



**UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA DE GEOLOGIE ȘI GEOFIZICĂ
ȘCOALA DOCTORALĂ DE GEOLOGIE**

**Analiza complexă a structurii Săcel, jud. Maramureș,
România, prin utilizarea integrată a metodelor
geofizice de investigare**

Rezumat



**Conducator,
Prof. Dr. Ing. Victor Mocanu**

**Doctorand
Ing. Gehrige Schultz**



Acest studiu demonstrează aplicabilitatea metodelor geofizice multiple pentru descifrarea structurii geologice și a potențialului pentru hidrocarburi într-un zăcământ aflat în stadiul matur de evoluție.

Structura Săcel este un zăcământ de hidrocarburi din județul Maramureș, România. Acest zăcământ a fost inițial descoperit la sfârșitul anilor 1800 pe baza curgerilor de țiței din formațiunea de Borșa, iar ulterior s-a ajuns ca, din foraje, să producă din formațiunile de vârstă Oligocenă. Nu au existat lucrări geofizice de explorare până când compania Petrom nu a trecut la achiziția de date seismice 2D în această zonă. Scopul acestor lucrări de prospecțiuni seismice era de a descifra/identifica structurile regionale mai adânci. Zăcământul Săcel nu apărea clar în imaginile rezultate din prospecțiuni din cauza zgomotului și a aliasingului.

Zăcământul Săcel nu era bine interpretat, unele foraje intersectând contactul cu fundamentul cristalin la adâncimi mult mai mici decât cele anticipate în sudul zăcământului, între faliile Săliște-Săcel și Dragoș Vodă. Adâncimea mai redusă a fundamentului cristalin din apropierea faliei Dragoș Vodă a determinat factorii de decizie, din acel moment, să considere că zona nu era de perspectivă pentru hidrocarburi.

Informațiile provenite din prospecțiuni seismice, metodele electrice de rezistivitate, gravimetrice, magnetotelurile și geomagnetice au fost integrate cu cele provenite din geochimie, cartarea geologică de suprafață și din investigarea geofizică a sondelor pentru a putea obține un model structural geologic bine calibrat. Rezultatele obținute demonstrează că integrarea determinărilor independente ale proprietăților fizice rezultate din metode electrice de rezistivitate, gravimetrie și geomagnetice cu cele rezultate din geochimie și cercetarea geologică de suprafață este eficientă pentru înțelegerea și calibrarea înțelegerii geologice și îmbunătățirea imaginii seismice.

Datele ne-seismice au fost transformate în modele de adâncime mică prin combinarea diverselor seturi de date într-un model integrat. Aceste modele au fost folosite pentru conturarea de condiții restrictive la prelucrarea datelor seismice pentru alegerea vitezelor, rezoluția statistică și migrare.



Personal apreciez că este pentru prima oară când se documentează o asemenea abordare de succes pentru calibrarea și îmbunătățirea interpretării geologice pentru cazul unui zăcământ petrolifer matur. Alți specialiști (Strack, 2020) (Mitsuhata, 1997) au utilizat un singur tip de metodă ne-seismică pentru îmbunătățirea imagisticii seismice în câmpuri productive, dar am reușit identificarea vreunui studiu care să descrie o abordare complexă.

În anul 2019, un grup de autori de la Tullow Oil au documentat o strategie de explorare similară în zone complicate așa cum a fost abordat zăcământul Săcel încă din anii 2012 – 2013.

Grandientometria aerogravimetrică asociată cu gravimetria și magnetometria de tip clasic suprapuse cercetării geologice adaugă o plusvaloare semnificativă procesului de evaluare. În consecință, această combinație poate fi de un mare ajutor pentru optimizarea proiectării programului de prospecțiune seismică ce este mult mai scump și cu durată mult mai mare. (Martini, 2019)¹ Compania a trecut la adoptarea de rutină a integrării acestor tehnici complexe în concesiunile noastre de explorare din zone dificile pentru a contribui la cartarea și delimitarea structurilor din bazinele de sedimentare. Această abordare ar permite concentrarea finanțării și a pachetului consistent de explorare pe metode deosebit de eficiente cum este seismica de reflexie. (Martini 2019)¹.

În acest fel noi am utilizat metodele geofizice potențiale pentru amplasarea optimă a programului seismic în activitatea de explorare în riftul continental din Africa de Est. Prospecțiunea aero permite recunoașterea rapidă a unor suprafețe semnificative și de aceea este ideală pentru procesul inițial de evaluare. Informații suplimentare au fost obținute din seismica pasivă ce poate fi utilă procesului de cartare geologică a bazinului de sedimentare și care este acum integrate complet în pachetul de explorare. Au fost testate și alte tehnici passive, cum este metoda magnetotelurică (MT). Aceasta permite atât păstrarea unui nivel redus de costuri în perioada inițială de explorare, dar și reducerea considerabilă a impactului asupra mediului (Martini, 2019).¹

Datele ne-seismice au fost utilizate în studiul zăcământului Săcel pentru:



- 1) Dezvoltarea unei analogii geologice pentru depozitele de breccii erodate din fundamentul erodat la sud de falia Dragoș - Vodă și depuse în bazin la nord de aceasta, explicând adâncimea anomală a bazinului rezultată din rapoarte de foraj și aspectul franjurat al imaginilor seismice și magnetotelurice.
- 2) Confirmă acest model geologic analog prin informații complementare asupra cartării geologice de teren și măsurători seismice și magnetotelurice. Principiile complementarității și necontradicției au fost utilizate pentru integrarea surselor de informații magnetotelurice, seismice și de cartare geologică de suprafață, deja validate (Mantovini, 2016).¹
- 3) Îmbunătățirea geologică și spațială a imaginii seismice prin utilizarea metodelor magnetometrice, magnetotelurice și de cartare geologică de suprafață pentru a genera un model utilizat la ghidarea analizei seismice de viteze și a prelucrării datelor seismice, și
- 4) Demonstrarea ideii că prelucrarea datelor seismice fără utilizarea de Modele Multifizice generează imagini seismice eronate.

Utilizarea secțiunilor de seismice de cea mai bună calitate ca bază și comparând cu reprelucrarea utilizând Metode Multifizice a arătat o evidentă îmbunătățire a ambelor imagini și o congruență cu modelele geologice. Acest fapt demonstrează că integrarea Metodelor Multifizice cu fluxul seismic reprezintă o metodă utilă în zone geologice cu structură complexă de tip strike-slip.

1. Impact personal

Personal am dezvoltat conceptul de utilizare a Metodelor Multifizice pentru a condiționa și calibra prelucrarea și interpretarea datelor seismice într-un zăcământ petrolifer matur. Am stabilit parametrii obiectivelor proiectării pentru fiecare investigație geologică, geochimică și geofizică. Am integrat datele folosite la testarea prelucrării independente ce a demonstrate congruența rezultatelor implicand două echipe independente care au utilizat Metodele Multifizice pentru condiționarea și calibrarea prelucrării datelor seismice. Rezultate complet diferite s-au obținut de către o a treia echipă ce nu a utilizat abordarea integrată.



Rezultatele originale ale acestui efort au subliniat că în Bazinul Săcel prospecțiunea seismică nu este o soluție unicat care poate fi ghidată și calibrată prin utilizarea metodelor ne-seismice. S-a demonstrat astfel că integrarea complexă a metodelor geofizice de prospecțiune propusă de către Martini et al. (2019) se poate aplica cu succes câmpurilor petroliere mature pentru care s-a crescut producția de hidrocarburi în structuri geologice complexe.

Cele mai importante rezultate originale ale acestui studiu sunt:

- Datele gravimetrice și magnetice au arătat că adâncimea redusă a fundamentului, așa cum rezultă din rapoartele de geofizică de sondă nu este reală,
- Cartarea geologică de teren confirmă analogia cu "Breccia de Violin" ce conține fragmente de fundament de dimensiuni mari,
- Breccile depozitate la distanță de Falia Dragoș-Vodă au putut fi evidențiate doar prin suprapunerea inversiunii magnetotelurice cu secțiunile seismice,
- Utilizarea Metodelor Multifice a permis utilizarea înclinărilor, a morfologiei fundamentului, a planelor de falie și a vitezelor de propagare rezultate din procesul de inversiune a datelor gravimetrice la prelucrarea datelor seismice poate duce la generarea unui model geofizic unificat și consistent, și
- Modelul rezultat din integrarea metodelor geofizice se poate aplica cu succes pentru mai buna înțelegere a câmpurilor petroliere mature sau poziție marginală.

