



**UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI**

---

Facultatea de Geologie și Geofizică  
*Scoala Doctorală de Geologie*

## **Teza doctorat**

- rezumat -

# **Vulnerabilitatea la poluare a zăcămintelor de ape minerale naturale carbogazoase, cu aplicație în zona Sâncrăieni-Ciuc**

**Coordonator științific: Prof. Dr. ing. Florian Zamfirescu**

**Drd. ing. Alexandru Fonoca**

- București, 2011 -

## Cuprins

### Introducere

#### 1. Elemente geologice și tectonice

##### 1.1 Structura geologică a Carpaților Orientali

##### 1.2 Principalele etape de evoluție în structura geologică a Carpaților Orientali

##### 1.3 Vulcanismul neogen în Carpații Orientali

##### 1.4 Corelația între structura geologică adâncă și zonele de apariție a apelor minerale carbogazoase

#### 2. Caracterizarea hidrochimică a principalelor zăcăminte de ape minerale naturale carbogazoase din Carpații Orientali

##### 2.1 Model general pentru acvifere carbogazoase în Carpații Orientali

##### 2.2 Clasificarea și caracterizarea hidrochimică a zăcămintelor de ape minerale carbogazoase. Principalele tipuri de ape minerale din România

##### 2.3 Zăcăminte de ape minerale carbogazoase în Carpații Orientali

#### 3. Vulnerabilitatea. Concepte și metode de evaluare

##### 3.1 Conceptul de vulnerabilitate

##### 3.2 Metoda de evaluare DRASTIC

##### 3.3 Metoda de evaluare cantitativă europeană

#### 4. Zăcămintul de ape minerale naturale carbogazoase Sâncrăieni

##### 4.1 Localizarea perimetrului și elemente climatice

##### 4.2 Istoricul cercetărilor și al lucrărilor de explorare/exploatare

##### 4.3 Oro-hidrografia perimetrului

##### 4.4 Metodologie de cercetare a perimetrului și tipuri de date utilizate

##### 4.5 Context hidrogeologic zonal

#### 5. Analiza și rezultatele cercetărilor în perimetrul Sâncrăieni

##### 5.1 Determinarea parametrilor hidrogeologici și hidrochimici

##### 5.1.3 Parametri și faciesuri hidrochimice

##### 5.2 Analiza izotopilor de mediu

##### 5.3 Marcări cu trasori

##### 5.4 Analiza interferenței ape de suprafață/ape subterane

5.5 Factori potențiali de risc

5.6 Model conceptual

5.7 Analiza cantitativă a curgerii subterane

5.8 Calcularea debitului optim pentru forajele exploatare

6. Evaluarea vulnerabilității la poluare

6.1 Metoda DRASTIC

6.2 Metoda europeană

Concluzii

BIBLIOGRAFIE

## **Introducere**

### **Scopul și obiectivele cercetării**

Scopul lucrării este reprezentat de evaluarea vulnerabilității la poluare a zăcământului de ape minerale natural carbogazoase de la Sâncrăieni, jud. Harghita. Evaluarea a fost realizată pe baza unui concept nou, ce încearcă să fie implementat la nivel european, având sprijin în Directiva Cadru Ape din anul 2000 a Uniunii Europene.

Pentru atingerea scopului acestei lucrări, programul de cercetare a avut de atins următoarele obiective:

- Analiza condițiilor de formare a apelor minerale carbogazoase în Carpații Orientali
- Analiza principalelor tipuri de zăcăminte de ape minerale carbogazoase din Carpații Orientali
- Investigarea hidrogeologică a perimetrului Sâncrăieni
- Analiza condițiilor hidrogeologice și interpretarea rezultatelor
- Evaluarea vulnerabilității zăcământului de ape minerale natural carbogazoase din Sâncrăieni
- Optimizarea condițiilor de exploatare pentru forajele de exploatare ale zăcământului de la Sâncrăieni.

### **Metodologia și metodele de lucru**

În prima etapă, au fost obținute datele prin investigație directă pe teren, acestea au fost interpretate și coroborate cu date din literatura de specialitate.

Pe lângă metodele uzuale științifice de interpretare a datelor hidrogeologice, s-au utilizat tehnici de gestiune a informației - baze de date cu caracter geo-informatic pentru utilizare în sistemele SIG. De asemenea, au fost utilizate metode de modelare matematică a curgerii apei subterane și modelare de transport de poluanți.

Lucrarea a beneficiat și de aportul științific al rezultatelor studiilor de izotopi de mediu, marcării cu trăsori și măsurărilor hidrometrice în perimetrul studiat.

### **Structura lucrării**

Lucrarea este structurată pe 6 capitole, primul capitol tratează cadrul geologic regional și vulcanismul neogen din Carpații Orientali. Capitolul 2 prezintă caracteristici generale ale acviferelor carbogazoase și conține un scurt inventar al acviferelor carbogazoase din Carpații Orientali. Capitolul 3 prezintă conceptul de vulnerabilitate și cele două metode aplicate în această lucrare. Capitolele 4 și 5 sunt dedicate zonei de studiu și se bazează în mare parte pe raportul de cercetare realizat în cadrul DC-GGA. Aceste capitole conțin detalierea condițiilor

hidrogeologice zonale, metodologia de lucru, date obținute, interpretare, modelare transport de contaminanți, calcul pentru debit optim. În capitolul 6, pe baza datelor prezentate în capitolele anterioare, și conform cu metodologia din capitolul 3, sunt aplicate cele două metode de vulnerabilitate. În finalul tezei, se regăsesc concluziile și bibliografia utilizată în lucrare.

### **Importanța practică a rezultatelor**

Evaluarea vulnerabilității și studierea optimizării condițiilor de exploatare își găsesc aplicația directă în atât în planurile de management sustenabil al oricărei întreprinderi economice cât și în planurile de protecție și dezvoltare al autorităților guvernamentale.

Avantajul cel mai important al studiului vulnerabilității constă în faptul că, prin vulnerabilitate, se reușește o traducere și o transpunere a datelor complexe de natură științifică în date simple care pot fi înțelese ușor și pot fi integrate în sistemul decizional și administrativ local. În urma investigațiilor științifice, rezultă date foarte importante dar care pot fi utilizate doar de către specialiști. Prin cartografierea vulnerabilității, aceste date sunt înglobate într-un sistem de echivalență cu date și parametri de natură administrativ-economică.

