Radulian. „*Mapping the fundamental frequency on the Moesian Platform using single station analysis*”. Annual Scientific Conference, University of Bucharest, Faculty of Physics, 21 – 22 June 2019 (prezentare orală).
- 3) Elena Florinela Manea, Erzsébet Győri, **Alina Coman**, Carmen Ortanza Cioflan, Mircea Radulian. „*Non-invasive investigations along the Pannonian Basin*”. Simpozionului „Geostiintele in secolul XXI”, dedicat aniversării a 80 de ani a Profesorului Emil Constantinescu, 22 octombrie 2019, Facultatea de Geologie si Geofizica, Bucuresti (prezentare poster).
- 4) **Alina Coman**, Elena Florinela Manea, Carmen Ortanza Cioflan, Mircea Radulia. „*Local site investigations along Transylvanian Basin*”. Simpozionului „Geostiintele in secolul XXI”, dedicat aniversării a 80 de ani a Profesorului Emil Constantinescu, 22 octombrie 2019, Facultatea de Geologie si Geofizica, Bucuresti (prezentare poster).
- 5) **Alina Coman**, Elena Florinela Manea, Mircea Radulian. “*Investigations on the behavior of the sedimentary structure during earthquakes: the correlation between f_0 and f_{pred}* ”. Mapping the fundamental frequency on the Moesian Platform using single station analysis. Annual Scientific Conference, University of Bucharest, Faculty of Physics, 2021 (prezentare orală).

B.3.2 Conferințe internaționale

- 1) **Coman A.**, Manea E. F., Cioflan C. O., Diaconescu M. „*Non-invasive investigations on sediment thickness in Southern Romania*”. Al X-lea Congres al Societatii Balcanice de Geofizica (BGS), Albena, Bulgaria, 18-22 septembrie 2019 (prezentare orală).

- 2) Manea, E. F., Győri, E., **Coman, A.** „*Shallow structure in the Pannonian Basin from ambient noise measurements*”. Topo-Transylvania meeting, 13 octombrie 2019, Heviz, Hungary (prezentare orală).
- 3) Manea, E. F., Győri, E., **Coman, A.**, Cioflan, C.A., Radulian, M., Kovács, I.J. „*Single station analysis of microseismic noise in the Pannonian Basin. Understanding the multi-scale formation and evolution of orogens and sedimentary basins*”. ILP Task Force on Sedimentary Basins, 15-19 octombrie 2019, Heviz, Hungary (prezentare orală).
- 4) **Coman, A.**, Manea, E. F., Cioflan, C.A., Radulian, M. „*Investigations of the sedimentary structure along Transylvanian Basin.*” ILP Task Force on Sedimentary Basins, 15-19 octombrie 2019, Heviz, Hungary (prezentare poster).
- 5) **Alina Coman**, Elena Florinela Manea, Andreea Predoiu, Carmen Ortanza Cioflan. “*Evaluation of the predominant frequency of resonance for 2014 5.4 Mw Vrancea crustal event*”. The 5th Geoscience Symposium, Bucharest, Romania, 2020 (prezentare poster).
- 6) **Alina Coman**, Elena Florinela Manea, Carmen Ortanza Cioflan. „*Geophysical bedrock depth computation for the extra - Carpathian area of Romania*”. The 5th Geoscience Symposium, Bucharest, Romania, 2020 (prezentare poster).
- 7) **Alina Coman**, Elena Florinela Manea, Carmen Ortanza Cioflan, Mircea Radulian. “*Impact of back – arc attenuation on seismic wavefield.*” The 5th Geoscience Symposium, Bucharest, Romania, 2020 (prezentare poster).
- 8) Cioflan, C.O., Manea, E. F., Danciu, L., **Coman, A.**, Marmureanu, A. „*Evaluation of up-to-date ground motion models for inslab activity in Romania*”. The 5th Geoscience Symposium, Bucharest, Romania, 2020 (prezentare poster).
- 9) Elena Florinela Manea, Carmen Ortanza Cioflan, Laurentiu Danciu, **Alina Coman**, Alexandru Marmureanu. “*Regional – specific ground motion models for Vrancea intermediate – depth source*”. The 5th Geoscience Symposium, Bucharest, Romania, 2020 (prezentare orală).
- 10) **Alina Coman**, Elena Florinela Manea, Carmen Ortanza Cioflan, Valerio Poggi, Clotaire Michel. “*Bedrock depth variability along the extra - Carpathian area of Romania*”. ESC, 19-24 September 2021 (prezentare orală).