Integrarea metodelor seismice și magnetotelurile pentru identificarea și interpretarea depozitelor breccioase debritice de-a lungul Faliei Dragoș-Vodă reprezintă un rezultat original ce a dus la schimbarea interpretării fundamentului cristalin din zona zăcământului Săcel. Reflexiile sugerează prezența depozitelor debritice pe secțiunile seismice ce pot fi lesne interpretate ca zgomot seismic, așa cum este cazul reflexiilor din exteriorul planului dacă interpretarea s-ar baza pe o singură metodă. Interpretarea integrată a datelor seismice și magnetotelurice demonstrează clar că poziția coincidentă a aspectelor contrastante ale rezistivității și respectiv reflexiilor seismice are cauze geologice și sunt generate de zgomot de fond.



Strategia prelucrării datelor seismice

Metodologia integrării prospecțiunilor geofizice propusă de către Martini et al. (2019) poate fi aplicată cu succes în medii geologice complexe în care, datorită ambiguității sau a dificultății interpretării analizei de viteze, seismica 2D și 3D este dificil de prelucrat. Dacă nu se folosesc metode geofizice complexe și complementare pentru stabilirea cu precizie a adâncimii fundamentului cristalin și pentru stabilirea controlului structural pentru localizarea faliilor și determinării înclinării acestora, seismica poate genera interpretări cum este cazul pânzei de șariaj subțire.

Deoarece determinarea vitezelor este caracterizată de ambiguitate de interpretare, combinarea și calibrarea rezultatelor metodelor geofizice independente diminuează erorile ce pot apărea în cazul identificării compartimentelor neinvestigate prin foraje sau în cazul obiectivelor geologice imature.

Metodele care contribuie la îmbunătățirea imaginilor seismice sunt:

- Metodele magnetotelurice, magnetometrice și gravimetrice pentru delimitarea mai exactă a limitelor geologice și definirea adâncimii și morfologiei fundamentului cristalin,
- Metodele magnetotelurice și cartarea geologică de teren pentru determinarea locațiilor faliilor și stabilirea înclinărilor,
- Metoda rezistivităților pentru generarea de hărți cu anomalii generate de surse superficiale care să ajute la calculul corecțiilor statice și să permit asocierea geologiei de adâncime mică cu sursele geofizice de adâncime, și
- Utilizarea distribuțiilor de viteze rezultate din integrarea densității obținute din date gravimetrice și eșantioane de teren (determinări indirecte și directe).

De aceea rezultatele prelucrării datelor seismice se pot îmbunătăți în mod semnificativ prin integrarea adâncimii corecte a fundamentului cristalin în modelul gravimetric al fundamentului, controlul localizării faliilor și a înclinărilor prin folosirea metodelor magnetotelurice și folosirea unui câmp de viteze bazat pe date gravimetrice și geologice.



Rezultate originale suplimentare

În plus față de rezultatele originale asociate obiectivelor generale ale studiului, există câteva rezultate originale punctuale:

1) Metodologia cantitativă pentru ierarhizarea și evaluarea surselor prin testarea rezultatelor

Testele de analiză a parametrilor rămân subiective chiar când se apelează la instrumente analitice cantitative. Ca parte a prezentei lucrări am analizat sursa de tip exploziv testând setul de date prin folosirea valorilor cantitative rezultate din analiza spectrală a setului complet de shot-uri înregistrate. Ierarhizarea a fost efectuată exclusiv pe baza calității rezultatelor. Metoda de ierarhizare se poate rafina în continuare prin analiza spectrală efectuată pe intervale centrate a zonei de interes, în plus față de analiza spectrală a înregistrării complete a shot-urilor.

Importanța metodologiei este dată de eliminarea subiectivismului în favoarea calității sursei pentru determinarea parametrilor achiziției seismice utilizând explozivi. Mulți autori au analizat detaliat relația causală dintre sursele cu masă mare și:

- conținutul redus de frecvențe,
- zgomotul generat de sursă,
- reclamațiile comunităților locale, și
- cererile de despăgubiri.

2) Folosirea rezistivităților MT statice

Datele de rezistivitate au fost achiziționate în primul rând pentru a fi utilizate la calcularea corecțiilor statice necesare prelucrării datelor MT. Rezistivitățile formațiunilor superficiale determinate pentru câmpul de producție Borșa în anii 1880 până în anii 1920 au indicat anomalii intense care nu se corelează cu valorile determinate în sondele tubate sau la suprafață. De aceea s-a ajuns la utilizarea rezistivităților deduse din corecțiile statice ale MT pentru analiza hidrocarburilor de adâncime mică în raport cu apele freatice. Apoi s-a trecut la executarea unui program



special dedicate cercetării rezistivităților. Analizarea ulterioară și integrarea datelor de rezistivitate au dus la o bună corelare între amplitudinea seismică și rezistivitate pe de o parte, și depozitele de hidrocarburi de adâncime mică pe de altă parte.

2. Obiective personale

Interesul și ideile pentru această teză au apărut din activitatea mea de proiectare și parametrizare tehnică a obiectivelor pentru o serie de proiecte studențești de achiziție a datelor seismice în cadrul Academiei de Dezvoltare Profesională Prospeccțiuni, care a implicat Universitatea din București, Universitatea Petrol-Gaze Ploiești și tineri specialiști de la diverse companii, în perioada 2012 - 2014 care a dus la generarea de date pentru zăcămintul Săcel din Jud. Maramureș, România.

În același timp am dorit mă perfecționez și să devin expert în utilizarea Metodelor Multifizice după o carieră profesională de peste 30 de ani în care am fost implicat în toate aspectele modelării datelor seismice, a proiectării parametrilor, achiziției, prelucrării și interpretării. Am devenit din ce în ce mai conștient că datele seismice se pot calibra și constrânge prin încorporarea de date neseismice ce pot reduce riscul rezidual de explorare.

Scopurile mele de învățare și cercetare cu aspect aplicativ din cadrul acestui studiu au fost:

- Organizarea, sistematizarea datelor și bibliografiei existente,
- Înțelegerea geologică în context regional,
- Înțelegerea limitărilor și avantajelor metodelor geologice, geochimice și geofizice complexe utilizate,
- Identificarea zonelor necunoscute, slab definite sau cunoscute ce pot fi abordate prin prisma diferitelor concepte geologice, și
- Utilizarea combinată a metodelor multifizice geologice și geofizice sau a măsurătorilor geochimice pentru rezolvarea ambiguității unui set de date ambiguu.



3. Seturi de date geofizice confuze și contradicții geologice

Fascinația mea personală referitoare la zăcământul Săcel a pornit de la faptul că datele păreau a nu avea sens. Reinterpretarea setului de date de la Săcel ne-a dus la concluzii contradictorii. Înțelegerea zăcământului Săcel a devenit din ce în ce mai eronată pentru noi odată cu achiziționarea de noi seturi de date.

Regula acceptată în general pentru zăcământul Săcel a fost că producția de hidrocarburi a fost limitată la zona de la nord de Falia Săliște – Săcel, iar la sud de această fractură zona este neproductivă. Argumentele pe care se sprijinea această interpretare se rezumau la faptul că fundamentul cristalin aflat la adâncime mică a fost intersectat în câteva foraje, iar în nici o astfel de sondă amplasată la sud de Falia Săliște - Săcel nu au fost indicații de hidrocarburi. Intersecția cu fundamentul cristalin din sondele SRP 12, 10, 14, 18 și 1 venea în contradicție cu liniile seismice 2D achiziționate recent de către compania Petrom, dar acestui conflict de interpretare nu i s-a acordat atenție (și) din cauza calității medii a profilelor seismice.

Următorul indiciu pentru considerarea incorectă a interpretării actuale a venit dinspre achiziția datelor geochimice care au sugerat anomalii de hidrocarburi de extindere mai mare la sud de Falia Săliște - Săcel decât la nord, în câmpul petrolier Săcel. Sugestia mea a fost pentru achiziția de date geochimice la sud de falie, pentru verificarea 'potențialului zero' de hidrocarburi necesare calibrării datelor din zona acestui zăcământ. Nu am avut nici o așteptare că rezultatele vor duce la vreo interpretare care să modifice înțelegerea noastră asupra acestui zăcământ.

