

NYMPHAEA Folia naturae Bihariae	XL	83 - 107	Oradea, 2013
---	-----------	-----------------	---------------------

Sinteza particularităților hidrogeologice ale acviferului termal de la Băile Felix – 1 Mai

Gábor Paál

H-7627 Pécs, Meszes-dűlő 7/a, e-mail: paal.gabor@upcmail.hu

Rezumat. Acviferul , manifestat sub forma izvoarelor termale și exploatat prin mai multe foraje, reprezintă un sistem fisural de mică extindere, delimitat și ecranat hidrolic de falii, fara continuarea acviferului. Interpretarea complexă a datelor, analiza condițiilor hidrogeologice, geotermice, hidrodinamice și chimice-izotopice au condus la elaborarea ipotezei potrivit căreia acviferul de la Băile Felix-1 Mai reprezintă aria naturală de descărcare a sistemului convectiv hidrotermal dezvoltat în rocile triasice din subsolul municipiului Oradea. Măsurătorile hidrodinamice speciale executate în ambele zone au confirmat valabilitatea ipotezei, dovedind cu date concrete unitatea hidrolică a celor două acvifere. Legătura dintre ele se realizează prin zonele de minimă rezistență hidrolică, oferite de intersecția mai multor alinamente tectonice majore, create în cursul evoluției Depresiunii Panonice. Izvoarele termale sublacustre ale rezervației Pârâul Pețea reprezintă punctele naturale de descărcare ale acestui sistem. Fiind situate în zonele de aflorare și pozițiile cele mai elevate ale rețelei de fisuri, izvoarele funcționează ca piezometre naturale, reacționând instantaneu la extrageri din punctele mai coborâte ale sistemului prin scăderea debitului descărcat. Întrucât cantitatea afluxului ascendent din profunzime este constantă, depășirea îndelungată a debitului exploatabil, pe lângă secarea izvoarelor sublacustre ale rezervației, va deregla funcționarea întregului acvifer, periclitanând însăși funcționalitatea stațiunilor. Deoarece alimentarea acviferului de la Băi este condiționată de parametrii acviferului adânc de la Oradea, atât intensificarea exploatării, cât și reinjectarea apelor răcite trebuie efectuată cu atenție deosebită acordată menținerii temperaturilor și presiunilor de zăcământ, care mențin fluxul ascendent al realimentării.

Cuvinte cheie: acvifer geotermal, convecție hidrotermală, test hidrodinamic, Pârâul Pețea

Introducere

Supraviețuirea speciilor de plante și animale relictice și endemice din rezervația naturală Pârâul Pețea este periclitată tot mai mult de conturbările repetate ale funcționării izvoarelor sublacustre care alimentează cu apă termală rezervația. Publicitatea și mediatizarea intensă a problemei au scos la iveală faptul că părțile interesate în gospodărirea, administrarea și în utilizarea resurselor de ape termale din zonă nu cunosc rezultatele multiplelor cercetări executate în deceniile, chiar și în secolele trecute, privind particularitățile funcționării acviferelor termale.

Prezenta lucrare a fost întocmită cu scopul sintetizării acestor date și cunoștințe, în vederea fundamentării sistemului unitar de gospodărire, care să asigure menținerea în condiții optime atât a rezervației naturale, cât și a utilizărilor aferente apelor termale din zonă.

1. Fundamentarea teoretică

Dintre multiplele proprietăți speciale ale apei, sunt trei care au rol hotărâtor în formarea și funcționarea sistemelor hidrogeotermale: densitatea, vâscozitatea și termo-elasticitatea. Apele subterane ajunse la adâncimi mari se încălzesc sub efectul căldurii Pământului, ceea ce are ca efect schimbarea radicală a celor trei proprietăți. Greutatea specifică și vâscozitatea apei la 100 °C sunt substanțial mai mici decât la 0 °C. Sub efectul temperaturii apa se dilată, ceea ce înseamnă că într-un spațiu subteran poros sau fisurat crește presiunea internă a apei. Dacă stratul sau corpul de rocă este suficient de gros și destul de permeabil, aceste modificări fac ca în corpul de apă să înceapă mișcări ascensionale, declanșând „convecția termică”. În stare naturală, diferențele gradientului de presiune, create de schimbările proprietăților fizice, forțează apele ușurate spre suprafață, vâscozitatea scăzută facilitând filtrarea chiar și prin spațiile intergranulare, sau fisurile cele mai mici. Inerția termică a apei contribuie la menținerea temperaturii ridicate în cursul ascensiunii, dar pe trasee mai lungi are loc o reducere treptată, cauzând scufundarea lentă a maselor răcite. Se formează astfel celule convective, în care are loc o mișcare de rotație a apei, guvernată de regimul termic. Convecția este prezentă în toate formațiunile poroase sau fisurate suficient de groase, dar manifestarea lor la suprafață are loc în condiții tectonice speciale, prin faliile care intersectează formațiunea acviferă. În lipsa acestor condiții, multe sisteme convective rămân ascunse, detectarea lor necesitând metode sofisticate de cercetare.

Permeabilitatea crescută a zonelor faliat joacă un rol hotărâtor în menținerea circulației convective și în funcționarea acestor sisteme. Existența rețelelor

de fisuri în zonele faliate determină variația largă a permeabilității, de la ordinul centimetrilor la peste sute de metri. Cercetarea directă a curgerii și filtrației apei prin aceste rețele este deosebit de dificilă, dar studierea diverselor proprietăți ale izvoarelor termale de la capătul faliilor permit deducții asupra particularităților acestui fenomen (Rowland et al., 2008).

Convecția hidrotermală face posibil ca apele supraîncălzite la adâncimi mari, greu accesibile prin foraje, să ajungă la adâncimi relativ mici, permițând exploatarea cantităților mai mari de energie geotermică, în condiții mult mai economice. Marea majoritate a resurselor geotermale cunoscute și exploatate în lume sunt sisteme convective active, în care fluidele circulă descendent dinspre zona de realimentare și se încălzesc, fapt în urma căruia urcă spre zonele de descărcare (izvoare termale, fumarole, emanații de vaporii etc.) (Sorey, 1982).

Exploatarea prin foraje a unui sistem hidrotermal convectiv determină scăderea treptată a presiunii de zăcământ, implicit a gradientilor de presiune, cauzând scăderea debitului și temperaturii descărcărilor naturale de la suprafață. Intensitatea exploatării, proprietățile hidraulice ale rocilor colectoare, adâncimea intervalelor puse în exploatare și poziția sondelor de reinjectare sunt factorii cei mai importanți în determinarea amplitudinii acestor scăderi. Se poate afirma că, după un timp, convecția naturală în acviferul geotermal va fi menținută datorită nu descărcărilor de la suprafață, ci extragerilor prin forajele de exploatare. Astfel, sistemul convectiv natural devine convectiv artificial, fără manifestări la suprafață.

Literatura de specialitate este bogată în documente care tratează problema convecției apelor subterane, existând un larg consens în privința rolului acestui fenomen în hidraulica subterană.

2. Sumarul condițiilor geologice și hidrogeologice

Cele două stațiuni s-au constituit în jurul unor izvoare naturale de ape termale. La sfârșitul sec. XIX, lângă aceste izvoare s-a executat câte un foraj, dintre care cel de la Felix a oferit cel mai mare debit artezian la nivel european: 19.000 m³/zi. Forajul de la Băile Episcopiei (1 Mai), în schimb, a funcționat doar prin pompare, din cauza condițiilor hidrogeologice speciale, care atunci nu erau cunoscute încă. Această diferență a determinat și evoluția deosebită a stațiunilor, Băile Felix dezvoltându-se mult mai intens. La început, cercetarea zonei a fost axată mai mult pe studierea compoziției chimice, a efectelor terapeutice, precum și a faunei și florei termofile din apele pârâului Pețea. Tendințele dezvoltării accentuate a celor două stațiuni au impus abia în anii 70 efectuarea cercetărilor geologice-hidrogeologice și geofizice complexe pentru majorarea debitelor utilizabile.

Spațiul limitat al acestui articol nu permite prezentarea detaliată a geologiei și hidrogeologiei zonei (cei dornici de aflarea amănunțelor sunt invitați să consulte vasta bibliografie prezentată), motiv pentru care prezentăm doar acele detalii care sunt determinante în funcționarea sistemului:

- acviferele termale cunoscute în zonă sunt cantonate în formațiuni aparținând autohtonului de Bihor din Munții Apuseni, alcătuite din roci de vârstă cristalino-mezozoică, cele din urmă fiind preponderent formațiuni carbonatate (calcare, dolomite);
- sedimentarea mezozoică a fost întreruptă de mai multe perioade lungi de exondare: după triasic, jurasic, cretacicul inferior și superior. Cauzele acestor întreruperi erau mișcările tectonice ale diverselor faze orogenice, care au afectat întreaga arie alpinu-carpatică;
- exondările au avut ca efect erodarea parțială și uneori totală a depozitelor, sub influența eroziunii de suprafață. Seriile rocilor carbonatice tipice autohtonului de Bihor au suferit intense fenomene de carstificare în timpul exondărilor;
- formarea și evoluția Depresiunii Panonice a fost evenimentul structural major care a dezmembrat unitatea geosinclinalului alpin, determinând scufundarea sedimentelor depuse în ciclul permian-cretacic la adâncimi mari, care în zona Câmpiei de Vest a țării depășesc uneori valoarea de 3000 m. Dezmembrarea în blocuri și scufundarea acestora în trepte succesive au avut loc în lungul falilor, care sunt elemente determinante și în funcționarea acviferelor;
- din punct de vedere tectonic, zona Băilor se află la conexiunea mai multor unități tectonice majore, aparținând Munților Apuseni și Depresiunii Panonice. Această poziție specială a luat naștere în timpul următoarelor evenimente structurale majore:
 - individualizarea bazinului Panonic și scufundarea lui rapidă, odată cu ridicarea Apusenilor, în timpul fazelor austrice și laramice ale orogenezei alpine;
 - separarea bazinelor Borodului și Beiușului în lungul unor aliniamente tectonice majore, începând cu mișcările laramice;
 - continuarea subsidenței diferențiate a celor trei bazine în tot timpul neogenului.
- accidentul tectonic major care delimitează dinspre vest zona Băilor (denumită falia Velența) reprezintă totodată una dintre faliile marginale ale Depresiunii Panonice. La vest de această zonă majoră de ruptură (care este formată probabil din câteva aliniamente paralele), sedimentele mezozoice se află decalate cu peste 1000 m adâncime, cu scufundare treptată spre vest, înspre zonele mai adânci ale structurii bazinului (Paál, 1975);