Optimizarea exploatărilor aduce pe lângă beneficiile directe pentru resursele de apă, și beneficii pe lungă durată producătorului economic, care se poate baza pe anumiți parametri în proiectarea capacităților de producție. O exploatare incorectă a resurselor de ape minerale naturale carbogazoase, nu poate fi în beneficiul agentului economic, și poate afecta și zona adiacentă exploatării, creând dezechilibre în sistemul hidrogeologic.

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional

Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013

**Axa prioritara 1** – „Educația și formarea profesionala în sprijinul creșterii economice și dezvoltării societății bazate pe cunoaștere”

**Domeniul major de interventie 1.5** – „Programe doctorale și postdoctorale în sprijinul cercetării”

**Numărul de identificare al contractului:** POSDRU /6/1.5/S/24

**Titlul proiectului:** ”Suport financiar pentru studii doctorale privind complexitatea din natură, mediu și societatea umană”

## 1. Elemente geologice și tectonice

Primul capitol al acestei lucrări prezintă într-un mod mai detaliat cadrul geologic general al Carpaților Orientali, Vulcanismul neogen și corelația dintre vulcanism și zonele de cu prezență de ape minerale carbogazoase.

Carpații Orientali se extind pe teritoriul României din bazinul superior al Tisei, în nord, până la bazinul râului Dâmbovița, în sud. Spre est și sud-est limita este data de Falia pericarpatică, iar în vest se învecinează cu Depresiunea Transilvaniei. Din punct de vedere geo-structural, se disting mai multe zone, care, de fapt, corespund unor etape structogenetice bine definite din evoluția acestui segment carpatic. Zonele respective sunt dispuse în lungul catenei muntoase formând pânze sau sisteme de pânze, care sunt cu atât mai tinere cu cât ocupă o poziție mai estică. Astfel, începând de la vest spre est se delimitează: zona cristalino-mezozoică (Unitatea Central – Est Carpatică), zona flișului (pânzele flișului: Ceahlău, Teleajen, Audia, Tarcău, Vrancea) și zona de molasă (Pânza Subcarpatică). Acestea li se adaugă zona transcarpatică și zona vulcanitelor neogene, în marginea vestică a Carpaților Orientali. (Mutihac V., 1990)

### *Vulcanismul neogen*

În perimetrul studiat, vulcanismul neogen este reprezentat de lanțul vulcanic Călimani – Gurghiu – Harghita. Cu excepția Munților Călimani, care denotă o complexă structură, celelalte segmente sunt constituite din linii de vulcani adiacenți acompaniați de frontul vulcano-clastic caracteristic. Elemente și caracteristici vulcanice la scara mică, de cele mai multe ori domuri de lavă, sunt periferice în raport cu marii vulcani din regiune. Ca o regulă generală, înălțimea, lățimea, volumul și complexitatea scade de la NV la SE de-a lungul lanțului vulcanic Călimani – Gurghiu – Harghita (Szakács & Seghedi, 1995).

În lucrarea de față sunt prezentate două modele conceptuale care explică structura vulcanică. Modelul propus de Rădulescu et. al. 1964a, 1973, cu două compartimente. Acest model consideră partea bazală a structurii vulcanice ca fiind un compartiment independent – o formațiune foarte complexă vulcanogeno-sedimentară – care află în special în zonele periferice ale regiunii iar în proporție de 45 %, acest compartiment este acoperit de compartimentul superior al structurii, aparatul vulcanic cu lave și, subsecvent, piroclastite.

Al doilea model, a fost prezentat de Szakács și Seghedi (1995) și este bazat pe descoperirea fenomenelor de avalanșe și curgeri de debrite, ce a putut fi vizualizate pentru

prima dată în vestul Statelor Unite ale Americii, la erupția din 18 Mai, 1980, a vulcanului St. Helens. Instabilitatea edificiului vulcanic coroborată cu o erupție explozivă de cele mai multe ori conduc la colapsul coșului vulcanic, de obicei preferențial pe o anumită direcție, luând astfel naștere depozite de elemente vulcanice piroclastice.

În ultimul subcapitol este prezentată corelația dintre suprafața aureolei mofetice (peste 13.000 km<sup>2</sup> definită de emanații de CO<sub>2</sub> liber sau dizolvat în ape de suprafață) și modelul distribuție liniare a eruptivului neogen bazat pe factori crustale, fracturi ce afectează substratul Carpaților Orientali.

Circulația dioxidului de carbon se face de-a lungul fracturilor adânci (fracturi crustale, regionale și locale), fiind adus la suprafață (diferențiat) de sistemul de fracturi al cuverturii sedimentare. Modul de circulație depinde atât de gradul de deschidere și mobilitate al fracturilor cât și de gradul de deschidere al fracturilor părții acoperitoare.

Frecvența distribuției la suprafață a manifestațiilor post-vulcanice, facilitează gruparea convențională a acestora în patru zone. Trei la est de linia eruptivă neogenă (situată pe linia depresiunilor intramontane). O zona la vest, pe flancurile estic și nordic al Depresiunii Transilvaniei. Creșterea frecvenței, intensității și diversificării manifestațiilor post-vulcanice din sectorul nord-vestic către sectorul sud-estic, pare a fi în strânsă legătură cu diferențierea vârstei activității vulcanice neogene și cu evenimentele geologice ce au acompaniat în stadiile mai recente această dezvoltare (NV-SE) (Airinei și Pricăjan, 1975).

## **2. Caracterizarea hidrochimică a principalelor zăcăminte de ape minerale naturale carbogazoase din Carpații Orientali**

În cel de-al doilea capitol al tezei este prezentată o caracterizare generală a apelor minerale din România pe baza Atlasului apelor minerale din România (Cornelia Maieru, 1998).

Apele minerale se pot separa pe baza caracteristicilor litologice și tectonice a depozitelor în care este cantonată apa, a condițiilor de circulație, a condițiilor de înmagazinare și mineralizare; în patru categorii principale: ape clorurate, carbogazoase, sulfuroase și ape minerale naturale plate.