Prospecțiunea ulterioară geochimică și geofizică a pornit de la încercarea de înțelegere a anomaliilor geochimice care nu ar fi trebuit să existe! Încet - încet a început să se contureze ideea tehnică a prezenței hidrocarburilor într-o zonă care 'era cunoscută' ca fără indicații de hidrocarburi și pentru aceasta a început o muncă de investigație atentă a vechilor informații disponibile. Această activitate a fost suplimentată cu informațiile rezultate din abordarea Multifizică (complex) pentru calibrarea și limitarea modelelor geologice.



Problema geologică inițială a fost de a contura rezervele de hidrocarburi ale zăcămintului Săcel la nord de complexul de falie Săliște - Săcel. Devenea din ce în ce mai clar că marea majoritate a elementelor geologice importante nu erau clar definite sau limitate, observație bazată pe rezultatele confuze obținute de către echipe multidisciplinare de interpretare pentru datele pre-existente (înregistrări geofizice de sondă, istoria producției și hărți geologice de suprafață).

Pentru început am avut la dispoziție un număr limitat de înregistrări geofizice de sondă, două linii seismice și hărți geologice de suprafață. Setul de date nu putea explica observațiile de teren, iar informațiile erau contradictorii.

Rapoartele de foraj și înregistrările geofizice de sondă mai vechi sugerau o poziție aproape de suprafață a fundamentului cristalin interceptat în câteva sonde dintre falii Dragoș Vodă și Săliște - Săcel. Explicația la care specialiștii din trecut au ajuns inițial era structural, considerându-se o poziție ridicată a fundamentului datorită acestor două falii complexe. Acest model implică o poziție a fundamentului la sud cu cca. 3000 m mai ridicată decât la nord, în blocul crustal adiacent.

Calitatea datelor seismice pentru cele două linii nu era adecvată pentru a găsi un răspuns la neconcordanțele structurale și stratigrafice. Secțiunea seismică din figurile 1 și 2 nu prezintă o continuitate structurală, în schimb sugerează ambiguitate datorită diferitelor tipuri de zgomote. Semnalul a fost serios afectat de fenomenul de aliasing în cazul zonelor de interes datorită efectelor generate atât de migrare cât și parametrii de achiziție, așa cum reiese din figura 2.

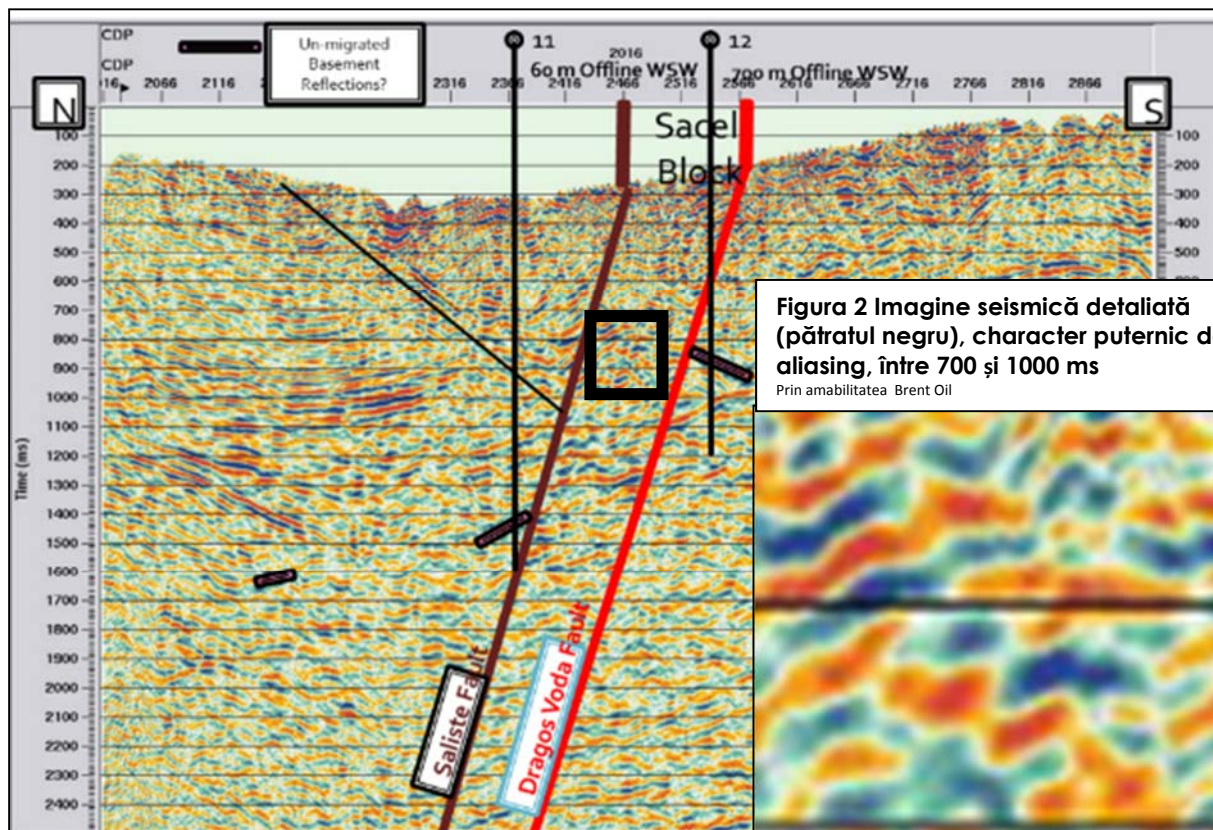
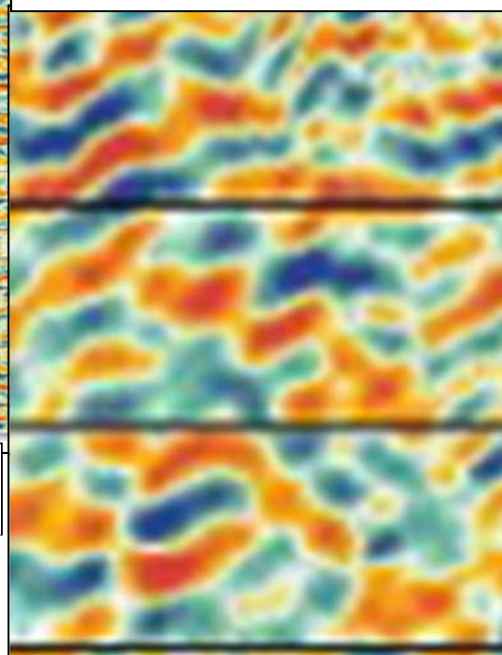


Figura 1 Interpretare schematic și georeferențierea liniei S1 înregistrată de către Petrom în anul 2008 în Blocul Săcel
Prin amabilitatea Brent Oil

Figura 2 Imagine seismică detaliată (pătratul negru), caracter puternic de aliasing, între 700 și 1000 ms
Prin amabilitatea Brent Oil



4. Contextul Geologic al Zăcământului Săcel

Zăcământul Săcel a fost de la început neobișnuit, deoarece diversele categorii de seturi de date erau contradictorii și confuze. Era nevoie de o ridicare de 3000 - 4000 m sau de o încălecăre de tip șariaj pe distanță foarte mare și cu includerea de terenuri alohtone de fundament pentru explicarea rezultatelor obținute din investigarea geofizică a sondelor care sugerează prezența rocilor metamorfice la același nivel ca sondele din vecinătate care au interceptat sedimente de vârstă Oligocenă.

