



Universitatea Babeş-Bolyai  
Institutul de Studii Doctorale, Cluj-Napoca  
Școala Doctorală de Știința Mediului

Caracteristici geochemice ale apelor termale și minerale din  
Munții Apuseni  
Teză de doctorat  
Rezumat

**Coordonator științific:**

**Prof. univ. dr. Călin Baciu**

**Doctorand:**

**Nicula Marius-Alin**

Cluj-Napoca

2021

## Cuprins

1. Introducere în tematica studiată.....	3
1.1 Obiectivele studiului.....	3
1.2 Structura tezei .....	3
2. Caracterizarea zonei de studiu .....	4
3. Aspecte relevante despre apele geotermale .....	6
4. Utilizare apelor geotermale.....	8
5. Metodologia cercetării .....	11
Metodologia de prelevare a probelor .....	11
Metodologia măsurării probelor colectate .....	14
Procesarea datelor .....	17
6. Rezultate și discuții.....	17
6.1 Rezultatele obținute pentru probele de apă.....	17
6.2 Rezultatele obținute pentru probele de gaz .....	29
7. Concluzii generale .....	35
8. Bibliografie.....	35

## Lista tabelelor

Tabel 1. Parametrii generali mășurați în teren .....	17
Tabel 2. Concentrația metalelor grele din probele de apă .....	20
Tabel 3. Concentrația cationilor și anionilor din probele de apă .....	22
Tabel 4. Compoziția izotopică a probelor de apă.....	27
Tabel 5. Compoziția chimică a gazelor dizolvate.....	29
Tabel 6. Valorile și rapoartele izotopice pentru gazele dizolvate .....	30
Tabel 7. Compoziția chimică a gazelor libere .....	31
Tabel 8. Valorile și rapoartele izotopice pentru gazele libere.....	32

## Lista figurilor

Figura 1. Poziționarea punctelor de prelevare.....	12
Figura 2. Observații de teren asupra punctului MA 42 Pădurea Neagră .....	21
Figura 3. Diagrama Piper .....	24
Figura 4. Tipuri hidrochimice.....	25
Figura 5. Diagrama Giggenbach ( $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{Mg}^{2+}$ ) .....	26
Figura 6. Compoziția izotopică a probelor colectate.....	28
Figura 7. Diagramă ternară pentru azot-metan și dioxid de carbon.....	32
Figura 8. Diagramă raport $R/R_a$ versus $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ .....	34

## 1. Introducere în tematica studiată

### 1.1 Obiectivele studiului

Cercetarea desfășurată în cadrul tezei de doctorat a pornit de la următoarele obiective:

- 1. Determinarea distribuției apelor termale în zona de studiu.**
- 2. Caracterizarea cantitativă, cuantificarea debitelor geotermale și calcularea aportului energetic al acestora.**
- 3. Caracterizarea geochimică a sistemelor geotermale.**
- 4. Explicarea genezei acestor ape și crearea modelului/ modelelor conceptuale pentru sistemele geotermale identificate.**

Teza de doctorat tratează într-o manieră amplă aceste obiective în vederea obținerii unor concluzii pertinente, valide din punct de vedere științific. În capitolul rezervat concluziilor se tratează punctual fiecare obiectiv pe baza datelor obținute și prezentate în capitolele precedente.

### 1.2 Structura tezei

Teza este structurată în 7 capitole principale. În capitolul 1 este realizată o descriere generală a tematici studiate cu accent pe elementele legislative și pe istoricul exploatărilor termale în zona Munților Apuseni. Ulterior acestor elemente introductive sunt enunțate obiectivele urmărite în teza de doctorat. În capitolul 2 este descrisă zona de studiu, pentru început se face o descriere geografică generală a arealului iar ulterior se face o descriere mai detaliată a unităților de relief. Pe lângă aspectele de geografie fizică mai este prezentat și statusul climatic al zonei de studiu, datele referitoare la temperatură și precipitații fiind importante pentru domeniul studiat. Descrierea geologică și tectonică a zonei de studiu este tratată în detaliu în acest capitol. Din punct de vedere al tectonicii sunt prezentate teorii cu

privire la formarea și dinamica spațiului Munților Apuseni. Caracterizarea geologică este prezentată pentru fiecare zonă de probare.

În capitolul 3 sunt expuse informații despre apele geotermale furnizate de bibliografie. La finalul acestui capitol se tratează aplicabilitățile practice și economice ale apelor geotermale.

În capitolul 4 este prezentată metodologia cercetării. Primele aspecte tratate în acest capitol sunt legate de campaniile de teren și de metodologia de prelevare și stocare a probelor de apă și gaz. Ulterior sunt descrise protocoalele de analiză pentru fiecare tip de măsurătoare efectuată și caracteristicile aparatelor.

Capitolul 5 prezintă rezultatele obținute și totodată sunt interpretate datele obținute pentru a facilita înțelegerea aspectelor cercetate. Cu datele obținute pentru probele de apă (anioni și cationi) s-au obținut diagrame Piper, Stiff, Giggenbach, iar datele izotopice sunt prezentate în grafice diferite. De asemenea și pentru datele obținute din măsurarea probelor de gaz sunt folosite diagrame pentru a facilita interpretare rezultatelor.

În capitolul 6 sunt prezentate concluziile tezei și totodată se răspunde punctual la fiecare obiectiv enunțat în primul capitol. Iar în ultimul capitol este prezentată bibliografia.

## **2. Caracterizarea zonei de studiu**

Munții Apuseni sunt situați în partea de vest a României și reprezintă o unitate compactă de relief cu dimensiuni considerabile. Această unitate acoperă o suprafață de aproximativ 5200 km<sup>2</sup>. În partea de sud sunt delimitați de Râul Mureș (Valea Mureșului). La sud de această graniță naturală se află Munții Poiana Ruscă ce fac parte din Carpații Meridionali. În partea de est se învecinează cu Depresiunea Colinară a Transilvaniei, granița fiind mai diversă și formată din mai multe subunități specifice. În partea vestică limita nu este atât de concretă, din cauza morfologiei mai aparte a extremității vestice a Munților Apuseni. În această parte vestică se găsesc trei depresiuni golf (Vad-Borod, Beiuș și Zarandului) care fragmentează unitatea montană. O situație asemănătoare se întâlnește și pe latura nordică a Apusenilor. În acest caz Depresiunea Șimleului nu pătrunde atât de mult în munte și permite o delimitare

mai corectă. Se poate considera ca limită Valea Someșului și contactul cu dealurile Crasnei și Sălajului (Ianovici et al., 1976).

#### Tectonica și formare Munților Apuseni

Una din teoriile formării Munților Apuseni este prezentată în lucrarea Geotectonica României, această teorie descrie fenomene de subducție în zona de sud a acestor munți. Aceste fenomene de subducție au intervenit în evoluția Munților Metaliferi și prin acest fapt se explică și arcurile insulare din această zonă, generate prin subducția convergentă. Pânzele din Munții Metaliferi sunt constituite din roci magmatice (complexe ofiolitice) și roci sedimentare (de tip carbonatic, fliș) fiind considerate pânze generate obducție (Săndulescu, 1984).

Un alt model al evoluției Munților Apuseni este descris de Mutihac (1990). Geneza acestor munți este pusă pe seama unui rift apărut pe microplaca transilvano-panonică. Formarea acestor munți a divizat zonele cunoscute astăzi ca Bazinul Pannonic și Bazinul Transilvaniei. Geologia Munților Apuseni denotă asemănări cu alte ramuri ale Carpaților, acest aspect poate sugera și similitudini din punct de vedere al genezei (Mutihac, 1990).

Una dintre cele mai actuale teorii privind geneza Munților Apuseni este prezentată de Stefan M. Schmid într-o lucrare complexă despre tectonica spațiului est european (Schmid et al., 2020). Actualmente în interiorul arcului Carpatic sunt recunoscute trei unități majore: blocul ALCAPA, unitatea Tisia și unitatea Dacia. Între Blocul ALCAPA și unitatea de Tisia se află culoarul Maramureș – Szolnok. Definitorii pentru Munții Apuseni sunt unitățile de Tisia și Dacia. Aceste două blocuri continentale au înaintat dinspre sud-vest către interiorul arcului Carpatic și prin această înaintare au împins placa oceanică prezentă anterior spre zona de subducție din arealul Carpaților Orientali. Această placă oceanică s-a subdus și respectiv topit făcând loc unităților tectonice prezente în momentul actual. Apusenii nordici se identifică cu unitatea de Tisia, prezintă pânze de vârste diferite, cele mai reprezentative sunt pânzele de Codru și cele de Biharia. Geneza lor s-a desfășurat preponderent între Mezozoic și Neozoic. Rocile care predomină în această grupare montană sunt: calcare, șisturi cristaline și granite. Apusenii sudici sunt caracterizați în mare parte cu unitatea de Dacia, fiind la contactul dintre cele două unități majore din această zonă (Tisia și Dacia). Pe cuprinsul lor

sunt identificate pânze de Biharia, pânze Supragetice și Getice. În Munții Metaliferi, peste pânzele de Biharia se găsesc roci ofiolitice. Aceste roci provin din crusta oceanică aflată între unitățile de Tisia și Dacia. Datorită apropierii dintre cele două unități, această crustă a fost obdusă peste pânzele de Biharia, astfel încât complexul ofiolitic încalcă unitatea de Biharia. În Apusenii sudici se mai găsesc: șisturi cristaline prehercinice (M. Trascău) și hercinice (Insula Cristalină Rapolt), sedimente prelaramice, magmatite laramice, vulcanite neogene și vulcanite bazaltice cuaternare (Mutihac, 1990). Formarea acestei grupări s-a desfășurat între Juristic și Cretacic. Ulterior etapelor genetice descrise s-a produs o mișcare de rotație a unităților majore în sens orar. Această rotație a generat formarea depresiunilor golf (Vad-Borod, Beiuș și Zarandului) și a favorizat apariția vulcanismului neogen din Apuseni sudici. Datorită detensionării determinate de rotația unităților tectonice, presiunea a scăzut în unele areale și a permis scăderea temperaturii de topire a rocilor, fapt ce a favorizat înaintarea magmei spre suprafață. Acest fenomen pare să fi fost responsabil pentru etapa vulcanismului neogen din sudul Apusenilor (Seghedi et al., 2005). După aceste etape descrise anterior, în neogen s-au depus mai multe strate de sedimente cu precădere în arealele depresionare (Schmid et al., 2020).

### **3. Aspecte relevante despre apele geotermale**

Zona Munților Apuseni a reprezentat preocuparea mai multor cercetători care au întreprins campanii de teren și au redactat lucrări științifice despre această zonă. Una dintre primele lucrări relevante pe această temă a fost publicată la Viena în anul 1863 de către Schmidl (Schmidl, 1863). Această lucrare creează o radiografie din punct de vedere geologic și geografic a Munților Metaliferi, Bihor și Codru Moma. Odată cu modernizarea și industrializarea, preocuparea pentru această zonă a crescut, iar după anul 1950 au fost efectuate mai multe studii pe tematici hidrologice, hidrogeologice, geologice și geografice.

Fluxurile de căldură din zona de studiu nu sunt recunoscute ca având un potențial termic semnificativ. În arealul Munților Apuseni temperatura estimată la adâncimea de 20 km este de 500°C (Demetrescu & Andreescu, 1994). Același studiu afirmă că unitățile aflate la vest au temperaturi mai ridicate de 600 - 700°C iar în est pentru aceeași adâncime temperaturile

sunt mai scăzute (300 – 400°C). Pentru Carpații Orientali, temperaturile estimate sunt mai mari decât în Munții Apuseni și pot ajunge în unele zone la 800°C. Aceste variații termice între unitățile structurale majore sunt confirmate de Tiliță et al. (2018) într-o lucrare care abordează fluxul de căldură aferent Bazinului Transilvaniei.

În literatura de specialitate au fost identificate mai multe referințe despre manifestările geotermale din zona Munților Apuseni. Aceste lucrări nu sunt dedicate cu precădere Munților Apuseni, arealul de studiu este extins pe zone mai vaste. Butac & Opran (1985) oferă unele date privind apele geotermale de la Geoagiu, Vața și Moneasa, menționând debitele și temperaturile surselor. Gheorghe & Crăciun (1993) prezintă principalele resurse geotermale de pe teritoriul României. Munții Apuseni nu sunt considerați ca fiind o zonă principală cu zăcăminte geotermale.

Contextul geotermal regional este prezentat în lucrarea de sinteză "Mineral and Thermal Waters of Southeastern Europe" (Papic et al., 2016). Un capitol al acestei lucrări prezintă considerații despre apele geotermale din România. De interes pentru prezentul studiu este descrierea zăcămintului geotermal de la Beiuș, caracterizat prin ape cu temperaturi de peste 80°C și mineralizație scăzută.