Apele minerale carbogazoase sunt în general rezultatul disoluției dioxidului de carbon de origine profundă în apele subterane. Dioxidul de carbon este asociat cu eruptivului neogen

ce a generat lanțul vulcanic din Carpații Orientali, Munții Metaliferi și corpurile intruzive din Depresiunea Panonică. Apele minerale carbogazoase sunt însoțite aproximativ peste tot de emanații de gaze libere, având o proporție de CO<sub>2</sub> de peste 80 – 90 %. Când fluxurile sunt importante, CO<sub>2</sub>-ul este lichefiat pentru a fi utilizat în industria alimentară (Covasna, Tușnad, Malnaș, Sâncrăieni).

În ultimul subcapitol sunt prezentate pe scurt principalele zăcăminte de ape minerale carbogazoase din Carpații Orientali pe baza unei descrieri elaborate în mare parte de Pricăjan A. 1985.

### **3. Vulnerabilitatea. Concepte și metode de evaluare**

Capitolul 3 prezintă conceptul de vulnerabilitate și cele două metode aplicate de evaluare a vulnerabilității în studiul de caz al lucrării prezente.

În dezvoltarea conceptului de vulnerabilitate rolul principal a fost ocupat de interesul crescut la nivel mondial cu privire la contaminarea surselor de apă subterană. Acest concept a fost introdus în perioada de la sfârșitul anilor '60, ca răspuns la căutările pentru proceduri și evaluări pentru contaminarea apelor subterane. Conceptul original a fost denumit „vulnerabilitatea apei subterane la contaminare” (Margat, 1968), de atunci, vulnerabilitatea este evaluată în general doar în legătură strânsă cu poluarea (contaminarea) apelor subterane. (J. Vrba, 1994).

Programul COST 65 (1995) prezintă o imagine de ansamblu asupra diverselor definiții ale vulnerabilității, care au fost propuse până în prezent. Cele mai multe dintre ele sunt destul de asemănătoare. În urma evaluării au fost propuse următoarele definiții:

- Vulnerabilitatea intrinsecă a apelor subterane la contaminanți ia în considerare caracteristicile geologice, hidrologice și hidrogeologice ale unei zone, dar este independentă de natura contaminanților și scenariul de contaminare.
- Vulnerabilitatea specifică ia în considerare proprietățile unui anumit contaminant sau a unui grup de contaminanți în plus față de vulnerabilitatea intrinsecă a zonei.



Diferența dintre evaluarea cantitativă și evaluarea calitativă a vulnerabilității constă în modul de cuantificare a gradului de vulnerabilitate. În cazul vulnerabilității calitative, utilizatorul trebuie să aprecieze, pe baza unor îndrumări/ghiduri, valori pentru factorii de vulnerabilitate. Această procedură nu este foarte exactă, rezultând diferențe în rezultatul final al evaluării care sunt datorate utilizatorului.

Evaluarea cantitativă este o metodă relativ nouă, aceasta se bazează pe asocierea rezultatelor modelării matematice a curgerii apei subterane cu zone de vulnerabilitate (fie este evaluat riscul de poluare în general, fie este evaluat riscul specific de contaminare pentru un anumit compus).

Metoda DRASTIC utilizată cu precădere în SUA (Canter, 1996) este utilă în evaluarea vulnerabilității la poluare pentru apele subterane. Acronimul DRASTIC derivă de la cei șapte factori din schema de clasificare, referitori la mediul acvifer (A), conductivitatea hidraulică (C), adâncimea apei subterane (D), impactul zonei vadoase (I), capacitatea de reîncărcare a acviferelor (R), grosimea formațiunilor acoperitoare impermeabile (S) și topografia terenului (T). Aceștia sunt clasificați numeric pe o scară de la 1 la 10 și sunt primesc un coeficient de importanță (pondere) conform cu tabelul 1.

**Tabelul nr. 1** .Factorii de clasificare și coeficienții de importanță ai sistemului DRASTIC de cuantificare a vulnerabilității la poluare a apelor subterane

Factorul de clasificare	Coeficientul de importanță
(D) – Adâncimea apei subterane	5
(R) – Capacitatea de reîncărcare	4
(A) – Mediul acvifer	3
(S) – Formațiunea acoperitoare	2
(T) – Topografia	1
(I) – Impactul zonei vadoase	5
(C) – Conductivitatea hidraulică	3

Vulnerabilitatea intrinsecă a apelor subterane la contaminare este, prin definiție, independentă atât de natura cât și de scenariul de contaminare. Potrivit conceptului dezvoltate în cadrul proiectului COST 620, atunci când se evaluează vulnerabilitatea intrinsecă a apelor subterane, trebuie luate în considerare trei aspecte (Daly et. al. 2002.):

- a. timpul de transport advectional de la origine până la destinație;
- b. atenuarea fizică, de exemplu, prin dispersie, diluție și efectul de porozitate duală;
- c. cantitatea relativă de contaminanți care pot ajunge la țintă (o parte din contaminanți nu pot ajunge la destinație, dar sunt evacuați din bazinul hidrografic prin scurgerea de suprafață).

Cartografierea vulnerabilității este, prin urmare, bazată pe evaluarea proprietăților unui spațiu, care controlează aceste aspecte.

Abordarea europeană asupra evaluării și cartografierii vulnerabilității intrinseci așa cum este sugerat în proiectul COST 620, este mai degrabă un cadru general și flexibil, decât o metodă prescrisă.

În cadrul prezentei abordării pot fi folosite și pot fi dezvoltate mai multe metode. Conform conceptului descris anterior, abordarea are drept scop evaluarea și cartografierea acelor proprietăți care influențează timpul de deplasare al unui contaminant potențial de la origine la destinație, dar și nivelul concentrației și durata contaminării potențiale.

#### **4. Zăcămintul de ape minerale naturale carbogazoase Sâncrăieni**

În capitolul 4 zăcămintul de ape minerale naturale carbogazoase de la Sâncrăieni este caracterizat din punct de vedere geologic și hidrogeologic. De asemenea este prezentată și metodologia de lucru și lucrările efectuate.

Au fost executate 11 foraje (P1-P11) de cercetare hidrogeologică, cu adâncimi medii de 30 m; în final au fost realizați 352.5 m de foraj cu o lungime totală a filtrelor instalate de 60 m, cel mai adânc foraj (P1) a fost săpat până la o adâncime de 36.0 m fără a se reuși interceptarea apei subterane. Forajele au fost testate hidrodinamic pentru determinarea parametrilor hidraulici. În forajele în care condițiile hidraulice nu au permis pomparea apei a fost realizat un test de injectare de apă pentru determinarea parametrilor hidraulici.