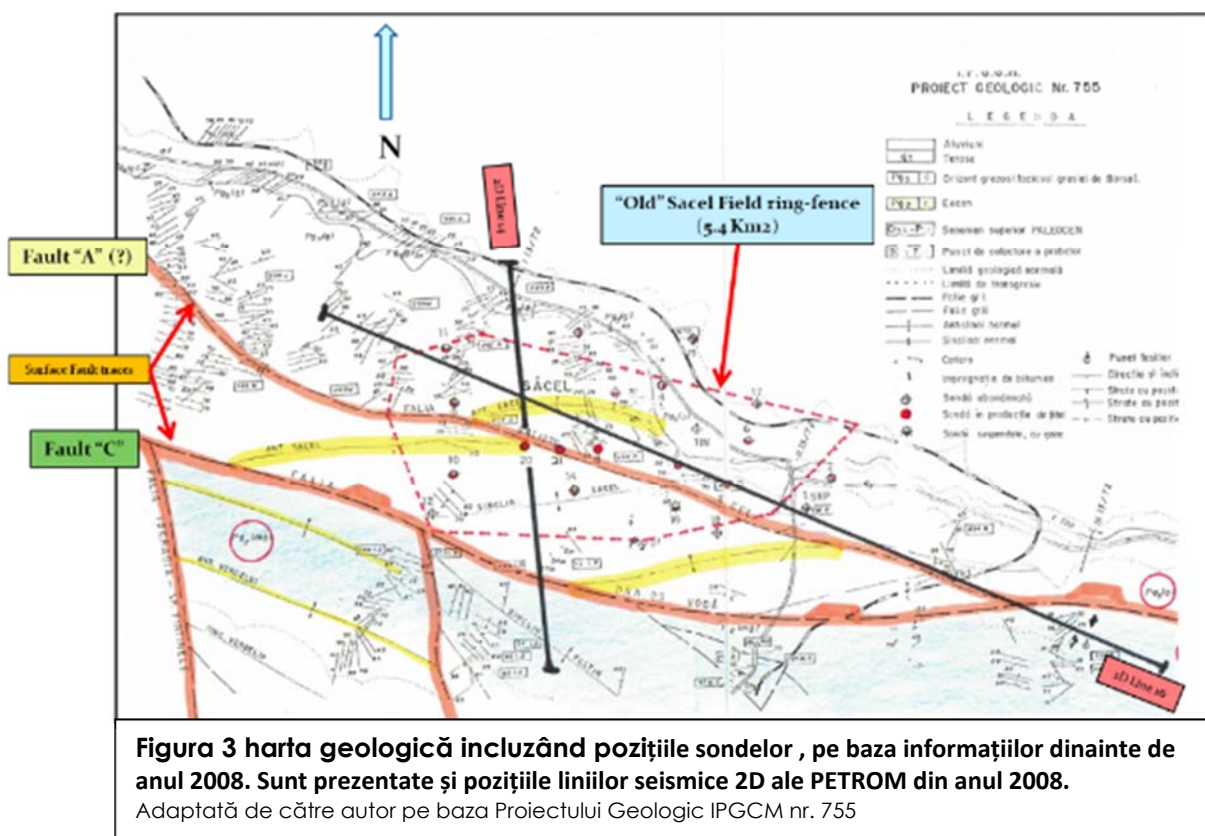
Seturile de date pentru zăcământul Săcel este incoerent și a fost afectat de interpretarea eronată a brecciilor metamorfice ca fiind fundament cristalin în câteva din forajele amplasate la nord de Faliua Dragoș Vodă și prin rezultatele greșite ale testelor de sondă care au prezentat două sonde ca neavând indicații de hidrocarburi atunci



când ambele au produs cantități mari de gaze în mod necontrolat înainte de a intra pe modul controlat de extracție.

Calitatea modestă a datelor seismice și direcția oblică în raport cu Falia Dragoș Vodă a liniei seismice 2D înregistrată în anul 2008 au generat un avans modest al înțelegerii structurii Săcel, mai ales din punctul de vedere al adâncimii la care se regăsește fundamentul cristalin.

Această situație a făcut practice inutilizabile rezultatele geofizicii de sondă. În acest fel s-a conturat ideea că zona de la sud de Falia Săliște-Săcel nu conține hidrocarburi. Valorile neașteptat de mari ale anomaliilor de cap de gaze au provocat semne de întrebare asupra absenței hidrocarburilor la sud de Falia Săliște – Săcel, iar rezultatele explorării geochimice au suscitât interesul pentru cercetarea ulterioară care a dus la prezenta teză de doctorat.



Harta din figura 3 prezintă imaginea hărții geologice clasice, cu perimetrul original de producție de 5,34 km² în jurul celor 35 de sonde săpate între anii 1880 și anul 2014. Pe această imagine sunt amplasate și liniile seismice 2D (ce traversează zăcămintul Săcel) din cadrul Bazinului Maramureș-Petrom 2008.



Este important să subliniem faptul că forajul în perimetrul Săcel a fost executat în perioada pre-teoria tectonicii plăcilor și că, în consecință, istoricul tectonic și depozițional nu a fost evaluat corect și nici complet. Conceptele anterioare revoluției din geostiințe au determinat interpretarea geologică a datelor așa cum era posibil în perioada campaniilor de foraj din anii 1950.

Paraschiva (Paraschiva, 1979) a subliniat că Oligocenul II și Valea Carelor sunt formațiuni productive în zona Săcel. Dintre elementele tectonice cel mai important pare a fi Falia Dragoș Vodă ce afectează și Anticlinalul Săcel. La sud de Falia Dragoș Vodă există o serie de falii de șariaj în timp ce la nord de această fractură crește importanța cutărilor (Paraschiva, 1979).¹

5. Optimizarea fluxului de colectare a datelor

Fluxul de achiziție a datelor urmat în cadrul prezentului proiect nu a fost nicidecum optim. Principalele probleme cu acest flux au fost reprezentate de încercarea de armonizare a informațiilor provenite din investigarea geofizică a sondelor astfel încât să ne putem concentra pe încercarea de a explica de ce noile măsurători nu puteau sprijini interpretările istorice. Principalele probleme erau de a alege între:

- Presupunerea că interpretările istorice erau corecte, și
- Evaluarea măsurătorilor geofizice efectuate în sonde în raport cu determinările geofizice efectuate la suprafață.

De aceea cercetarea fundamentală a fost efectuată doar când contradicțiile între seturile de date erau profunde. Studiile inițiale, efectuate independent pentru analiza informațiilor geofizice din sonde, cele de geologie regional și gravimetria regional ar fi putut fi mai bine folosite independent la conturarea strategiei de achiziție de date noi.

Inițial proiectul nu a fost gândit ca o analiză geofizică detaliată (pornind de la general la particular) a geologiei dintre faliile Dragoș Vodă și Săliște-Săcel, ci mai degrabă ca o serie de exerciții geofizice de teren pentru tinerii geofizicieni cu mai puțină experiență profesională.

Fluxul de lucru optim pentru colectarea datelor ar fi trebuit să fie:



Studii de birou	Rapoarte de sondă și analiza datelor
	Cercetare geologică regională
	Analiza datelor gravimetrice și magnetometrice regionale
Achiziția datelor	Cartare geofizică și geologică
	Metoda magnetotelurică
	Prospecțiune seismică

Achiziția datelor gravimetrice și magnetometrice de detaliu ar fi putut fi omisă datorită faptului că setul de date regionale s-au dovedit a fi adecvate pentru a concluziona că fundamentul este mult mai adânc decât era menționat în rapoartele de sondă.

Rezistivitatea a reprezentat un experiment tangential, dar interesant și a contribuit la înțelegerea formațiunii de Borșa, aflată la adâncime mica, dar nu a contribuit la descifrarea structurii bazinului.

Geochimia de suprafață de rezoluție redusă a oferit rezultate surprinzătoare în arealul acestui zăcământ, permițând ridicarea de semene de întrebare asupra interpretării geologice inițiale, dar nu a contribuit la rezolvarea structurii bazinului de sedimentare. Testarea geochimică a capului de gaze ar fi putut fi mai eficientă dacă ar fi fost combinată cu cartarea geologică pentru a crește gradul de acoperire al ambelor metode și a direcționa optim locațiile de probare.

Cartarea geologică de suprafață a contribuit mult la înțelegerea structurii bazinului de sedimentare și a oferit o surprinzător de mare cantitate de informații despre sonde. Infiltrații și aflorimente, în particular pentru identificarea brechiei bazale de Valea Cărelor.

6. Rezultate semnificative

6.1 Geochimia gazelor din sol

Geochimia gazelor din sol s-a dovedit a reprezenta o tehnică efectivă pentru studiul Zăcământului Săcel. Rezultatele obținute au reprezentat o provocare pentru



interpretarea datelor de teren anterioare care sugerau că blocul cuprins între faliile Săliște-Săcel și Dragoș Vodă nu conține hidrocarburi.

Cele mai mari anomalii geochimice sunt:

1. La sud de Falia Săliște - Săcel,
2. În afara câmpului de producție, și
3. Cele mai multe anomalii au fost identificate la est de zona productivă.

Foarte interesant este că cele mai semnificative anomalii prin amplitudinea lor se află în apropierea sondelor considerate neproductive.

