

NYMPHAEA Folia naturae Bihariae	XL	109 - 125	Oradea, 2013
---	-----------	------------------	---------------------

Dinamica sistemului hidrogeotermal Oradea–Felix–1 Mai

Ioan Cohut

Oradea, Parcul Petőfi nr. 11, e-mail: nelucohut@gmail.com

Rezumat. Fenomenele negative înregistrate în zona rezervației naturale de la Băile 1 Mai (atât în perioada 1982-1983, cât și, mai pregnant, după 2010) au fost, indubitabil, generate de supraexploatarea acviferului, debitele extrase depășind rata realimentării. Depășirea reîncărcării naturale va conduce la secarea emergențelor naturale (și deci la posibila dispariție a rezervației), urmată de scăderea treptată a debitelor la toate sursele de apă termală din cele două stațiuni, trecerea la exploatarea în pompaj și chiar de oprirea afluxului ascendent, din profunzime, deci de posibilitatea dispariției stațiunilor balneare.

Cuvinte-cheie: sistem hidrogeotermal, resurse geotermale, Felix-1 Mai, Oradea

Introducere

Originea apelor calde de la Băile Felix-1 Mai (atestată istoric încă din sec. XIII și folosite de-a lungul întregului Ev Mediu), a putut fi explicată abia după identificarea zăcămintului de ape geotermale din subsolul municipiului Oradea și a extinderii acestuia spre est, în zona Tileagd-Aleșd. Sistemul hidrogeotermal Oradea-Felix-1 Mai este cantonat în formațiunile fisurate ale carbonatitelor triasice din zona Aleșd-Tileagd-Oradea și în cele cretacice din zona Băilor Felix-1 Mai. Acest sistem face parte din structura hidrogeologică mezozoică a părții de nord a Munților Pădurea Craiului, structură dezvoltată în calcarele și dolomitele prezente

atât la suprafață, cât și scufundate, în jumătatea vestică a Depresiunii neogene Vad-Borod precum și în zona Oradea (unde ecranările tectonice exclud orice legătură hidrodynamică cu structuri învecinate, dispuse atât în vest, cât și în nord sau sud). Singura fereastră tectonică prin care apele geotermale încălzite în celula convectivă Oradea pot circula este deschisă spre sud-est, adică spre zona Băilor Felix-1 Mai.

Ipoteza unei legături hidro dinamice între acviferul triasic Oradea (situat la adâncimea de 2300-2800 m și având ape cu temperaturi de 75-105 °C) și cel cretacic de la Felix-1 Mai, aflat la 7 km spre sud-est (și care produce ape cu temperaturi de 35-49 °C de la adâncimi de 50-350 m), a fost avansată de geologul G. Paál în 1975, în cadrul studiului hidrogeologic care a fundamentat dezvoltarea Băilor Felix-1 Mai. Cuprinderea în aceeași unitate hidro dinamică a celor două zăcămintele a fost susținută prin temeinice studii interdisciplinare elaborate în perioada 1968-1988, când datele de cunoaștere geologică, hidrogeologică, hidro dinamică, hidrochimică și de izotopi de mediu, precum și testele de interferență au demonstrat atât caracterul deschis al sistemului (care presupune existența unei realimentări permanente, apele făcând parte din circuitul hidrologic activ), cât și, mai ales, legătura intrinsecă între volumele de apă extrase din sistem (prin sonde și izvoare) și rata realimentării (resursele exploatabile totale).

Originea și funcționarea sistemului hidrogeotermal Oradea-Băile Felix-Băile 1 Mai

Modelul hidrogeologic al sistemului hidrogeotermal convectiv Oradea-Felix ia în considerare existența unei alimentări naturale a acviferului – în cadrul circuitului hidrologic activ – prin infiltrarea apelor meteorice în arealul părții nordice a Munților Pădurea Craiului (unde carbonatitele mezozoice află la zi, pe suprafețe însumând sute de km²). După atingerea zonei de saturație, apa subterană se canalizează – sub acțiunea câmpului gravitațional – spre zonele cu sarcini piezometrice reduse (descărcările naturale de la Felix-1 Mai, generate de acțiunea eroziunii asupra unei zone de întretăieri favorabile ale faliiilor carpatice, orientate est - vest, cu cele panonice, orientate nord - sud).

Continuitatea hidrolică (din zona de alimentare până în zona de descărcare) este asigurată – în principal – de existența căilor preferențiale de curgere (falii cu extensie regională și fețe de strat, lărgite prin dizolvare și susținute de brechiile existente în planul lor), dar și a căilor secundare (fisurații mecanice sau chimice existente în masivele de roci calcaroase și dolomitizate de vârstă mezozoică). Descărcarea din zona Felix-1 Mai se realizează ascendent, prin accidente tectoni-

ce, în jurul cărora s-au format arii mai restrânse, de alterare hidrotermală, care alcătuiesc complexele acvifere cretacice ale Băilor Felix-1 Mai (Cohut & Paál 1985).

Apele provin din precipitațiile căzute în Munții Pădurea Craiului, curg spre vest, încălzindu-se treptat (Aleșd 44 °C, Tileagd 56 °C, Oradea-est 70 °C, Oradea-centru 80 °C și Oradea-vest 100 °C) și se descarcă – încă de la sfârșitul terțiarului - prin izvoarele din zona Băilor 1 Mai, inițial în zona Dealului Șomleu de la Betfia, ulterior, la cote tot mai joase, de-a lungul Pârâului Pețea, ultimele emergențe fiind izvoarele sublacustre din rezervația naturală, în Ochiul Mare.

Cercetările speciale făcute pentru bauxită de Întreprinderea de Prospekțiuni și Explorări Geologice au indicat că în zona Munților Pădurea Craiului - pe o suprafață de 525 km² exista un însemnat deficit al bilanțului hidrologic: pentru perioada octombrie 1982 - octombrie 1983, un debit de 945 l/s din ape meteorice captate în subteran și dirijat spre sisteme hidrogeologice nu se descarcă la suprafață în cadrul zonei. Din acest debit, circa 300 l/s se dirijează spre nord, unde nivelul de bază al curgerii îl reprezintă fundamentul cristalin care suportă stiva carbonatitelor mezozoice (Orășeanu 1985). Aceste roci (în principal calcare și dolomite triasice), prin compartimentele tectonice ce delimitează și fragmentează Depresiunea neogenă a Borodului, coboară în trepte spre vest, până în zona Oradea.