Au fost recoltate un număr de 10 probe pentru analize chimice parțiale și un număr de 54 probe pentru analize chimice generale. În plus au fost efectuate 21 analize de control pentru mercur. Pentru analiza izotopilor de mediu stabili (T, D și O<sup>18</sup>) au fost recoltate 18 probe de apă din precipitații, ape de suprafață și ape subterane.

Au mai fost efectuate măsurători hidrometrice, ridicări topografice de precizie la oglinda apei de-a lungul a trei văi și pe râul Olt, și o turnare de trasori în forajele P6 și P7.

Din punct de vedere hidrogeologic, sistemul acvifer cantonat în corpurile andezitice și în formațiunea vulcanogen-sedimentară se află în legătură hidraulică cu văile transversale existente doar în zona de aval a acestora unde formațiunea vulcanogen-sedimentară prezintă o conductivitate hidraulică ce permite această legătură. Sistemul acvifer este drenat spre talvegul Oltului, prin intermediul intercalațiilor nisipoase ale umpluturii sedimentare și a sistemului aluvionar (Fig 1.). Circulația ascendentă la nivelul văii Oltului este favorizată de prezența sistemului de falii existente. (Zamfirescu et. al., 2009)

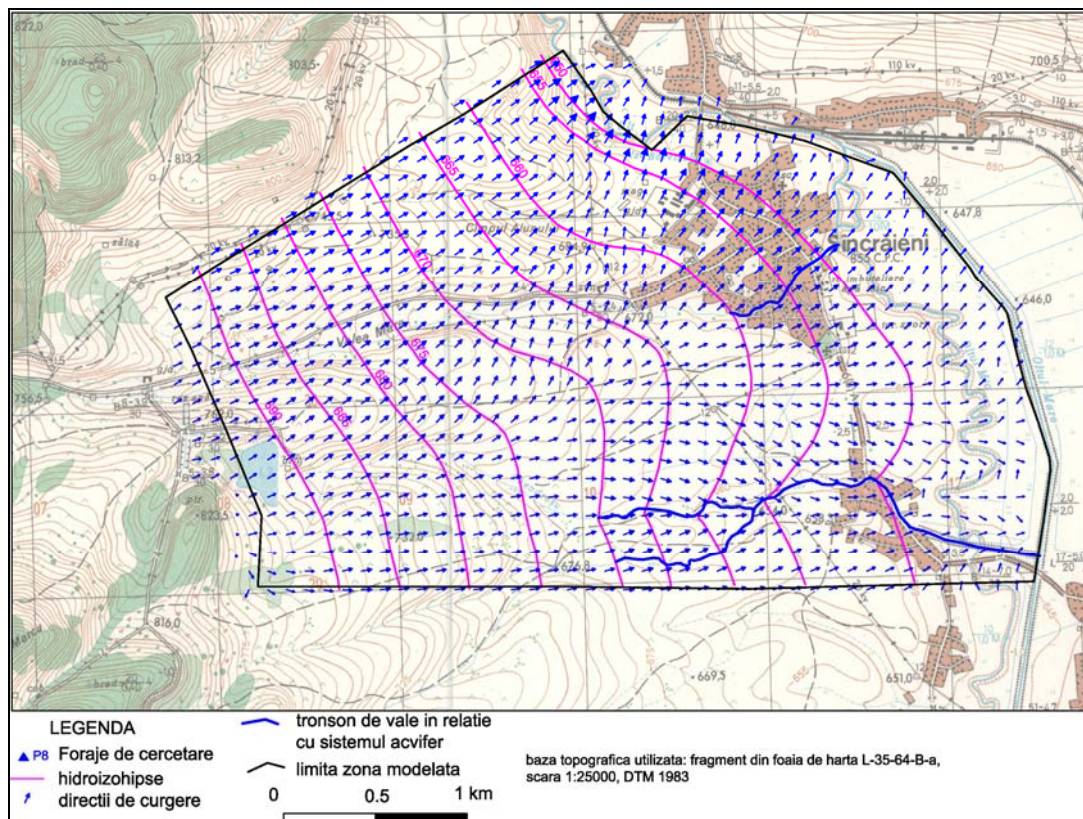


Fig. 1 – Harta piezometrică a perimetrului Sâncrăieni (Zamfirescu et. al., 2009)

## 5. Analiza și rezultatele cercetărilor în perimetrul Sâncrăieni

În capitolul 5 sunt prezentate și interpretate rezultatele cercetărilor efectuate în zona Sâncrăieni, de asemenea este efectuată o analiză cantitativă a curgerii apei subterane și modelarea transportului de mercur în sistemul acvifer.

Pe baza datelor de pompare/injectare și revenire au fost calculate valorile medii pentru conductivitatea hidraulică, aceasta variază în intervalul cuprins între 0.004 m/zi și 8,9 m/zi. În general vulcanoclastitele interceptate sunt foarte slab permeabile. În zona iazului de decantare, zona saturată din aceste depozite se dezvoltă la adâncimi de 28-29 m de suprafața terenului și la adâncimi din ce în ce mai mici spre est.

Direcțiile de curgere ale apei subterane sunt orientate în general dinspre Vest înspre Est, dar local variază pe direcții VSV - ENE și VNV – ESE (Fig. 1).

Din punct de vedere geochemic, în zona Sâncrăieni, diagrama Piper diferențiază un facies general de tip Ca-Mg-Na-HCO<sub>3</sub>. Un alt aspect general, constă în ariile largi de manifestare ale CO<sub>2</sub>: Jigodin, Sâncrăieni, Sântimbru Băi (în vecinătatea minei pentru cinabru). Dioxidul de carbon de origine endogenă este prezent în apa analizată, inclusiv în depozitele superioare neogene, interceptate în forajele P, de mică adâncime. Din punct de vedere al calității apelor, cu excepția probelor prelevate din digul iazului de decantare și a unor probe din apa iazului, toate probele prelevate din cursurile de apă de suprafață și din alte peste 20 de surse de apă subterană, nu au pus în evidență prezența mercurului, acesta fiind în concentrații sub limitele maxime admise de potabilitate.