Această situație anormală a determinat reevaluarea interpretării inițiale a structurii geologice a Zăcământului Săcel și promovarea ideii de necesitate a achiziției de noi date. Studiul geochimic a identificat anomalii geochimice mult deasupra nivelelor de bază și o scurgere de țiței deasupra unui anticlinal de suprafață.

Aceste rezultate geochimice au reprezentat adevărate provocări pentru noi și pentru modul în care au fost interpretate rapoartele de sondă care menționau că sondele de la sud de Falia Săliște - Săcel nu au indicații de hidrocarburi.

6.2 Cartare geologică de teren

Cartarea de teren a fost utilă pentru înțelegerea mai aprofundată a stratigrafiei locale și pentru modificarea imaginilor geologice. Detaliile geologice pe care le sugerăm sunt:

- Identificarea brecciei cristaline de la baza formațiunii de Valea Carelor,
- Clarificarea diferențelor în raport cu hărțile istorice,
- Modificarea poziției faliilor și recartarea Faliei Botoaia-Moisei,
- Adăugarea ivirilor de petrol și gaze, și
- Confirmarea locației sondelor și descoperirea/adăugarea unei sonde care nu a fost documentată până în prezent.



6.3. Geomagnetism

Gravimetria regională satelitară și aeromagnetismul au confirmat poziția coborâtă a bazinului la nord de Falia Dragoș Vodă și au fost folosite pentru condiționarea prelucrării și interpretării datelor seismice. Achiziția de date detaliate, gravimetrice și magnetometrice nu au fost necesare pentru confirmarea faptului că fundamentul nu se află la adâncimi de 3000-4000 m la nord de Falia Dragoș Vodă.

Datele geomagnetice au fost utile pentru:

- Argumentarea ideii că adâncimea fundamentului în zona cuprinsă între faliile Dragoș Vodă și Săliște-Săcel este mai mare decât cea menționată în înregistrările de la sonde ce au indicat o poziție mult mai apropiată de suprafață, așa cum reiese din diagramele geofizice,
- Confirmarea poziției la suprafață a Faliei Dragoș Vodă așa cum reiese din cartarea geologică de suprafață,
- Consolidarea ideii că nu există blocuri ridicate (horsturi) între faliile Dragoș Vodă și Săliște-Săcel.

Întrebarea dacă anomaliile magnetice sunt suprapuse pozițiilor sondelor în care se menționează o adâncime redusă a fundamentului cristalin la nord de Falia Dragoș Vodă și dacă aceste anomalii au ca sursă breziile cu elemente ce ajung în bazin dinspre Falia Dragoș Vodă este dincolo de scopul acestei teze. Modelarea magnetică poate testa ipoteza că seturile de date coincidente indică prezența breziilor în care sunt incluse suficiente fragmente de fundament pentru a justifica apariția unei anomalii geomagnetice. Această abordare este asemănătoare cu modelarea prezenței vulcanitelor într-o succesiune sedimentară. Vor fi necesare cercetări suplimentare pentru a vedea dacă modelarea datelor geomagnetice poate fi utilizată pentru conturarea lobilor ce conțin fragmente de fundament.



6.4. Metoda magnetotelurică

Măsurătorile magnetotelurice au adus cea mai consistentă contribuție pentru interpretarea modernă a noilor informații obținute dar și pentru impunerea de condiții restrictive necesare bunei prelucrări și interpretării a datelor seismice. Metoda magnetotelurică a fost utilă astfel:

- Structura bazinului este clară pe datele magnetotelurice,
- Conturarea formei de lob a acumulărilor de brechie, și
- Condiționarea interpretării datelor seismice.

Cea mai semnificativă contribuție a investigațiilor magnetotelurice a fost reprezentată de identificarea analogiei cu Brechia de Violin atunci când inversiunea datelor magnetotelurice s-a putut suprapune liniilor seismice.

Informațiile magnetotelurice au contribuit și la explicarea poziției anormale a fundamentului cristalin în sondele din apropierea Faliei Dragoș Vodă.

Investigațiile magnetotelurice au permis atingerea unora dintre obiectivele cercetării, și anume confirmarea și conturarea limitelor următoarelor elemente structural majore:

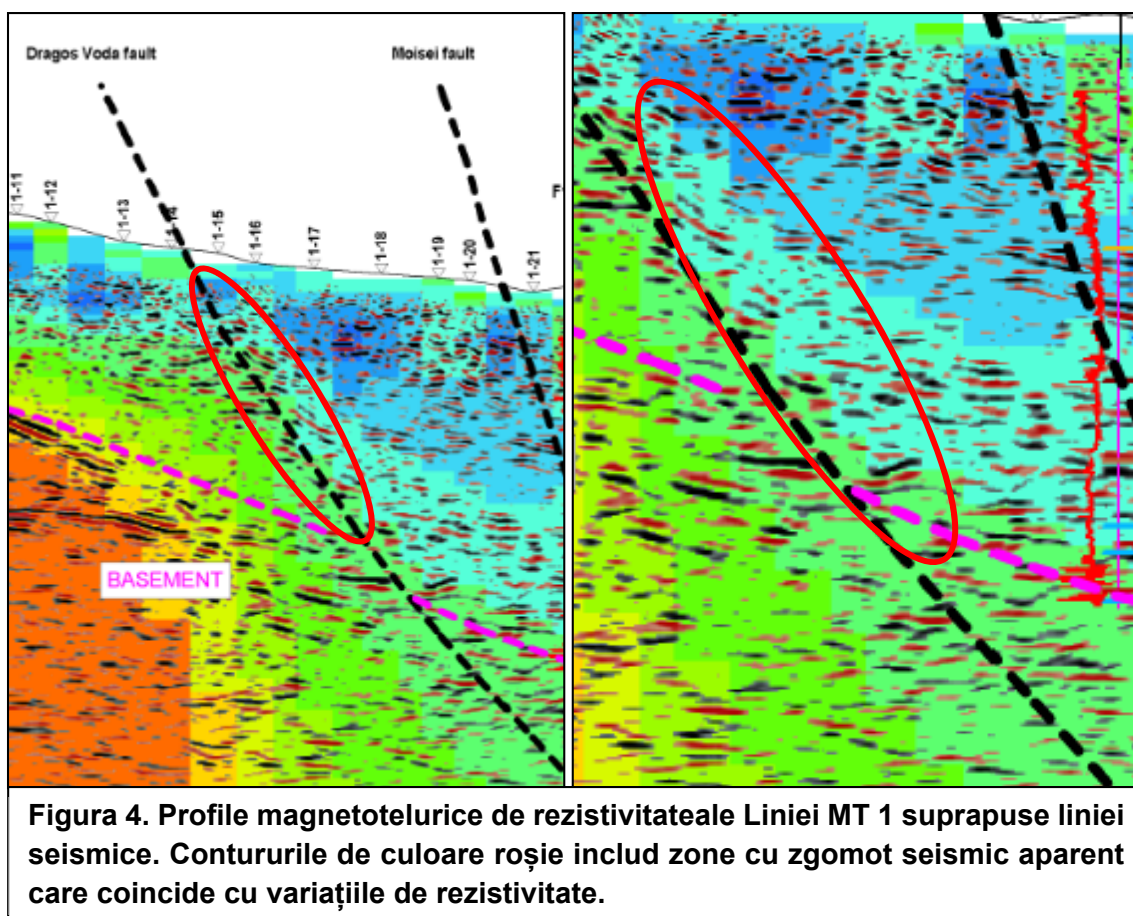
- Adâncimea și localizarea fundamentului cristalin de rezistivitate mare, și
- Înclinile, localizările și săriturile faliilor majore.

Hărțile și secțiunile de rezistivitate sugerează faptul că fundamentul coboară abrupt dincolo de Falia Dragoș Vodă. Valorile săriturilor variază de-a lungul secțiunilor magnetotelurice după cum urmează:

Linia	Săritura verticală aparentă a fundamentului în dreptul Faliei Dragoș Vodă
1	400 - 600 m
2	1000 m
3	1400 – 1700 m
4	1000 m



În acest fel se confirm ipotezele anterioare conform cărora între faliile Dragoș Vodă și Săliște-Săcel fundamentul cristalin se regăsește la o adâncime semnificativ mai mare decât cea menționată în sondele SRP 10, 12, 14 și 18. Stilul structural al Faliei Dragoș Vodă este semnificativ diferit între cele două secțiuni seismice-magnetotelurice, având înclinări variabile.