- limita nordică a blocului suspendat al Băilor o formează sistemul faliiilor din marginea sudică a Depresiunii Borodului, care este un golf intramontan al Depresiunii Panonice, conturat în senonian;
- aflându-se în zona de contact a acestor mari unități structurale, zona Băilor poartă amprenta multiplelor mișcări tectonice. În cursul explorărilor hidrogeologice, teritoriile din jurul Băilor au fost investigate prin numeroase foraje, care spre nord, vest și sud nu au interceptat continuarea acviferului termal și nici măcar rocile colectoare calcaroase, de vârstă cretacică. Spre est, calcarul este prezent în Dealul Șomleu, care este ultima apariție vestică a acestei formațiuni extinse în Pădurea Craiului, dar fără rețeaua fisurală plină de apă termală. Astfel, s-a conturat un teritoriu foarte restrâns de bloc calcaros, fragmentat în mici compartimente delimitate de falii și acoperite doar de o pătură subțire de sedimente mai tinere. Schița structurală este redată în fig. 1, iar profilele geologice caracteristice în fig.2;
- prospecțiunile electrometrice au evidențiat poziția și extinderea acestor falii, iar cele termometrice au precizat forma anomaliilor geotermice, conturând distinct porțiunile fracturilor circulate de ape termale;
- cercetarea printr-un foraj adânc a subasmentului zonei Băilor (forajul 4768, care s-a executat în cadrul investigațiilor pentru precizarea realimentării acviferului de la Băi) a indicat prezența rocilor triasice, identice cu cele de la Oradea, dar cu debite neînsemnate (2 l/s) de apă termală;
- acviferul termal de la Băi este cantonat în rețeaua de fisuri din partea superioară a calcarelor cretacic inferioare. Distribuția spațială a fisurației este neregulată, dar destul de uniformă pe teritoriul Băilor. În cea mai mare parte a teritoriului, paleorelieful calcaros este acoperit de marnocalcare senoniene, care formează ecranul superior impermeabil al acviferului, având rol important în hidraulica sistemului;
- în stiva groasă a calcarelor barremiene, pe lângă acest acvifer superior, denumit complexul I, s-au descoperit și alte sisteme fisurale, la adâncimi mai mari, care conțin ape cu debite și temperaturi tot mai reduse. Această inversiune termică este caracteristică alimentării ascendente, fluxul cald urcând până la interceptarea acoperișului impermeabil, în drumul spre punctele de descărcare. Rețelele inferioare, neavând contact cu suprafața, nu sunt circulate atât de intens, cantonând ape mai reci (forajul 4012 și Izbuc);
- sistemul fisural saturat cu apă termală are o poziție ușor înclinată dinspre nord spre sud. Practic, aflorează pe teritoriul Băilor 1 Mai, unde este acoperit doar de o pătură foarte subțire de depozite cuaternare care în lungul văilor este subțiată de eroziunea cursurilor de ape superficiale. Spre sud, în direcția Bă-

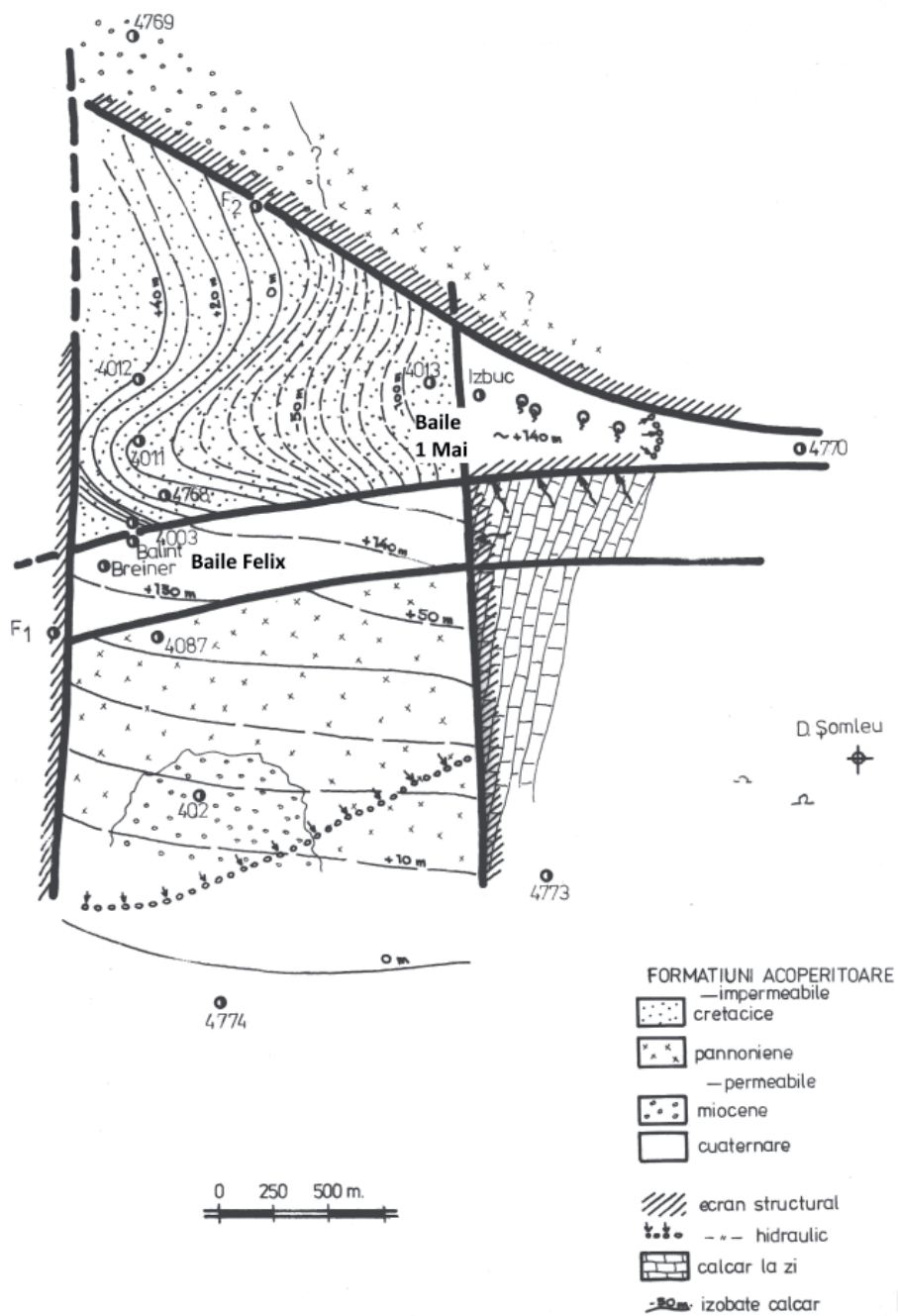


Fig.1 - Harta lito-structurală a complexului I.