Dovezile cele mai concludente privind zona de alimentare a sistemului geotermal Aleșd-Oradea-Felix sunt oferite de interpretarea analizelor chimice și a izotopilor de mediu (Gilău et al. 1983, Țenu 1981). În acest sens au fost analizate comparativ probe de rocă și apă din Munții Pădurea Craiului (zona de alimentare), Oradea (principala celulă de convecție) și Felix-1 Mai (zona de descărcare). În Munții Pădurea Craiului au fost analizate apele de suprafață (afluenți ai râului Crișul Repede) și apele carstice din zonă; mineralizația acestora este de 0,2-0,3 g/l, fiind de tip bicarbonatic-calcice, respectiv calco-magneziene, corespunzător chimismului rocilor carbonatate străbătute. Pentru comparație, au fost efectuate analize chimice și în Masivul Vlădeasa, unde predomină roci insolubile, de tip eruptiv, apele prelevate aici au o mineralizație foarte redusă (sub 0,1 g/l), fiind de tip bicarbonatato-calco-magnezian.

Apele geotermale din Oradea au un chimism asemănător rocilor de contact, anhidritul având influența majoră, deci apele au un conținut ridicat de sulfat (500-800 mg/l), moderat sau slab de bicarbonați (100-250 mg/l) și ridicat de calciu și magneziu.

Apele din zona Felix-1 Mai au o mineralizație mai redusă, cu predominanța bicarbonatului, datorită atât amestecului apei geotermale provenite din colectorul triasic cu ape subterane reci, de mică și medie adâncime, venite dinspre est, cât mai ales a precipitării unei părți din sulfatul de calciu dizolvat (pe traseul

ascendent dintre Oradea și Felix-1 Mai și în special în fisurile colectorului cretacic).

Înrudirea apelor geotermale din zona Oradea cu cele din zona Felix-1 Mai este ilustrată atât de evidenta interdependență dintre concentrația ionilor și mineralizația totală, cât și de compoziția în microelemente, frecvența elementelor de vanadiu, cobalt, nichel și mangan fiind de același ordin de mărime în ambele acvifere (Gilău et al. 1985).

Legătura genetică a rocilor și apelor din zonele Pădurea Craiului și Oradea-1 Mai-Felix este subliniată și prin spectrul de emisie gamma în urma activării cu neutroni, care arată aceeași frecvență de ultramicroelemente, cu peak-uri la aceleași valori energetice, suprapunerea fiind aproape perfectă.

Compoziția de izotopi de mediu stabili aduce de asemenea argumente privind geneza apelor geotermale din sistemul hidrogeotermal Oradea-Felix.

Conținutul în deuteriu (Țenu et al. 1981) și variațiile acestuia în timp indică faptul că valoarea relativ mică a concentrației, de 144-145 ppm D/H (față de standardul Viena-SMOW, de $155,7 \pm 0,05$ ppm D/H), poate fi atribuită provenienței apei de la o altitudine mai ridicată și din zone cu ape preponderent reci. La toate sondele din Oradea s-a constatat variația în timp a conținutului de deuteriu, dovadă a influenței variației sezoniere, deci apele fac parte din circuitul hidrologic activ. Determinările pe probe prelevate din apele carstice din Munții Pădurea Craiului au indicat același conținut de deuteriu (144-146 ppm D/H), însă cu variații sezoniere mai mari, fapt ce atestă originea lor comună și proveniența apelor geotermale din apele de precipitații infiltrate în munți.

Conținutul de izotopi de mediu stabili și radioactivi a fost studiat în mai multe etape de Institutul Național de Meteorologie și Hidrologie (Țenu 1981, Țenu & Diaconu 2010). Deuteriul, O-18 și C-13 sunt exprimați în δD , $\delta^{18}O$ și $\delta^{13}C$, adică în termeni de diferență în părți la mie a conținutului în izotopul respectiv din probe, față de cel al standardului Viena-SMOW pentru deuteriu și O-18 și standardului P.D.B. pentru C-13.

Pentru apele din zona Oradea, analizele din perioada 1976-1979 au stabilit valori medii ale deuteriului de -73,4 ‰ și ale oxigenului 18 de -11,1 ‰ valori aproape identice cu cele determinate la Felix ($\delta D = -69,1$ ‰ și $\delta^{18}O = -10,0$ ‰), fapt ce atestă originea lor comună. Îmbogățirea relativă în O-18 la Oradea se datorează timpului de rezidență mai mare în colector, fapt ce favorizează schimbul de izotopi între rocă și apă (pe când apele descărcate în Felix-1 Mai străbat doar zona de est a perimetrului geotermal Oradea).

În apele geotermale din Oradea s-a constatat prezența C-13 îmbogățit, datorită procesului de schimb ionic cu rocile colectorului, având valori $\delta^{13}C$ cuprinse între 3,2 ‰ și 3,7 ‰ (P.D.B.)

Vârsta și evoluția în timp a apelor geotermale din sistemul Oradea-Băile Felix-Băile 1 Mai

Pentru stabilirea vârstei apelor geotermale din sistemul hidrogeotermal Oradea-Felix, în perioada 1976-1979 au fost determinați izotopii radioactivi de tritium și carbon. În apele acviferului triasic Oradea tritiul lipsește cu desăvârșire (aceasta indicând faptul că timpii de rezidență ai apei în subteran sunt superiori posibilităților de datare ale acestui radioizotop, care se limitează la max. 50 de ani), fapt ce exclude prezența apelor meteorice de infiltrație în ultimii 40 de ani. Vârsta aparentă a apelor din colectorul triasic Oradea, determinată pe baza concentrației de C-14, era cuprinsă între 22900 ani la sonda 4006 și 32700 ani la sonda 4767, sondele 4081, 4004 și 4005 având ape de vârstă apropiată (23450-23900 ani). La Băile Felix (Țenu 1981), vârsta aparentă era cuprinsă între 17500 ani la sonda 4012 (care produce din complexul II, de la adâncimea de 400-650 m) și 22500 ani la sonda 4087 (care produce din complexul I, de la adâncimea de 125-160 m).

Ambele acvifere fac parte din circuitul hidrologic activ (a cărui limită, datată prin radiocarbon, este estimată la 35000-40000 ani), fiind cele mai tinere ape subterane de profunzime din întreaga Câmpie de Vest. Diferența de vârstă între Oradea și Felix-1 Mai poate fi explicată prin diferența de parcurs subteran, apele din zona Felix-1 Mai având un traseu mai scurt, prin estul perimetrului Oradea (fără a trece prin tot colectorul Oradea), pe sistemele de falii Velența și 1 Mai.