Un alt rezultat semnificativ este posibilitatea de interpretare mult îmbunătățită a combinației dintre secțiunile de rezistivitate din metoda magnetotelurică și secțiunile seismice. Linia seismică 2 a fost afectată puternic de fenomenul de aliasing în zona din vecinătatea Faliei Dragoș Vodă, ceea ce poate fi un indicator al unui unghi de înclinare foarte mare ce se extinde până la suprafață dar interpretat ca zgomot seismic. Iată de ce interpretarea devine realmente ambiguă. Rezultatele aplicării metodei magnetotelurice a crescut calitatea interpretării datelor seismice așa cum se poate observa în Figura 4. Conurile constituite din brezii cu elemente de fundament



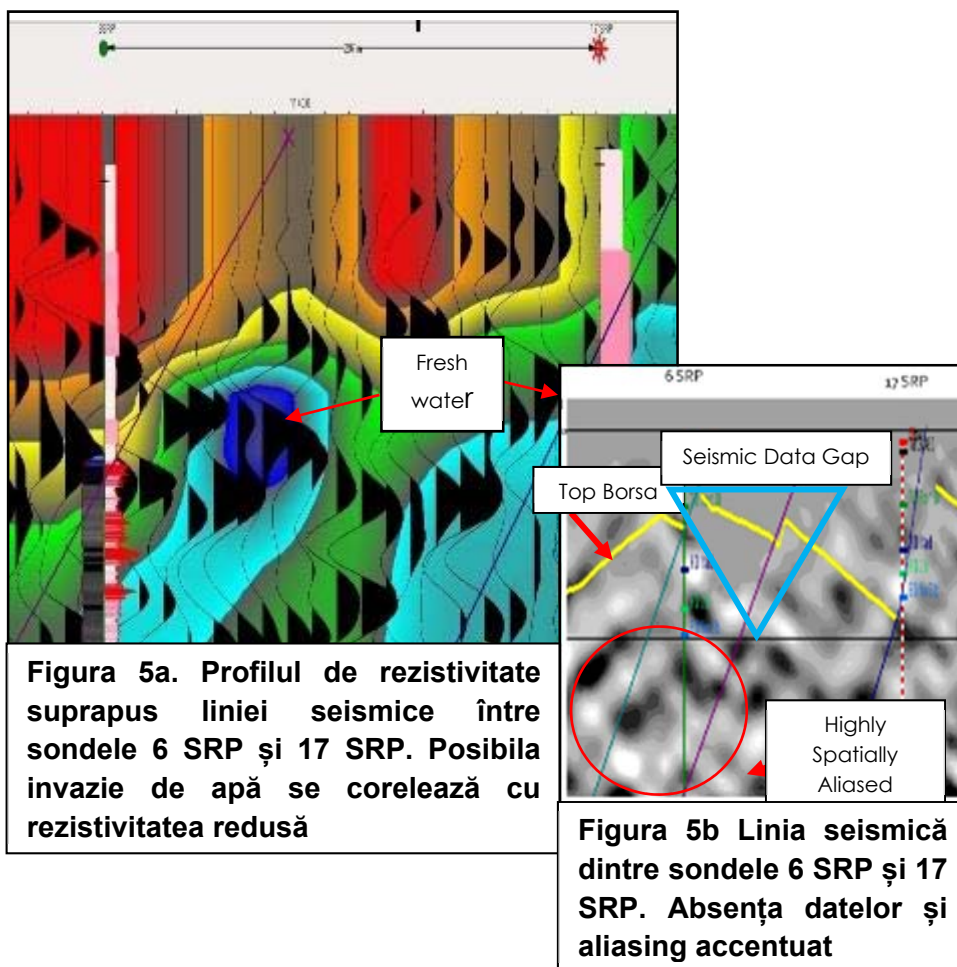
cristalin generate de Falia Dragoș Vodă sunt observabile în forma franjurată a imaginilor magnetotelurice și în zonele cu mici discontinuități de pe liniile seismice.

6.5. Metoda rezistivității

Obiectivele aplicării metodei sondajului de rezistivitate au fost atinse dar calitatea slabă a datelor seismice a generat un impact semnificativ asupra rezultatului final. Încercarea de a corela informațiile seismice cu cele de rezistivitate pentru identificarea nisipurilor de Borșa, de a cartografi planurile de falie și de a determina înclinarea reflectorilor a depășit direct atât de aliasingul spațial cât și de continuitatea eșantionării, așa cum se poate observa în Figura 5a. Măsurătorile de rezistivitate s-au corelat bine cu informațiile litologice din diagramele geozice.

Figura 5b sugerează faptul că seismica la adâncimi mici de 0-200 m, este puternic afectată de aliasingul spațial. Este de semnalat și absența unei zone din eșantionarea de suprafață, ceea ce duce la eliminarea offseturilor dintre sondele 6 SPR și 17 SRP. Absența zonei de eșantionare apare ca un con în formă de "V" (culoare blea deschis), cu adâncime maximă de cca 125 m și pentru care nu se poate obține o imagine clară.

Rezistivitatea electrică poate fi modelată și condiționată. Se pornește de la utilizarea valorii de rezistivitate cunoscută pentru roca uscată (din teste de laborator pe carote/eșantioane, dacă este posibil – dacă nu, se utilizează o serie de valori din literatura de specialitate). Apoi se pot modela valorile rezistivităților pentru roci cu saturații în diverse tipuri de fluide ca apa, țițeiul sau gazul (S_w , S_o , S_g) prezente în porii rocilor. Dacă dispunem de valori potrivite pentru distribuția de viteze a undelor de parcurs, se poate efectua o modelare teoretică similară, folosind diferite intervale de variabilitate pentru saturațiile în pori S_w , S_o , S_g . Punctele de intersecție a curbelor teoretice/calulate reprezintă cea mai probabilă valoare pentru saturația în acel fluid (apă și hidrocarburi).



6.6. Gravimetria

Gravimetria satelitară regional și aeromagnetismul au confirmat poziția la adâncime mare a bazinului la nord de Falia Dragoș Vodă și au fost folosite pentru creșterea calității prelucrării și interpretării datelor seismice. S-au înregistrat și date gravimetrice de detaliu dar ele nu au putut fi utilizate în acest studiu deoarece datele gravimetrice înregistrate cu o densitate mai mare de o stație pe kilometru pătrat au caracter de secret de stat și se supun unor prevederi legale restrictive. Dar investigarea gravimetrică și magnetometrică de detaliu nu au fost cu adevărat necesare pentru confirmarea faptului că fundamentul nu are poziție ridicată între adâncimile de 3000 și 4000 m, la nord de Falia Dragoș Vodă.

Gravimetria satelitară a oferit informații excelente pentru îmbunătățirea prelucrării datelor seismice și pentru calibrarea modelului seismic prin:

- Localizarea exactă a sistemului de falii Dragoș Vodă,



- Structura geologică regională, și
- Adâncimea și morfologia fundamentului cristalin la nord de Falia Dragoș Vodă.

Determinarea amplasării Faliei Săliște-Săcel din gravimetria satelitară pare improbabilă deoarece anumite caracteristici cu amplitudine mică și frecvență mare nu au rezoluția necesară în setul de date gravimetrice satelitare.

6.7. Prelucrarea datelor seismice prin utilizarea integrate a metodelor geofizice

Setul de date seismice din zona Zăcământului Săcel este departe de a putea oferi o soluție geofizică unică, cu excepția controlului și calibrării integrate. Pentru aceasta s-au folosit datele gravimetrice, magnetometrice și magnetotelurice pentru a crește calitatea modelelor de viteze utilizate la prelucrarea datelor seismice și la condiționarea interpretării elementelor structurale. Modelele de viteze construite pe baza abordării integrate nu sunt caracterizate de ambiguitatea viteză-adâncime și generează un model de adâncime redusă ferit de influența erorilor în alegerea vitezelor (Mantovini, 2016).¹

Au fost executate mai multe teste de prelucrare folosind seturi de condiționări complexe. Două echipe independente de specialiști au primit modelele structurale rezultate din seturile de date gravimetrice, magnetometrice și magnetotelurice. Cele două echipe au lucrat independent, întocmind fluxuri de prelucrare unice. Foarte interesant, cele două secțiuni migrate au generat practic aceleași caracteristici structurale ale bazinului deși conținutul în frecvențe, continuitatea și imaginea structurii la adâncime foarte mică diferă puțin, așa cum se observă în Figura 6.

Fiecare echipă a avut experiență tehnică similară și cunoștințe de Promax necesare acestei abordări.