Rezultatele studiului izotopilor de mediu arată că, din punct de vedere al altitudinii domeniului de alimentare componenta majoră a acviferului carbogazos provine din precipitații căzute la altitudinea cea mai ridicată, respectiv peste 1300m. Apele de suprafață (Valea Mare și Valea Chenderes) prezintă o altitudine de alimentare de 1200 m, corespunzătoare în mare parte cu altitudinea medie a bazinelor superioare a acestor văi. Acviferul din formațiunile vulcanogen-sedimentare interceptat prin forajele de mică adâncime (P1-P11) este alimentat de precipitații căzute la o înălțime medie de 1100 m. Această cotă corespunde cu înălțimea medie de aflorare a formațiunilor vulcanice andezitice situate la est. Acviferul freatic are o înălțime de alimentare situată la o cotă mai ridicată cu cca. 300 m decât cota de descărcare, respectiv circa 750m. Aceasta se poate explica însă și

prin faptul că alimentarea sa este mixtă, atât din precipitații cât și din infiltrații din cursurile de suprafață.

Din punct de vedere al amestecului între diferite componente acviferul din formațiunile vulcanogen-sedimentare interceptat prin forajele de mică adâncime (30m), prezintă o alimentare de cca. 80 % prin drenanță din formațiunile andezitice situate la est, acest lucru fiind pus în evidență și de măsurătorile hidrometrice Restul de cca. 20% reprezintă alimentare din precipitațiile căzute pe zona de aflorare a acestora. Acviferul freatic reprezintă un amestec aproximativ egal de ape provenite din precipitații infiltrate în zona de aflorare a depozitelor de terasă și luncă și alimentare din cursurile de suprafață care le străbat. În cazul acviferului carbogazos componenta de infiltrații din precipitații pătrunse în subteran pe verticala locului este practic zero.

Din analiza rezultatelor marcării cu trăsori se poate concluziona că viteza de tranzit a apei subterane este mai mică de 0,045 m/zi (16,5 m/an), rezultate care se corelează și cu rezultatele analizei izotopilor de mediu care au prezentate valori medii de 0.9 m/an.

Prin realizarea modelului de curgere unitar, s-a pus în evidență, pe malul drept al Oltului, un acvifer de tip multistrat. Acesta este alimentat predominant din zona înaltă a Munților Harghita. Este caracterizat de viteze de curgere foarte mici înspre orizontul superior (slab conductiv) și viteze de curgere mai mari înspre orizontul inferior care la rândul său se descarcă prin intermediul depozitelor aluvionare în râul Olt.

În urma modelării numerice a transferului de mercur din iazul de decantare, considerând la sursă o concentrație constantă de 5.5  $\mu\text{g/l}$  s-a pus în evidență faptul că după o perioadă de 500 de ani concentrațiile cu valori ceva mai mari decât limita admisă se găsesc doar într-o zonă apropiată sau foarte apropiată de conturul iazului.

Modelarea transportului de poluanți miscibili a avut în vedere un scenariu acoperitor deoarece s-au luat în considerare valorile cele mai mari pentru concentrațiile de Hg și coeficienții de retardare. Rezultatele obținute sunt considerate ca fiind valabile pentru un caz extrem, nefavorabil. În realitate, concentrațiile de mercur ce ar putea fi înregistrate vor avea valori mult mai mici la momentele indicate în procesul de modelare. În momentul de față iazul de decantare de la exploatarea experimentală de cinabru se află într-un proces de închidere și ecologizare.

## 6. Evaluarea vulnerabilității la poluare

În ultimul capitol al tezei sunt prezentate rezultatele evaluării vulnerabilității prin cele două metode prezentate în capitolul 3. Sunt discutate aspectele practice dar și problemele pe care le prezintă aceste rezultate.

Harta de vulnerabilitate obținută prin aplicarea metodei DRASTIC este formată din 3 clase de vulnerabilitate (Fig. 2). Zona cu vulnerabilitate ridicată se suprapune cu zona în care adâncimea apei este relativ mică și în același timp, se suprapune și cu zona vadoasă în care permeabilitatea mediului geologic este ridicată. Principala problemă care afectează metoda DRASTIC de evaluare a vulnerabilității este lipsa de sensibilitate pentru toții parametrii considerați în calculul inițial. Chiar dacă această hartă de vulnerabilitate a avut ca scop evaluarea riscului de poluare a acviferului inferior, prin parametrii utilizați, rezultatul nu poate fi considerat 100 % realist. Această metodă poate oferi rezultate foarte bune în cazul în care sunt considerate acvifere freatice sau de mică adâncime. În sistemele complexe, cum este cazul de față studiat din zona Sâncrăieni – Ciuc, rezultatul este incomplet și nu reflectă corect situația din teren.