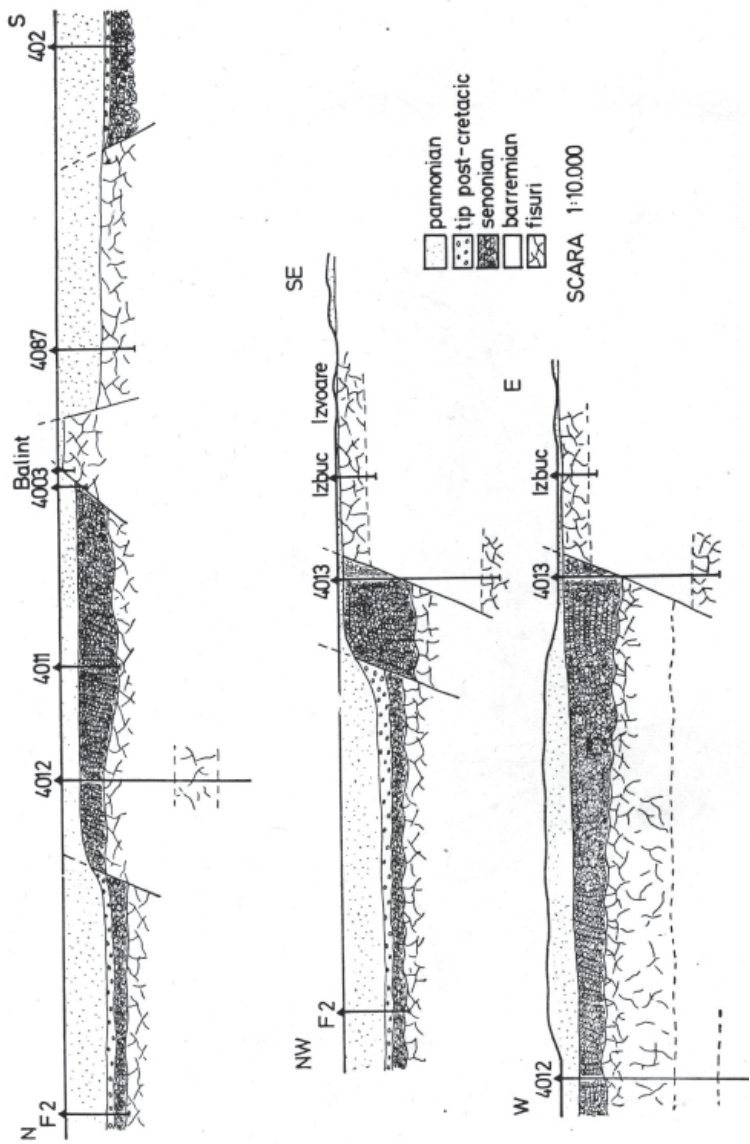


Fig.2 - Secțiuni geologice

- ilor Felix, sistemul fisural se afundă sub stiva rocilor impermeabile de vârstă senoniană, acviferul trecând de la un regim cu nivel liber la unul sub presiune;
- în majoritatea forajelor din zona Băilor, interceptarea acviferului a decurs practic după același scenariu: la (sau imediat după) atingerea calcarelor interceptarea unei fisuri, din care s-au produs erupții masive și greu controlabile de apă termală, cu debite foarte mari. Primul foraj din Băile Felix a erupt în ziua de 4 decembrie 1885, cu 220 l/s după atingerea unui gol carstic, coloana de apă țâșnind la 8 m înălțime. Forajul F2 de la Rontău a atins succesiv mai multe fisuri extinse și goluri din care au erupt ape cu debite și temperaturi diferite. În final, sapa s-a antrenat pe o fisură (sau cavernă) în care a avansat liber pe zeci de metri. Coloana de prăjini s-a extras cu mari dificultăți, constatându-se că prăjinile s-au curbat și întortocheat, mulându-se după pereții fisurii sau cavernei;
 - cu ocazia erupțiilor, de fiecare dată s-a constatat reacția aproape instantanee a izvoarelor naturale sau chiar secarea lor, revenirea acestora având loc mult mai lent, după oprirea erupțiilor;
 - în subsolul teritoriului situat între Băi și granița de stat, adică în fundamentul Câmpiei de Vest, structura formațiunilor autohtonului este la fel de compartimentată prin activitatea faliilor. Aria subsidentă Oradea – Butan, care a funcționat în tot cursul mezozoicului ca o zonă puternică de acumulare și sedimentare, este dezmembrată de aliniamente tectonice active cel puțin din eocretacic (nu avem indicații suficiente despre tectonica mai veche) în mai multe compartimente structurale. Cel mai vestic, groapa Giriș-Sântandrei, a fost intens antrenată în scufundările senoniene, apoi mio-pliocene, fundamentul mezozoic ajungând astfel la adâncimi extreme și devenind izolat din punct de vedere hidrogeologic. Orizonturile acvifere testate în această zonă conțin ape hipertermale (uneori peste 100 °C) fosile, cu mineralizație extrem de ridicată, depășind 20 g/l, ceea ce denotă caracterul izolat și lipsa circulației active (Cohut & Paál, 1985);
 - la est de această zonă scufundată s-a delimitat zona Oradea, care face trecerea spre unitățile mai elevate din est (depresiunea Borod) și sud-est (zona Felix-1 Mai). Triasicul cu precădere dolomitic al zonei cantonează acviferul hipertermal exploatat prin forajele din oraș. Temperatura apelor este în concordanță cu gradientul geotermic ridicat caracteristic Depresiunii Panonice. Mineralizația scăzută (1 – 2 g/l) și faciesul hidrochimic sunt tipice sistemelor deschise, cu realimentare și circulație activă;
 - compoziția chimică, spectrul elementelor minore și radioactive prezintă tipuri, caractere și concentrații similare pentru apele ambelor acvifere, cu diferențe normale datorate poziției rocii colectoare și traseului urmat (Mot & Paál, 1979). Este de remarcat faptul că din 1861 – data primei analize chimice – nu au survenit

- modificări esențiale în tipul și caracterul chimismului apelor din cele două stațiuni;
- determinările de tritii din anii 1969-71 au indicat participarea apelor recent infiltrate la debitele totale de realimentare în raport de cca. 1/8 (Țenu, 1975). Repetarea ulterioară a acestor determinări a indicat scăderea treptată și însemnată a conținutului, de la valorile inițiale de 16 TU la valori sub 0,7 în anul 2005, ceea ce este o indicație clară a diminuării aportului de ape tinere în această zonă (Țenu & Diaconu, 2010).

3. Hidrodinamica acviferului termal

Literatura de specialitate conține o serie de date, detalii și amănunte care oferă indicații asupra regimului hidraulic al sistemului acvifer, făcând posibilă precizarea căilor și modalităților de realimentare. În afară de aceste indicații indirecte, există studii, documente și rapoarte care descriu testele și măsurătorile directe asupra funcționării și regimului celor două acvifere, executate în anii trecuți și a căror valabilitate nu a fost pusă sub semnul întrebării, nici infirmată de teste mai recente.

3.1. Indicații și argumente indirecte

- a) Studiul geotermic detaliat executat (Veliciu, 1986) a conturat în zona Băilor câte o anomalie de 15-20 °C la adâncimea de 40 m, datorată fluxului ascendent de apă caldă la adâncime mică. Forma anomaliilor indică legătura strânsă a alimentării cu ape calde a rețelei de fisuri cu faliile marginale ale zonei, ele fiind situate în lungul faliilor din valea pârâului Pețea și a pârâului Hidișel în Băile Felix.
- b) Cercetarea hidrochimică și izotopică complexă și îndelungată a indicat atât unitatea celor două acvifere, cât și faptul că ele fac parte din circuitul hidrologic activ, fiind sisteme deschise, realimentate din precipitații, care după un parcurs subteran ajung din nou la suprafață (Tenu, 1975; Tenu, 1981; Tenu & Diaconu, 2010). Concentrația în izotopi stabili a pus în evidență existența unei singure componente de realimentare pentru ambele acvifere.
- c) Chimismul și radioactivitatea apelor termale din zona Oradea și zona Băilor prezintă o evidentă înrudire, în timp ce conținutul în gaze nobile (He) indică o circulație pe fracturi adânci. Lipsa tritiului din apele de la Oradea exclude prezența infiltrațiilor mai tinere de 50 de ani.
- d) Unitatea sistemului a fost dovedită și de reacția unitară a celor două acvifere, înregistrată după seismul major vrâncean din 4 martie 1977, care s-a manifestat prin creșterea mineralizației totale și creșterea raportului ionic HCO_3/SO_4 (Tenu & Diaconu, 2010.)

- e) Tendința de întinerire a apelor, stabilită pe baza vârstelor de ^{14}C (de la 18.400 ani în 1969, la 12.150 ani în 1987) este explicată prin dezechilibrarea regimului natural de realimentare, din cauza exploatării intensive. Fenomenul a cauzat activizarea dinamicii subterane, reducerea timpului de rezidență a apei, scăderea conținutului izotopului ^{13}C indicând scurtarea timpului de contact necesar echilibrării normale dintre apă și rocă (Tenu & Diaconu, 2010).
- f) În compoziția apei exploatare din sonda Balint (cea mai veche din zonă) s-a observat pe perioada ultimilor 90 de ani o creștere continuă a conținutului de HCO_3 (de la 190 la 410 mg/l). În aceeași perioadă, în apa sondei Izbuc din stațiunea 1 Mai, conținutul a rămas constant (350 mg/l), creșterea putând fi consecința unei exploatare prea intense (Tenu, 1981).
- g) Compoziția chimică urmărită pe surse oferă indicații asupra circulației apelor pe canale și căi separate. De exemplu, apele din sondele Balint și 4003, situate doar la 20 m distanță, se deosebesc în valoarea constantă a raportului HCO_3/SO_4 , care este 1,2 la Balint și 2 la 4003.
- h) Măsurătorile de temperatură efectuate din 1863 au indicat creșterea generală a temperaturii apei tuturor izvoarelor naturale, ca efect al marelui cutremur din 1834.
- i) Asemănător chimismului, și temperatura apei din diverse sonde, chiar foarte apropiate, este diferită. Referindu-ne la același exemplu: sonda Balint deversează apă de 49°C , în timp ce apa din 4003 are 46°C . Izvorul natural Balint, de la capătul superior al faliei, are temperatura de 46°C . Se pare că atât cele două sonde, cât și izvorul natural, captează câte o fisură din zona de zdrobire a unei falii, dar în această zonă probabil există căi și canale separate, a căror apă se formează prin amestecarea maselor ascendente pe planul principal de ruptură.
- j) Determinarea temperaturilor de zăcământ pe baza geotermometrelor chimice indică temperatura inițială (de echilibru din adâncime) de 85°C a apelor din acviferul stațiunilor, ceea ce corespunde temperaturilor acviferului triasic.
- k) Apa celor două acvifere provine dintr-o sursă comună de realimentare, din precipitațiile infiltrate în zonele de afloriment din Munții Apuseni. Faciesul hidrochimic inițial, caracteristic părții nordice a zonei Oradea, indică traseul inițial comun, după care are loc separarea direcțiilor de curgere, una devenind ascensională. Acest facies inițial (foarte puțin modificat în urma reechilibrărilor pe traseul ascensional) caracterizează compoziția apelor din acviferul de la Felix.