Una dintre cele mai complexe și relevante lucrări pentru hidrogeologia din această zonă și implicit pentru prezentul studiu este "Hidrogeologia carstului din Munții Apuseni" publicată de Orășeanu (2016).

În lucrarea menționată anterior sunt descrise cinci entități hidrogeologice predominante identificate pe cuprinsul Munților Apuseni. O primă entitate se identifică cu depozitele marnoase și argiloase și serii flișoide. Aceste tipuri de depozite sunt caracterizate prin permeabilități variabile, iar în unele cazuri pot găzdui acvifere de mică importanță. O a doua categorie este reprezentată de marne, șisturi argiloase, pietrișuri și nisipuri pleistocene sau holocene. Depozitele sedimentare grosiere sunt caracterizate de permeabilități ridicate și pot crea acvifere de dimensiuni mici. O altă entitate cu o prezență semnificativă pe cuprinsul acestei zone de studiu este formată din granite și riolite paleozoice, ofiolite mezozoice, magmatite și vulcanite (laramice, neogene, metamorfice). Aceste areale pot conține fisuri care facilitează circulația apei. Depozitele de molasă (șisturi argiloase, gresii, conglomerate,)

reprezintă cea de a patra entitate hidrogeologică semnalată pe cuprinsul Munților Apuseni. Apele circulă prin fisurile acestor depozite, iar în lipsa fisurilor sau dacă grosimea depozitelor este mai mare, ele pot reprezenta bariere impermeabile. Cea mai reprezentativă entitate hidrogeologică pentru zona de studiu este reprezentată de seriile carbonatice mezozoice și paleozoice. Arealele cu astfel de depozite au o infiltrație și circulație intensă a apelor subterane și pot găzdui acvifere semnificative din punct de vedere cantitativ. Apele se deplasează cu ușurință de-a lungul fisurilor și al golurilor de soluție (Orășeanu, 2016).

#### **4. Utilizare apelor geotermale**

La nivel național un procent semnificativ din resursele geotermale utilizate se folosesc în scop recreativ și curativ (Antics & Rosca, 2003). Dacă analizăm apele termale din punct de vedere al hidrotermoterapiei constatăm că temperatura de referință de la care aceste ape au un efect pronunțat este peste 35°C. Această temperatură este aleasă pe considerente fiziologice, ținându-se cont că temperatura "de indiferență" este de 34-35°C (Rădulescu & Teodoreanu, 2014). Tot din punct de vedere balneologic în lucrarea "Manual de balneologie", apele cu o temperatură mai mare de 20°C sunt considerate termale și cu potențial terapeutic (Sturza, 1950).

În lucrările de specialitate care au tematică de balneologie și hidroterapie sunt descrise numeroase folosințe și proprietăți curative ale acestor ape termo-minerale. Sunt considerate importante atât caracteristicile ce țin de proprietățile fizice cât și de cele chimice. Nu vom intra în detalii care țin de procedurile terapeutice în sine, dar considerăm relevant pentru acest studiu să enumerăm principalele acțiuni fiziologice care le au băile calde asupra organismului uman. Se recomandă terapia cu astfel de ape pentru probleme care țin de: aparatul locomotor, cardiovascular, respirator, sistemului nervos vegetativ dar și pentru stimularea și reglarea funcțiilor renale. Pentru toate aceste întrebări este foarte important să se cunoască sursa de proveniență a apei și conținutul calitativ al acesteia (Rădulescu & Teodoreanu, 2014; Sturza, 1950).



Zonele termale cu proprietăți curative care intră în arealul acestui studiu și sunt menționate și descrise din punct de vedere balneologic în Manualul de Balneologie, sunt: Băile Felix, Moneasa, Vața Băi, Geoagiu și Călan (Sturza, 1950).

La momentul actual în zona de studiu în legătură directă cu apele geotermale sunt cunoscute următoarele stațiuni (de la sud spre nord): Călan, Geoagiu Băi, Vața Băi, Moneasa și Băile Felix.

### **Aplicabilitatea tehnico-economică**

Energia geotermală este energie regenerabilă care are un impact redus asupra mediului în cazul unei exploatare raționale. Tendințele politice și legislative promovate la nivel mondial încurajează respectarea principiului dezvoltării durabile, iar sursele geotermale deservește acest deziderat. Pe lângă aceste aspecte de natură etică și legislativă utilizarea unei astfel de surse poate genera avantaje economice.

Datele cuantificate la nivel mondial relevă faptul că există creștere a interesului pentru energia geotermală și totodată gradul de utilizare a acestei resurse a crescut (IGA, 2020). Cei mai mari utilizatori la nivel mondial ai energiei geotermale sunt: China, USA, Suedia, Turcia, Germania și Islanda (Lund & Boyd, 2016).

Din punct de vedere al domeniilor de utilizare există numeroase posibilități. Din puncte de vedere al numărului de utilizatori, energia geotermală este folosită pentru pompele de căldură. După anul 2005 acest tip de utilizare a înregistrat o creștere semnificativă pe fondul progresul tehnic din domeniul pompelor de căldură.

În ordinea capacității geotermale utilizate următorul sector este cel de agrement și balneologie. Acesta sector are o tradiție antică și a cunoscut o creștere spectaculoasă între anii 1995 și 2000 iar mai apoi a avut o tendință ușor ascendentă. Utilizarea în scop agricol reprezentată prin sere și piscicultură, are o pondere mai scăzută din energia geotermală utilizată. Acest sector a avut o tendință ascendentă de-a lungul perioadei 1995 - 2015. Utilizarea resurselor geotermale în industrie nu au progresat semnificativ (Lund & Boyd, 2016; IGA, 2020).

Una dintre cele mai vizibile și mediatizate utilizări este cea în scop turistic (balnear/curativ). Multe zone care dispun de aceste resurse au dezvoltat o infrastructură turistică specifică și generează venituri din exploatarea acestei resurse. Astfel se stațiuni sunt răspândite pe tot cuprinsul Planetei. La nivel european zona Bazinului Pannonic este renumită pentru amplasamentele balneare, la fel ca stațiunile din zona central europeană, de-a lungul riftului Eger. Țări precum Islanda, Ungaria și Italia au o tradiție în ceea ce privește utilizarea acestei resurse. La nivel național exemple elocvente în acest sens pot fi găsite la: Herculane, Călimănești-Căciulata, Băile Felix, Băile Tușnad.

Un alt domeniu pretabil pentru utilizarea energiei geotermale este agricultura. Fluxurile geotermale pot fi folosite pentru încălzirea serelor (Sordelli și Karkoulas, 1995; Berdondini și colab., 1995). Fluxurile geotermale cu temperaturi mai scăzute dar debite consistente sunt pretabile pentru acest tip de folosință. Au fost obținute rezultate bune pentru serele de legume, și s-a reușit dezvoltarea optimă a plantelor cultivate (Boyd & Lund, 2000). Apele geotermale sunt folosite cu succes în menținerea unui mediu propice pentru dezvoltarea diferitelor tipuri de alge (Plugaru et al., 2018).

Fermele piscicole pot reprezenta o modalitate viabilă de utilizare a resurselor geotermale. Este o practică care aduce beneficii economice și în zonele cu o entalpie mai scăzută. Se pretează pentru diverse specii de pești care sunt viabile pentru valorificare (Boyd & Lund, 2000). În astfel de ferme se obține o rată de creștere ridicată datorată extinderii perioadei de activitate și hrănire a peștilor. În contextul climatic național (temperat) se poate elimina perioada stagnantă din anotimpul de iarnă. Aceste ferme piscicole pot diversifica speciile cultivate și pot aclimatiza specii alohtone.

În domeniul industrial, fluxurile geotermale pot fi folosite pentru generarea de căldură. O utilizare des întâlnită este în industria alimentară, unde se folosesc aceste fluxuri pentru uscarea unor alimente (Arason, 2003, Sordelli & Karkoulas, 1995).

Una dintre cele mai întâlnite utilizări pentru energia geotermală este încălzirea locuințelor și a spațiilor publice. Progresul tehnologic a dezvoltat echipamente care utilizează această energie. Cerințele tehnice, economice ale acestor sisteme de încălzire au devenit sustenabile

pentru utilizatorii casnici. Randamentul energetic bun și posibilitatea de amortizare a investiției a crescut semnificativ numărul de utilizatori.

Utilizarea fluxurilor geotermale pentru producția de energie electrică este o altă utilizare a acestei resurse. Prin acest proces de conversie energia geotermală poate fi stocată și transportată mult mai ușor, fără pierderi semnificative. Această utilizare este pretabilă pentru zonele cu o entalpie ridicată (aproximativ 120°C). În cazul zonei studiat de noi nu este viabilă această formă de utilizare, din cauză că temperatura apei este sub 100°C și are o entalpie redusă (Colesca & Ciocoiu, 2013).

## **5. Metodologia cercetării**

### **Metodologia de prelevare a probelor**

#### Campanii de teren

Pentru realizarea acestei cercetări au fost efectuate 5 campanii de teren. Principalul scop al acestor campanii a fost investigarea în teren a surselor de apă, colectarea de probe de apă și gaz pentru prezentul studiu. Au fost efectuate observații geologice și geografice în teren, pentru a cunoaște cât mai bine zona de studiu. Au fost identificate puncte cu ape geotermale descrise în literatura de specialitate.

Pe baza datelor extrase din lucrările de specialitate, a fost stabilit traseul orientativ al campaniilor de teren.

Zona de studiu a fost împărțită în două subzone strict din punct de vedere al campaniilor de teren. Prima subzonă se identifică cu zona de sud a Munților Apuseni, iar campaniile de teren au fost efectuate în proximitatea văii Mureșului (Călan, Geoagiu și Rapoltu Mare). În această subzonă au fost întreprinse 3 campanii de teren, prima dintre ele în octombrie 2018, cea de a doua în noiembrie 2019, iar ultima în decembrie 2019. Cea de-a doua subzonă se identifică cu partea nord-vestică a Munților Apuseni și cu depresiunile golf (Vad-Borod, Beiuș și Zarandului) ale acestor munți. Campaniile de teren au fost efectuate în proximitatea

localităților: Vața de Jos, Moneasa, Vașcău, Ștei, Beiuș, Băile Felix și Aleșd. În acest areal au fost întreprinse două campanii de teren, în februarie 2019 și noiembrie 2019.

În cadrul campaniilor de teren descrise anterior au fost identificate și probate un număr de 42 de puncte.

În prima subzonă au fost identificate și probate un număr de 18 puncte relevante pentru studiul de față iar în cea de-a doua subzonă 24 de puncte. Cea mai mare parte a punctelor sunt reprezentate de foraje (28 de foraje reprezentând 66,6% din totalul punctelor). Cel de-al doilea procentaj semnificativ este reprezentat de izvoare (12 izvoare reprezentând 28,5 % din totalul punctelor). Pe lângă foraje și izvoare au mai fost prelevate probe de apă geotermală dintr-un lac (MA 9) și dintr-o fântână (MA 4). În figura 1 sunt reprezentate toate aceste puncte și sunt evidențiate subzonele.