Ambele echipe au executat un test de prelucrare necondiționat pentru care nu s-a pus la dispoziție nici un set complex de date. Această echipă era familiarizată cu



prelucrarea datelor seismice din structurile Carpaților Orientali, din zonele Frasin și Buzău. Ei au general un model cu pânze subțiri, asemănătoare celor din regiunile externe ale Carpaților.

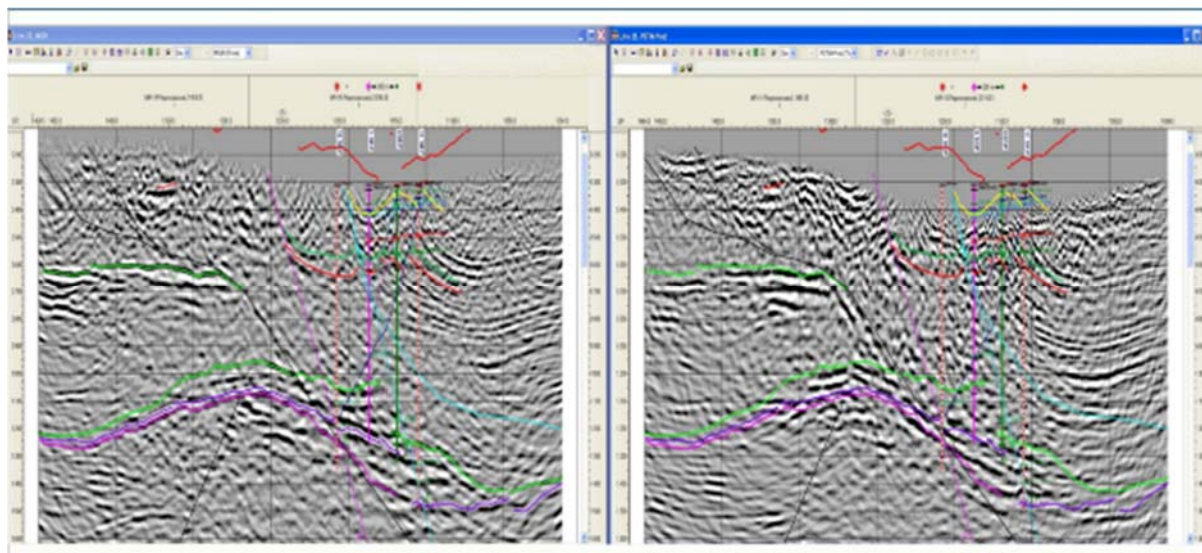


Figura 6 Linia 2S – prelucrare executată de către două echipe independente. Prelucrare condiționată de seturi de date complexe

Echipa 1 – rezultate în stânga

Echipa 2 – rezultate în dreapta

În această prelucrare / interpretare, înclinarea Faliei Dragoș Vodă este inversă și a fost imaginată o suită repetată de formațiuni suprapuse la sud de acest accident tectonic. Această secțiune nu a fost identificată prin cartare de teren și nici nu este evidentă pe vreuna din investigațiile geofizice.

Testele menționate au demonstrat clar că prelucrarea datelor seismice utilizând în mod integrat seturi complexe de date geofizice și geologice este calea cea mai potrivită de urmat, cu precădere în zonele în care seturile de date seismice nu au calitate foarte bună, astfel încât rezultatele obținute să depășească limitele normale ale neunicității și interpretării.

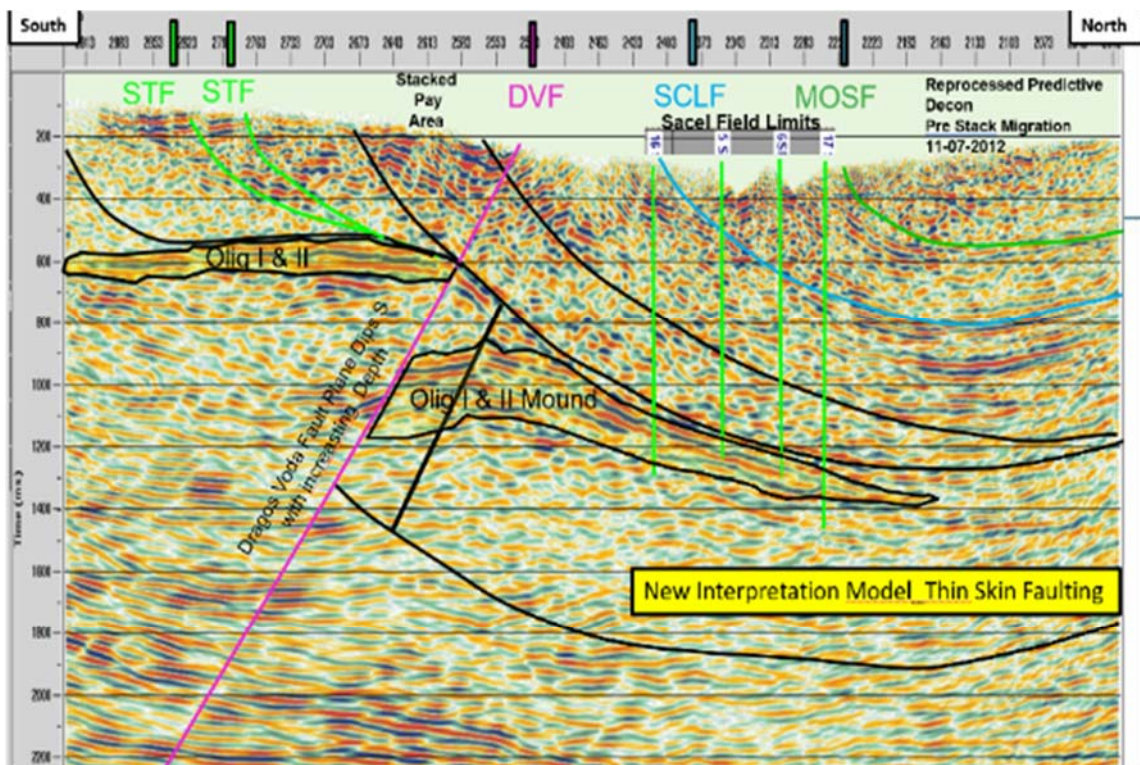


Figura 7 Prelucrare necondiționată a liniei seismice 14 cu noua interpretare geologică