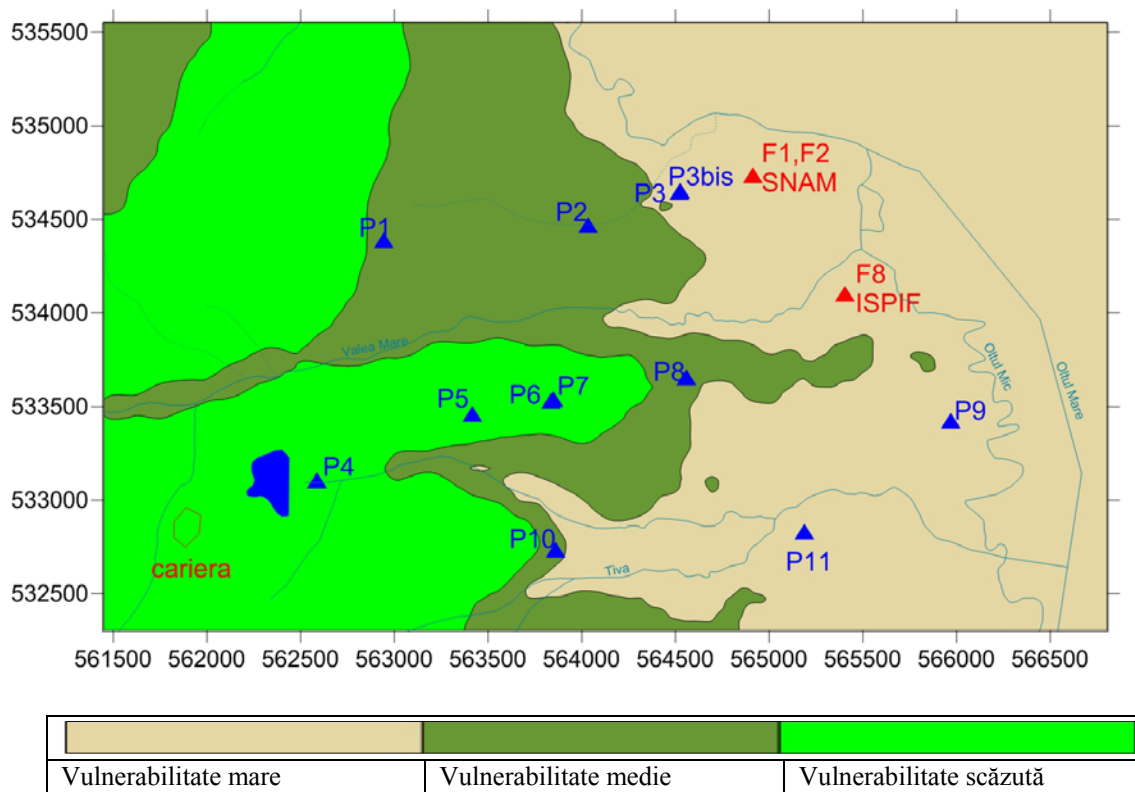


Fig. 2 – Harta factorului DRASTIC de vulnerabilitate la poluare

Rezultatele obținute prin metoda Europeană (Fig. 3) reprezintă practic o traducere a rezultatelor modelului de transport de poluanți într-o formă ce poate fi utilizată în mod intuitiv de către factorii de decizie sau se poate integra în alte proiecte de planificare sau de protecție a resurselor de ape subterane.

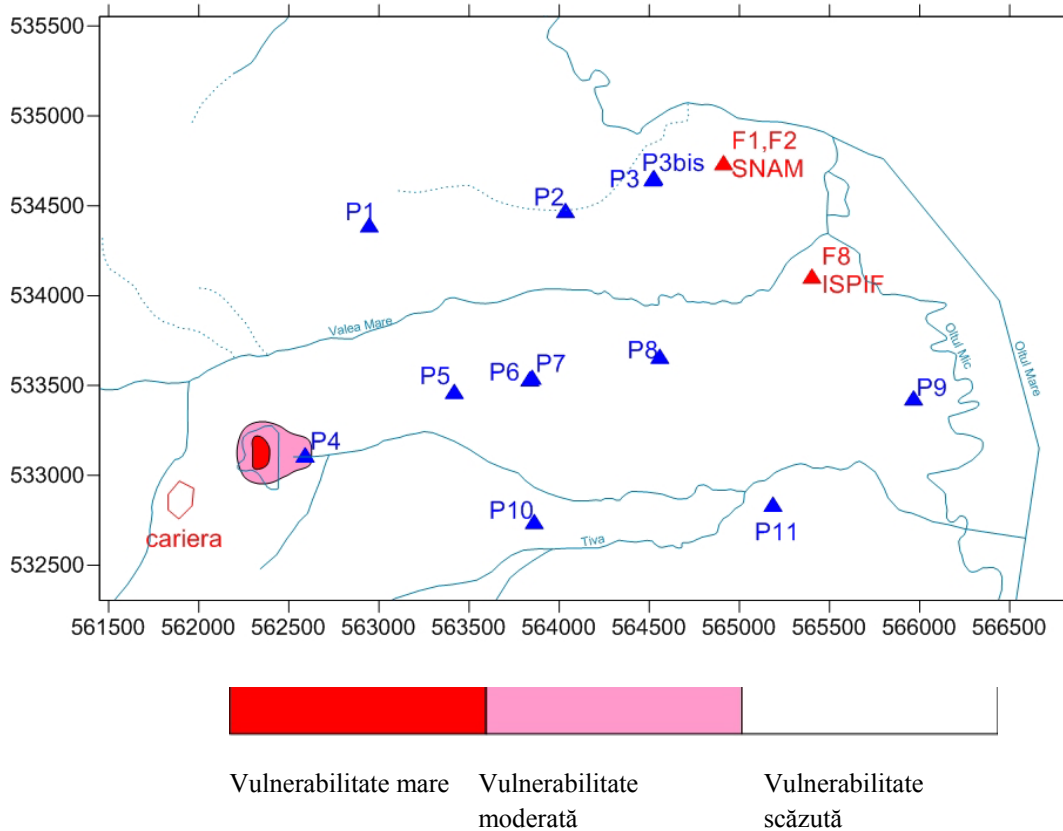


Fig. 3 Harta de vulnerabilitate la poluarea cu mercur pentru acviferul superior

Hărțile de vulnerabilitate rezultate sunt complet diferite, chiar dacă iau în considerare aceleași principii de bază pentru protecția resurselor de ape subterane. În plus față de metoda DRASTIC, metoda de evaluare europeană poate fi aplicată în mod specific pentru un anumit poluant. Hărțile rezultate prin metoda DRASTIC sunt mult mai generale și mai puțin precise.

## Concluzii

Lucrarea de față se bazează în mare parte pe studiile efectuate în cadrul departamentului de cercetare geologică și geofizică ambientală, în cadrul unui proiect ce a avut ca scop principal evaluarea condițiilor hidrogeologice și potențialul de risc la poluarea cu mercur a forajelor de exploatare pentru apă minerală natural carbogazoasă din localitatea Sâncrăieni, jud. Harghita. În final, pe baza datelor obținute în urma cercetării, a fost evaluată vulnerabilitatea la poluare prin două metode diferite, una cantitativă și alta calitativă.

Din punct de vedere geologic, Depresiunea Ciucului inferior se situează pe un sector scufundat al fundamentului cuprins între doua sectoare ridicate ce corespund Munților Harghita și Ciucului, la vest și respectiv est. Vulcanismul este constituit din doua etape, prima etapă fiind de tip exploziv (cel mai posibil de natură freatomagmatică), ce a dus la formarea unei stive groase de debrite, iar cea de-a doua etapă a constat în formarea aparatelor vulcanice ce au generat curgerile de lave din zona centrală a lanțului muntos.