Reluarea cercetărilor în anul 1987 și apoi în 2005 privind izotopii de mediu stabili și radioactivi (Țenu & Diaconu 2010) a permis unele constatări interesante, legate în special de "întinerirea" apelor zăcămintului Oradea-Felix, fapt sugerat de valorile mai negative ale compoziției în izotopi de mediu stabili (valorile C-13 pentru Oradea-Felix și O-18 pentru Felix-1 Mai), față de determinările din perioada 1977-1979. Sărăcirea apelor în C-13 și O-18 este consecința unui schimb mai redus de izotopi dintre apă și roca carbonată, datorită reducerii timpului de rezidență în colector prin intensificarea exploatării acviferului triasic.

În zona Felix-1 Mai, pe lângă reducerea conținutului în C-13 (de la -3,8 ‰ în 1977 la -11,3 ‰ în 1987), se remarcă și negativarea valorilor O-18, din cauza curgerilor mai rapide în această parte a acviferului, iar dreapta de corelare deuteriu-oxigen 18 sugerează existența unui posibil aport de ape meteorice recente, fapt ilustrat de evoluția conținutului în deuteriu: de la -64,3 ‰ în 1969, la -69,0 ‰ în 1977 și la -72,8 ‰ în 1987. Pe această dreaptă se înscrie și compoziția izotopică a sondei Aleșd, ceea ce ar fi un indiciu al intensificării alimentării din Munții Pădurea Craiului, datorate depresionării artificiale (producție prin sonde) din perimetrele Oradea și Felix, prin trasee care străbat Depresiunea Borodului, la care

se adugă în mod cert și antrenarea unei anumite alimentări directe, cu apa rece din estul Băilor Felix-1 Mai (prin infiltrații în zona dealului Șomleu, unde aflorează rocile calcaroase și sunt vizibile numeroase doline). Determinările de tritium pentru acviferul de la Felix-1 Mai au permis atât constatarea scăderii în timp a valorilor medii în primul interval de timp (1969-1971), cât și evaluarea participării cantitative a unor ape relativ recent infiltrate la realimentare, prin zone apropiate exurgențelor din cele două stațiuni, la circa 1/8 din debitele totale de realimentare ale zonei montane (Țenu1975).

În zona Oradea nu s-a modificat semnificativ compoziția izotopică în privința deuteriului și a oxigenului, întinerirea apelor fiind dedusă pe baza negativării carbonului C-13 și pe baza scăderii vârstelor aparente medii pe acvifer stabilite prin radiocarbon, de la 20300 ani în 1976 la 13740 ani în 1987.

Evoluția valorilor C-14, exprimată în procente carbon modern (PMC), în acviferul triasic Oradea prezintă o rată de creștere (în perioada 1977-1987) de 0,57 PMC/an, deci o creștere totală de 5,7 PMC, ceea ce înseamnă o vârstă aparentă mai "tânără" cu aproximativ 1500 ani la sonda 4006 și 2400 ani la sonda 4005 (Țenu et al. 1988).

Pentru zona Felix-1 Mai, evoluția valorilor pentru C-14 are două perioade distincte:

- 1969-1977, când rata de creștere anuală a fost de 0,18 PMC;
- 1977-1987, când această rată s-a triplat (ajungând la 0,58 PMC).

Ruperea de pantă înregistrată în anul 1977 s-a datorat atingerii capacității maxime de debitare a perimetrului Felix-1Mai (ca urmare a punerii în exploatare a sondelor 4003, 402 și 4087 în perioada 1975-1976 și a dezechilibrului produs în sistem prin erupția cu circa 200 l/s. și apoi punerea în producție a sondei F2 Rontău). Începând cu 1977, s-a evidențiat un echilibru foarte sensibil și extrem de labil între rata alimentării naturale și volumul extras în perimetrul Felix-1 Mai.

Trebuie remarcat faptul că în perioada 1977-1987, atât la Oradea, cât și la Felix, valoarea gradientilor de PMC/an este aproape identică și, în același timp, foarte mare, acest fapt reprezentând **un prim semnal serios privind depășirea ratei alimentării naturale** (evaluată la 300-320 l/s) de către producția cumulată a celor două perimetre (în perioada 1984-1986, debitul mediu extras pe Oradea a fost de 118 l/s, iar cel extras din perimetrul Felix 1 Mai, prin sonde și izvoare, a depășit 250 l/s).

Cunoscând faptul că determinările de izotopi de mediu constituie cel mai sensibil indicator al unor posibile modificări în evoluția unui acvifer, permițând decelarea unor tendințe de evoluție – negativă, de cele mai multe ori - cu mult timp înainte ca instrumentele clasice (analize fizico-chimice și

măsurători hidro dinamice) să le poată sesiza, este absolut necesar să se țină seama de noile constatări, înainte ca schimbările de fond, în colectorul triasic, să devină greu reversibile.

Pentru precizări suplimentare este necesară determinarea curbei de corelare deuteriu-oxigen 18 pentru apele geotermale și pentru apele meteorice din zonă și din Munții Pădurea Craiului, mărirea numărului de analize și repetarea lor periodică, întrucât o întinerire accentuată a apelor în zona Oradea (prin exploatarea acviferului fără injecție), ar duce în mod cert la scăderea presiunii de zăcământ (deci la reducerea debitelor arteziene), cu consecințe negative asupra eficienței exploatarei zăcământului Oradea, precum și asupra debitării arteziene a izvorului Ochiul Mare din Băile 1 Mai și a funcționării sondelor care asigură aprovizionarea cu apă termală de tratament a Băilor Felix-1 Mai.

Spre deosebire de sistemul hidrogeologic Aleșd-Oradea-Felix (de tip deschis, făcând parte din circuitul hidrologic activ, având vârsta apelor de 18-22 mii ani) (Țenu 1981), la vest de acesta, în zona grabenelor Borș și Toboliu, au fost evidențiate acvifere care produc tot din triasicul mediu, dar care, datorită ecranărilor tectonice, nu participă la circuitul hidrologic activ, apele fiind puternic mineralizate, de tip stagnant, cu vechime de peste 2 milioane ani.

Influența antropică asupra sistemului hidrogeotermal Oradea-Băile Felix-Băile 1 Mai

Regimul geotermic pronunțat al perimetrului hidrogeotermal Oradea este datorat fluxului termic crescut, caracteristic întregii unități structurale din care face parte (Depresiunea Panonică). Cu toată situarea sistemului la extremitatea răsăriteană a bazinului, la contactul cu Munții Apuseni de nord, considerăm că pe aria restrânsă a sistemului, aportul conductiv de căldură trebuie să fie relativ constant. Variațiile de temperatură la nivelul rocilor triasice în zona Oradea, pe o arie restrânsă, sugerează existența unei convecții puternice în partea estică a perimetrului de exploatare Oradea (Plaviță 1989).