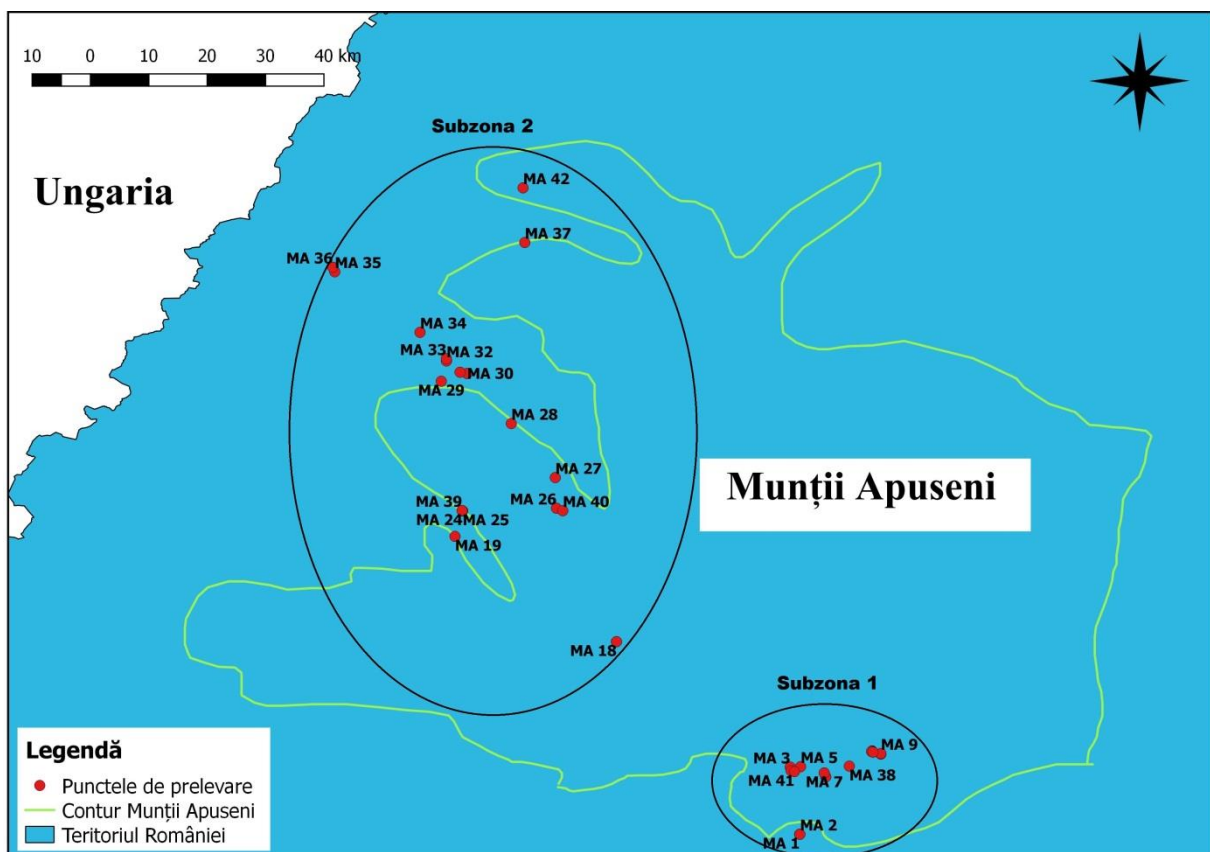


Figura 1. Poziționarea punctelor de prelevare

### **Prelevarea probelor pentru analiza apei**

Probele au fost recoltate din punctele descrise anterior. Colectarea probelor s-a făcut în recipiente de polietilenă și flacoane de sticlă prevăzute cu dop filetat cu septum.

În flacoanele de sticlă s-au prelevat probele care au fost supuse analizelor izotopice. Probele destinate determinării metalelor grele au fost colectate în recipiente de polietilenă și au fost acidificate cu HCl până la un pH de 2. Recipiente similare cu cele folosite la prelevarea probelor pentru metale grele au fost folosite și la probele care vizează determinarea ionilor principali. Probele de apă destinate pentru analiza TDIC (carbon anorganic total dizolvat) au fost prelevate în flacoane de polietilenă și a fost adăugat NaOH + BaCl<sub>2</sub>.

În cadrul fiecărei campanii de prelevare s-au notat următoarele informații pentru probele colectate: numele persoanei care a făcut recoltarea, localitatea, denumirea sursei de apă, data, locul recoltării, modul de utilizare al apei și scopul analizei. După prelevare probele au fost stocate într-o cutie termoizolantă. Ulterior au fost transportate la Facultatea de Știința și Ingineria Mediului, unde au fost stocate în frigider la o temperatură de aproximativ 4 °C. Apoi au fost măsurate sau trimise spre parteneri pentru efectuarea măsurătorilor.

### **Prelevarea probelor pentru analiza gazelor**

Au fost prelevate probe pentru determinarea gazelor dizolvate în apă după metodologia descrisă de Italiano et. al., (2014). Probele au fost colectate cu minuțiozitate pentru a se evita contaminarea cu aerul atmosferic. După terminarea campaniei de teren au fost ambalate și mai apoi trimise pentru analiză către National Institute of Geophysics and Volcanology (INGV) Palermo.

Pentru determinarea izotopică a gazelor dizolvate He (<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He) și Ne (<sup>20</sup>Ne/<sup>22</sup>Ne), prelevarea s-a făcut în țevi de cupru. Prelevarea s-a realizat cu ajutorul unui furtun de cauciuc iar din ansamblu au mai făcut parte două cleme de metal pentru a realiza etanșeitatea sistemului. Probele prelevate trimise pentru analiză la Isotope Climatology and Environmental Research Centre (ICER), Debrecen, Ungaria.

Prelevarea probelor de gaze libere s-a efectuat în funcție de prezența gazelor și disponibilitatea de probare a punctelor. În punctele unde s-a putut realiza probarea a fost folosită o pâlnie pentru a se capta cu ușurință emisiile de gaze libere.

### **Măsurători și activități efectuate in-situ**

În cadrul acestei cercetări au fost efectuate mai multe activități in-situ. După ce s-a ajuns în zonele stabilite s-a efectuat o analiză a zonei din punct de vedere geografic și geologic (coordonatele geografice și informații relevante despre locație). Pentru identificarea unor surse am discutat cu localnicii. Am parcurs la pas zonele din proximitatea punctelor pentru a identifica informații relevante pentru studiul întreprins.

Unde a existat posibilitatea a fost măsurat debitul sursei. Cu un multiparametru WTW 350i am efectuat măsurarea unor parametri (pH-ul, temperatura, oxigenul dizolvat, electroconductivitatea, totalul solidelor dizolvate, potențialul redox și salinitatea) la sursă.

Determinarea bicarbonaților s-a realizat in-situ prin metoda titrimetrică, cu ajutorul unui microdozimetru. Substanțele folosite pentru această operațiune au fost acidul clorhidric și metilorange.

Ulterior s-a efectuat prelevarea probelor de apă și gaze conform metodologiei descrise anterior.

### **Metodologia măsurării probelor colectate**

#### **Apă**

##### **Determinarea ionilor principali**

Probele de apă colectate pentru determinarea ionilor principali au fost filtrate, cu filtre de 0.45  $\mu\text{m}$ . Apoi s-a realizat o diluție cu apă ultrapură pentru a duce probele la o conductivitate de aproximativ 100  $\mu\text{S/cm}$ .

Pentru analiza lor s-a folosit un sistem de cromatografie ionică (Dionex 1500 IC, SUA). Sistemul ion cromatograf a fost echipat cu coloane IonPac AS23 și CS12A de 4 × 250 mm, pre-coloane IonPac A23G și CG12A de 4 × 50 mm și supresor auto-regenerator (ASRS ultra II / CSRS ultra II, 4 mm). Concentrația următoarelor elemente a fost realizată cu acest aparat: ( $\text{Br}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ). Eluenții folosiți pentru procesul de analiză au fost 4.5 mM  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  / 0.8 mM  $\text{NaHCO}_3$  (pentru anioni) și 20 mM acid metasulfonic (99,0%) (pentru cationi), cu un debit de 1 mL/min. Curbele de calibrare au fost realizate folosind curbele de calibrare reprezentate pentru șase soluții standard pregătite prin diluții seriale ale soluțiilor stoc: Dionex™ Combined Seven Anion Standard II/ 057590 și Dionex™ Combined Six Cation Standard-II/ 046070. Metoda a avut o liniaritate de  $R^2 > 0,999$ . Limitele de detecție au următoarele valori: 10.3  $\mu\text{g/L}$  ( $\text{Li}^+$ ), 12.2  $\mu\text{g/L}$  ( $\text{Na}^+$ ), 11.9  $\mu\text{g/L}$  ( $\text{NH}_4^+$ ), 12.7  $\mu\text{g/L}$  ( $\text{K}^+$ ), 11.8  $\mu\text{g/L}$  ( $\text{Mg}^{2+}$ ), 17.1  $\mu\text{g/L}$  ( $\text{Ca}^{2+}$ ), 10.1  $\mu\text{g/L}$  ( $\text{F}^-$ ), 21.2  $\mu\text{g/L}$  ( $\text{Cl}^-$ ), 11.4  $\mu\text{g/L}$  ( $\text{NO}_2^-$ ), 12.4  $\mu\text{g/L}$  ( $\text{Br}^-$ ), 12.0  $\mu\text{g/L}$  ( $\text{NO}_3^-$ ), 15.8  $\mu\text{g/L}$  ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), 12.7  $\mu\text{g/L}$  ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

### **Determinarea metalelor grele**

Înainte de a fi supuse procesului de analiză probele au fost filtrate (0,45  $\mu\text{m}$ ) și acidulate cu acid azotic  $\text{HNO}_3$  65% (Merk) în vederea obținerii unui pH în jurul valorii de 2. Analiza probelor s-a făcut cu ajutorul unui sistem ZEEnit 700 Analytik Jena echipat cu arzător cu aer și acetilenă, cuptor cu grafit și lampă specială cu catod pentru fiecare metal în parte. Metalele analizate pentru acest studiu sunt: Pb, Fe, Zn, Ni, Cd, Cu, Cr.

Curbele de calibrare au fost obținute cu ajutorul a șase soluții standard preparate prin diluții seriale dintr-o soluție standard ICP multielement (1000 mg/L, standard IV/111355, Merck). Metoda are o liniaritate exprimată prin relația matematică ( $R^2 > 0,999$ ), această relație exprimă o acuratețe bună a măsurătorilor efectuate de aparat. Pentru metoda de determinare cu flacără, limitele de detecție sunt: 12  $\mu\text{g/L}$  (Fe), 35  $\mu\text{g/L}$  (Cr), 12  $\mu\text{g/L}$  (Cd), 38  $\mu\text{g/L}$  (Ni), 13  $\mu\text{g/L}$  (Zn), 83  $\mu\text{g/L}$  (Pb) și 36  $\mu\text{g/L}$  (Cu). Pentru probele care au o concentrație mai scăzut de metale se poate opta pentru tehnica de atomizare în cuptoraș de grafit. Această metodă este potrivită pentru astfel de probe deoarece are limite de detecție mai mici: 0.08  $\mu\text{g/L}$  pentru Cd și 0.66 pentru Ni  $\mu\text{g/L}$ ).

### **Determinarea izotopilor**

Determinarea izotopilor din probele de apă s-a efectuat cu un aparat de tip Picarro L2130-I al Laboratorului de Izotopi Stabili al Universității Babeș-Bolyai. Acest aparat folosește tehnologia CRDS, care permite măsurarea simultană a  $\delta^{18}\text{O}$  și  $\delta^2\text{H}$ . Precizia măsurătorilor este de  $< 0.025 \text{ ‰}$  pentru  $\delta^{18}\text{O}$  iar pentru  $\delta^2\text{H}$  este de  $< 0.1 \text{ ‰}$  (<https://www.picarro.com>; Dumitru et. al., 2016).

A fost utilizată metodologia standard recomandată de producător, care presupune necesitatea a 2 ml din proba re-filtrată pe un filtru de  $0,22 \text{ }\mu\text{m}$ . Măsurătorile au fost efectuate conform standardelor IAEA Viena. Datele obținute sunt prezentate după formula:  $\delta(\text{‰}) = (R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}} - 1) * 1000$ .

### **Determinarea TDIC**

S-au colectat probe pentru determinarea TDIC ( $\delta^{13}\text{C}$ ) în flacoane de polietilenă (50 ml). După prelevarea propriu-zisă, s-a adăugat NaOH și  $\text{BaCl}_2$  pentru precipitarea carbonaților. Probele aduse din teren au fost puse în etuvă la Facultatea de Știința și Ingineria Mediului și ținute până la evaporarea completă a fracției lichide.

Ulterior fracția solidă rămasă pe pereții vasului a fost desprinsă iar praful rezultate a fost stocat în pliculețe cu închidere ermetică.

Analiza (TDIC) a acestui praf a fost efectuată în cadrul laboratorului de geochimie al INGV-Napoli, Italia. Aparatul folosit pentru efectuarea acestor măsurători a fost un spectrometru de masă cu flux continuu Delta PlusXP (MS) cuplat cu un dispozitiv GasbenchII (GBII). Eroarea analitică pentru determinarea  $\delta^{13}\text{C}$  este de  $\pm 0,06 \text{ ‰}$ .

### **Determinarea gazelor dizolvate și libere**

Probele prelevate pentru măsurarea gazelor libere și celor dizolvate au fost trimise în laboratorul INGV-Palermo. Gazele măsurate din aceste probe sunt:  $\text{CO}_2$ , He,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  și  $\text{CH}_4$ . Pentru aceste măsurători a fost folosit un cromatograf de gaze Perkin Elmer Clarus500 echipat cu un dublu carboxen 1000 coloane și detectori TCD-FID. Argonul (Ar) a fost gazul purtător folosit.

### **Determinarea gazelor nobile**



Probele colectate în țevile de cupru (conform metodologiei descrise anterior) au fost trimise la Isotope Climatology and Environmental Research Centre (ICER), Debrecen, Ungaria. Au fost efectuate măsurători pentru concentrațiile He ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ) și Ne ( $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ ).