3.2. Indicații directe

- a.) Seismul puternic declanșat în 15 octombrie 1834, cu epicentrul în zona văii Ierului, a determinat formarea unui nou izvor termal, la cca. 60 m de Ochiul Mare (Mayer, 1861).

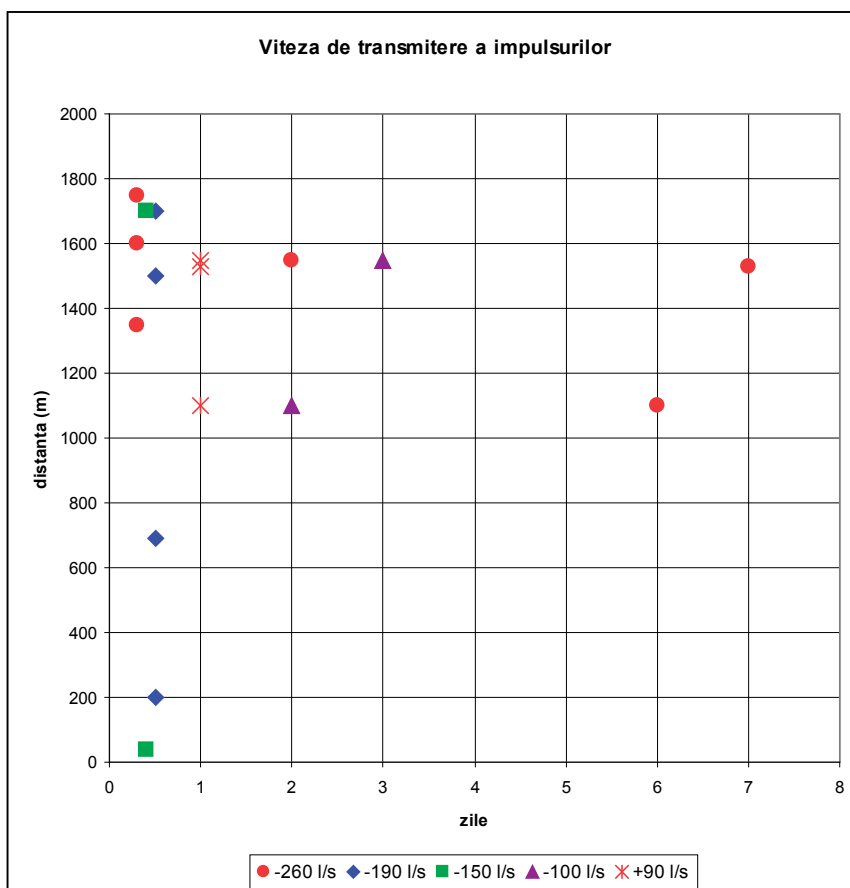


Fig.3 – Viteza de transmitere a efectelor erupțiilor în cadrul acviferului.

- b.) În anul 1842, cu ocazia unor amenajări asupra acestui nou izvor, s-a produs o erupție vehementă de apă termală, acompaniată de scăderea substanțială a debitului din Ochiul Mare, aflat la 60 m distanță. Autorul subliniază că izvorul principal și-a revenit foarte lent, dar niciodată n-a mai atins puterea inițială.
- c.) În monografia scrisă în 1861, medicul Băilor Episcopiei menționează existența mai multor băi și bazine părăsite, rămase fără apă, în amonte de Ochiul Mare.
- d.) Băile construite deasupra mai multor izvoare termale („baia de nămol”, „baia domnilor”, „baia Ștefan”, „baia Elisabeta”, „baia turcească” etc.) la vest de Ochiul Mare au dispărut, singura sursă naturală rămasă în funcțiune fiind izvorul Frederich.
- e.) Executarea forajelor din zona Băilor a avut loc de fiecare dată cu erupții puternice de apă, resimțite imediat de izvoarele sublacustre ale rezervației. Aceste

erupții s-au produs după atingerea calcarului și pătrunderea sapei în fisuri, fracturi, goluri și canale subterane, uneori de dimensiuni și adâncimi mari. Viteza de transmitere a efectelor erupțiilor în cadrul acviferului este prezentată în graficul din fig.3. Pe baza interpretării efectelor (Paál, 1976), s-a putut stabili că erupții de 50 l/s se resimt imediat la izvoare, dar nu au efect în părțile mai adânci ale acviferului, nici după 3 zile. Erupții în jur de 100 l/s. opresc funcționarea izvoarelor naturale și produc scăderea debitului tuturor sondelor, cu excepția forajului 4003, restabilirea debitelor începând după cel mult o zi (vezi valoarea de +90 l/s). Erupții mai mari de 150 l/s. produc dereglarea întregului acvifer, secarea instantanee a izvoarelor, scăderea accentuată a debitelor forajelor intervenind după cel mult o zi. Compensarea efectelor erupției, adică revenirea debitelor, variază între 4 – 8 zile, ceea ce poate indica existența căilor de alimentare separate ale forajelor, situate chiar și la distanțe foarte mici (de exemplu 4003 și Balint).

f.) Debitul unui foraj nu depinde de grosimea intervalului deschis, interceptarea unei singure fisuri putând drena întregul debit al acviferului, oferit de denivelarea posibilă în locul respectiv. Astfel forajul F2 Rontău, situat la cota cea mai de jos dintre toate sondele din zonă, a produs erupțiile cele mai puternice (50, 100, 170 și 260 l/s). Exploatarea acestui foraj a contribuit substanțial la tulburarea echilibrului sensibil dintre rata alimentării și a extragerii.

3.3. Teste, măsurători de interferență.

3.3.1. Testul de la Felix – 1Mai

În anul 1979 a fost proiectat și executat testul răspunsurilor impulsionale, cu scopul precizării debitelor exploatabile din acviferul utilizat în cele două stațiuni, care să asigure totodată menținerea stării naturale a izvoarelor sublacustre din rezervația naturală (Paál, 1979). Testul s-a efectuat, după închiderea totală a sondelor, prin punerea treptată în producție a surselor artificiale. După fiecare majorare a debitului extras, ceea ce era echivalent cu un impuls aplicat asupra regimului hidraulic, s-a urmărit răspunsul la impuls: schimbările nivelurilor în sursele încă închise și scăderea debitelor în sursele puse deja în producție, precum și variația debitelor izvoarelor.

Concluziile celor șase faze cu o durată totală de 70 de zile au permis stabilirea fluxului realimentării, a curbei generale de indicație (debit – denivelare), precum și a debitelor optime repartizate pe surse. S-a putut constata comportarea hidraulică unitară a complexului acvifer superior, care se realimenta cu un debit de 300–350 l/s.

3.3.2. Testul de la Oradea

După începerea exploatării intensive în scopuri energetice a acviferului

termal de la Oradea, în octombrie 1982 a fost observat primul semnal negativ din Băile Felix – 1 Mai, manifestat prin scăderea debitului natural al surselor termale (izvoare și sonde). Tendințele extinderii utilizării energiei geotermale în orașul Oradea au impus proiectarea și executarea unui test de interferență, în vederea stabilirii parametrilor principali ai acviferului. Întrucât scăderea presiunii surselor din cele două Băi, urmărită prin măsurători sistematice, s-a menținut și în anii următori, era de așteptat ca testul de la Oradea să ofere indicații și asupra legăturilor hidraulice dintre cele două zone aferente.

Primul și deocamdată singurul test hidrodynamic al acviferului triasic s-a efectuat în anul 1984 (Cohut & Paál, 1985; Plaviță, 1985; Plaviță & Cohut, 1990). La data de 27 august, toate sondele termale din Oradea au fost închise timp de 28 de zile, concomitent cu monitorizarea variației parametrilor urmăriți, în special a presiunii. După perioada de închidere a fost pusă în producție sonda 4796, cu poziție centrală, măsurându-se în continuare variația presiunii în sondele închise. Cu o periodicitate de 6-7 zile, s-a trecut la deschiderea succesivă a tuturor sondelor, ajungându-se în final la un debit total de 150 l/s.

La 45 de zile după închiderea sondelor din Oradea, debitul artezian al sondelor din cele două stațiuni a crescut cu 35,4 l/s, iar Izvorul Frederich de la Băile 1 Mai, care secase în octombrie 1983, a început din nou să debiteze. Trebuie subliniat că acest efect pozitiv asupra debitelor a avut loc într-o perioadă în care în cele două Băi au fost extrase cele mai mari cantități de apă termală înregistrate vreodată: media lunară a fost de 198 l/s în iulie și august, respectiv 195 l/s în septembrie. Redeschiderea în octombrie a sondelor din Oradea a determinat secarea imediată a izvorului Frederich și scăderea debitului total al sondelor din perimetrul Felix – 1 Mai de la 211 la 203 l/s. Astfel, ipoteza de lucru formulată pe baza interpretării datelor geologice și hidrogeologice complexe (Paál, 1975) și fundamentată prin măsurători de interferență executate în stațiuni a fost dovedită prin măsurători concrete.