Variația gradientului geotermic mediu de la 2,6 °C/100 m în estul perimetrului Oradea, la 4,1 °C/100 m în vestul acestuia (pe o distanță de doar 10 km și în condițiile unui flux geotermic relativ constant), nu poate fi decât consecința convecției produse de circulația apelor mai reci, venite dinspre est și nord-est prin intermediul unei rețele de fracturi majore sintetizată sub numele de fală Velența (orientată nord-sud) și care interceptează faliile orientate est-vest ale Depresiunii Vad-Borod. Sondele săpate în apropierea faliei Velența au la adâncimea izobatică de -2.400 m temperaturi statice stabilizate de 74-78 °C, în timp ce sondele din

vestul perimetrului au, la aceeași adâncime, temperaturi de 105-111 °C. Pentru o răcire atât de pronunțată și strict localizată, a fost necesar un timp îndelungat și vehicularea unor mase importante de ape mai reci. Menționăm că în ultimii 125 ani (după punerea în producție a sondei Balint de la Băile Felix), prin izvoarele naturale și prin sondele geotermale exploatate în perimetrele Oradea și Felix a fost extras un volum de peste 1,22 miliarde m³, din care 95 % în perimetrul Felix și 5 % în perimetrul Oradea (Cohut et al.1985).

Se menționează că la doar 5 km nord-vest de perimetrul Oradea se află în exploatare sistemul hidrogeotermal Borș, care, la aceeași adâncime izobatică, având aceleași roci triasice drept colector și același flux termic din profunzime, are o temperatură de 130-135 °C, în timp ce sondele 4767 și 1717 au temperaturi de 109 °C și respectiv 113 °C. Diferența de aproximativ 20 °C nu poate fi explicată decât prin răcirea mai pronunțată a colectorului triasic Oradea datorită circulației apelor mai reci venite dinspre est pe căi preferențiale de curgere (falii din interior și falia de contur a perimetrului), care au influențat și zona nord-vestică a perimetrului.

Prima intervenție antropică importantă în evoluția sistemului hidrogeotermal Oradea-Felix-1 Mai a fost săparea sondei Balint la Băile Felix (1885), care, intersectând o fisură în calcare, la adâncimea de 47,5 m, a produs artezian cu un debit de 195 l/s și o temperatură de 49 °C, și a sondei Izbuc de la 1 Mai (1886), urmate de forajul și darea în exploatare a încă opt sonde în perioada 1965-1975, ajungându-se ca extracția totală de apă termală prin sonde (cca. 260 l/s în perioada 1977-1982 și apoi sub 200 l/s în anul 1984 și următorii) și prin izvoarele naturale (cca.140 l/s în perioada 1977-1980, 116 l/s în 1982, 76 l/s, apoi 59 l/s în 1983, respectiv 1984) să egaleze și uneori să depășească fluxul realimentării, rata acesteia (implicit a rezervei dinamice posibil de extras prin sonde și izvoare naturale) fiind stabilită printr-un test de interferență efectuat în 1979 la valoarea de 300-350 l/s (Paál 1981).

Acviferul de la Felix-1 Mai este cantonat în sistemul fisural, cu caracter carstic din calcarele cretacice, într-o zonă puternic tectonizată, în care falii profunde asigură căile de acces ascensional al apelor fierbinți ce provin din colectorul triasic de la Oradea, acestea amestecându-se cu apele reci din orizonturile cretacice. Un argument în plus privind căile de alimentare cu ape fierbinți, din profunzime pe căi preferențiale de curgere, o constituie și inversiunea termică măsurată în sonda 4012: 49 °C la 150 m adâncime, 42 °C la 470 m și 34 °C la adâncimea de 1200 m.

Prospecțiunea geotermică de suprafață a confirmat supoziția unui puternic control structural disjunctiv al Băilor, prin convecția pronunțată, ascendentă de-a lungul faliilor (marcată de anomalia geotermică pozitivă de 15-20 °C la adân-

cimea de 40 m) (Veliciu & Zamfir, 1986). Spre comparație, în zonele situate la est și la sud de Băile Felix se înregistrează o valoare regională de 11,8 °C, iar în zona Oradea (unde apa geotermală este cantonată sub 2000 m adâncime, temperaturile sunt, tot la 40 m, de 13,5-13,9 °C).

Faliile din cadrul zonei Felix-1 Mai au putut fi trasate pe baza diferențelor litologice, precum și a interpretărilor hidrogeologice, geofizice și geotermice, evidențiindu-se falia 1 Mai, cu orientare aproximativ nord-sud și falia Copăcel-Vânciorog, cu orientare est-vest (Paal 1975). Temperatura apelor din emergențele naturale și din foraje (28-49 °C) nu poate fi explicată prin simpla încălzire a apelor reci datorită gradientului geotermic regional (50-60 °C/km pentru un flux caloric de cca.90 mW/mc), ci prin aportul masiv de ape fierbinți din profunzime, ce pot avea doar o singura sursă: celula convectivă triasică din perimetrul geotermal Oradea.

Pentru elucidarea provenienței apelor termale din Felix-1 Mai a fost săpat forajul geologic de referință (4768) cu adâncimea de 3170 m, care a întâlnit doar slabe acumulări de ape termale în calcarele slab fisurate jurasice (589-2080 m) și în cele triasice (intervalul 2204-3170 m).

Evoluția debitului potențial mediu al sondelor din Felix-1 Mai în perioada ianuarie 1976-februarie 1985 (perioadă în care au existat și fonduri de cercetare și specialiști de înaltă calificare antrenați în investigarea interdisciplinară a posibilităților optime de valorificare a resurselor exploatabile de ape geotermale și termominerale ale sistemului), are două perioade distincte: perioada 1976-1982, în care debitul mediu anual se menține între 265 și 255 l/s, și perioada 1983-1984, în care tendința de scădere se accentuează brusc, debitul mediu ajungând la 220 l/s. în 1983 și apoi la 201 l/s. în 1984, an în care media lunii august a ajuns la 186 l/s. (ca urmare a intensificării extracției în scop balneo-terapeutic și mai ales pentru agrement). Scăderea potențialului de debitare arteziană a perimetrului geotermal cretacic de la Băi s-a resimțit începând cu cea de a doua jumătate a anului 1982, când au încetat să debiteze izvoarele naturale din amonte de Ochiul Mare (izvorul sublacustru al Pârâului Pețea) și a încetat să debiteze artezian sonda Izbuc (care funcționa în regim eruptiv încă de la finele secolului XIX !).