- 11) **Alina Coman**, Elena - Florinela Manea, Mircea Radulian, Erzsébet Győri, Marius Mihai. "*Local site effects investigations along the Pannonian Basin*". ESC, 19-24 September 2021 (prezentare poster).
- 12) **Coman A.**, Manea E. F., Cioflan C. O. *The analogy between spectral ratios computed on ambient vibration and earthquake records*, 20th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, 12 – 15 iulie 2022, Constanta, Romania (prezentare poster).
- 13) **Coman A.**, Carmen C.O., Manea E. F., Mihai M. N. *The evaluation of the path effects impact on ground motion from spectral ratios analysis*. Proceedings 3ECEES, The Third European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 4 – 9 septembrie 2022, Bucharest, Romania (prezentare poster).
- 14) **Coman A.**, Borleanu F., Petrescu L., Placinta A., Enescu B., Poiata N., Radulian M., (2022). High-resolution Analysis of the Intermediate-depth Seismicity Patterns in the Vrancea region (Romania): towards a better Assessment of Earthquake Risk. The 16th Workshop of International Lithosphere Program Task Force Sedimentary Basins & 7th Geoscience, 6-8 octombrie 2022, București, România (prezentare poster).
- 15) Ardeleanu L., Neagoe C., Plăcintă A.O., **Coman A.**, On the seismic wave attenuation at the bend of the Southeastern Carpathians. The 16th Workshop of International Lithosphere Program Task Force Sedimentary Basins & 7th Geoscience, 6-8 octombrie 2022, București, România (prezentare poster).
- 16) **Coman, A.** and Petrescu, L.: Near-surface ambient-noise seismic tomography of Bucharest, Romania, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023 (prezentare poster).

B.4 Alte studii prezentate la conferințe naționale și internaționale

- 1) CNCES - Conferința Națională a Comunității "Educație pentru Știință", Editia a IV - a (expoziție MOBEE, atelier, experimente), 28 – 30 aprilie 2022, Suceava, România.
 - Scop: realizarea livrabilelor proiectului, activități de predare/workshop, diseminare a informațiilor științifice și specifice domeniului din postura de cercetător invitat.

- Workshop: Misiunea InSight - Mars@School - Mișcarea de convecție în manta (Coordonatori: **Alina Coman**, Raluca Dinescu, Mihaela Dragan).
- 2) Luminița Angela Ardeleanu, Anica Otilia Plăcintă, **Alina Coman**. "LATERAL VARIATIONS OF THE ATTENUATION OF SEISMIC WAVES IN THE AREA FROM THE BEND OF THE SOUTHEASTERN CARPATHIANS". The 5th Geoscience Symposium, Bucharest, Romania, 2020 (prezentare poster).
- 3) Marius Mihai, Andreea Craiu, Marius Craiu, Alexandru Marmureanu, **Alina Coman**. "Focal mechanisms characterization for Vrancea crustal earthquakes during 2010-2020". ESC, 19-24 September 2021 (prezentare poster).
- 4) Elena Manea, Laurentiu Danciu, Carmen Cioflan, **Alina Coman**. "Evaluation of ground motion models for Vrancea slab events". ESC, 19-24 September 2021 (prezentare poster).
- 5) Manea E. F., Cioflan C. O., Danciu L., Marmureanu A. and **Coman A.** Region - specific Ground Motion Models for Vrancea Intermediate - Depth Earthquakes., Proceedings 3ECEES, The Third European Conference on Earthquake Engineering and Seismology 4 – 9 septembrie 2022, Bucharest, Romania (prezentare poster).
- 6) Necula E., Năstase E., Zaharia B., **Coman A.**, Tataru D. To be or not to be a living planet. A summer school research project for highschool students. The 16th Workshop of International Lithosphere Program Task Force Sedimentary Basins & 7th Geoscience, 6-8 octombrie 2022, București, România (prezentare poster).
- 7) Tătaru D., Grecu B., Nastase E., Țigănescu A., Dinescu R., **Coman A.**, Neagoe C., Tolea A. Romanian contribution to enhancing disaster management through an interdisciplinary multi-hazard European Partnership. The 12th International Conference of the International Society for the INTEGRATED DISASTER RISK MANAGEMENT, 21 – 23 septembrie 2022 (prezentare orală, online).