3.4. Analogii

Judecând după datele literaturii de specialitate și după cele menționate în introducere, sistemele convective hidro-geotermale reprezintă mai degrabă o regulă și nu o excepție în formarea izvoarelor termale. Unitatea hidrolică a acviferelor termale superficiale, cu izvoare naturale, și a acviferelor adânci, cantonate în formațiuni de vârste diferite și care sunt despărțite și spațial, situate la intervale de adâncime mult decalate, nu este o raritate nici în aria intracarpatică, nici în alte părți ale lumii. De exemplu, evaluarea resurselor geotermale de joasă și medie temperatură din SUA a indicat că, din totalul de peste 1.300 de sisteme identifica-

te, peste 95 % sunt sisteme hidrotermale convective, în care mișcarea ascendentă transportă căldura în acvifere mai superficiale sau se descarcă la suprafață sub forma izvoarelor (Culver, 1995). În Serbia au fost deosebite 8 sisteme convective numai în zona de contact a Depresiunii Panonice cu Munții Dinarici, care drenează apele acviferelor adânci în sisteme superficiale, deseori cu izvoare termale (Dokič et al., 2005). De jur împrejurul Bazinului Intracarpatic se cunosc multe asemenea sisteme termale, cu arii extinse de alimentare în zonele marginale muntoase, rezervoare primare în formațiunile afundate în subasamentul depresiunii, de unde – prin convecție termică – apele ajung din nou la suprafață.

Pentru ilustrare, prezentăm scurta descriere a unui sistem aproape identic, situat pe marginea opusă a Depresiunii Panonice, la numai 200 km de Băile Felix – 1 Mai. Pe malul vestic al Dunării, în capitala Ungariei se cunosc peste 120 de izvoare termale naturale, dispuse în lungul unei zone faliate, care desparte Munții Transdanubieni de aria scufundată a Depresiunii Panonice, care în zona capitalei prezintă un extins golf cu direcție nordică. În lungul „liniei termelor” sau „faliei izvoarelor termale”, triasicul - în principal dolomitic - de la suprafață se afundă în câteva trepte până la adâncimi în jur de 2.000 m. Atât la suprafață, cât și în subteran, triasicul este acoperit de roci calcaroase eocene, ceea ce denotă o îndelungată exondare jurasică-cretacică, în timpul căreia au avut loc erodări și carstificări intense. Infiltrațiile extinse zone muntoase situate la vest - sud-vest de capitală urmăresc trasee subterane condiționate de tectonica accentuată, organizându-se în trei sisteme diferențiate pe verticală care ajung la suprafață în trei zone alăturate, înșirate în lungul „liniei termale”. Apele sistemului adânc ajung în stivele dolomitice din fundamentul câmpiei, la 1.500 – 2.500 m adâncime, și cu regim geotermic ridicat.

Transformările proprietăților fizice creează gradientii necesari convecției, afluxul ascendent în planul rupturilor ajungând la suprafață în partea sudică a liniei termelor. Întrucât Dunărea urmărește în această zonă aliniamentul faliei, ea formează o bază de eroziune puternică și drenează o mare cantitate de ape fierbinți, prin izvoarele de pe fundul albiei. O cantitate mai mică apare la poalele muntelui de pe malul vestic al fluviului, în peste 120 de izvoare cu temperaturi până la 65 °C. Faciesul hidrochimic este identic cu cel al apelor de la Oradea – Felix, fiind sulfatate-bicarbonatate, calco-magneziene, cu mineralizație între 1,2 – 1,7 g/l. Vârsta absolută, stabilită pe baza conținutului în ^{14}C , variază între 5.000 – 16.000 de ani (Goldscheider et al., 2010).

S-a presupus încă din sec. al XVIII-lea că sursa acestor ape nu poate fi căutată decât în subsolul câmpiei de la poalele munților, adică sub oraș, la est de Dunăre. După primul foraj, săpat în 1867 pe insula Margareta, au fost săpate

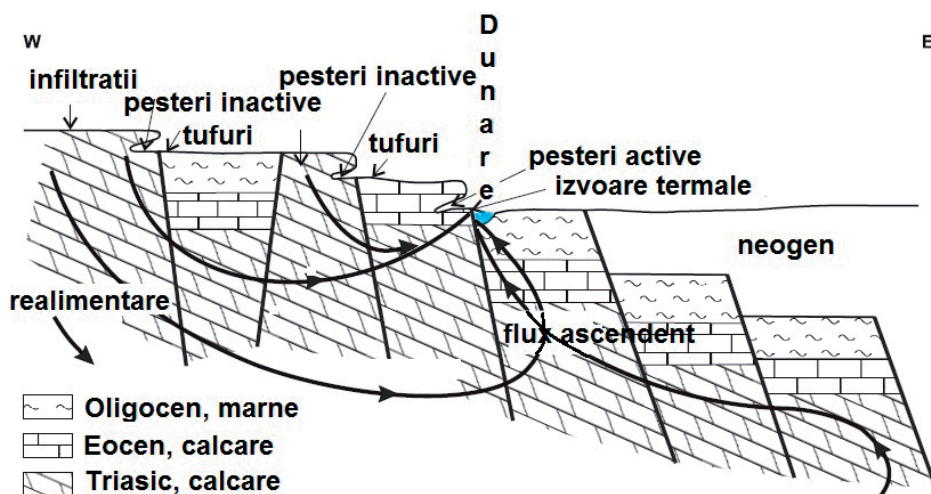


Fig. 4. - Modelul sistemului hidrotermal de la Budapesta

până azi peste 80 de sonde, având ape cu temperatura de max. 80 °C. Debitul lor exploatat este în jur de 250 l/s, în timp ce debitul izvoarelor naturale a fost estimat la peste 500 l/s. Secarea unor izvoare sau grupe de izvoare a fost sesizată deja la primele foraje (de exemplu, cele de pe insula Margareta au dispărut imediat după executarea forajului), în prezent existând restricții severe în avizarea noilor foraje, iar activitatea de utilizare energetică a apelor termale (practicată în trecut) a fost restricționată în favoarea utilizărilor balneo-terapeutice.

Masivul dolomitic, calcaros este străbătut de vaste sisteme carstice, etajate în urma evoluției sistemului, care s-a scufundat treptat, odată cu coborârea bazei de eroziune. Atât în peșterile inactive, cât și în cele de la și de sub nivelul actual de deversare, sunt deosebit de clare amprentele speleogenezei hipogene, hidrotermale. Figura 4. redă modelul concepțional al sistemului mai sus prezentat.

3.5. Modelul concepțional

Detaliile anterior prezentate permit sintetizarea lor în modelul concepțional al acviferelor, care fac parte din hidrostructura regională a mezozoicului din Apusenii nordici (fig. 5.).

În extremitatea vestică a structurii, scufundată în subsolul Câmpiei de Vest și ajunsă în regimul geotermic anomal de ridicat, în seriile rocilor carbonatate de vârstă triasică, fisurate și intens fracturate de tectonismul avansat al depresiunii,

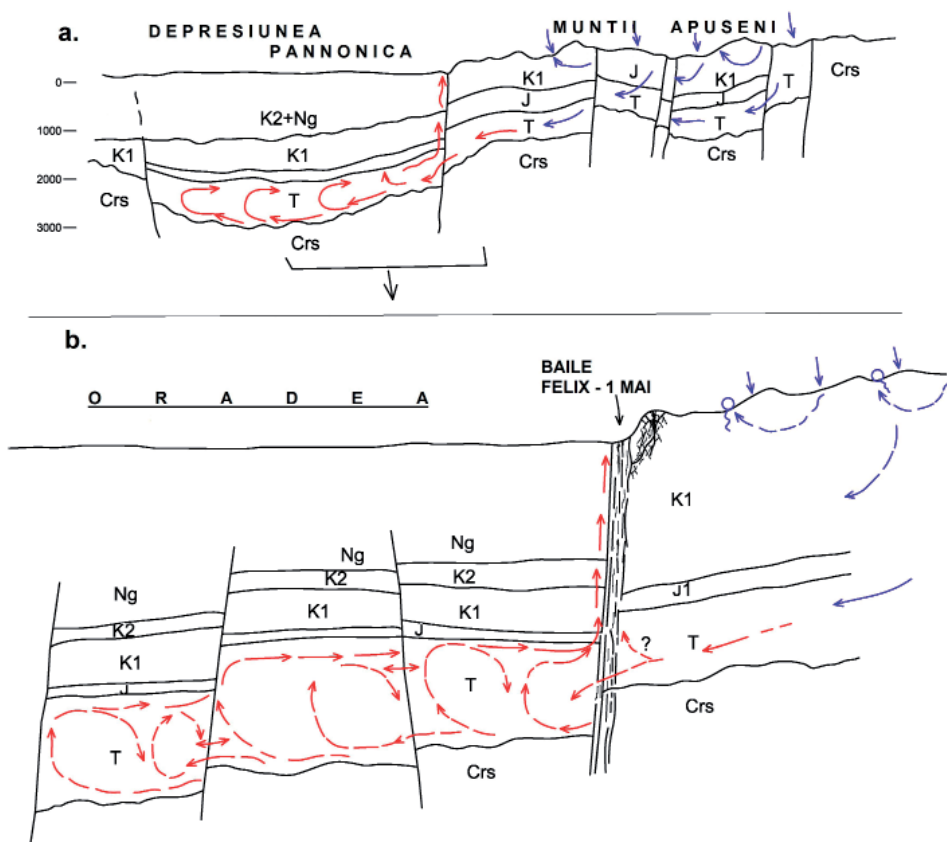


Fig. 5 - Modelul concepțional al hidrostructurii regionale (a) și al sistemului hidro-termal Oradea – Felix (b)

s-au creat condiții prielnice declanșării mișcărilor convective. Faliile marginale ale depresiunii fac legătura directă între acviferul adânc și suprafață, permeabilitatea lor avansată drenând sistemul convectiv presurizat și dilatat din adâncime. Întrucât în zona Băilor se intersectează mai multe asemenea falii majore (marginale ale depresiunilor Panonice, Borodului și Beiușului), rezistența hidraulică minoră a zonelor de zdrobire oferă căi favorabile acestei alimentări ascensionale. În partea de jos a fig. 5. este redat – într-o formă extrem de simplificată – acest mecanism, împreună cu modelul concepțional al sistemului acvifer Oradea – Felix. Trebuie subliniat, că după prima formulare a ipotezei (Paál, 1972), bazată pe rezultatele cercetării prin foraje adânci a subsolului orașului Oradea (Vasilescu, Nechiti, 1968), și finalizarea ei pe baza interpretării complexe a datelor și investigațiilor (Paál, 1975), precum și a confirmării prin măsurători concrete, ipoteza a fost ac-