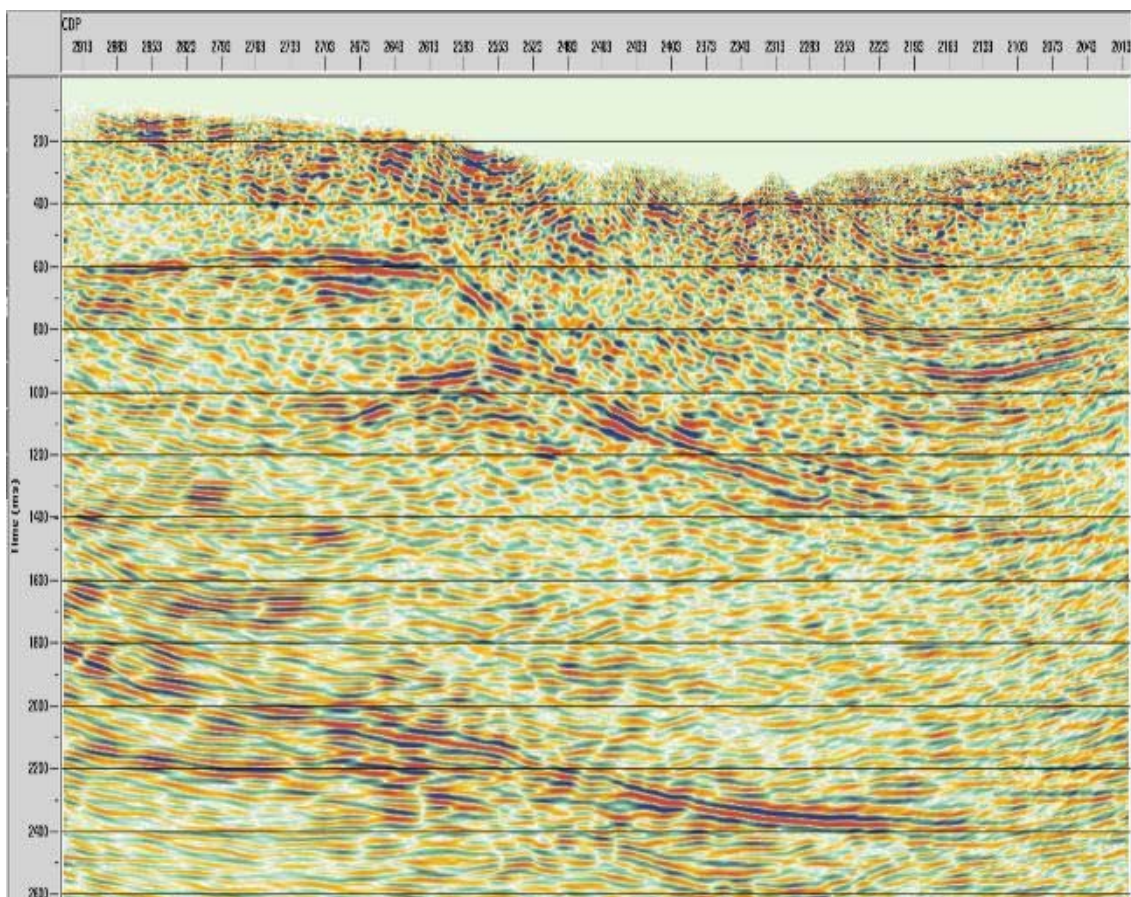


Figura 8. Linia seismică 14, neinterpretată, prelucrată fără constrângeri bazate pe modelul pânzilor subțiri



6.8. Analogia geologică cu Breția de Violin, Falia San Gabriel, California

Cea mai importantă concluzie legată de înțelegerea motivelor care au dus la diferențe între adâncimile fundamentului cristalin identificate prin seismică și foraj este că această neconcordanță este generată de existența unei breții cu elemente cristaline ce este situată la baza formațiunii de Valea Carelor. Această nouă informație a permis corelarea seturilor complexe de date multifizice, seismice și de foraj, fără a lăsa deoparte nici un set de informații.

Apreciem că breția evidențiată la baza formațiunii de Valea Carelor este analoagă cu Breția de Violin din zona Făliei San Gabriel, California, idee sprijinită și de interdigitalizarea de la baza pantelor unde breția menționată ia forme structurale asemănătoare conurilor abisale. Analogia din zona Săcel este sprijinită și de evidențe rezultate din cartări geologice și interpretarea integrată a secțiunilor seismice și magnetotelurice. Această teorie explică și poziția ridicată a fundamentului cristalin din apropierea Făliei Dragoș Vodă.



Bibliografie selectivă

- Anstey, Nigel A.; Whatever happened to ground roll? Volume 5, Issue 3, Mar 1986
<https://doi.org/10.1190/1.1439239>
- Aroldi, C. (2001) - The Pienides in Maramures: sedimentation, tectonics, and paleogeography. Presa Universitara Clujana, Cluj-Napoca. 156 Pages
- Crowell, John C., Evolution of Ridge Basin, Southern California: An Interplay of Sedimentation and Tectonics, Geological Society of Amer; (1 May 2003) ISBN-10: 0813723671
- Csontos, László; Vörös, Attila Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Volume 210, Issue 1, 23 July 2004, Pages 1-56
- Ehman, Kenneth D., Morgan D. Sullivan, Steven R. May, Tectonic Control on Stratal Architecture and Cyclicity in the Ridge Basin, California
- Enciu, Dana M. Camelia C. Knapp, James H. Knapp Revised crustal architecture of the southeastern Carpathian foreland from active and passive seismic data, 08 August 2009
<https://doi.org/10.1029/2008TC002381>
- Geological Digressions, Basins formed by strike-slip tectonics, <https://www.geological-digressions.com/basins-formed-by-strike-slip-tectonics/>
- Henke C., M. Krieger, K. Strack, and A. Zerilli Subsalt imaging in Northern Germany using Multiphysics (magnetotellurics, gravity, and seismic) PUBLISHED in Interpretation Nov 2020
- Krészsek; Csaba Albert W. Bally, The Transylvanian Basin (Romania) and its Relation to the Carpathian Fold and Thrust Belt: Insights in Gravitational Salt Tectonics
- Krészsek, Csaba, Petroleum Systems of Romania, Adapted from article published in AAPG European Region Newsletter, June 2011 Search and Discovery Article #10349 (2011) Posted August 29, 2011
- Laake, Andreas. Integration of Satellite Imagery, Geology and Geophysical Data, Earth and Environmental Sciences, Dr. Imran Ahmad Dar (Ed.), ISBN: 978-953-307-468-9, InTech, 2011
- Link, Martin & Crowell, J.C. (2003). Depositional systems and sedimentary facies of the Miocene-Pliocene Ridge Basin Group, Ridge Basin, southern California. Special Paper of the Geological Society of America. 367. 17-87. 10.1130/0-8137-2367-1.17.
- Loke, M.H., P. B. Wilkinson, S. S. Uhlemann, J. E. Chambers and L. S. Oxby; Computation of optimized arrays for 3-D electrical imaging surveys; Geophys. J. Int. (2014) 199, 1751–GJI Marine geosciences and applied geophysics 1764 doi: 10.1093/gji/ggu357
- Mantovini, Marco, Near Surface Modelling: A Multiphysics Approach, The Leading Edge, November 2016. <http://doi.org/10.1190/tle35110968.1>
- Martini, F., Rogers, E., Bennett, S., Davis, R., Doherty, J. Mongan, J., Integrated Geophysical prospecting in frontier basins EAGE Geophysical Prospecting 2019



McCarthy J. Howard Jr., G. Michael Reimer, Advances in soil gas geochemical exploration for natural resources: Some current examples and practices, *JGR Solid Earth*, 10 November 1986, <https://doi.org/10.1029/JB091iB12p12327>

Mitsuhata, Y; Matsuo, K; Minegishi, M, Application of magnetotelluric method to hydrocarbon exploration in the Yurihara oil and gas field, northeast Japan; Conference: 97. SEGJ conference, Sapporo (Japan), 22-24 Oct 1997; Other Information: PBD: 22 Oct 1997; Part Of Proceeding of the 97th (Fall, Fiscal 1997) SEGJ Conference; PB: 371

Nemčok, Michal. Basic description of structural styles in rift and passive margin settings, including extension directions and key structural elements. Cambridge University Press, March 2016 DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139198844.002>

Nemcok, Michal, Gyorgy Pogačsa's, and Lubomil Pospíšil, 2006, Activity timing of the main tectonic systems in the Carpathian – Pannonian Region in relation to the rollback destruction of the lithosphere, in J. Golonka and F. J. Picha, eds., *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources: AAPG Memoir 84*, p. 743 – 766.

Paraschiva, Zacamiente de Petrol si Gaze Ale Romaniei, 1979, pages 28 – 33

Park, S. The Magnetotelluric Method, Presentation, Institute of Geophysics and Planetary Physics, University of California Riverside

Popescu, Bogdan M.; Romania's petroleum systems and their remaining potential, *Petroleum Geoscience* (1995) 1 (4): 337–350. <https://doi.org/10.1144/petgeo.1.4.337>

Ruder, Dr Michal Ellen; Earth Explorer Website, <https://www.seequent.com/blog/>, August 6, Sampietro, D.; Capponi, M. Seismic Constrained Gravity Inversion: A Reliable Tool to Improve Geophysical Models Away from Seismic Information. *Geosciences* 2021, 11, 467. <https://doi.org/10.3390/geosciences11110467>

Strack, K Henke, C., Krieger, M., Zerilli, A., Subsalt imaging in Northern Germany using Multiphysics (magnetotellurics, gravity, and seismics), *Interpretation* Nov 2020. Geological Society London Special Publications 298(1):317-334. DOI:10.1144/SP298.15

Tischler et al 'Miocene Tectonics at the Pannonian - Carpathian Transition: The Bogdan Voda - Dragos Voda fault system, northern Romania', EGS - AGU - EUG Joint Assembly, Abstracts from the meeting held in Nice, France, 6 - 11 April 2003, abstract id. 6914

Unsworth, Martyn, 'New Developments in Hydrocarbon Exploration with Electromagnetic Methods' *CSEG Recorder*, April 2005, pg. 35

Verduzco, Bruno & Fairhead, J. & Green, Chris & MacKenzie, Chris. (2004). New Insights into magnetic derivatives for structural imaging. *The Leading Edge*. 23. 116-119. 10.1190/1.1651454.