Evoluția consumului mediu anual cumulat pe cele două stațiuni are o puternică tendință de creștere (în funcție de dezvoltarea stațiunilor, dar și de lipsa unui control eficient asupra utilizării raționale a apei extrase), de la 88 l/s. în 1976 la 145 l/s. în 1984, consumurile maxime înregistrându-se în lunile de vară (mai-septembrie): 160 l/s. în 1977 și 198 l/s în 1984, iar cele minime în perioada de iarnă: 70 l/s în 1976 și 105 l/s în 1984.

Volumele anuale extrase prin sondele din perimetrul Băilor Felix-1 Mai au crescut de la 2,8 mil. m³ în 1976 la 4,5 mil. m³ în 1984, cu un total extras de 33,5

mil. m³ între 1 ianuarie 1976 și 31 decembrie 1984.

Pe baza studiului cu calculul rezervelor (Paál 1979), au fost avizate ca rezerve exploatabile de cat. B pentru complexul I 300 l/s (din care 200 din sonde și 100 din izvoare), iar pentru complexul II 80 l/s cu destinație explicită pentru agrement. Testul de interferență, care a fundamentat propunerea de rezerve geologice, a reliefat și o interdependență între sondele în exploatare, pe de o parte, și între sonde și izvoare, pe de altă parte; în același timp a fost dovedit rolul negativ al sondei F 2 Rontău în dezechilibrarea hidrodinamică a complexului acvifer I (resimțită cu pregnanță în zona rezervației naturale de la Băile 1 Mai), deci atingerea capacității maxime de debitare.

Din cauza exploatării abuzive și necontrolate prin sondele din zona Felix-1 Mai, izvoarele din amonte de Ochiul Mare și sonda Izbuc și-au încetat debitarea arteziană la finele anului 1982, iar în luna ianuarie 1983 a înghețat apa pe întreaga suprafață a Ochiului Mare (ceea ce nu s-a mai întâmplat în timp istoric și nici în timpul ultimei glaciațiuni), din cauza încetării debitării izvorului sublacustru. A fost primul semnal serios de alarmă privind riscul dispariției florei și faunei protejate din rezervație și al reducerii debitelor în Băile 1 Mai.

Revenirea la o situație cât de cât normală s-a datorat atât măsurilor de raționalizare a extracției din acviferul cretacic de la Băile Felix-1 Mai, cât și optimizării exploatării perimetrului hidrogeotermal Oradea (cu reinjectarea unei părți din apa extrasă), ca urmare a testului de interferență efectuat în perioada august-octombrie (Cohut, Plavita 1990). Testul a constatat în închiderea tuturor sondelor din perimetrul Oradea pe o perioadă de 28 de zile, urmată de punerea în producție a sondei 4696 cu un debit artezian de 30 l/s. și urmărirea efectului în toate sondele din Oradea, dar și în cele din zona Băilor. Au fost apoi deschise pe rând toate sondele din Oradea, astfel încât la sfârșitul lunii octombrie debitul total a ajuns la 142,3 l/s.

Efectul închiderii din 27 august 1984 s-a resimțit în perimetrul Felix-1 Mai încă din prima decadă a lunii septembrie, când debitul potențial al sondelor a crescut de la 178,4 l/s. în 4 septembrie, la 202,2 l/s în 23 septembrie, creșterea continuând până la mijlocul lunii octombrie, când atinge valoarea de 211,7 l/s., valoare ce se menține și în luna noiembrie, ca apoi să scadă ușor (203 l/s în decembrie - ianuarie și 200 l/s. în februarie). Închiderea pe Oradea s-a resimțit pregnant asupra debitului izvoarelor: 59 l/s în 27 august 1984 și 95 l/s în decembrie 1984. Acest test a demonstrat practic legătura hidrodinamică dintre acviferele exploatate în perimetrele Oradea și Felix-1 Mai, legătură sugerată de G. Paál prin studiile efectuate în perioada 1975-1979 și confirmată prin studiile elaborate de prestigioși cercetători ai domeniului (A.Țenu, L.Gilău, R.Plaviță, S.Veliciu și A.Zamfir). În toa-

te aceste studii se argumenta unitatea hidrodinamică a sistemului hidrogeotermal Oradea-Felix, alimentarea cu ape din precipitații căzute în zona Munților Pădurea Craiului, descărcarea sistemului – prin izvoare naturale sau prin sonde – făcându-se la Băile Felix-1 Mai. A fost argumentată și lipsa oricărui aport de apă termală dinspre estul și sud-estul zonei Felix-1 Mai, arie cu flux geotermic normal, lipsită de acumulări de ape subterane calde (fapt confirmat de rezultatele forajelor săpate pe văile Pețea și Hidișel în amonte de cele două stațiuni).

Semnalul de alarmă tras de scăderea drastică a debitelor emergențelor naturale de la Băile 1 Mai din perioada 1982-1985 nu a fost luat în serios de entitățile care aveau prin lege obligația de a veghea asupra corectei exploatare a zăcământului de ape geotermale: nici cei ce aveau licență de exploatare nu urmăreau volumele extrase și nici nu asigurau o judicioasă utilizare a apei termale, nici cei puși să controleze buna, corecta și completa gospodărire a resursei geologice nu impuneau respectarea reglementărilor din respectivul domeniu, ba chiar avizau săparea de noi sonde într-un perimetru în care extracția depășise deja rata alimentării naturale. S-a ajuns astfel în ultimii trei-patru ani la o situație limită, în care chiar și puternicul izvor sublacustru din rezervația de la Băile 1 Mai (care acum 35 de ani avea un debit minim de 136 l/s) să-și înceteze temporar debitarea, iar izvoarele sublacustre din amonte să nu mai debiteze în ultimii 25 de ani.