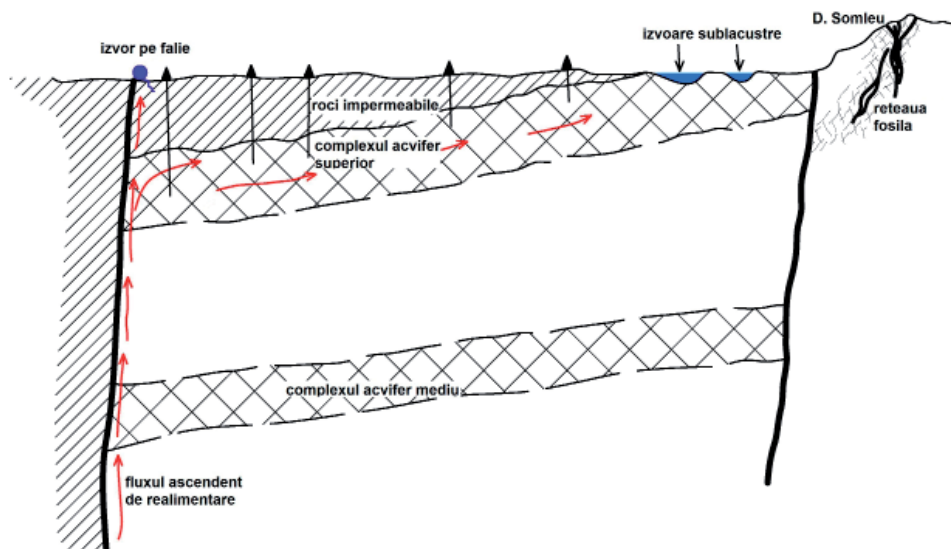


Fig. 6 - Modelul concepțional al acviferului de la Băi.

ceptată, citată, preluată și aplicată în cadrul investigațiilor, studiilor și lucrărilor executate asupra teritoriului (Cohut, 1986; Bretotean et al., 1998; Tenu, 1981; Lund, 1997; Tenu & Diaconu, 2010, etc.), recent fiind folosită și la fundamentarea unui proiect comunitar, în scopul valorificării energetice mai eficiente a apelor termale în Oradea (Transgex, 2010).

Modelul acviferului din Băile Felix – 1 Mai este mult mai simplu (fig. 6). Aproape de suprafață, fluxul ascendent interceptează rețeaua de fisuri de la partea superioară a blocurilor calcaroase din zona Băilor, parțial acoperite de roci impermeabile. În porțiunile lipsite de aceste roci sau acolo unde eroziunea a subțiat sedimentele postglaciare, are loc deversarea apelor de adâncime, prin izvoare termale. Modelul subliniază totodată și cauzele dereglărilor constatate în funcționarea izvoarelor sublacustre ale rezervației Pârâul Peșea: poziția altimetrică cea mai elevată în care se află izvoarele cauzează reacția lor imediată la extragerile de apă prin foraje din zonele mai adânci ale sistemului fisural (folosind un exemplu primitiv, dar tipic: apa nu ajunge la etajul 10 dacă mai jos toate robinetele sunt deschise). Secarea izvoarelor nu poate avea altă cauză decât scăderea presiunii hidrostatice, fie din cauza exploatării excesive în zona Băilor, fie în urma diminuării afluxului ascendent de realimentare, dar nici efectul combinat nu poate fi exclus teoretic.

4. Evoluția sistemului hidrogeotermal

4.1. Trecutul acviferului

În formarea sistemului hidrotermal Oradea – Felix, rolul hotărâtor revine formării și scufundării Bazinului Panonic, în urma căreia s-au creat condițiile fizice necesare declanșării convecției și formării prin lărgire și diluare a căilor de ascensiune în zonele de minimă rezistență, create de tectonica disjunctivă intensă a fazelor extensionale și a punctelor de deversare la suprafață.

În prezent nu dispunem de date necesare pentru a preciza locul și timpul apariției la suprafață a primelor manifestări ale acestui sistem. Teoretic, se poate presupune că întreaga stivă de roci calcaroase, dolomitice a autohtonului de Bihor a fost saturată cu ape infiltrate de la suprafață. În compartimentele vestice, după scufundarea lor în fundamentul depresiunii, sub influența puternicei anomalii geotermice a avut loc probabil o treptată modificare a faciesului hidrochimic, cu creșterea concentrației și modificarea spectrului spre tipul apelor fosile (care se recunosc și azi în blocurile tectonice izolate din apropierea graniței, de exemplu în zona Borș). Modificarea parametrilor fizici ai apei, determinată de regimul termic, a cauzat declanșarea mișcărilor ascensionale pentru detensionarea întregului sistem. Căile filtrației subterane erau oferite de suprafețele de stratificație, fisurile din corpurile rocilor, dar mai ales de zonele permeabile ale marilor fracturi. Cavitația hipogenă era probabil activă în lărgirea acestor căi (dovedită și de dimensiunile avenului de pe Dealul Șomleu), formând o rețea de canale în planul zonelor faliate, prin care se scurgeau ape venite din diverse părți ale acviferului, ca urmare a diferențelor dintre permeabilitatea rocii colectoare și a celei a faliei (Lopez, Smith, 1995). Stabilitatea parametrilor fizico-chimici ai apelor din diverse surse și ușoarele diferențe dintre ele sunt indicații în favoarea existenței mai multor canale individuale de transport, din adâncime înspre suprafață.

După formarea punctelor de deversare la suprafață, întregul sistem acvifer regional al autohtonului, de la zonele muntoase până la fundamentul depresiunii, a devenit deschis din punct de vedere hidraulic, apele la început fosilizate au fost drenate și înlocuite treptat de ape meteorice slab mineralizate. Vârsta aparentă de 18.000 – 12.000 ani este în concordanță cu lungimea drumului parcurs de particulele de apă infiltrate în Munții Pădurea Craiului, prin rețelele de fisuri, preponderent fine, ale rocilor.

Până în prezent nu au fost detectate puncte mai vechi, ante-cuaternare, de deversare ale sistemului. Judecând după caracterul puternic transgresiv al sedimentației pliocene, care a avansat chiar și peste formațiunile fundamentului cristalin de pe rama bazinului, în timpul panonianului sistemul hidrotermal era pro-

abil ascuns, acoperit. Unii autori nu exclud ca și în prezent să existe mai multe asemenea sisteme hidrotermale ale fundamentului, ascunse sub cuvertura groasă a sedimentelor pliocene (Paucă, 1979).

Pentru elucidarea vârstei și modelului de funcționare a acviferului de tip Felix, a fost studiat și blocul calcaros al Dealului Șomleu (Cohut & Paál, 1985), care adăpostește un fenomen carstic deosebit: un aven de 80 m adâncime („cra-terul” orădenilor), aproape de vârful dealului, într-o zonă total lipsită de fenomene exocarstice. În jurul avenului exista o zonă intens dezvelită în urma exploatării calcarelor cretacice, precum și în urma intenselor săpături paleontologice. S-a descoperit aici o bogată faună din perioadele glaciare, preponderent termofilă, care a dispărut brusc la începutul glaciației Mindel (Jurcsák, 1972).

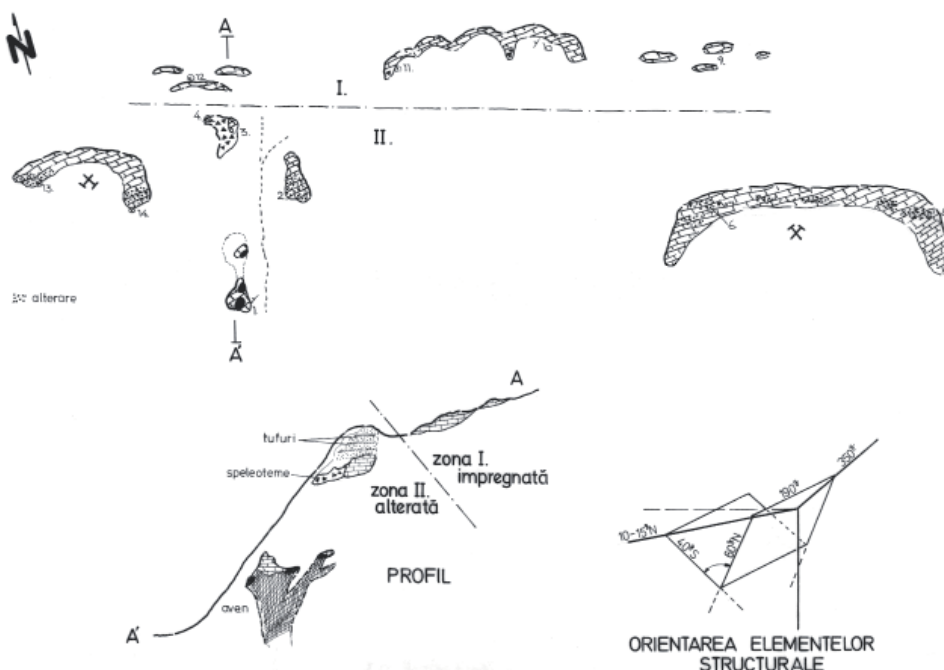


Fig. 7 - Schița aureolei de alterare de pe Dealul Șomleu

Calcarele din jurul avenului sunt afectate de procesele alterării hidrotermale. După intensitate s-au putut deosebi două zone: cea nordică, în care fracturile și fisurile calcarelor sunt umplute cu cristale bine dezvoltate de calcit, iar în alte locuri calcarul cenușiu este numai albit în jurul fisurii. În zona sudică, mai puternic alterată, au fost identificate câteva puncte (punctele 2, 13, 14) unde amplitudinea procesului de transformare presupune aportul mai intens al soluțiilor, prin canale și goluri subterane mai mari. În aceste puncte s-au format brezii calcaroase cimenta-