Formarea și apariția la suprafață a apelor minerale carbogazoase este cauzată de difuzia laterală a dioxidului de carbon față de axul maselor eruptive neogene. Circulația dioxidului de carbon se face de-a lungul fracturilor adânci (fracturi crustale, regionale și locale), care este adus la suprafață în mod diferențiat de sistemul de fracturi al cuverturii sedimentare.

Condițiile hidrogeologice regionale și zonale sunt caracterizate de următoarele aspecte:

- copurile andezitice ale Munților Harghitei sunt considerate formațiuni colectoare deoarece majoritatea văilor (de pe versantul drept), au apă tot timpul anului fără să fie condiționate de regimul de precipitații. La scară mare depozitele proluviale și aluvionare, ce acoperă baza versantului drept, sunt în legătură hidrolică cu formațiunea vulcanogen-sedimentară.
- umplutura sedimentară a bazinului este constituită din depozite detritice de vârstă Pliocen – Pleistocenă, în cele mai multe cazuri cu permeabilitate mică și foarte mică. Pe orizontală aceasta prezintă continuitate hidrolică. Înspre zona axială a bazinului aceste formațiuni au grosimi mai mari și sunt de asemenea în legătură hidrolică directă cu depozitele vulcanogen sediementare ce se dezvoltă pe versantul drept al Oltului.



- în general, depozitele de vulcanoclastite interceptate de forajele de investigare executate în proiectul de cercetare (grupul P1 – P11) sunt slab permeabile. În zona adiacentă iazului de decantare, aceste depozite se dezvoltă la o adâncime de aproximativ 30 de metri față de suprafața terenului. Înspre zona axială a depresiunii, adâncimea nivelului piezometric scade. Direcțiile de curgere ale apei subterane sunt orientate în general dinspre Vest înspre Est, dar local variază pe direcții VSV - ENE și VNV - ESE. Testarea hidrodinamică a forajelor executate a scos în evidență conductivității hidraulice de aproximativ 0.1 m/zi pentru orizontul slab conductiv (orizontul superior) și conductivități de 2-3 m/zi pentru orizontul inferior.

Din punct de vedere al calității apelor, cu excepția probelor prelevate din digul iazului de decantare și a unor probe din apa iazului, toate probele prelevate din cursurile de apă de suprafață și din alte peste 20 de surse de apă subterană, nu au pus în evidență prezența mercurului, acesta fiind în concentrații sub limitele maxime admise de potabilitate. Până în prezent nu există dovezi de contaminare cu mercur a acviferelor care au legătură hidrodinamică cu resursa de apă minerală exploatată. Concentrațiile de mercur situate puțin peste limita maximă admisibilă pentru ape potabile, în zona pârâului Chenderăș suferă un proces de diluție semnificativ.

Pentru punerea în evidență a ariilor de alimentare și a pentru a evalua viteza de circulație a apelor subterane din zona Sâncrăieni, au fost efectuate analize de izotopi de mediu stabili (T, D și O<sup>18</sup>). Pe baza acestor analize rezultă că pentru acviferul freatic domeniul de alimentare se află situat în jurul cotei de 750 m iar vârsta apelor provenite este cuprinsă între 10 – 20 de ani. Pentru acviferul din formațiunea vulcanogen sedimentară domeniul de alimentare este situat la cota de 1100 de metri. În situația acviferului carbogazos cota domeniul de alimentare se situează în jurul valorii de 1300 de metri.

În urma lucrărilor efectuate în cadrul lucrărilor de cercetare a rezultat că în urma exploatării resurselor de apă minerală naturală s-au realizat coborâri de nivel ale suprafeței piezometrice cu valori de 6-10 m. Acest proces a condus la inversarea direcției de curgere a apei subterane pe aliniamentul faliilor dinspre acviferul freatic înspre acviferul de adâncime. Prin urmare, majoritatea izvoarelor existente au dispărut.

În cadrul programului de cercetare prin realizarea unui model de curgere unitar, s-a pus în evidență, pe malul drept al Oltului, un acvifer de tip multistrat. Acesta este alimentat predominant din zona înaltă a Munților Harghita, are curgere foarte lentă înspre orizontul superior (slab conductiv) și curgere cu viteză mai mare înspre orizontul inferior care la rândul său se descarcă prin intermediul depozitelor aluvionare în râul Olt.

În urma modelării numerice a transferului masic de mercur din iazul de decantare, considerând la sursă o concentrație constantă de 5.5 µg/l s-a pus în evidență faptul că după o perioadă de 500 de ani concentrațiile cu valori ceva mai mari decât limita admisă se găsesc doar într-o zonă apropiată sau foarte apropiată de conturul iazului.

Modelarea transportului de poluanți miscibili a avut în vedere un scenariu acoperitor deoarece s-au luat în considerare valorile cele mai mari pentru concentrațiile de Hg și coeficienții de retardare. Rezultatele obținute sunt considerate pentru cazul extrem cel mai nefavorabil. În realitate, concentrațiile ce mercur înregistrate au valori mult mai mici la momentele indicate în procesul de modelare. Față de cele prezentate, în momentul de față iazul de decantare în care se găsesc depunerile de mercur se găsește într-un proces de închidere și ecologizare.

De asemenea în urma cercetărilor din prezentul program a rezultat modificarea calității apelor minerale carbogazoase ca efect al supra exploatării resursei. În urma acestui proces s-a înregistrat coborârea nivelului piezometric în cazul acviferului de adâncime cu efecte în inversarea direcției de infiltrare a apei dinspre acviferul freatic înspre cel de adâncime. Cu toate că în urma cercetărilor efectuate a rezultat că aportul de apă preluat de forajele de exploatare din acviferul freatic are valori reduse, în timp acesta poate modifica calitatea apei minerale provenite de zăcământ. Ținând seama de cele menționate, pe viitor, pentru protecția zăcământului sunt necesare efectuarea unor studii mult mai detaliate. Studiile respective trebuie să ia în considerare și monitorizarea apelor de suprafață din pâraiele Chendereș și Valea Mare întrucât acestea pot fi surse preferențiale de poluare a zăcământului de ape minerale carbogazoase.