Probele au fost cuplate la linia de preparare a Spectrometrului de masă pentru gaze nobile VG5400 și a aparatului Helix. Pentru o bună precizie a măsurătorilor, aparatul a fost calibrat cu probe de aer care au concentrație standardizată. Eroarea de măsurare este de aproximativ 1% pentru He și de 5% pentru Ne (Sano & Wakita, 1985).

## Procesarea datelor

Datele obținute au fost editate și redactate cu ajutorul pachetului Microsoft Office, baza de date aferentă acestei cercetări a fost construită în programul Microsoft Excel. Prelucrarea și generarea elementelor cartografice, a fost efectuată cu pachetul QuantumGis. Pentru a prelucra și a construi imagini și schițe, am folosit resursele disponibile generate de Windows) și programul PowerPoint.

În vederea interpretării datelor generate au fost folosite următoarele programe: Aquachem, Grapher, Surfer.

## 6. Rezultate și discuții

### 6.1 Rezultatele obținute pentru probele de apă

Determinările parametrilor efectuate in-situ cu multiparamerul WTW 350i și debitele măsurate pentru o parte din puncte sunt redată în tabelul 1. Pe lângă aceste date, în teren s-au mai măsurat și concentrația de bicarbonați ( $\text{HCO}_3$ ), conform metodologiilor descrise anterior.

**Tabel 1. Parametrii generali măsurați în teren**

Cod	pH	$\text{HCO}_3$	EC	Eh	TDS	Sal.	Temp.	Q
		mg/L	$\mu\text{s}/\text{cm}$	mV	mg/L	‰	°C	L/s
MA 1	6.92	474.05	798	-47.6	441	0.3	22.95	nm

MA 2	7.07	564.25	1568	138.2	732	0.7	28.78	nm
MA 3	6.24	1004.25	1572	-0.45	994.5	0.7	16.03	0.24
MA 4	6.66	693.18	1383	30	860	0.8	14.7	nm
MA 5	6.295	975.95	1545.5	-41.8	945.5	0.8	20.6	0.66
MA 6	6.37	739.15	1345.5	11.35	759.5	0.7	23.34	1.77
MA 7	6.37	643.95	1305	-10.3	760	0.7	21.085	0.05
MA 8	6.68	517.6	897	-20.5	516	0.6	20.255	nm
MA 9	7.765	351.77	606	-26.95	378	0.3	15.915	nm
MA 10	6.58	549.2	945	-24.95	502.5	0.4	28.02	0.07
MA 11	6.58	585.8	969	16.1	520.5	0.4	28.37	1.09
MA 12	6.625	543.75	963	-3.8	519.5	0.4	27.45	0.23
MA 13	7.155	537	778	-2.85	471	0.4	16.135	nm
MA 14	6.59	633.95	1047.5	5.1	538	0.4	31.85	1.53
MA 15	6.4	601.05	966.5	1.9	515.5	0.4	27.55	1
MA 16	6.56	594.95	983	-3.3	523	0.4	28.955	2.98
MA 17	8.01	203.9	534	-68	343	0.2	10.95	nm
MA 18	8.8	115.9	1179.5	-125.9	753.5	0.5	32.7	0.4
MA 19	7.41	327.65	433	-41.6	287	0.1	32.6	0.64
MA 20	7.91	116.4	158.5	-56.65	101.5	0.0	22.85	2.46
MA 21	7.76	74.35	148.35	-51.4	95	0.0	26.3	5.72
MA 22	7.48	89.6	146.7	-49.6	93.5	0.0	24.7	0.16
MA 23	7.66	101.8	145.7	-49.4	93.5	0.0	25.2	0.38
MA 24	7.67	71.8	151.95	-46.3	98	0.0	26.05	nm
MA 25	7.76	107.9	148.6	-57.85	96	0.0	23.8	1.61
MA 26	8.07	67.5	350.5	-81.2	224	0.1	11.1	0.66
MA 27	7.11	24.5	1181	-27.8	757	0.6	44.5	nm
MA 28	6.92	229.4	353	-17.3	225.5	0.1	79.85	4.41
MA 29	7.5	260.55	362	-60.45	231	0.1	23.6	0.87
MA 30	8.67	408.7	243.5	-123.15	155.5	0.0	16.5	0.08
MA 31	8.42	324.6	271	-101.8	180	0.0	17.8	0.26
MA 32	8.345	574.05	392.5	-97.05	251	0.1	15.9	0.11
MA 33	8.44	549.65	398	-101.65	255.5	0.1	14.65	0.14
MA 34	7.45	3318.4	2040	-43.65	1310.5	1.0	18.55	0.19
MA 35	6.97	323.95	478.5	-25.45	307.5	0.2	34.45	0.38
MA 36	6.6	301.5	491	5	318	0.2	37.8	nm
MA 37	7.8	503.9	531.5	-69.3	341	0.2	39.6	4
MA 38	6.67	212.2	761	-3.5	489	0.3	20.1	0.04
MA 39	7.97	2754.15	190	-75.1	190	0.0	18.8	nm
MA 40	8.09	317.2	162	-78.7	104	0.0	11.4	0.23
MA 41	6.5	1631.8	1389	7.7	889	0.6	14.5	0.81
MA 42	6.16	1223.05	733	26.4	468	0.3	11.2	0.03

După analiza parametrilor prezentați în tabelul 1 s-au observat mai multe omogenități regionale. Un prim parametru care reliefează aceste diferențe regionale este pH-ul. Se observă o diferență colectivă între punctele aflate în sudul Munților Apuseni (Călan, Geoagiu, Rapolt) și celelalte puncte de pe cuprinsul zonei de studiu.

În zona anterior menționată aproape toate punctele măsurate au valori ale pH-ului cuprinse între 6 și 7. Punctele MA 9 și MA 13 diferă de această tendință regională și au valori cuprinse între 7 și 8. Într-o proporție mare, punctele de pe cuprinsul zonei de studiu au un pH mai ridicat, cu valori cuprinse între 7 și 9.

Valorile obținute pentru concentrația bicarbonaților denotă aceeași diferență regională între grupările de puncte din sud și cele din nord. Punctele sudice din proximitatea Văii Mureșului au preponderent valori cuprinse între 500 mg/L și 1000 mg/L, iar punctele din celelalte regiuni au valori mai scăzute, cu unele excepții. Un exemplu elocvent care reprezintă o astfel de excepție este punctul MA 34 din localitatea Ceica. Acest punct are o concentrație mare a bicarbonaților de 3318.4mg/L. Apele din zona Moneasa au o concentrație mică de bicarbonați, care se situează în jurul valorii de 100 mg/L.

Pentru potențialul redox (Eh) nu se pot evidenția omogenități regionale. Acest parametru variază semnificativ chiar și pentru punctele din aceeași regiune.

Salinitatea punctelor probate are valori mici, rareori depășind 0.5 ‰, în arealul Moneasa acest parametru are o valoare mică de maxim 0.1 ‰. Cea mai mare valoare a fost înregistrată la Ceica în punctul MA 34, unde salinitatea este de 1 ‰.

Temperaturile punctelor măsurate diferă semnificativ, existând variații între 10°C și 80°C. Aceste diferențe de temperatură pot fi puse pe seama mai multor factori (sistemul geotermal de origine, adâncimea de la care vin aceste ape, amestecarea cu ape reci de suprafață, tipul de exploatare etc). Strict pe baza acestui parametru nu putem face extrapolări sau clasificări relevante ale punctelor.

Debitele vehiculate au fost măsurate pentru majoritatea punctelor de probare. În vederea corelării cu aplicabilitățile practice a fost calculat un aport energetic adus de sursele geotermale probate. Aspectele metodologice și rezultatele prezentate amănunțit sunt redată în Nicula et al., (2019). Pentru zona de studiu (punctele pentru care se cunoaște debitul și temperatura), s-a obținut un debit total de 32,97 L/s la o temperatură medie de 34.05°C. La nivel local, au fost identificate debite semnificative ale manifestărilor geotermale la Geoagiu și Moneasa.

## Compoziția chimică a apelor probate

În cercetarea de față concentrația metalelor grele nu reprezintă un parametru definitoriu al studiului dar poate să ofere informații relevante despre acvifer și traseul fluidelor geotermale. În tabelul 2 sunt redate toate rezultatele obținute, urmând metodologia de prelevare și analiză descrisă anterior.

**Tabel 2. Concentrația metalelor grele din probele de apă**

Cod	Zn	Pb	Cd	Cr	Ni	Cu	Fe
	mg/L	mg/L	μg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
MA 1	0.028	0.058	sld	0.019	0.007	sld	0.155
MA 2	0.029	0.053	0.206	0.042	0.008	sld	0.159
MA 3	0.039	0.054	sld	0.037	0.040	sld	0.170
MA 4	0.082	0.051	0.125	0.016	0.037	0.468	0.138
MA 5	0.041	0.049	0.049	0.023	0.025	sld	0.264
MA 6	0.086	0.046	0.011	0.021	0.054	sld	0.195
MA 7	0.046	0.063	0.043	0.001	0.023	sld	0.137
MA 8	0.035	0.038	0.016	0.018	0.040	sld	0.144
MA 9	0.023	0.048	0.004	sld	0.032	sld	0.167
MA 10	0.033	0.059	0.059	0.008	0.025	sld	0.181
MA 11	0.033	0.051	0.056	0.014	0.009	sld	0.158
MA 12	0.037	0.054	0.256	0.003	0.014	sld	0.197
MA 13	0.040	0.043	0.020	sld	0.020	sld	0.141
MA 14	0.041	0.040	0.037	0.019	0.028	sld	0.152
MA 15	0.036	0.039	0.019	0.015	0.015	sld	0.146
MA 16	0.034	0.045	0.038	0.004	0.015	sld	0.160
MA 17	0.036	0.014	0.008	0.009	0.013	0.050	0.139
MA 18	0.019	0.015	sld	0.011	0.018	0.011	0.018
MA 19	0.015	0.024	0.052	0.009	0.008	0.019	0.040
MA 20	0.016	0.008	0.084	sld	0.002	0.013	0.004
MA 21	0.016	0.004	0.120	sld	0.010	0.017	0.051
MA 22	0.013	sld	0.115	0.006	0.011	0.002	0.011
MA 23	0.015	sld	0.120	0.004	0.005	0.011	0.019
MA 24	0.015	0.010	0.228	sld	0.006	0.002	0.013
MA 25	Sld	0.012	0.108	sld	0.003	0.004	0.010
MA 26	0.018	0.025	0.121	0.002	0.004	0.001	0.133
MA 27	0.031	0.064	0.119	0.013	0.015	0.002	0.343
MA 28	Sld	0.009	0.035	0.004	0.003	0.001	0.041
MA 29	0.015	0.021	0.076	0.000	0.005	0.001	0.006
MA 30	0.011	0.004	0.048	0.000	0.006	0.002	0.014
MA 31	0.010	0.006	0.061	sld	0.003	0.001	sld
MA 32	0.010	0.001	0.086	sld	0.008	0.004	0.018
MA 33	0.026	sld	0.080	0.004	0.013	0.018	0.169
MA 34	0.019	sld	0.044	0.007	0.007	0.001	0.025
MA 35	0.017	sld	0.070	0.012	0.008	0.003	0.260
MA 36	0.018	0.007	0.053	0.009	0.007	0.001	0.032
MA 37	0.027	0.019	0.080	sld	0.010	0.010	0.143
MA 38	0.018	0.006	nm	nm	0.035	0.016	0.004
MA 39	0.020	sld	nm	nm	0.001	0.010	sld

MA 40	0.015	sld	nm	nm	sld	0.050	0.011
MA 41	0.005	0.022	nm	nm	0.035	0.021	sld
MA 42	0.042	sld	nm	nm	0.044	0.013	4.970

*sld - sub limita de detecție; nm - nu s-a măsurat*

În urma măsurătorilor efectuate au rezultat concentrații mici ale metalelor grele. Un aspect important este dat de faptul că metalele cu toxicitate mare, precum plumbul, cadmiul și nichelul, au valori mici. Cea mai mare concentrație măsurată a fost pentru fier și indică o valoare de 4.970 mg/L. Această valoare a fost întâlnită la Pădurea Neagră pentru punctul MA 42.

Această valoare mare este susținută și de observațiile făcute în teren (conform cu figura 2) și se poate datora concentrației mari de fier din rocile gazdă, cât și prezenței CO<sub>2</sub>, care crește capacitatea apei de a dizolva mineralele.