În perimetrul Oradea, intrat în exploatare în anul 1963, sunt în prezent în producție 11 sonde și în injecție o sondă, cumulativul extras depășind 49 milioane m³ apă geotermală. La nici una dintre sondele din perimetru nu s-au constatat modificări semnificative ale debitului, temperaturii sau presiunii. Zăcământul are o alimentare naturală, care este probabil mai mare decât potențialul actual al sondelor, dar care este în mod sigur mai mare decât debitele medii de 110-130 l/s realizate în perioada de maximă extracție din anii 1984-1986, întrucât nu s-a observat nici cel mai mic semn de declin al producției în Oradea (semnale de alarmă au apărut însă în zona 1 Mai încă din 1983, când extracția pe Oradea s-a suprapus cu exploatarea abuzivă și mult peste debitele avizate a se scoate prin sondele din perimetrul Felix-1 Mai). Faptul că în timpul închiderii tuturor sondelor din perimetru timp de 28 de zile (testul de interferență din 1984) presiunea statică de zăcământ s-a stabilizat la valoarea ei inițială (deși în lunile precedente debitul mediu extras a depășit 130 l/s), atestă, pe lângă o comunicare hidrodinamică rapidă, o alimentare naturală mare (Plaviță, Cohut, 1990). În același timp, însă, închiderea de pe Oradea a condus la creșterea debitelor emergențelor naturale din 1 Mai, fapt ce a atestat concret conexiunea hidrodinamică dintre acviferul triasic din subsolul orașului Oradea și cel cretacic din zona Felix-1 Mai.

În exploatarea zăcământului hidrogeotermal Oradea au existat trei perioa-

de distincte:

- perioada cercetării geologice prin foraje (1963-1982), în care au fost săpate și probate 11 din cele 14 sonde ale perimetrului și au fost produse doar 5 sonde (4005, 4006, 4004, 4081 și 4767), cu un debit anual mediu de 37 l/s și un cumulativ extras de 16,9 milioane m³;
- perioada exploatării experimentale (1983-1995), în care extracția a crescut spectaculos (datorită utilizării din ce în ce mai intense a energiei geotermale), numărul sondelor de producție ajungând la 11 (cu excepția perioadei 1987-1989, când au produs doar 10 sonde). Debitul mediu anual a crescut de la 69 l/s în 1982 la 132 l/s în 1984, scăzând apoi (datorită restricționării impuse în martie 1987 și unei utilizări mai judicioase, coroborate cu taxarea energiei termice consumate de fiecare utilizator) la 97 l/s în 1990 și 78 l/s în 1993, ca să ajungă la 73 l/s în 1994 și 71 l/s în 1995.
- perioada exploatării comerciale (1996-prezent), în care producția de energie termică înmagazinată în apa geotermală este condiționată de posibilitățile de consum. Titularul licenței de exploatare și-a modernizat tehnologia și infrastructura de extragere și vehiculare a apei geotermale (pompe submersibile cu convertizoare de frecvență, automatizarea și contorizarea, utilizarea țevelor preizolate, reinjectarea parțială a apei geotermale uzate termic în colectorul de origine la dubletul Nufărul, producerea energiei electrice într-o stație pilot la centrala geotermală din cartierul Loșia Nord etc.) și a săpat două noi sonde (prima în zona Nufărul II, lângă șoseaua de centură, a doua spre vest de gara Loșia, în zona silozurilor de cereale, ambele deschise la triasic), fiind pregătit să acționeze pentru creșterea substanțială a aportului energiei geotermale - curată și ieftină - în balanța energetică a municipiului Oradea.

Volumul de apă geotermală extras anual a crescut de la 1,1 milioane m³ în perioada 1976-1981 la 1,88 milioane m³ în anul 1982 (un an de tranziție, în care au fost probate 6 sonde dintre care la 4 au fost efectuate și stimulări acide) și la 2,44 milioane m³ în anul 1983, pentru ca apoi să crească la 3,1 milioane m³ în 1984 și 1985, maximul de 3,27 milioane m³ fiind atins în 1986. În perioada 1987-1990 volumul anual extras s-a menținut în jurul valorii de 2,5 milioane m³, pentru ca apoi să coboare la 2,3 milioane m³ în 1991 și la 2,1 milioane m³ în 1993, astfel încât în anul 1994 volumul extras a fost doar de 1,88 milioane m³, iar în 1995 de 1,86 milioane m³.

Cumulativul extracției a evoluat aproape liniar în perioada 1976-1981, valoarea acestuia la finele anului 1981 fiind de 15,06 milioane m³. În perioada 1982-

1995 s-a extras un volum total de 34,3 milioane m³ (adică o medie anuală de 2,45 milioane m³), în timp ce, în perioada 1996-2010, extracția anuală a scăzut la o medie anuală de 1,7- 1,8 mil. m³, cumulativul extras în 15 ani fiind de 26 milioane m³.

În septembrie 1992 a început exploatarea dubletului de sonde 4797-4081 din cartierul Nufărul, proiectat pentru un debit artezian de 30 l/s și o temperatură de 73 °C, în care apa geotermală (produsă artezian sau în pompaj submersibil) este vehiculată prin bateria de schimbătoare de căldură în plăci (unde cedează căldura apei reci de la rețeaua orașului), apa caldă de consum menajer fiind apoi pompată spre consumatori. Din schimbătoarele de căldură, apa geotermală uzată termic (20-30 °C, în funcție de temperatura apei reci și de solicitările de consum) este preluată de pompele de injecție și reintrodusă în zăcământ prin sonda de injecție, la adâncimi de 2.200-2.450 m și la presiuni de 3-4 bar.

Exploatarea experimentală a acviferului geotermal Oradea din ultimii 15 ani a permis stabilirea principalelor caracteristici ale acestuia:

- este un sistem cu alimentare activă, apa făcând parte din circuitul hidrologic activ (vârsta apei: 18-20.000 ani), extragerea a peste 49 milioane m³ de apă în ultimii 30 de ani neafectând semnificativ presiunea de zăcământ;
- apa geotermală nu are caracter încrustant și nici nu corodează, iar din punct de vedere al compoziției chimice nu prezintă pericol de poluare (mineralizație 0,8-1,4 g/l);
- temperatura apei la suprafață variază între 70 °C în zona Velența și 105 °C în zona Iosia Nord, temperatura medie ponderată a celor 12 sonde din perimetru fiind de 87 °C în erupție liberă și 90 °C în pompaj;
- debitele arteziene ale sondelor variază între 5 și 30 l/s, în funcție de condițiile geologice locale, iar debitele posibil de obținut în pompaj submersibil pot fi de 20-50 l/s;
- colectorul permite reinjectarea apei geotermale uzate termic la presiuni sub 10 bar, chiar la debite de 25-40 l/s; buna funcționare a primului dublet geotermal din cartierul Nufărul confirmă această soluție și impune generalizarea exploatării cu injecție.