Referințe

1. Allen, T. I., & Wald, D. J. (2009). On the use of high-resolution topographic data as a proxy for seismic site conditions (VS 30). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99(2A), 935-943.
2. Apostol, B. F. Resonance of the Surface Waves. The H/V Ratio, *Romanian Reports in Physics* 60, 91 (2008).
3. Asch, K. (2003). The 1:5 Million International Geological Map of Europe and Adjacent Areas: Development and Implementation of a GIS-enabled Concept. *Geologisches Jahrbuch, SA 3*, Stuttgart: E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung.
4. Baise, L. G., Kaklamanos, J., Berry, B. M., & Thompson, E. M. (2016). Soil amplification with a strong impedance contrast: Boston, Massachusetts. *Engineering geology*, 202, 1-13.
5. Bălan, S. F., Cioflan, C. O., Apostol, B. F., Tataru, D., Grecu, B. (2008). The resonance of the surface waves. The H/V ratio in the Metropolitan Area of Bucharest. In *AIP Conference Proceedings*, Vol. 1020, No. 1, pp. 207-215.
6. Bălă, A. (2013). Modelling of seismic site amplification based on in situ geophysical measurements in Bucharest, Romania. *Romanian Reports in Physics*, 65(2), 495-511.
7. Boschi, L., Weemstra, C., Verbeke, J., Ekström, G., Zunino, A., & Giardini, D. (2013). On measuring surface wave phase velocity from station–station cross-correlation of ambient signal. *Geophysical Journal International*, 192(1), 346-358.
8. Bratosin D., Apostol B. F., Balan S. F. (2017). Avoidance strategy for soil-structure resonance by considering nonlinear behavior of the site materials. *Romanian Journal of Physics*, 62 (5-6), 808.
9. Campillo, M., & Paul, A. (2003). Long-range correlations in the diffuse seismic coda. *Science*, 299(5606), 547-549.