**Figura 2. Observații de teren asupra punctului MA 42 Pădurea Neagră**

Tabel 3. Concentrația cationilor și anionilor din probele de apă

Cod	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Li <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
MA 1	sld	23.94	Sld	sld	Sld	sld	22.03	sld	31.54	Sld	sld	44.41	118.24
MA 2	1.78	140.37	Sld	sld	0.27	sld	76.17	sld	192.53	Sld	sld	24.99	88.41
MA 3	0.83	11.95	Sld	sld	Sld	sld	5.04	sld	46.44	Sld	sld	66.43	380.2
MA 4	sld	31.65	Sld	sld	17.54	sld	163.78	sld	49.66	Sld	55.59	36.44	204.13
MA 5	sld	15.24	Sld	sld	0.61	sld	4.85	sld	23.04	Sld	sld	54.97	342.23
MA 6	sld	7.34	Sld	sld	1.93	sld	8.24	sld	8.35	Sld	sld	47.02	290.66
MA 7	sld	4.82	Sld	sld	Sld	sld	10.67	sld	6.51	Sld	sld	48.98	304.34
MA 8	sld	6.1	Sld	sld	Sld	sld	14.67	sld	6.19	Sld	sld	35.99	196.26
MA 9	sld	5.32	Sld	sld	Sld	sld	13.39	sld	7.29	Sld	sld	35.65	114.41
MA 10	sld	3.91	Sld	sld	Sld	sld	13.64	sld	4.64	Sld	sld	36.17	184.38
MA 11	sld	4.86	Sld	sld	Sld	sld	16.61	sld	4.69	Sld	sld	34.94	192.15
MA 12	sld	4.92	Sld	sld	Sld	sld	8.84	sld	6.01	Sld	sld	35.33	176.74
MA 13	sld	7.3	Sld	sld	Sld	sld	20.06	sld	8.92	Sld	sld	38.41	180.12
MA 14	sld	8.03	Sld	sld	Sld	sld	18.27	sld	10.11	Sld	sld	37.81	200.66
MA 15	sld	8.42	Sld	sld	Sld	sld	18.13	sld	8.95	Sld	sld	41.55	198.69
MA 16	sld	8.08	Sld	sld	Sld	sld	16.91	sld	8.21	Sld	sld	37.01	194.41
MA 17	sld	22.86	Sld	0.61	0.72	sld	26.62	sld	27.86	Sld	3.81	9.76	40.99
MA 18	0.81	166.43	Sld	sld	0.36	sld	285.82	sld	259.69	Sld	1.14	2.45	48.71
MA 19	2.78	5.35	Sld	sld	Sld	sld	38.62	sld	61.63	Sld	2.42	13.72	38.14
MA 20	sld	11.28	Sld	sld	1.45	sld	2.19	sld	2.21	Sld	15.61	10.12	22.42
MA 21	0.05	1.4	Sld	sld	1.51	sld	2.85	sld	2.16	Sld	0.34	10.49	12.55
MA 22	0.02	1.31	Sld	sld	1.36	sld	3.21	sld	2.27	Sld	0.64	9.97	20.05
MA 23	0.02	1.53	Sld	sld	1.36	sld	3.29	sld	3.02	Sld	0.66	10.55	22.37
MA 24	0.04	2.62	Sld	sld	1.29	sld	4.33	sld	4.37	Sld	0.94	9.42	11.06
MA 25	0.03	3.43	Sld	sld	3.11	sld	3.03	sld	2.12	Sld	4.18	10.45	24.04
MA 26	0.07	3.13	Sld	sld	3.45	sld	7.03	sld	1.1	Sld	0.71	1.53	30.52
MA 27	0.81	2.79	Sld	sld	Sld	sld	875.17	sld	29.77	Sld	2.19	71.64	32.83
MA 28	0.29	17.11	Sld	sld	Sld	sld	42.75	sld	12.39	Sld	29.22	16.07	56.88
MA 29	0.32	1.95	Sld	sld	1.07	sld	17.93	sld	10.22	Sld	0.1	25.59	60.96

MA 30	0.18	2.61	Sld	sld	0.21	sld	2.76	sld	165.26	Sld	1.08	1.03	6.01
MA 31	0.06	1.45	Sld	sld	Sld	sld	2.13	sld	95.78	Sld	0.02	0.35	4.02
MA 32	0.15	1.93	Sld	sld	Sld	sld	1.06	sld	137.43	Sld	0.02	0.22	6.02
MA 33	0.31	1.97	Sld	sld	0.25	sld	0.68	sld	131.84	Sld	0.04	0.23	4.44
MA 34	0.71	23.57	Sld	sld	0.04	sld	0.37	1.06	794.23	Sld	28.31	0.42	22.12
MA 35	0.31	6.13	Sld	sld	0.43	sld	51.72	0.01	13.52	Sld	0.92	17.16	100.93
MA 36	0.49	6.5	Sld	sld	Sld	sld	75.17	sld	14.91	Sld	2.41	27.79	72.53
MA 37	0.51	30.25	Sld	sld	0.36	sld	173.1	sld	84.57	Sld	0.12	19.01	108.32
MA 38	sld	14.77	Sld	sld	2.41	sld	12.18	sld	11.68	Sld	1.58	25.17	23.66
MA 39	nm	nm	Nm	nm	Nm	nm	nm	nm	nm	Nm	nm	nm	nm
MA 40	nm	nm	Nm	nm	Nm	nm	nm	nm	nm	Nm	nm	nm	nm
MA 41	sld	260.38	Sld	sld	3.93	sld	71.65	sld	571.94	Sld	44.09	545.33	649
MA 42	nm	nm	Nm	nm	Nm	nm	nm	nm	nm	Nm	nm	nm	nm

*sld - sub limita de detecție; nm - nu s-a măsurat.*

În tabelul 3 sunt prezentate rezultatele măsurătorilor efectuate pentru determinarea cationilor și anionilor din probele de apă prelevate în timpul campaniilor de teren. Datele obținute au fost prelucrate pentru obținerea unor grafice și diagrame specifice (Stiff, Piper și Giggenbach) care să faciliteze interpretarea datelor.

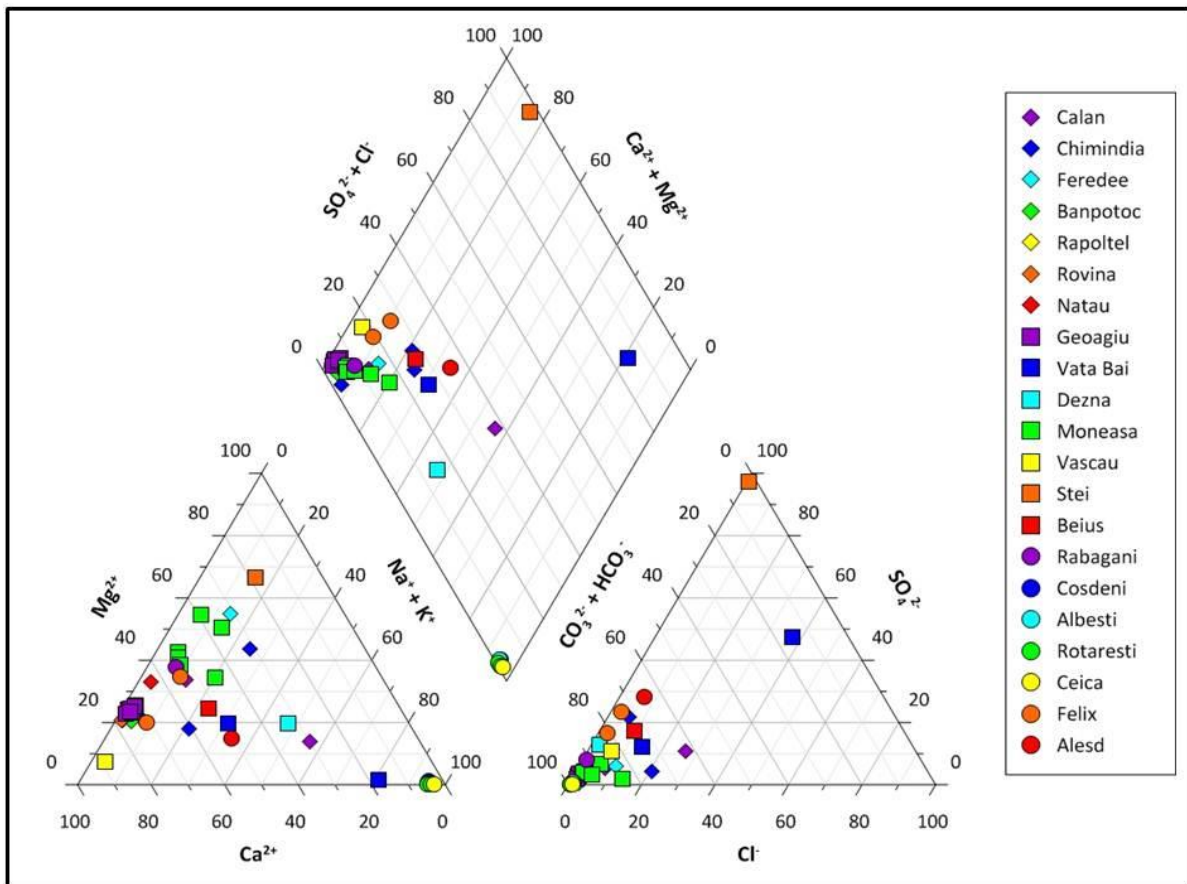


Figura 3. Diagrama Piper

Pentru a cunoaște tipurile de apă și caracteristicile lor din punct de vedere geochimic s-a realizat diagrama Piper din figura 3. Din această diagramă reiese prezența semnificativă bicarbonaților ( $\text{HCO}_3^-$ ) în marea majoritate a punctelor probate. Există și puncte care fac excepție de la această tendință, acestea puncte sunt situate la Ștei MA 27 și Vața Băi MA 18. Complementar acestei tendințe generale se disting alte două grupuri, un grup de puncte care are o concentrație mai mare de calciu și magneziu ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) iar cel de-al doilea grup este reprezentat de apele bogate în ioni de sodiu ( $\text{Na}^+$ ).

Au fost identificate și puncte care difere de aceste tendințe predominante. Sunt puncte unde ionii de magneziu predomină și apa are un caracter bicarbonat magnezian-calcic ( $\text{Mg}^{2+}$ -



$\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3$ ). Alte două tipuri de apă prezente pe arealul studiat sunt apele sulfatice-magneziene ( $\text{Mg}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}$ ) și apele clorurice-sulfatice-sodice ( $\text{Na}^+\text{-SO}_4^{2-}\text{-Cl}^-$ ).

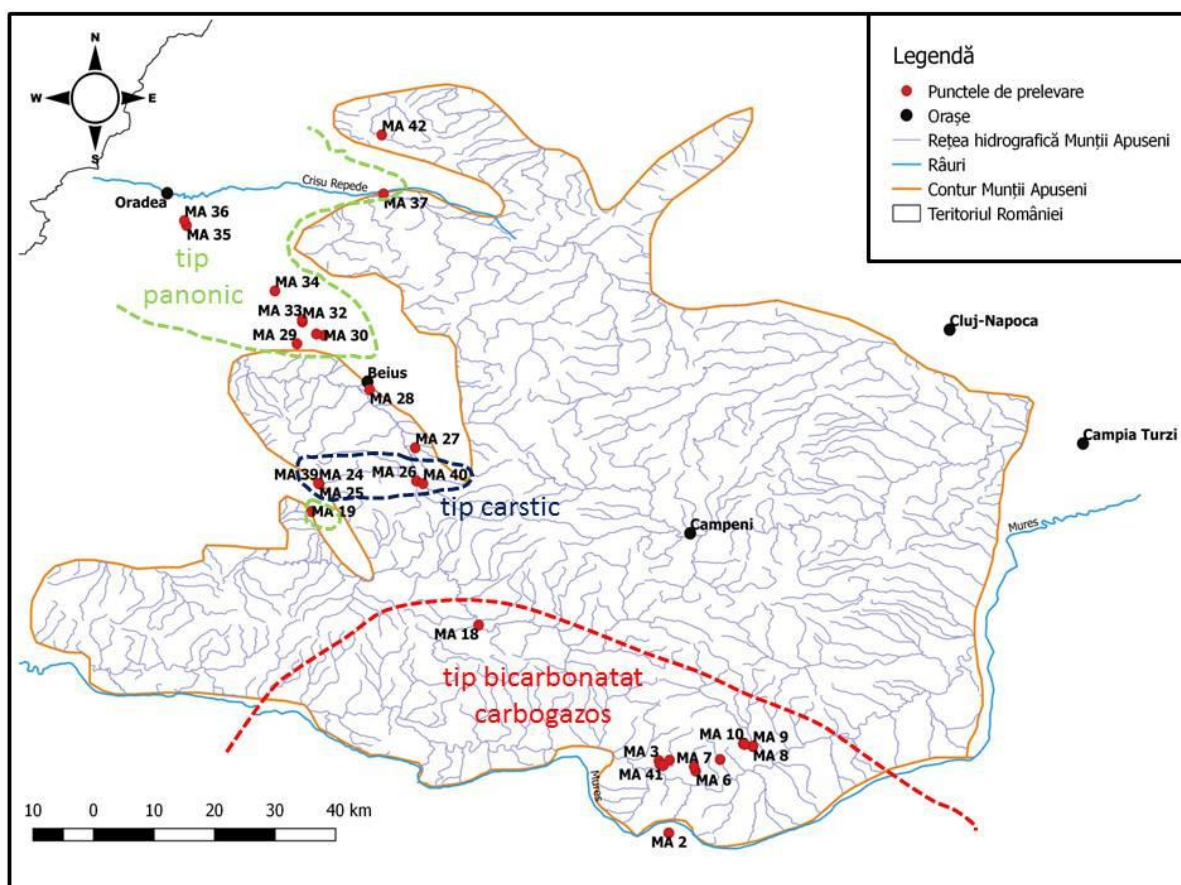


Figura 4. Tipuri hidrochimice

În figura 4 s-a realizat o schiță cu principalele tipuri hidrochimice determinate în prezentul studiu. În zona de sud a Munților Apuseni se remarcă tipul hidrochimic predominant bicarbonat carbogazos. Acest tip de apă este reprezentativ pentru probele colectate din zona văii Mureșului (Călan, Geoagiu, cristalinel Rapotului).