Concluzii și prognoze asupra evoluției zăcământului hidrogeotermal

Situația prezentă este extrem de îngrijorătoare atât în ceea ce privește existența florei și faunei din rezervație, cât mai ales asupra perspectivelor de funcționare la capacitate a stațiunilor balneologice Felix și 1 Mai, din cauza scăderii presiunii hidrostatice a acviferului și a diminuării afluxului de apă geotermală din

profunzime, generate de dezechilibrarea gravă a raportului dintre alimentarea naturală a sistemului hidrogeotermal Oradea - Felix 1 Mai și extracția de apă caldă prin sondele de exploatare și prin izvoarele naturale. Dacă nu se aduce extracția la nivelul alimentării naturale, vor dispărea speciile termofile din rezervație, iar în bazele de tratament și agrement (inclusiv în pensiunile și vilele) din Felix-1 Mai apa se va încălzi de la soare sau se va aduce prin conducte apă geotermală de la Oradea.

Scăderea nivelului hidrodinamic din zona Rezervației Naturale Pârâul Pețea, inclusă în situl Natura 2000 ROSCI0098 Lacul Pețea, este consecința directă și indubitabilă a depășirii reîncărcării naturale a acviferului de către extracția realizată prin totalitatea sondelor care produc din acviferul cretacic de la Felix-1 Mai, situația hidrogeologică a izvorului sublacustru fiind cel mai sensibil indicator a stării zăcământului a cărui bună funcționare constituie baza supraviețuirii Băilor Felix-1 Mai.

Se impune de urgență inventarierea tuturor forajelor existente, autorizate sau nu de ANRM, de pe raza localităților Sânmartin, Rontău, Băile 1 Mai, Haieu, Băile Felix, Cordău și Betfia, care extrag apa caldă din zăcământul Felix-1 Mai. Concomitent, va trebui întocmit inventarul, de asemenea oficial, al tuturor surselor de apă rece autorizate în zonă de Administrația Bazinală Ape Crișuri. Doar după cuantificarea și monitorizarea tuturor surselor și a parametrilor lor de exploatare se va putea stabili capacitatea reală a zăcământului și se va putea determina valoarea totală a extracției pentru actualele folosințe, inclusiv debitul necesar conservării ecosistemului din rezervația naturală.

În Oradea nu vor fi probleme, întrucât reinjecția va garanta menținerea presiunii de zăcământ, iar generalizarea pompajului submersibil (asistat de varia-toare de frecvență) va asigura o exploatare rațională, capabilă să valorifice imensele resurse de căldură ale zăcământului pentru creșterea aportului de energie geotermală în asigurarea cu energie termică ieftină și curată a populației municipiului (cu condiția ca și Primăria să acționeze în acest sens).

În zona Oradea, evidențele hidrodinamice, termice, chimice și izotopice atestă existența unor celule convective (care includ tot masivul de roci triasice), precum și a circulației fluidelor preponderent prin estul și nordul perimetrului (de-a lungul sistemelor de falii Velența și Tilecuș), dar și circulația mai lentă, pe căi secundare, prin întregul colector, fapt ce a permis înlocuirea apei inițiale. Stabilitatea chimică a sistemului presupune menținerea aceluiași căi secundare de parcurs prin zăcământ, iar fenomenele hidrodinamice, termice, chimice și izotopice semnalate prin intensificarea extracției ar putea să evidențieze mai pregnant aceste căi de curgere. Debitul total de alimentare a fost estimat la 300-320 l/s (prin testele

din 1978 și 1984) și a fost confirmat de scăderea presiunii în zona Felix-1 Mai în perioada de maximă extracție în perimetrul Oradea (1984-1986), când debitul total extras în cele două perimetre a depășit rata alimentării, ajungând la 340-360 l/s. Pentru a nu impieta asupra cerințelor de tratament de la Băile Felix-1 Mai, Ministerul Geologiei a dispus restricționarea extracției la Oradea **până la realizarea exploatării cu reinjecție**. În acest sens, Consiliul Interdepartamental pentru Omologarea Rezervelor de Substanțe Minerale Utile a avizat ca rezerve exploatabile (de bilanț), pentru o perioadă de 10 ani, un debit mediu de 90 l/s (în erupție liberă, fără injecție).

Din păcate, acest aviz nu se referă și la măsurile ce trebuiau luate de urgență la nivelul extracției din zăcămintul Felix-1 Mai pentru înlăturarea cauzelor care au generat depletarea temporară a izvorului sublacustru din Ochiul Mare, izvorul actual al Pârâului Peța, **dintre care cea mai importantă ar fi fost interzicerea săpării de noi sonde în perimetrul hidrogeotermal Felix-1 Mai**.

Rezultatele foarte bune obținute în ultimii ani la dubletul Nufărul din Oradea sunt o garanție a corectitudinii alegerii procedeelor tehnologice și a utilajelor și o încurajare a continuării acțiunii de trecere la exploatarea în pompaj, cu reinjecție pe tot perimetrul Oradea, concomitent cu retehnologizarea infrastructurilor de producere, transport și distribuție a energiei geotermale.

Din păcate, Primăria municipiului nu impune entităților din subordinea sa (CET și Termoficare) cooperarea cu producătorul de energie geotermală pentru valorificarea întregii capacități a dubletului geotermal, astfel că acesta produce doar la jumătate din potențialul său.

Dezvoltarea exploatării și valorificării zăcămintului geotermal Oradea se poate realiza doar reinjectând apa uzată termic (tehnologie care va asigura menținerea presiunii în zăcămint, creșterea gradului de recuperare a rezervelor de căldură și reechilibrarea raportului dintre rata alimentării naturale a sistemului hidrogeotermal Oradea-Felix și totalul extracției, raport grav afectat de exploatarea abuzivă și necontrolată prin sondele din perimetrul Felix-1 Mai. Perspectivile introducerii în circuitul energetic al municipiului Oradea a acestei resurse "curate" și practic inepuizabile sunt susținute de existența concomitentă a resursei energetice și a utilizatorilor, în condițiile unui preț unitar de livrare a energiei termice competitiv cu cel rezultat din alte surse de energie și - foarte important - în condiții de protecție a mediului înconjurător (prin înlocuirea căldurii rezultate din arderea combustibililor fosili).

Pentru atragerea de noi resurse geotermale în circuitul energetic al municipiului Oradea, la solicitarea Primăriei, S. C. Transgex S. A. Cluj-Napoca a comandat în noiembrie 1985 elaborarea unei documentații cu calculul rezervelor

de căldură ale zăcământului, în condițiile realizării exploatării cu reinjecție, concomitent cu generalizarea extracției cu pompe submersibile, în cadrul unei exploatări industriale pe o perioadă de minimum 20 de ani.