10. Cioflan, C. O., Manea, E. F., Apostol, B. F. (2022a). Insights from Neo – Deterministic Seismic Hazard Analyses in Romania, Earthquakes and Sustainable Infrastructure: Neodeterministic (NDSHA) approach guarantees prevention rather than cure, editors: Panza G., Kossobokov V. G., Laor E., De Vivo B., Eds, Elsevier, DOI 10.1016/B978-0-12-823503-4.00013-0.
11. Cioflan, C. O., Manea, E. F., Apostol, B. F., Mărmureanu Gh., Coman A. (2022b) Chapter 9 - Seismic hazard and microzonation studies in deterministic approaches for Bucharest metropolitan area, in Ionescu C., Radulian M., Bala A. (Eds.) Bucharest - European capital city with the most vulnerable response to a strong earthquake, 218 pp, ISBN 978-606-537-601-4, ISBN ebook: 978-606-537-602-1, Cetatea de Scaun Editorial House. DOI: 10.5281/zenodo.7351192.
12. Clitheroe, G., Gudmundsson, O., & Kennett, B. L. N. (2000). The crustal thickness of Australia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B6), 13697-13713.
13. Coman, A., Manea, E. F., Cioflan, C. O. (2020). Interpreting the fundamental frequency of resonance for Transylvanian Basin. *Romanian Journal of Physics* 65, 809.
14. Coman, A., Manea, E. F., & Radulian, M. (2021). EFFECTS OF SOFT SOILS ON SEISMIC GROUND MOTION IN THE CENTRE AND WESTERN ROMANIA. *Romanian Journal of Physics*, 66, 810.
15. Coman, A. and Petrescu, L. (2023). Near-surface ambient-noise seismic tomography of Bucharest, Romania, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 23–28 Apr 2023, EGU23-14984, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-14984>.
16. Constantin, A. P., Pantea, A., & Stoica, R. (2011). Vrancea (Romania) subcrustal earthquakes: historical sources and macroseismic intensity assessment. *Romanian Journal of Physics*, 56(5-6), 813-826.
17. Constantin, A. P., Moldovan, I. A., Craiu, A., Radulian, M., Ionescu, C. (2016). Macroseismic intensity investigation of the November 2014, M= 5.7, Vrancea (Romania) crustal earthquake, *Annals of Geophysics*, 5.
18. Craiu, A., Craiu, M., Mihai, M., Manea, E. F., & Marmureanu, A. (2023). Vrancea intermediate-depth focal mechanism catalog: a useful instrument for local and

- regional stress field estimation. *Acta Geophysica*, 71(1), 29-52. [https://doi.org/10.1007/s11600-022-00906-49\(5\)](https://doi.org/10.1007/s11600-022-00906-49(5)), 0542.
19. D'Amico V, Picozzi M, Baliva F, Albarello D (2008). Ambient noise measurements for preliminary site-effects characterization in the urban area of Florence. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98:1373–1388. doi: 10.1785/0120070231.
 20. García-Jerez, A., Piña-Flores, J., Sánchez-Sesma, F. J., Luzón, F., & Perton, M. (2016). A computer code for forward calculation and inversion of the H/V spectral ratio under the diffuse field assumption. *Computers & geosciences*, 97, 67-78.
 21. Grecu, B., Raileanu, V., Bala, A., Tataru, D. (2011). Estimation of site effects in the eastern part of Romania of the basis of H/V ratios of S and coda waves generated by Vrancea intermediate-depth earthquakes. *Rom. J. Phys.*, 56, 563-577.
 22. Hassani, B., & Atkinson, G. M. (2016). Applicability of the site fundamental frequency as a VS 30 proxy for central and eastern North America. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106(2), 653-664.
 23. Hauser, F., Raileanu, 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 (1–4), 1–25.
 24. Heath, D. C., Wald, D. J., Worden, C. B., Thompson, E. M., & Smoczyk, G. M. (2020). A global hybrid VS 30 map with a topographic slope-based default and regional map insets. *Earthquake Spectra*, 36(3), 1570-1584.
 25. Helffrich, G., Wookey, J., & Bastow, I. (2013). *The seismic analysis code: A primer and user's guide*. Cambridge University Press.
 26. Hobiger, M., Cornou, C., Wathelet, M., Di Giulio, G., Knapmeyer-Endrun, B., Renalier, F., & Ohrnberger, M. (2013). Ground structure imaging by inversions of Rayleigh wave ellipticity: sensitivity analysis and application to European strong-motion sites. *Geophysical Journal International*, 192(1), 207-229.
 27. Kanai, K. and Tanaka T. (1961). On Microtremor VIII, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, Tokyo University, Vol.39, pp.97- 114.

