

Hideg vizű gejzírszerű jelenségek a Keleti-Kárpátokban

Szerzők:

Simó Orsolya

Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, Földrajz Kar, Területfejlesztés szak, II. év

Gábor Ibolya

Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, Földrajz Kar, Turizmus és területfejlesztés szak, MSc. II. év

Témavezető:

dr. Czellecz Boglárka adjunktus,

Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, Földrajz Kar, Magyar Földrajzi Intézet,
Cholnoky Jenő Földrajzi Társaság

Szekció: Földrajz

Kolozsvár, 2019

Tartalomjegyzék

1. Bevezető.....	2
2. Hideg vizű gejzírek / gejzírszerű jelenségek a világon.....	3
3. A hideg vizű gejzírek/ gejzírszerű jelenségek működése	10
4. A szén-dioxid előfordulása a Keleti-Kárpátok térségében.....	14
5. Anyag és módszer.....	17
6. Az általunk vizsgált helyszínek/jelenségek bemutatása	20
7. A megfigyelt jelenségekben végzett vizsgálatok.....	23
8. Következtetések.....	32
9. Köszönetnyilvánítás	34
10. Irodalomjegyzék.....	34

1. Bevezető

A hideg vizű gejzírek, mint természeti jelenségek, egy kevésbé kutatott témakört képviselnek. Ennek okát abban látjuk, hogy kis számban és viszonylag szűk területen fordulnak elő. A tudomány egyes képviselőinek figyelmét a 19. század második felében keltette fel a jelenség és ez összefüggésben áll a hidrogeológia mélyfúrások elkészítésével. Így említhetjük a ránkherlányi/rámkfüredi fúrást (ma Szlovákiában, Herl'any) készítő Zsigmondi Vilmos nevét (Lutz, 1884).

Egy hosszabb kutatási szünet után a 20. század második felében újra figyelem irányul a jelenség nagyobb fokú megértése irányába, Rinehart (1980) a hideg gejzírszerű jelenségekkel kapcsolatban leíró jellegű általánosságot közöl, példákat említ a már ismert jelenségekből szerte a világon. Ezek a példák közül a 21. században főként az Amerikai Egyesült Államokban található Crystal Geyser működését kutatják (Gouveia & Friedmann, 2006, Assayag et al, 2009, Watson, 2014, Watson et al, 2014), illetve az Új-Zélandon található Te Ahora gejzírt Lu X, (2005a, 2005b).

A világon összesen megközelítőleg 15-20 közöttire tehető a tudományosan leírt úgynevezett hideg vizű gejzírek vagy gejzírszerű jelenségek száma. A kutatók a jelenség létrejöttét a felszín alatti vízben oldott és vízzel együtt, szabadon közlekedő CO₂ gázzal hozzák összefüggésbe, amely, a megnövekedett nyomás hatására időszakosan, de meghatározott időközönként a felszínre tör.

Románia területéről először 2014-ben írtak le hasonló működésű jelenséget, amelyet a Királyfürdőn található H503-as hidrogeológia fúrás produkál (Czellecz, 2014, 2015). A jelenség hátterében itt is a szén-dioxid jelenléte áll, ami felveti a kérdést a hazai vulkáni térség széndioxidos területein potenciálisan előforduló más, hasonló jelenségek kapcsán.

Dolgozatunk célja a tudományban kevésbé foglalkoztatott és a világon kis számban előforduló hideg vizű gejzírek ismertetése. A működési folyamatuk és feltételeik vitatottak, ezért a folyamat részletes bemutatására nagy hangsúlyt fektettünk. Kutatásunk azt is vizsgálja, hogy melyek azok a meghatározó tényezők, amelyek jelenléte nélkül egy fúrás nem minősül hideg vizű gejzírnek, tehát milyen feltételek szükségesek, hogy a fúrás, mint ilyen jelenség legyen besorolható. A jelenség meghatározó tényezők által részletesen a következő Keleti-Kárpátokban található ásványvizes-fúrásokat vizsgáltuk: Száldobosi Valálági-borvíz (Kovászna megye), Gyergyóremetei-fúrás (Hargita megye), Rákospataki ásványvizes-forrás (Máramaros megye). Hideg vizű gejzírszerű tulajdonságokat véltünk felfedezni az Előpataki-fúrás (Kovászna megye) és a Szejkafürdői mofetta fúrása (Hargita megye) esetében. Ilyen

tulajdonságok például az oldott vagy a szabadon közlekedő CO₂ gáz, az időszakosan előforduló kisebb/nagyobb kitörések és megállások. A kutatás egésze és az eredmények, azt a hipotézist próbálják alátámasztani, miszerint az általunk elemzett ásványvizes-fúrások hideg vizű gejzírszerű jelenségeknek sorolhatók be és megfelelnek a tudományosan leírt működési feltételeknek.