Printr-o atentă analiză a tuturor datelor de cunoaștere obținute în decursul a peste treizeci de ani de cercetare (geologică, hidrogeologică, chimică, izotopică și hidrodynamică) și a celor rezultate din urmărirea parametrilor de producție din perioada de exploatare experimentală, s-a elaborat un model de zăcământ (Cohut et al. 1997) pe baza căruia a fost posibilă simularea comportării viitoare a acviferului (în exploatare cu reinjecție prin opt dublete), acestea fundamentând evaluarea rezervelor posibil de extras din zăcământ cu actualul parc de sonde (la care se vor adăuga încă minimum trei sonde noi, din care două sonde de injecție).

Rezervele exploatabile de căldură ale perimetrului geotermal Oradea (calculate pentru data de 1 ianuarie 1996, cu o asigurare de 20 de ani) au fost evaluate - în mod conservativ, până la confirmarea premizelor privind schimbul termic în colector, consecutiv reinjecției - la 38×10^{15} J (respectiv 9 milioane Gcal), corespunzător producerii cu un debit constant de 240 l/s și reinjecției a cel puțin 85 % din acesta, timp de 20 de ani. Luând în calcul un grad de utilizare de 60 % din oferta de căldură, orașul ar putea beneficia anual de circa 270000 Gcal. pentru încălzire și preparare apă caldă de consum menajer. Gradul de valorificare ar putea crește semnificativ prin producerea energiei electrice și prin utilizarea pompelor de căldură. Volumul maxim posibil de extras în această perioadă este de aproximativ 150 milioane m³ de apă geotermală (Cohut et al. 1997).

Cunoscând atât rezervele exploatabile de căldură ale zăcământului Oradea, cât și modalitățile de valorificare eficientă a acestora, se poate fundamenta dezvoltarea viitoare a celui mai puternic și mai bine cercetat perimetru geotermal din țară. Această dezvoltare se va răsfrânge benefic atât asupra populației și a balanței energetice a municipiului Oradea, cât și asupra mediului înconjurător, contribuind – prin reinjecția apei geotermale uzate termic – la creșterea gradului de recuperare a căldurii din zăcământ și la ameliorarea condițiilor de debitare în regim artezian a emergențelor naturale și a sondelor din perimetrul Băilor Felix-1 Mai. Existența concomitentă în timp și spațiu a imensei resurse de energie din zăcământul geotermal Oradea și a uriașului consumator de energie termică (în domeniul 90-30 °C) reprezentat de termoficarea municipiului Oradea, constituie argumentul principal în susținerea, cu maximă fermitate profesională și cetățenească, a propunerii de dezvoltare a exploatării geotermale, care în prezent este departe de o valorificare cât de cât eficientă a resursei. Această dezvoltare incumbă însă implicarea fermă a Primăriei și a Consiliului Local în valorificarea energiei geotermale, curate, ieftine și practic inepuizabile, în folosul orădenilor.

Lucrări citate

- Cohut, I., Paál, G., Plavita, R. 1985 - Studiu și documentație de evaluare a rezervelor de căldură ale sistemelor hidrogeotermale din zona Crișul Negru- Someș. Arhiva Institutului de Geologie și Geofizică București, 163 p.
- Cohut, I., Paál, G. 1985 - Studiul legăturilor hidro dinamice dintre ariile geotermale Oradea și Felix. Arhiva Întreprinderii de Foraj și Lucrări Geologice Speciale I.F.L.G.S. București, 81 p.
- Cohut, I. 1986 - Sistemul hidrogeotermal Oradea-Felix. *Crisia* **16**: 617-628.
- Cohut, I., Antics, M., Rosca, M. 1995 - Studiu geologic de sinteză cu calculul rezervelor de căldură din perimetrul geotermal Oradea pentru data de 1 ian. 1996. Arhiva S.C. Transgex S.A. Cluj-Napoca. 74 p.
- Gilău, L. et al. 1983 - Urmărirea chimismului apelor geotermale și a relațiilor rocă-apă pentru zona Oradea-Felix. Raport, Arhiva Institutului de Învățământ Superior Oradea. 38 p.
- Gilău, L. et al. 1985 - Urmărirea variației în timp a caracteristicilor fizico-chimice ale apelor geotermale. Raport. Arhiva Universității din Oradea, 103 p.
- Orășeanu, I., Rusu, T., Gaspar, E., Iurkiewicz, A., Pop, I. 1985 - Drenajele subterane din Munții Pădurea Craiului. Al III-lea Simpozion de Carstologie, Cluj-Napoca.
- Paál, G. 1975 - Contribuții la hidrogeologia zăcămintului de ape termale din zona Oradea-Felix. *Nymphaea* **3**: 5-38.
- Paál, G. 1979 - Calculul rezervelor exploatabile de ape subterane termale din Băile Felix-1 Mai. Arhiva Institutului de Învățământ Superior Oradea.
- Paál, G. 1981 - Exploatarea zăcămintului geotermal de la Băile Felix-1 Mai. Arhiva Institutului de Învățământ Superior Oradea.
- Plaviță, R. 1989 - Reservoir model of the Oradea geothermal resources area deduced from the geological, chemical and thermal data. *Studii tehn. Econom., Institutul de geologie și geofizică, seria E*, **15**: 133-141.
- Plaviță, R., Cohut, I. 1990 - Interference tests in the Western Plain of Romania. *Geothermal Resources Council Transactions* **14** (2): 953-958.
- Țenu, A. 1975 - Cercetări hidrogeologice complexe asupra apelor termale din zona Băilor Felix și 1 Mai. *Studii de hidrogeologie-I.M.H.*: 75-133.
- Țenu, A. 1981 - Zăcămintele de ape hipertermale din nord-vestul României. Editura Academiei, București, 208 p.
- Țenu, A., Davidescu, F. 1988 - Environmental isotopic studies on mineral and thermal waters in Romania; a review over the last 25 years. Proceedings of the International Symposium on Mineral and Thermal Groundwater, Miercurea Ciuc, Romania: 271-281.
- Țenu, A., Diaconu, M. 2010 - Thermal aquifers in Mesozoic karstified limestones from Oradea-Băile Felix & 1 Mai area, western Romania. *Karst Hydrogeology of Romania*, 444 p.
- Veliciu, S., Zamfir, A. 1986 - Studiul geotermic al zonei Oradea-Felix. Raport, Arhiva Institutului de Geologie și Geofizică București, 56 p.