28. Kassaras, I., Papadimitriou, P., Kapetanidis, V., & Voulgaris, N. (2017). Seismic site characterization at the western Cephalonia Island in the aftermath of the 2014 earthquake series. *International Journal of Geo-Engineering*, 8, 1-22.
29. Kästle E.D., R. Soomro, C. Weemstra, L. Boschi, and T. Meier (2016). Two-receiver measurements of phase velocity: cross-validation of ambient-noise and earthquake-based observations, *Geophys. J. Int.* 207(3):1493-512.
30. Lachet, C., Bard, P.-Y. (1994). Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique. *J. Phys. Earth*, 42, 377–397.
31. Lăcătușu, R., Popescu, M., Anastasiu, N., & Enciu, P. (2008). *GEO-ATLASUL municipiului București*, Edit. ESTFalia, București.
32. Lermo, J., Chavez-Garcia, F.J. (1993). Site effect evaluation using spectral ratios with only a station. *Bull. Seism.Soc.Am*, 83, 1574–1594.
33. Lermo, Javier, and Francisco J. Chávez-García (1994). "Are microtremors useful in site response evaluation?." *Bulletin of the seismological society of America* 84.5 : 1350-1364.
34. Lobkis, O. I., & Weaver, R. L. (2001). On the emergence of the Green's function in the correlations of a diffuse field. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 110(6), 3011-3017.
35. Manea, E. F., Michel, C., Poggi, V., Fäh, D., Radulian, M., & Balan, F. S. (2016). Improving the shear wave velocity structure beneath Bucharest (Romania) using ambient vibrations. *Geophysical Supplements to the Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 207(2), 848-861.
36. Manea, E. F., Michel, C., Hobiger, M., Fäh, D., Cioflan, C. O. , Radulian, M. (2017). Analysis of the seismic wavefield in the Moesian Platform (Bucharest area) for hazard assessment purposes. *Geophysical Journal International*, 210 (3), 1609-1622.
37. Manea, E. F., Predoiu, A., Cioflan, C. O., & Diaconescu, M. (2019). INTERPRETATION OF RESONANCE FUNDAMENTAL FREQUENCY FOR

- MOLDAVIAN AND SCYTHIAN PLATFORMS. *Romanian Reports in Physics*, 71, 709.
38. Manea, E. F., Cioflan, C. O., Coman, A., Michel, C., Poggi, V., Fäh, D. (2020). Estimating Geophysical Bedrock Depth Using Single Station Analysis and Geophysical Data in the Extra-Carpathian Area of Romania. *Pure and Applied Geophysics*, 1-16.
 39. Manea, E. F., Coman, A., & Cioflan, C. O. (2021). Evaluation of the predominant frequency of resonance of sedimentary layers using 2014 5.7 ML Vrancea crustal event records. *Romanian Reports in Physics*, 73(3).
 40. Martin, M., Ritter, J. R. R. and the CALIXTO Working Group (2005). High-resolution teleseismic body-wave tomography beneath SE Romania – I. Implications for three-dimensional versus one-dimensional crustal correction strategies with a new crustal velocity model. *Geophysical Journal International* 162, 448–460.
 41. Mascandola, C., Massa, M., Barani, S., Albarello, D., Lovati, S., Martelli, L., & Poggi, V. (2019). Mapping the Seismic Bedrock of the Po Plain (Italy) through Ambient-Vibration Monitoring. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 109(1), 164-177.
 42. Mărmureanu, G., Cioflan, C. O., & Marmureanu, A. (2008). New approach on seismic hazard isoseismal map for Romania. *Romanian Reports in Physics*, 60(4), 1123-1135.
 43. Mărmureanu, G., Cioflan, C. O., Marmureanu, A., Manea, E. F. (2016). Main Characteristics of November 10, 1940 Strong Vrancea Earthquake in Seismological and Physics of Earthquake Terms. In *The 1940 Vrancea Earthquake. Issues, Insights and Lessons Learnt* (pp. 73-83). Springer, Cham.
 44. Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Rep. Railway Tech. Res. Inst.*, 30(1):25– 33.
 45. Nogoshi, M. and Igarashi, T. (1971). On the amplitude characteristics of microtremors, Part 2 (In Japanese with English abstract). *J. Seism. Soc. Japan*, 24:26–40.