Cel de-al doilea tip hidrochimic identificat în arealul studiat este cel carstic. Acest tip de apă este specific zonei Munților Codru-Moma și mai cu seama a fost probat la Moneasa și Vașcău.

Ultimul tip hidrochimic identificat este cel panonic. Apele de acest tip au fost probate în partea vestică a zonei studiate, în special corespund arealelor depresiunare (cele trei

depresiuni golf Vad-Borod, Beiuș și Zarandului). Aceste ape au fost identificate la punctele aflate în: Aleșd, Băile Felix, zona nordică a depresiunii Beiușului și Dezna.

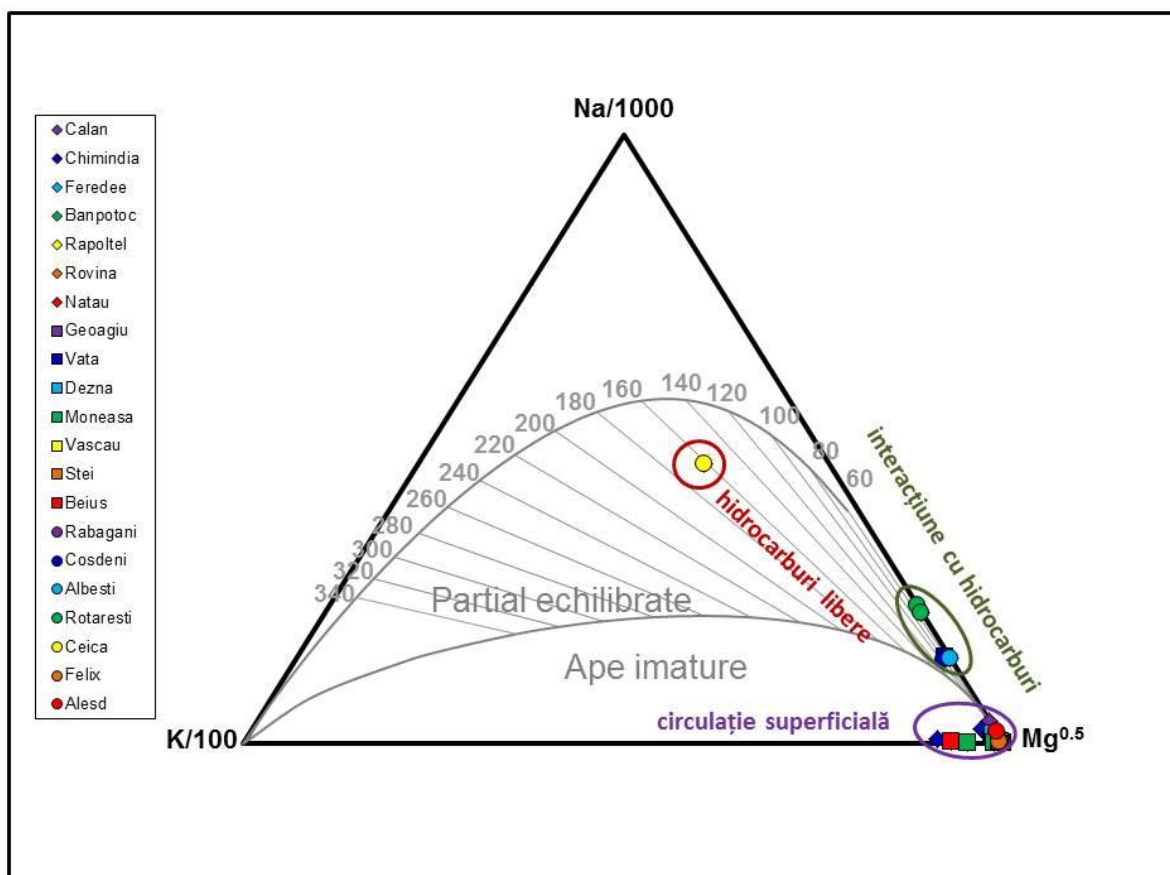


Figura 5. Diagrama Giggenbach ( $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{Mg}^{2+}$ )

Exceptând punctele din partea de nord a Depresiunii Beiușului, celelalte puncte din arealul studiat conțin ape imature. Toate aceste puncte sunt situate în colțul din dreapta al diagramei.

Punctele din partea de nord a Depresiunii Beiușului (MA 30, MA 31, MA 32, MA 33, MA 34) au o amplasare diferită pe diagrama Giggenbach generată în special de concentrațiile diferite ale cationilor de magneziu și sodiu. Concentrația mare de sodiului a acestor puncte poate fi pusă pe seama interacțiunii cu depozite de hidrocarburi.

### Compoziția izotopică a apelor

Conform metodologiei prezentate anterior, au fost prelevate și analizate probe de apă în vederea stabilirii compoziției izotopice ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ). Au fost incluse în aceste prelevări

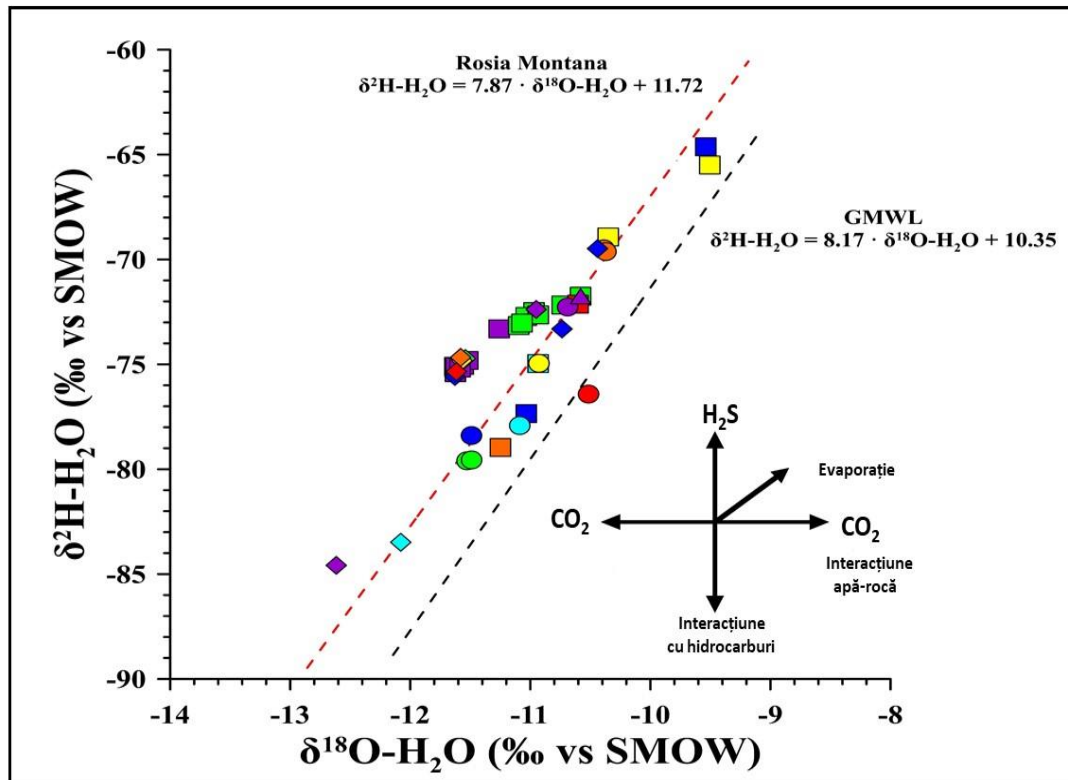
izotopice 41 de puncte. Compozițiile izotopice ale punctelor analizate sunt redate în tabelul 4.

**Tabel 4. Compoziția izotopică a probelor de apă**

Cod	$\delta^{18}\text{O}$	SD $\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	SD $\delta^2\text{H}$	Perioada prelevării
MA 1	-12.62	0.01	-84.58	0.06	10.2018
MA 2	-10.95	0.01	-72.38	0.10	10.2018
MA 3	-11.63	0.01	-75.58	0.16	10.2018
MA 4	-10.44	0.03	-69.48	0.11	10.2018
MA 5	-11.54	0.02	-74.72	0.04	10.2018
MA 6	-11.57	0.02	-74.82	0.08	10.2018
MA 7	-11.58	0.03	-74.67	0.09	10.2018
MA 8	-11.61	0.03	-75.35	0.12	10.2018
MA 9	nm	nm	nm	nm	nm
MA 10	-11.63	0.02	-75.10	0.07	10.2018
MA 11	-11.56	0.02	-75.05	0.29	10.2018
MA 12	-11.62	0.03	-75.40	0.04	10.2018
MA 13	-11.26	0.02	-73.31	0.13	10.2018
MA 14	-11.62	0.03	-75.11	0.17	10.2018
MA 15	-11.52	0.02	-74.81	0.05	10.2018
MA 16	-11.59	0.01	-75.18	0.07	10.2018
MA 17	-9.54	0.03	-64.63	0.08	02.2019
MA 18	-11.03	0.02	-77.35	0.05	02.2019
MA 19	-10.94	0.03	-74.96	0.05	02.2019
MA 20	-11.10	0.04	-73.15	0.15	02.2019
MA 21	-10.97	0.01	-72.49	0.03	02.2019
MA 22	-11.03	0.01	-72.72	0.05	02.2019
MA 23	-10.73	0.02	-72.17	0.07	02.2019
MA 24	-10.93	0.03	-72.64	0.21	02.2019
MA 25	-11.07	0.01	-73.03	0.15	02.2019
MA 26	-9.51	0.05	-65.50	0.09	02.2019
MA 27	-11.25	0.04	-78.96	0.05	02.2019
MA 28	-10.60	0.03	-72.13	0.09	02.2019
MA 29	-10.69	0.01	-72.27	0.16	02.2019
MA 30	-11.49	0.04	-78.39	0.14	02.2019
MA 31	-11.09	0.02	-77.92	0.05	02.2019
MA 32	-11.53	0.03	-79.60	0.09	02.2019
MA 33	-11.49	0.03	-79.56	0.09	02.2019
MA 34	-10.93	0.02	-74.95	0.16	02.2019
MA 35	-10.39	0.03	-69.49	0.06	02.2019
MA 36	-10.37	0.03	-69.62	0.08	02.2019
MA 37	-10.52	0.03	-76.42	0.09	02.2019
MA 38	-12.08	0.03	-83.49	0.12	11.2019
MA 39	-10.58	0.05	-71.75	0.09	11.2019
MA 40	-10.35	0.03	-68.93	0.03	11.2019
MA 41	-10.74	0.03	-73.31	0.08	11.2019
MA 42	-10.58	0.05	-71.75	0.09	11.2019

nm – nu s-a măsurat

În figura 6 este reprezentată compoziția izotopică a principalelor puncte analizate (conform datelor din tabelul anerior) și este comparată cu linia meteorică globală (GMWL) și cu linie meteorică locală (LMWL), Roșia Montană care se află în proximitatea arealului studiat.



**Figura 6. Compoziția izotopică a probelor colectate**

În figura 6 este reprezentată linia meteorică locală (LMWL) Roșia Montană după Cozma et al., (2017). Pentru linia meteorică globală (GMWL) a fost folosită ecuația stabilită de Rozanski et al., (1993) după modelul lui Craig (1961). Compoziție izotopică a apelor prelevate are variații în funcție de poziționarea punctului (geografic, geologic).