te cu calcit, pline de cuiburi și geode căptușite cu cristale prismatice mari de calcit. La cota cea mai joasă a zonei se găsește avenul Betfia (Hudra Bradii), un larg horn de 80 m adâncime, cu câteva galerii orizontale scurte în talpă. Este important de reținut că inițial nu avea deschidere la suprafață, fiind descoperit de un localnic în cursul exploatării calcarului, deschizând marginea sudică a hornului. Configurația pereților, cu nișe mari, concave, precum și îngustarea spre suprafață sunt semne elocvente ale carstului hidrotermal, epigenic (Klimchouk, 2007). Deasupra punctului de acces se pot observa atât continuarea canalului în sus, cât și ramificarea nișelor spre punctele cele mai alterate de deasupra.

Alterarea hidrotermală a zonei era cauzată de efluențe intense de ape termale, care circulau în principal pe sistemele majore de fracturi, orientate pe două direcții perpendiculare, concordante cu elementele tectonice detectate geofizic pe Dealul Șomleu. Pe baza cercetărilor, pare fundamentată ipoteza potrivit căreia aceste efluențe formau izvoare sublacustre, cu condiții prielnice precipitării tufurilor calcaroase, iar întreaga zonă era alimentată de jos, prin canalul vertical al avenului, generat de coroziunea hidrotermală epigenă.

Pe profilul transversal al aflorimentului (fig. 7) se remarcă, peste depozitele tipice fazei carstice, o stivă groasă de sedimente depuse în mediu acvatic (probabil lacustru), constituită din sedimente argiloase, cretoase, prăfoase, cu dese intercalații de tufuri calcaroase, poroase, indicând existența ivirilor de ape puternic saturate cu bicarbonați de calciu. Această zonă de izvoare calde atrăgea și adăpostea o faună bogată și variată, indicată de fosilele descoperite.

Cercetarea zonei a oferit suficiente argumente pentru formularea ipotezei potrivit căreia avenul de pe Dealul Șomleu reprezenta prima zonă de descărcare naturală cunoscută a sistemului convectiv Oradea – Felix. Schimbările din cuaternar, evenimentele postglaciare, modificările tectonice, precum și scufundarea bazei de eroziune, prin formarea văilor din jurul dealului, au creat posibilitatea formării actualelor izvoare de la baza Dealului Șomleu, concomitent cu secarea rețelei anterioare. După glaciațiunea Würm, apare fauna hidrotermală specifică de la Băile Episcopiei, datată și confirmată paleontologic, cu Melanopsidae care marchează sensibil alternanțele climatice din post-würmian. Depozitele groase de tufuri calcaroase, care acoperă suprafețe mari în jurul Haieului, presupun reactivizarea carstificării hipogene în crearea noilor puncte de descărcare a apelor termale (Paucă, 1979).

4.2. Prezentul acviferului

Testele de interferență executate au indicat atât unitatea hidrolică a acviferului din rocile triasice de la Oradea cu acviferul din rocile cretacice inferioare de la

Băi, cât și interconexiunea celor două acvifere, realimentarea lor unică, precum și influența modificărilor survenite în sistemul mai adânc de la Oradea asupra sistemului superficial din subsolul stațiunilor. Trăsăturile hidrogeologice specifice zonei Băilor fac ca izvoarele naturale sublacustre, aflându-se la cotele cele mai ridicate, să funcționeze ca adevărate piezometre ale întregului sistem. Având în vedere că realimentarea rețelei de fisuri de la Băi avea valoarea de 300-350 l/s în 1979 (de atunci nu au fost executate măsurători în acest sens), depășirea acestei rezerve exploatabile prin noi surse de extragere are ca efect scăderea nivelului piezometric sub cota izvoarelor naturale – implicit, secarea lor (Paál, 1981).

Executarea și exploatarea îndelungată a forajului F2 Rontău, odată cu exploatarea nerațională a acviferului crețacic în perioada 1977 – 1984, au contribuit substanțial la dezechilibrarea acviferului, la scăderea treptată a debitului și chiar la secarea temporară a izvoarelor naturale. În această perioadă au fost introduse procedee de utilizare energetică a apelor termale în centralele termice ale marilor complexe balneo-terapeutice (preîncălzirea apei calde menajere cu apă termală), activitate care era echivalentă cu exploatarea permanentă și îndelungată a forajelor. Dar tot în această perioadă a început și extinderea utilizării apelor hipertermale în diverse scopuri la Oradea. Astfel, în cartierul Nufărul, deci foarte aproape de liniile tectonice care probabil sunt căile principale de ascensiune către zona Felix, s-a trecut la prepararea apei calde menajere a întregului cartier și la reinjectarea apei răcite în subteran.

Conturbările constatate în funcționarea izvoarelor sublacustre ale rezervației pot fi puse deci pe seama ambelor activități: acviferul de la Băi era realimentat cu cantități mai mici și din acvifer se extrăgea mai multă apă decât inițial. Ambele au contribuit la scăderea nivelului piezometric al acviferului, cauzând secarea izvoarelor. Sub influența acestor efecte negative au fost executate investigații speciale, care au stabilit rezerva exploatabilă din ambele acvifere la valoarea de 300 l/s, din care 210 l/s în cele două stațiuni și 90 l/s în acviferul triasic de la Oradea, cifre stabilite în avizele de exploatare.

Schimbările intervenite după anul 1990 au avut ca efect neglijarea pe de o parte a rezultatelor cercetărilor deceniilor trecute, pe de altă parte înmulțirea beneficiarilor și a utilizatorilor de apă geotermală, iar coordonarea centrală a gospodăririi resurselor a trecut sub autoritatea mai multor organe.

4.3. Viitorul acviferului

Evaluarea comportării viitoare a acviferului are două variante. Dacă nu vor fi respectate proprietățile naturale ale acviferului de la Băi (sintetizate în acest articol) și vor fi exploatare debite peste nivelul realimentării (valoarea actuală ar

trebui precizată printr-un nou test de interferență), nivelul piezometric va scădea în continuare, după secarea definitivă a izvoarelor afectând pe rând forajele, în măsura denivelărilor locale ale fiecăruia. Cu timpul, exploatarea arteziană va trebui înlocuită cu exploatarea prin pompe submersibile. După cum sugerează rezultatele investigațiilor izotopice, exploatarea peste limita realimentării are ca efect dinamizarea curgerii subterane, creșterea vitezelor fiind acompaniată de scăderea presiunii hidraulice. Efectul poate fi atât diminuarea capacității sistemului (luând în calcul și scăderea treptată a precipitațiilor datorită schimbărilor climatice, precum și scăderea infiltrațiilor datorită defrișărilor), cât și diluția componentei principale, în caz că pe parcursul subteran există condiții prielnice intersectării orizonturilor acvifere mai reci și mai diluate.

Traducerea în viață a intențiilor utilizării intensive energetice a apelor termale în Oradea este o posibilitate reală, care însă trebuie efectuată pe baza cercetării mai riguroase a efectelor asupra realimentării zonei stațiunilor. În afară de testul executat în 1984 n-a existat nici o încercare pentru precizarea și confirmarea rezultatelor primului test, deși la Oradea s-a trecut la săparea mai multor foraje noi și la exploatarea unora prin pompe submersibile de mare capacitate. Reinjectarea impusă în scopul menținerii presiunii de zăcământ (implicit a presiunilor necesare pentru menținerea alimentării zonei Băilor) se practică însă fără modelarea efectelor termice, ceea ce poate influența negativ regimul convectiv natural de alimentare a zonei Băilor. Singura modelare efectuată pe baza testului din 1984 (Antics, 2000) asupra extinderii exploatarei prin reinjectare a avut la bază un model cu granița estică având presiune constantă, ceea ce nu reflecta situația dovedită prin măsurători.