Conceptul de vulnerabilitate a fost introdus la sfârșitul anilor '60 pentru a răspunde la căutările pentru proceduri și evaluări la contaminarea apelor subterane. Este general acceptat faptul că vulnerabilitatea este de două feluri: intrinsecă și specifică. Vulnerabilitatea intrinsecă reprezintă caracteristicile geologice, hidrologice și hidrogeologice ale unei zone și este independentă de natura contaminanților și a scenariului de contaminare. Vulnerabilitatea specifică consideră proprietățile unui anumit contaminant sau a unui grup de contaminanți în plus față de vulnerabilitatea intrinsecă.

Evaluarea vulnerabilității a fost efectuată pe baza a două concepte diferite, primul concept este mai vechi și este mai răspândit, se bazează pe o evaluare calitativă. Acesta a fost

exemplificat în lucrare prin metoda DRASTIC, aceasta fiind una din cele mai răspândite metode de evaluarea calitativă a vulnerabilității. Al doilea concept utilizat este mai nou, fiind implementat în deosebi în Europa, acesta se bazează pe evaluarea cantitativă. În evaluarea cantitativă sunt utilizate rezultatele unui model matematic hidrogeologic, aceste rezultate fiind apoi transformate în hărți de vulnerabilitate.

Rezultatele obținute prin metoda DRASTIC sunt în general controlate de doi factori principali, factorul geologic și de adâncimea apei, metoda fiind mai puțin sensibilă la restul factorilor. Această metodă este utilă atunci când se dorește evaluarea rapidă a vulnerabilității unei zone, bugetul pentru această activitate este restrâns, se poate realiza și prin aproximarea anumitor caracteristici, deoarece eroarea indusă de aproximare este acoperită de lipsa de sensibilitate a metodei. Rezultatele sunt ușor de interpretat de către factorii de decizie în procesele de planificare, dar trebuie ținut cont de faptul că metoda nu este suficient de precisă.

Rezultatele obținute prin metoda Europeană reprezintă practic o traducere a rezultatelor modelului de transport de poluanți într-o formă ce poate fi utilizată în mod intuitiv de către factorii de decizie sau se poate integra în alte proiecte de planificare sau de protecție a resurselor de ape subterane.

Directiva cadru apă (2000) are drept scop stabilirea unui cadru de acțiune comunitară în domeniul apei. Directiva solicită utilizarea sustenabilă și responsabilă a apei protecției pe termen lung a resurselor de apă.

La nivel european, metoda cantitativă de evaluare a vulnerabilității este integrată în sisteme de tip DSS (Decision support system – sistem de suport decizional) a căror beneficiari sunt reprezentati de autoritățile administrative. Acestea poate pe baza acestor sisteme să stabilească măsuri de protecție eficiente în cazul în care sunt identificate probleme care afectează resursele de ape subterane. De asemenea, integrarea acestei vulnerabilității (vulnerabilitatea ca rezultat al evaluării cantitative) în sistemele de tip DSS, aduce avantaje în planificarea altor tipuri de activități în arealele acoperite, astfel încât, fiecare activitate trebuie să nu afecteze negativ resursele de apă subterană.

Un program complet de management al resurselor de apă minerală naturală carbogazoasă în zona Sâncrăieni – Ciuc, trebuie să fie bazat pe o evaluare cantitativă a vulnerabilității acviferului exploatat. Într-un astfel de program de management trebuie inclusă

și o evaluare cantitativă a posibilităților de exploatare a resurselor, care să conducă la un mod de exploatare eficientă și optimă.

## **Bibliografie selectivă**

**Airinei, S., Pricăjan, A., 1975,** *Some Geological Connections between the Mineral Carbon and Thermal Waters and the Post-Vulcanic Manifestations Correlated with the Deep Geological Structure of the East Carpathians Territory – Romania.* Institutul de Geologie și Geofizică, Studii Tehnice și Economice, seria E, nr. 12, pag. 7-12, București

**Canter L.W., 1996,** *Environmental Impact Assessment,* McGraw Hill.

**COST 65, 1995,** *Hydrogeological aspects of groundwater protection in karstic areas, Final report (COST action 65).* – European Commission, Directorat-General XII Science, Research and Development, Report EUR16547 EN: 446 p.; Brüssel, Luxemburg.

**COST 620, 2004,** *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers.; Final report - Action COST 620 - European cooperation in the field of scientific and technical research – Environment*

**Daly, D., Dassargues, A., Drew, D., Dunne, S., Goldscheider, N., Neale, S., Popescu, I. C. And Zwahlen, F., 2002,** *Main concepts of the European Approach for (karst) groundwater vulnerability assessment and mapping.* Hydrogeology Journal, 10(2): 340-345.

**European Water Directive, 2000,** *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.*

**Maieru Cornelia, 1998,** *Les Eaux Minérales de Roumanie (présentation générale) – Mineral and Thermal Groundwater International Symposium 1998,* pag. 143.

**Margat J. 1968,** *Vulnerabilité des nappes d'eau souterraine a la pollution. Bases de cartographie,* (Doc.) BRGM, 68 SGL 198 HYD, Orleans, France.

**Mutihac, V., 1990,** *Structura geologică a Teritoriului României,* Ed. Tehnică, București.

**Pricăjan A, 1985,** *Substanțele minerale terapeutice din Romania,* Ed Științifică și Enciclopedică, 434p.

**Vrba J. 1991,** *General aspects of ground water non point pollution.* Elsevier, Amsterdam Studies in Env. Sci. 17, p. 41-53

**Rădulescu D., Vasilescu A., Peltz S., 1964a,** *Contribuții la cunoașterea structurii geologice a munților Gurghiu.* Ann. Com. Geol. București, 33, 87-151.

**Radulescu DP, Peltz S, Popescu A, 1973, *Lower compartment of the structure of the Calimani Gurghiu and Harghita Mountains: The Volcano-Sedimentary Formation*, Anuarul Institutului Geologic, Bucuresti, XLI :15-27.**

**Szakács A., Seghedi I., 1995, *The Călimani-Gurghiu-Harghita volcanic chain, East Carpathians, Romania: volcanological features*. Acta Vulcanol.m vol 7 (2), 145-153.**

**Zamfirescu F., Danchiv Al., Jurkiewicz A., Popa I., Fonoca A., 2009, *Analiza condițiilor hidrogeologice pe versantul vestic al Bazinului Ciucului Inferior, în scopul asigurării protecției cantitative și calitative a resurselor de apă minerală naturală din zona Sâncrăieni*, Universitatea București.**