46. Ohmachi, T., Nakamura, Y., & Toshinawa, T. (1991, March). Ground motion characteristics in the San Francisco Bay area detected by microtremor measurements. In Proc. 2nd Internat. Conf. on Recent Advances in Geotechniques, Earthquake Engineering and Soil Dynamics. San Louis, Missouri (pp. 11-15).
47. Oncescu, M., Marza, V. I., Rizescu, M., Popa, M. (1999). The Romanian earthquake catalogue between 984–1997, Vrancea earthquakes: tectonics, hazard and risk mitigation. Springer, Dordrecht, pp. 43–4.
48. Oros, E., (2007). Macroseismic and instrumental seismicity of the Banat Region and its significance on the local seismic hazard and risk. Proc. and CD-Rom of the “Thirty Years from the Romania Earthquake of March 4, 1977” Symposium, 1–3 March 2007, Bucharest.
49. Oros, E. (2009). Site effects investigation in the city of Timisoara using spectral ratio methods. Romanian Reports in Physics 61(2), 347–358.
50. Ozcep, F., Karabulut, S., Korkmaz, B., & Zarif, H. (2010). Seismic microzonation studies in Sisli/Istanbul (Turkey). Sci. Res. Essay, 5(13), 1595-1614.
51. Paolucci, E., Albarello, D., D’Amico, S., Lunedei, E., Martelli, L., Mucciarelli, M., & Pileggi, D. (2015). A large-scale ambient vibration survey in the area damaged by May–June 2012 seismic sequence in Emilia Romagna, Italy. Bulletin of Earthquake Engineering, 13(11), 3187-3206.
52. Paraschiv, D. (1997). The pre-Paratethys buried denudational surface in Romanian territory. Revue Roumaine de Géographie, 41, 21-32.
53. Parolai, S., Picozzi, M., Richwalski, S. M., & Milkereit, C. (2005). Joint inversion of phase velocity dispersion and H/V ratio curves from seismic noise recordings using a genetic algorithm, considering higher modes. Geophysical Research Letters, 32(1).
54. Perrot, G., Cheng, B., Gibson, K. D., Vila, J., Palmer, K. A., Nayeem, A., ... & Scheraga, H. A. (1992). MSEED: A program for the rapid analytical determination of accessible surface areas and their derivatives. Journal of Computational Chemistry, 13(1), 1-11.

55. Perton, M., Spica, Z. J., Clayton, R. W., & Beroza, G. C. (2020). Shear wave structure of a transect of the Los Angeles basin from multimode surface waves and H/V spectral ratio analysis. *Geophysical Journal International*, 220(1), 415-427.
56. Poggi, V., Fäh, D., Burjanek, J., & Giardini, D. (2012). The use of Rayleigh-wave ellipticity for site-specific hazard assessment and microzonation: application to the city of Lucerne, Switzerland. *Geophysical Journal International*, 188(3), 1154-1172.
57. Radulian, M., Vaccari, F., Mandrescu, N., Panza, G.F. & Moldoveanu, C.L. (2000). Seismic hazard of Romania: deterministic approach, *Pure and Applied Geophysics*, 157, 221–247.
58. Rawlinson, N. (2005). FMST: fast marching surface tomography package–Instructions. Research School of Earth Sciences, Australian National University, Canberra, 29, 47.
59. Răbăgia Annamaria (2009). Studii de stratigrafie secvențială a părții de nord a Bazinului Panonic pentru stabilirea evoluției tectonostratigrafice. RTD(pdf), 20 p., Univ. București.
60. Răileanu V., Bălă 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.
61. Răileanu, V., Bala, A., Grecu, B. (2007). Local seismic effects in sites located in the south and central part of Transylvania based on spectral ratios. *Romanian Reports in Physics*, 59 (1), 165.
62. Ren, Y., Grecu, B., Stuart, G., Houseman, G., Hegedüs, E., & South Carpathian Project Working Group. (2013). Crustal structure of the Carpathian–Pannonian region from ambient noise tomography. *Geophysical Journal International*, 195(2), 1351-1369.
63. Ritter, J. R., Balan, S. F., Bonjer, K. P., Diehl, T., Forbriger, T., Mărmureanu, G., ... & Wirth, W. (2005). Broadband urban seismology in the Bucharest metropolitan area. *Seismological Research Letters*, 76(5), 574-580.