5. Concluzii

Analizarea, interpretarea și sintetizarea cercetărilor, investigațiilor, observațiilor și măsurărilor complexe, executate asupra acviferelor din subsolul stațiunilor Felix – 1 Mai și al municipiului Oradea permite enunțarea următoarelor concluzii:

- a. Acviferul de la Băile Felix – 1 Mai reprezintă un sistem fisural de mică extindere, care drenează, sub forma izvoarelor termale, debite în jur de 300-350 l/s (valoare stabilită în 1979!). Întrucât acest acvifer este înconjurat de zone lipsite de ape termale, alimentarea lui nu poate fi decât ascensională, din profunzime, pe căi create în planul liniilor tectonice confirmate de măsurători geofizice.
- b. Investigarea complexă a acviferului și a zonelor adiacente, descoperirea și cercetarea acviferului geotermal adânc din subsolul Oradiei, precum și analiza com-

- plexă a condițiilor hidrogeologice, geotermice, hidrodinamice, chimice-izotopice au condus la elaborarea ipotezei potrivit căreia acviferul de la Băile Felix-1 Mai reprezintă aria naturală de descărcare a sistemului convectiv hidrotermal dezvoltat în rocile triasice din subsolul municipiului Oradea.
- c. Măsurătorile hidrodinamice speciale executate în ambele zone au confirmat valabilitatea ipotezei, dovedind cu date concrete unitatea hidrolică a celor două acvifere.
 - d. Legătura dintre acvifere se realizează prin intersecția mai multor aliniamente tectonice majore, create în cursul evoluției Depresiunii Panonice și situate la est de Oradea, care despart marginea vestică a catenei muntoase a Apusenilor de limita estică a depresiunii.
 - e. Condiționarea tectonică a acviferului de la Băi atrage atenția asupra riscului eventualelor cutremure, care pot avea efecte atât negative, cât și pozitive.
 - f. Izvoarele termale sublacustre ale rezervației Pârâul Peșea reprezintă punctele naturale de descărcare ale acestui sistem. Fiind situate în pozițiile cele mai elevate ale rețelei de fisuri, izvoarele funcționează ca piezometre naturale, reacționând instantaneu la extrageri din punctele mai coborâte ale sistemului, prin scăderea debitului descărcat. Depășirea ratei de realimentare naturală determină încetarea activității izvoarelor, în urma scăderii nivelului piezometric.
 - g. Întrucât cantitatea afluxului ascendent din profunzime este constantă, depășirea îndelungată a debitului exploatabil – pe lângă secarea izvoarelor sublacustre ale rezervației – va deregla funcționarea întregului acvifer, scăderea treptată a nivelului piezometric necesitând în final trecerea la exploatarea forajelor prin pompare. Nu se poate exclude, în caz extrem, nici secarea întregului acvifer.
 - h. Deoarece alimentarea acviferului de la Băi depinde de parametrii acviferului adânc de la Oradea, atât intensificarea exploatării, cât și reinjectarea apelor răcite trebuie efectuată cu atenție deosebită, acordată susținerii temperaturilor și presiunilor de zăcământ care mențin fluxul ascendent al realimentării. Planurile de dezvoltare trebuie fundamentate pe modelări hidrolice, executate cu programe speciale, adecvate apelor geotermale, și trebuie bazate pe datele măsurărilor hidrodinamice executate periodic în sondele termale.

Lucrări citate

- Antics, M. 2000. - Computer simulation of geothermal reservoirs in the Pannonian Basin, Eastern Europe. - *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, Kyushu - Tohoku, Japan: 2497-2502.

- Bretotean, M., Mircescu, V., Blidar, I. 1998. – The analysis of the behavior mode exploitation of the superior Cretaceous thermomineral aquifer system of Baile Felix – 1 Mai related to the Triassic geothermal aquifer system Oradea with the purpose to determine the exploitable resources of water. - *Proceedings of the International Symposium on Mineral and Thermal Groundwater*, Miercurea Ciuc : 31–39.
- Cohut, I. 1986. – Sistemul hidrogeotermal Oradea–Felix. – *Crisia* **16**: 617-628.
- Cohut, I., Paál, G. 1985. - Studiul legăturilor hidro dinamice dintre ariile geotermale Oradea si Felix. – Arhiva Întreprinderii de Foraj și Lucrări Geologice Speciale I.F.L.G.S. București, 81p.
- Cohut, I., Paál, G., Plaviță, R. 1985. – Studiu și documentație de evaluare a rezervelor de căldură ale sistemelor hidrogeotermale din zona Crișul Negru- Someș. - Arhiva Institutului de Geologie si Geofizică București, 163p.
- Cohut, I., Paál, G., Plaviță, R. 1986. – Studiul privind posibilitățile de exploatare industrială a perimetrului hidrogeotermal Oradea, cu calculul rezervelor de căldura la data de 1 ian. 1986. - Raport. Arhiva Institutului de Geologie și Geofizică București.
- Culver, G. 1991. – Direct use reservoir models, how we think they work. - *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin* **13**(1): 1-7.
- Goldscheider N., Mádl-Szőnyi J., Erőss A., Schill E. 2010. - Review: Thermal water resources in carbonate rock aquifers. - *Hydrogeology Journal* **18**: 1303–1318.
- Jurcsák, T., 1970. – Date paleontologice privind vârsta teraselor și a locurilor fosilifere din împrejurimile orașului Oradea. - *Caiet de comunicări „Muzeul Țării Crișurilor” Oradea*, 11-42.
- Klimchouk, A.B. 2007. – Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective. –Special Paper no. 1, National Cave and Karst Research Institute, Carlsbad, NM, 106 pp.
- Lund, J.W. 1997. – District Heating Systems in Oradea, Romania. - *Geo-Heat Center Bulletin*, August 1997: 9-12.
- Mayer, A. 1861. – A nagyváradi hévizek.
- Lopez, D.L., Smith, L. 1995. – Fluid flow in fault zones: Analysis of the interplay of convection circulation and topographically driven groundwater flow. – *Water Resources Research* **31**(6): 1489-1503.
- Mot, O., Paál, G. 1979. - Cercetarea compoziției izotopice a substanțelor dizolvate in apele geotermale din partea de nord a Câmpiei de Vest, prin activare neutronică și analiza gamaspectroscopică. – Studiu, Arhiva Institutului de Învățământ Superior, Oradea.
- Paál, G. 1972. - Raport hidrogeologic privind perspectiva de dezvoltare a zonelor Băilor Felix – 1 Mai. - Arhiva Consiliului Popular al Județului Bihor.
- Paál, G. 1975. – Contribuții la hidrogeologia zăcământului de ape termale din zona Oradea-Felix. *Nymphaea* **3**: 5-22.
- Paál, G. 1979. - Documentație cu calculul rezervelor de ape subterane termominerale din cretacul de la Băile Felix – 1 Mai, la data de 1.ian.1979. - Arhiva Ministerului Turismului.
- Paál, G. 1981. - Exploatarea zăcământului geotermal de la Băile Felix – 1 Mai. Arhiva Institutului de Învățământ Superior, Oradea.
- Paucă, M. 1979. - O mare îndelung studiată, dar încă insuficient cunoscută: Marea Pano-nică. *Nymphaea* **7**: 15-35.

- Plaviță, R. 1985. – Modelul de zăcământ al perimetrului hidrogeotermal Oradea, dedus pe baza datelor geologice, chimice și termometrice. - Studii tehnice și economice, Institutul de Geologie și Geofizică București.
- Plaviță, R., Cohut, I. 1990. – Interference Tests in the Western Plain of Romania.- *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 14, Part II, August 1990.
- Rowland, J.C., Manga, M., Rose, T.P. 2008. - The influence of poorly interconnected fault zone flow paths on spring geochemistry - *Geofluids* 8: 93–101.
- Sorey, M.L. 1982. - Geothermal Reservoirs in Hydrothermal Convection Systems. – *Proceedings Eighth Workshop Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford, California, SGP-TR-60.
- Țenu, A. 1975. – Cercetări hidrogeologice complexe asupra apelor termale din zona Băilor Felix și 1 Mai. - *Studii de Hidrogeologie*, IMH București, pp.75-133.
- Țenu, A. 1981. – Zăcămintele de ape hipertermale din nord-vestul României. – Editura Academiei, 208 p.
- Țenu, A., Diaconu, M. 2010. – Thermal Aquifers in Mesozoic Karstified Limestones from Oradea – Băile Felix - 1 Mai Area, Western Romania. In: Orășeanu, I., Lurkiewicz, A. (Ed.): *Karst Hydrogeology of Romania*. – Oradea.
- Transgex SA 2010. – Valorificarea energiei geotermale în asociație cu pompe de căldură și gaze naturale, pentru producerea agentului termic de încălzire și preparare a apei calde de consum la consumatorii cartierului Nufărul I. – Studiu de fezabilitate, Oradea.
- Vasilescu, Gh., Nechiti, G. 1968. – Contribuții la cunoașterea geologiei și hidrogeologiei zonei orașului Oradea. - *Buletinul Societății de Științe Geologice din România* 10: 291-307.
- Veliciu, S., Zamfir, A. 1986. – Studiul geotermal al ariei Oradea – Băile Felix. - Arhiva Institutului de Geologie și Geofizică București.

Summary

The aquifer from Felix – 1 Mai spas with thermal springs and lots of wells is located in a fissures network of cretaceous limestones, fragmentated and isolated in a few tectonic blocks. Complex interpretation of geological, hydrogeological, hydrochemical-isotopical and historical data concluded that the thermal aquifer represents the natural manifestation of the convectonal hydrothermal system located in triassic limestones and dolomites, exploited by wells in Oradea city. Special measurements executed in both aquifers revealed their hydraulic unity. The connection between the two aquifers, situated near the surface and at 2000 – 2500 m depth, is realised through the major tectonic marginal lines of the Pannonian Basin. The subaquatic thermal springs of Pețea River natural reserve are situated at most elevated levels of the Felix – 1 Mai aquifer, and, like natural piezometers, reacts immediately to any overexploitation. Since the recharge of aquifer is constant, after the disappearance of thermal springs the sustained overexploitation may lead to the collapse of the whole system. Given the demonstrated hydraulic unity of aquifers, extraction and reinjection of the triassic aquifer must be executed carefully with regard to this interconnection.