O parte din punctele probate au ape care sunt însoțite de emisii de dioxid de carbon. Probele provenite din acvifere cu temperaturi mai reduse au emisii de dioxid de carbon cu un conținut de oxigen-18 mai redus. Pentru acest tip de probe este specifică gruparea în partea stângă față de LMWL. Probele de apă care provin din acvifere cu temperaturi mai mari au emisii de dioxid de carbon cu un conținut mai mare de oxigen 18. De regulă aceste probe se situează în partea dreaptă față de LMWL.

Conform datelor izotopice obținute se evidențiază puncte care au caracteristici asemănătoare doar la nivel local. Exemple elocvente în acest sens sunt punctele probate la Geoagiu Băi sau cele probate la Moneasa.

## 6.2 Rezultatele obținute pentru probele de gaz

Conform metodologiei au fost colectate probe din teren pentru determinarea gazelor libere, caracterizarea izotopică a gazelor dizolvate și determinarea gazelor dizolvate din apă.

Prelevarea gazelor pentru analize izotopice are anumite cerințe mai speciale cu scopul de a evita contaminarea și care în unele cazuri sunt condiționate de natura sursei. Din această cauză nu s-au colectat probe din toate punctele. Pentru prelevare probelor necesare determinării gazelor dizolvate este important să se evite contactul prelungit cu aerul atmosferic sau condiții care să faciliteze degazeifierea apei și eventuale condiții de amestecare cu o altă apă. Pentru a respecta aceste cerințe s-au considerat relevante punctele care aveau o curgere permanentă (debit constant) și care aveau secțiunea conductei de curgere plină sau aproape plină.

Au fost colectate și analizate pentru gaze dizolvate în parametrii optimi următoarele puncte: MA 18, MA 19, MA 21, MA 28, MA 31, MA 33, MA 34, MA 35, MA 42. Pentru gazele libere, prelevarea și probarea a fost condiționată de prezența acestora și de accesul la ele. Punctele probate pentru această categorie sunt: MA 1, MA 5, MA 8, MA 21, MA 28, MA 34, MA 35, MA 38.

În tabelul 5 sunt prezentate valorile rezultate în urma măsurării gazelor dizolvate din probele de apă prelevate.

**Tabel 5. Compoziția chimică a gazelor dizolvate**

<b>Cod</b>	<b>H<sub>2</sub></b>	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>CO</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>CO<sub>2</sub></b>
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MA 3	286	126725.99	506993.34	0.00	2.03	365993.13
MA 5	0	126964.49	567970.92	0.00	0.00	305064.58
MA 6	182	137315.14	624329.85	0.00	1.23	238172.23
MA 7	531	131124.55	640629.03	0.00	0.00	227715.30
MA 8	465	173539.91	774825.97	0.00	5.45	51163.71
MA 10	309	175946.59	733116.19	0.00	8.23	90619.86
MA 11	0	161574.26	742501.07	0.00	0.00	95924.65

MA 12	392	185463.80	789687.49	1.27	1.38	24454.40
MA 13	699	192140.27	762532.93	0.00	1.02	44627.09
MA 16	481	170097.93	737517.93	0.00	4.05	91899.55
MA 18	6.18	200035.38	799172.65	0.00	6.30	779.48
MA 19	108	190584.35	796493.08	0.00	7.42	12806.87
MA 21	1595	224090.10	772303.33	0.00	1.83	2009.76
MA 28	103	191268.52	805777.37	0.00	35.2	2816.07
MA 29	1044	204279.84	784217.18	0.00	1.70	10457.24
MA 30	47.6	153118.78	841052.65	0.00	0.00	5780.92
MA 31	325	127488.55	865583.79	0.00	12.2	6590.47
MA 32	501	151623.54	833481.17	2.03	12.4	14380.32
MA 33	207	9939.13	977464.86	0.00	8.41	12380.18
MA 34	52.4	17955.29	880085.91	0.00	46329	55577.26
MA 35	520	201992.33	779084.51	0.00	1.45	18401.41
MA 37	597	194334.44	800460.42	0.00	1.17	4606.67
MA 38	150	180699.03	741070.11	0.00	5.92	78075.34
MA 39	902	208265.98	788895.44	0.00	1.21	1935.78
MA 40	1924	267496.22	727571.23	0.00	2.13	3006.27
MA 41	743	148240.66	657540.12	1.59	1.34	193473.57
MA 42	560	53639.09	360218.66	0.00	197	585385.95

În total a fost măsurată concentrația gazelor dizolvate pentru 27 de puncte. Gazele dizolvate vizate de aceste măsurători sunt: He, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>.

Heliul a lipsit din toate probele analizate. Și monoxidului de carbon a fost aproape inexistent, acesta a fost identificat doar în trei probe, iar concentrația lui a fost mică, cu valori cuprinse între 1.27 ppm și 2.03 ppm. Oxigenul, azotul și dioxidul de carbon sunt gazele care au cele mai semnificative concentrații în toate probele. Singurul punct care face excepție de la această regulă este MA 34 (Ceica) care are o concentrație a metanului de peste 45 ppm, fiind gazul cu a 3-a pondere după azot și dioxid de carbon. Punctele din zona Geoagiu Băi și cristalinel Rapoltului au concentrații mai mari de dioxid de carbon comparativ cu punctele din celelalte zone.

În tabelul 6 sunt prezentate valorile izotopice și rapoartele acestora pentru gazele nobile dizolvate din probele de apă. Au fost favorabile pentru prelevare și analiză următoarele puncte: MA 18, MA 19, MA 21, MA 28, MA 31, MA 33, MA 34, MA 35, MA 42.

**Tabel 6. Valorile și rapoartele izotopice pentru gazele dizolvate**

Cod	He total	Ne total	R/Ra	<sup>20</sup> Ne/ <sup>22</sup> Ne	<sup>4</sup> He/ <sup>20</sup> Ne
	m <sup>3</sup> TPS	m <sup>3</sup> TPS			
MA 18	2.3324E-07	4.4579E-08	0.7896	42.174	5.4
MA 19	1.6816E-07	3.7310E-08	0.0353	41.989	4.6

MA 21	4.6913E-07	3.2562E-07	0.8484	46.942	1.5
MA 28	8.4613E-07	2.7499E-08	0.0905	42.185	31.6
MA 30	1.8369E-07	7.7522E-08	0.1032	42.043	2.4
MA 33	5.3168E-07	5.8071E-07	0.5596	13.281	1.0
MA 34	1.5875E-07	6.4359E-08	0.0596	42.017	2.5
MA 35	1.0138E-07	2.7591E-11	1.3607	727.003	3689.2
MA 42	2.3365E-07	5.0555E-09	1.7810	42.603	47.4

TPS – Temperatură și presiune standard

Preponderent punctele prezentate în tabelul 6 provin din zone diferite (geologice și geografice). Acest lucru poate influența și concentrațiile gazelor analizate. S-a observat că punctul MA 35 (Felix Parc) are valori diferite (diferență evidentă în comparație cu rapoartele celorlalte puncte) pentru rapoartele izotopice ale neonului și heliului. Considerând aceste aspecte presupunem că în arealul punctului MA 35 există un sistem termal diferit în comparație cu alte sisteme din zona de studiu.

În unele puncte s-a observat prezența gazelor libere. Din punctele care au corespuns unei prelevări corecte conform metodologiei au fost prelevate și ulterior analizate probe de gaze libere. În tabelul 7 este prezentată compoziția acestor probe.

**Tabel 7. Compoziția chimică a gazelor libere**

Cod	He	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
	ppm	ppm	ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MA 1	< 3	20.0	203900	768500	2.9	335.0	2900	< 1	< 10
MA 5	9	6.0	180200	671100	18.0	184	150900	< 1	< 10
MA 8	171	< 3	128800	779000	2.2	< 0.5	96200	< 1	< 10
MA 21	< 3	< 3	208400	779600	1.7	2.2	1300	< 1	< 10
MA 28	< 3	< 3	208700	783700	< 0.5	116	3400	< 1	< 10
MA 34	33	< 3	11000	744300	< 0.5	136800	85300	< 1	< 10
MA 35	< 3	< 3	145700	821100	< 0.5	14	22900	< 1	< 10
MA 38	562	< 3	26600	787400	1.6	23	179800	< 1	< 10

Valorile măsurate pentru gazele libere au aceleași tendințe ca și valorile pentru gazele dizolvate. Gazele predominante sunt azotul, oxigenul și dioxidul de carbon. Metanul este prezent în concentrație mare doar la punctul MA 34 (Ceica).

În tabelul 8 sunt prezentate valorile izotopice pentru gazele libere prelevate de la Călan (MA 1) și Banpotoc (MA 5).

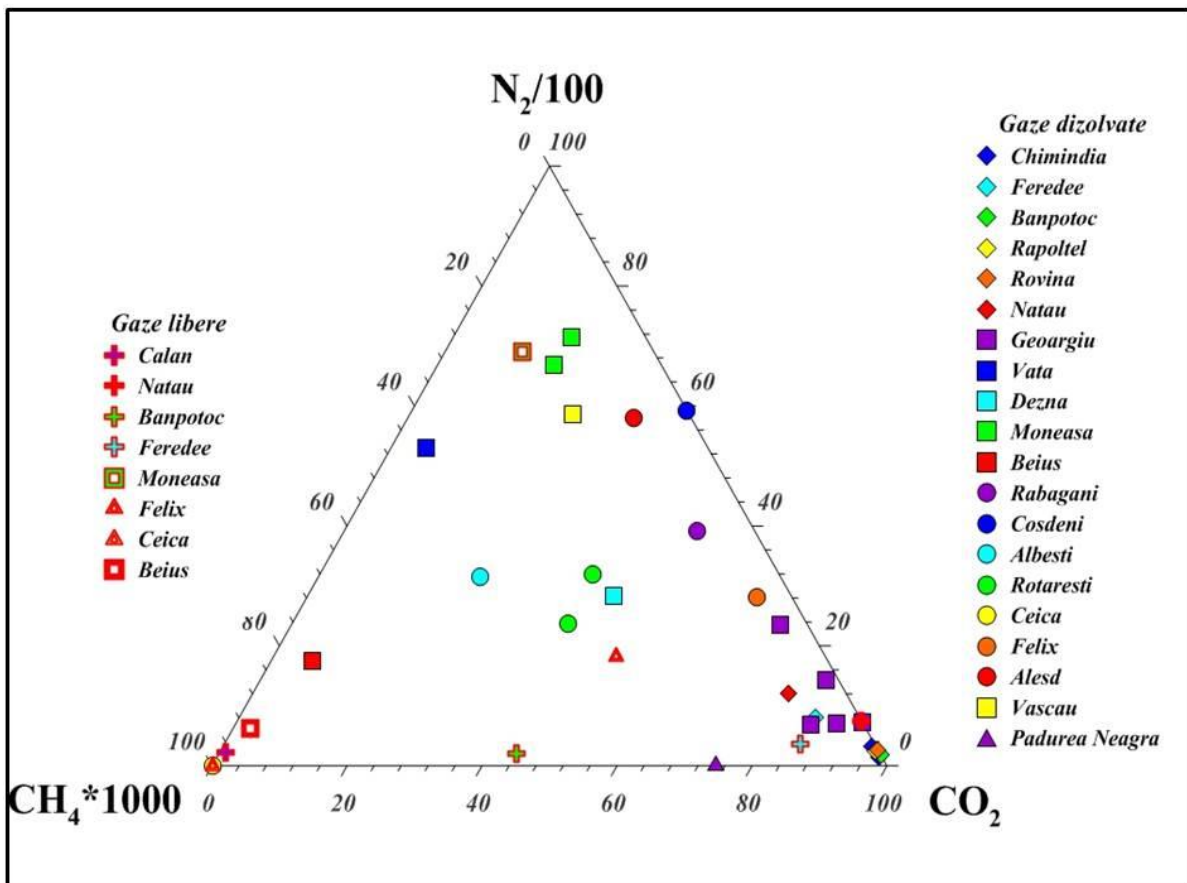


**Tabel 8. Valorile și rapoartele izotopice pentru gazele libere**

Cod	<sup>4</sup> He	<sup>3</sup> He	<sup>20</sup> Ne	<sup>22</sup> Ne	<sup>20</sup> Ne/ <sup>22</sup> Ne	R/Ra
	ppm	ppm	ppm	ppm		
MA 1	664.7269	8.2717E-04	16.2641	1.6714	9.7307	0.8991
MA 5	10.9859	3.3092E-05	17.6356	1.8126	9.7293	2.1765

Având în vedere că avem date doar despre aceste două puncte probate nu putem face extrapolări sau comparații relevante. Punctul MA 5 are un flux mai mare de heliu, aspect care sugerează o contribuție de heliu din manta.

Cu datele obținute pentru tipurile de gaze prezentate anterior au fost construite grafice și diagrame care să faciliteze interpretarea și înțelegerea acestora, în vederea formulării unor concluzii pertinente.