64. Sambridge, M. (1999). Geophysical inversion with a neighbourhood algorithm—II. Appraising the ensemble. *Geophysical Journal International*, 138(3), 727-746.
65. Sambridge, M., & Mosegaard, K. (2002). Monte Carlo methods in geophysical inverse problems. *Reviews of Geophysics*, 40(3), 3-1.
66. Sambridge, M., Gallagher, K. (2011). Inverse Theory, Monte Carlo Method. In: Gupta, H.K. (eds) *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8702-7_192.
67. Shapiro, N. M., Campillo, M., Stehly, L., & Ritzwoller, M. H. (2005). High-resolution surface-wave tomography from ambient seismic noise. *Science*, 307(5715), 1615-1618. DOI: 10.1126/science.1108339
68. Tărăpoancă, M., Garcia-Castellanos, D., Bertotti, G., Matenco, L., Cloetingh, S. A. P. L. & Dinu, C. (2004). Role of the 3-D distributions of load and lithospheric strength in orogenic arcs: polystage subsidence in the Carpathians foredeep, *Earth and Planetary Science Letters*, 221 (1-4), 163-180.
69. Thompson, E. M., & Wald, D. J. (2012, September). Developing VS30 site-condition maps by combining observations with geologic and topographic constraints. In 15th world conference on earthquake engineering, Lisbon, Portugal (Vol. 2428).
70. Tiliță, M., Matenco, L., Dinu, C., Ionescu, L., Cloetingh, S. (2013). Understanding the kinematic evolution and genesis of a back-arc continental “sag” basin: The Neogene evolution of the Transylvanian Basin. *Tectonophysics*, 602, 237-258.
71. Tulucan D. A. (1999). Studiul geologic complex al sectorului românesc al Depresiunii Pannonice cu privire specială asupra capcanelor de hidrocarburi. Univ. București.
72. Wathelet, M., Jongmans, D., & Ohrnberger, M. (2004). Surface-wave inversion using a direct search algorithm and its application to ambient vibration measurements. *Near surface geophysics*, 2(4), 211-221.

73. Wathelet, M., Jongmans, D., & Ohrnberger, M. (2005). Direct inversion of spatial autocorrelation curves with the neighborhood algorithm. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95(5), 1787-1800.
74. Wathelet, M., Jongmans, D., Ohrnberger, M., & Bonnefoy-Claudet, S. (2008). Array performances for ambient vibrations on a shallow structure and consequences over V_s inversion. *Journal of Seismology*, 12, 1-19.
75. www.arcgis.com (data ultimei accesări: 15 iulie 2023).
76. <http://bigsees.infp.ro/Results.html> (data ultimei accesări: 1 august 2023).
77. <http://www.infp.ro/romplus> (data ultimei accesări: 15 iulie 2023).
78. <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/> (data ultimei accesări: septembrie 2022)
79. <https://dataportal.infp.ro/> (data ultimei accesări: 3 septembrie 2023).
80. <https://ph.infp.ro/seismicity/data> (data ultimei accesări: 3 septembrie 2023).
81. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/natural-neighbor.htm> (data ultimei accesări: 15 iulie 2023).
82. <https://program-nucleu.infp.ro/pdfcrypt/viewpdf.php?file=pbqYANrVHxZ5h3lvEa%2Fgbxk6HabLXFN9%2BSYey0VH2RdnuLWJkd8y3OXn6dgKrcLd> (data ultimei accesări: 5 martie 2023).
83. <https://worldpopulationreview.com/world-cities/bucharest-population> (data ultimei accesări: 12 august 2023).