**Figura 7. Diagramă ternară pentru azot-metan și dioxid de carbon**



În figura 7 sunt reprezentate cu ajutorul unei diagrame ternare concentrațiile gazelor libere și a celor dizolvate ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  și  $\text{N}_2$ ) din probele prelevate. În acest context este o relație direct proporțională între concentrația gazelor dizolvate și a celor libere. Câteva puncte unde sunt elocvente aceste proporționalități sunt Moneasa, Feredee, Ceica.

Din punct de vedere al concentrației, se remarcă faptul că o mare parte din punctele analizate au o concentrație ridicată de dioxid de carbon. Dioxidul de carbon este prezent în special la punctele probate în sudul Munților Apuseni. Concentrații semnificative de metan se întâlnesc la Ceica (MA 34), Beiuș (MA 28) și Călan (MA 1).

Un grup de puncte care se evidențiază printr-o concentrație mare de azot este reprezentat de punctele probate la Moneasa și Vașcău. Această concentrație poate fi corelată cu o circulație superficială a apei dar și cu contactul atmosferei. Golurile carstice pot facilita acest contact cu aerul atmosferic.

În partea centrală a diagramei ternare se observă un grup de puncte care are un mix din cele trei gaze reprezentate. Aceste puncte provin de la Albești (MA 31), Rotărești (MA 32, MA 33), Dezna (MA 19) și Felix (MA 35).

Pentru a construi diagrama din figura 8 după modelul (Sano & Marty, 1994) s-au folosit rapoartele  $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$  versus  $\delta^{13}\text{C-CO}_2$ .

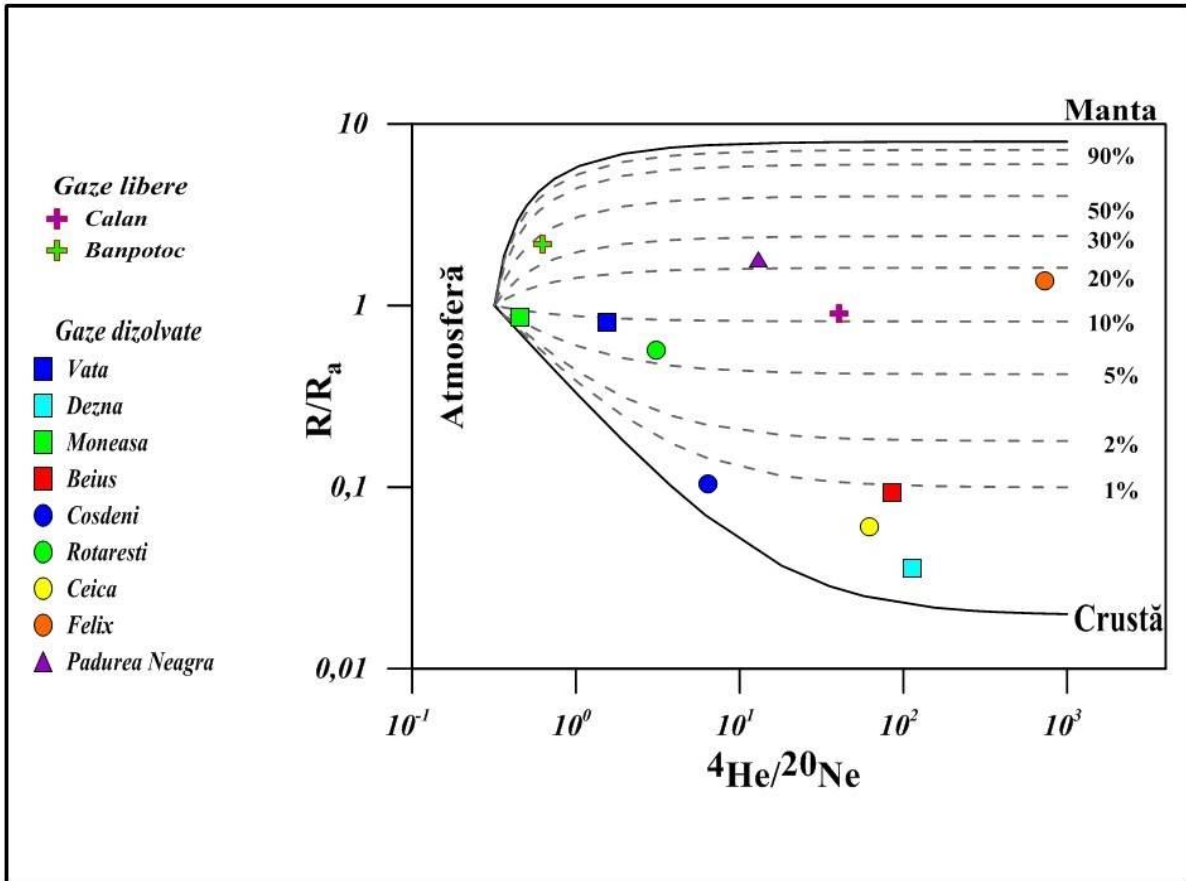


Figura 8. Diagramă raport  $R/R_a$  versus  ${}^4\text{He}/{}^{20}\text{Ne}$

Diagrama din figura 8 reliefează proveniența gazelor măsurate. Punctele care au gaze de proveniență crustală sunt amplasate pe grafic sub linia de 1%. Trei din cele patru puncte sunt situate în Depresiunea Beiușului. Această proveniență se identifică în multe cazuri cu depozite sedimentare.

Cea de-a doua categorie este formată de punctele amplasate în jurul liniei de 10%. Aceste puncte conțin un mix de gaze de proveniență crustală și din manta. În marea lor majoritate punctele au un aport atmosferic mai însemnat (Moneasa, Vața Rotărești).

În jurul liniei de 20% și peste se află punctele care au o contribuție semnificativă de gaze din manta. Identificarea acestui tip de gaz indică o comunicare cu mantaua prin diferite sisteme (falii, fracturi).

## 7. Concluzii generale

În urma cercetării prezentate anterior putem concluziona că pe cuprinsul zonei studiate sunt prezente manifestările geotermale (ape și gaze). Amplasarea generală a acestor zone termale urmează un aliniament aproximativ pe direcția SE-NV, dar există și puncte cu manifestări termale în afara acestui aliniament.

Din punct de vedere cantitativ aceste resursele geotermale sunt sustenabile pentru diverse folosințe antropice. Utilizarea lor în sisteme reziliante poate genera beneficii din punct de vedere al mediului cât și beneficii economice. Modul de valorificare al acestor resurse variază și trebuie efectuate studii care să demonstreze fezabilitate utilizării într-un anumit context.

Din punct de vedere geochimic probele analizate denotă o varietate chimică pe cuprinsul arealului studiat. Cel mai întâlnit tip de apă a fost cel bicarbonatat calcic-magnezian, care se regăsește pe tot cuprinsul zonei de studiu. Un alt tip de apă reprezentativ în special pentru partea nordică a Depresiunea Beiușului este tipul bicarbonatat sodic. Originea gazelor prezente în sisteme termale analizate este preponderent crustală.

În urma parcurgerii informațiilor și datelor obținute în prezentul studiu reiese faptul că apele geotermale de pe cuprinsul Munților Apuseni pot prezenta caracteristici genetice diferite.

## 8. Bibliografie

Anticsa M., Rosca M., 2003, Geothermal development in Romania, *Geothermics* 32 (2003), 361–370.

Arason S., 2003, The drying of fish and utilization of geothermal energy; the Icelandic experience, *International Geothermal Conference, Reykjavík*, (2003) 21-31.

Berdondini F., Bronzi P., Burgassi P., Marconcini R., Pignatari M., Rosenthal H., 1995, Utilization of geothermal source in a closed cycle aquaculture system in Italy: Preliminary results, *World Geothermal Congress*, (1995) 2309 – 2312.

Boyd T., Lund J., 2000, Geothermal Heating of Greenhouses and Aquaculture Facilities, Geothermal Resources Council Transactions, Vol. 24, September (2000) 24-27.

Butac A., Opran C., 1985, Geothermal resources in Romania and their utilizations, Geothermics, Vol.12, No.2/3, (1983) 371-377.

Colesca S., Ciocoiu C., 2013, An overview of the Romanian renewable energy sector, Renewable and Sustainable Energy Reviews 24 (2013) 149–158.

Cozma A., Baciuc C., Papp D., Roșian G., Pop C., 2017, Isotopic composition of precipitation in western Transylvania (Romania) reflected by two local meteoric water lines, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, July 2017, Vol. 12, No. 2, (2017) 357-364.

Craig H., 1961, Isotope variations in meteoric waters, Science 133, 1702-1703.

Demetrescu C., Andreescu M., 1994, On the thermal regime of some tectonic units in a continental collision environment in Romania, Tectonophysics 230, (1994) 265-276.

Dumitru O., Forray F., Fornósc J., Ersek V., Onac B., 2016, Water isotopic variability in Mallorca: a path to understanding past changes in hydroclimate, Hydrological Processes Vol. 31, (2016) 104 -116.

Gheorghe Al., Crăciun P., 1993, Thermal aquifers in Romania, Journal of Hydrology, 145, (1993) 111 -123.

Ianovici V., Borcoș V., Bleahu M., Patrulius D., Lupu M., Dimitrescu R., Savu H., 1976, Geologia Munților Apuseni, Editura Academiei Republicii Socialiste România, București.

Italiano F., Yuce G., Uysal I.T., Gasparon M., Morelli G., 2014, Insights into mantle-type volatiles contribution from dissolved gases in artesian waters of the Great Artesian Basin, Australia. Chem. Geol. 378 – 379, (2014), 75 – 88.

Lund J.E., Boyd T.L., 2016, Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review, Geothermics 60, (2016) 66-93.

Mutihac V., 1990, Structura geologică a teritoriului României, Editura Tehnică, București.

Nicula A. M., Ionescu A., Pop I. C., Orășeanu I., Baciuc C., 2019, Preliminary considerations regarding the geothermal potential in the Apuseni Mountains Area, Studia UBB Ambientum, LXIV, 2, (2019), 45-56.

Orășeanu I., 2016, Hidrogeologia Carstului din Munții Apuseni, Editura Belvedere, Oradea.

Papic P., 2016, Mineral and Thermal Waters of Southeastern Europe, Environmental Earth Sciences, Springer International Publishing.

Plugaru S.C.R, Dan V., Gabor T., Mentiu X.P., 2018, The use of geothermal water in the cultivation of some algae species: a review, *Ecoterra* 15(2),(2015) 27-33.

Rădulescu M., & Teodoreanu E., 2014, Noțiuni de balneofizioterapie și balneoclimatologie, Editura Medicală, București.

Rozanski K., Araguás-Araguás L., Gonfiantini R., 1993. Isotopic pattern in modern global precipitation, *Climate Change in Continental Isotopic Records*, Washington (1993), 1-37.

Săndulescu, M., 1984, *Geotectonica României*, Editura Tehnică, Bucuresti.

Sano Y. & Wakita H., 1985, Geographical distribution of  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratios in Japan: Implications for arc tectonics and incipient magmatism. *Journal of Geophysical Research* 90, doi: 10.1029.

Sano Y., Marty B., 1994, Origin of carbon in fumarolic gas from island arcs, *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)* 119, (1995) 265-274.

Schmid M., Fügenschuh B., Kounov A., Matenco L., Nievergelt P., Oberhansli R., Pleuger J., Schefer S., Schuster R., Tomljenovi B., Ustaszewski K., J.J. van Hinsbergen D., 2020, Tectonic units of the Alpine collision zone between Eastern Alps and western Turkey, *Gondwana Research* 78, (2020) 308-374.

Schmidl A., 1863, *Das Bihar-Gebirgen an der Grenze von Ungarn und Siebenburgen*, Verlag von Forster & Bartelmus, Vien.

Seghedi I., Downes H., Harangi S., Mason P., Pecskey Z., 2005, Geochemical response of magmas to Neogene–Quaternary continental collision in the Carpathian–Pannonian region: A review, *Tectonophysics* 410, (2005) 485 - 499.

Sordelli C., Karkoulas V., 1995, Geothermal installation in Rodigo, *World Geothermal Congress*, (1995) 2313-2315.

Sturza M., 1950, *Manual de Balneologie*, Editura de Stat.

Tiliță M., Lenkeyc L., Mațenco L., Horváth F., Surányid G., Cloetingha S., 2018, Heat flow modelling in the Transylvanian basin: Implications for the evolution of the intra-Carpathians area, *Global and Planetary Change* 171, (2018) 148-166.

<https://www.geothermal-energy.org/explore/our-databases/geothermal-power-database/direct-uses-by-country> [accesat 16.01.2020] (IGA) International Geothermal Association

<http://www.picarro.com> [accesat 25.03.2020]