2. Hideg vizű gejzírek / gejzírszerű jelenségek a világon

A szakirodalom röviden említi, kevés kutatás és közvetlen mérés lelhető fel a hideg vizű gejzírekről. Mindegyikük mesterségesen kialakított fúrás, amelyeket vízhozam fokozására – valamely egység vízellátására, vagy kőolaj felkutatására hoztak létre (Zsigmondy, 1875; Gouveia, Friedmann, 2006).

A magyar szakirodalomban már az **1870-es évek** elején születnek kutatások és elméletek a hideg vizű gejzírekről. Ennek a korabeli Osztrák-Magyar Monarchia területén (ma Szlovákia) fúrt rank-herlányi szökőforrás volt az elindítója. A gázgejzírek (korabeli megnevezés) működésének és időszakosságának okát próbálták magyarázni: Zsigmondy B. (1875), Lutz I. (1884), Antolik K. (1890), Borovszky S., Szilkay J. (1896), Noszky J. (1929), Pazár I. (1930). Az angol szakirodalom is tesz említést olyan gejzírekről, amelyek a gáznak vízbe való be- és kioldódásával hoznak létre erupciót. Ezt egy Pennsylvániában található gázgejzírrel példázzák (Rinehart, 1980).

Rinehart (1980) hosszú idő, bő száz év elteltével újra bevezeti a hidegvizű gázgejzíreket, mint jelenségeket a szakirodalomba. Általános megfogalmazást tesz a hideg vizű gejzire előfordulásáról, utalva kialakulási feltételeikre is, illetve példákat közöl a világ különböző területeiről. Rinehart (1980) megfogalmazásában a gázok által működtetett gejzírek olyan fúrások, melyek olyan helyszínen fordulnak elő, ahol a felszín alatt nagy koncentrációban fordul elő gáz. Az ilyen felszín alatti területeken a gázokat a vizek beoldják. Az amerikai Yellowstone környéki, pennsylvánia-i, Ohio völgybeli gázgejzírek említése mellett oroszországi példát is megtalálhatunk, amelyet más szakirodalom nem említ.

A Pribalk Laskaja fúrás egyértelműen a kőolaj és földgáz felkutatása végett jött létre Boja-Dag régióban és viszonylag magas hőmérsékletű, de nem forrásban levő vizet (40-60 °C) hoz a felszínre. Rinehart (1980) említést tesz a mai Szlovákia területén található herlányi fúrásról is, közli a fúrás mélységét, beszámol a gejzírszerű működésről, a vízugrás magasságáról és időszakosságáról. Franciaország területéről is példázódik néhány hideg vizű gejzírrel, amelyek közül a legismertebb a Martres d' Artieres. Ezen utóbbi példa gejzírszerű

működésének létezését támasztja alá egy 2006-ban kiadott helyi lap is, amely a fűrés történeti háttérét mutatja be (***, 2006).

A világon elszórtan, főként Európában és Észak-Amerikában, észlelhetünk hideg vizű gejzírszerű jelenségeket, de Új-Zélandon is akad hasonló fenoménekre példa (1.ábra).



Figure 1. World map showing the known locations of cold-water geysers.

1. ábra: Ismert helyszínek, ahol hideg vizű gejzírszerű jelenségek találhatók (Glannon & Pfaff, 2004).

A hidegvizű gejzírek témakörével a **2000-es évek** elejétől kezdtek mélyrehatóbban foglalkozni, méréseket, kísérleteket végezni a jelenség megmagyarázása érdekében. Glannon & Pfaff (2004) először listázták a hideg vizű gejzíreket a világon, amelyet az 1. táblázat mutat be. Az általuk összegyűjtött 15 példa mellé az elmúlt években megjelent szakirodalmi források alapján még legalább 5 hideg vizű gejzírszerű jelenséget csatolhatunk. Ezek a következők: Chimayó gejzír Új-Mexikó államban (USA) (Watson, 2014). Geyser I és Geyser II Svájc keleti részén, Scuol Tarasp régióban (Bissig et al., 2006), a Romániában, Királyfürdön található H503-as számú fűrés (Czellecz et al, 2015). Glannon és Pfaff (2004) listájában nem szerepel a Rinehart (1980) által is említett hidegvizű gejzírszerű működés Közép-Franciaországból, Les Martres d’Artière település mellől, sem a látványos hideg vizű gejzír a kőolaj és a felszínalatti gáz tartalékaról híres Pennsylvania területén (USA, Kane település közelében).

1. táblázat: Ismert hideg vizű gejzírek a Földön (Glennon & Pfaff, 2004).

Table 1 — Known Cold-Water Geysers of the World

Name	Location	Height	Interval	Duration
Crystal Geyser	Green River, Utah, USA	15–20 meters	11–18 hours	15–45 minutes
Woodside Geyser (Roadside Geyser)	Woodside, Utah, USA	6–10 meters	28 minutes	1.0–1.5 hours
Champagne Geyser (Chaffin Ranch Geyser) ¹	Green River, Utah, USA	7–8 meters	2 hours	5 minutes
Ten Mile Geyser ²	Green River, Utah, USA	2.5–3.5 meters	6 hours 42 minutes	51 seconds
Tumbleweed Geyser ²	Green River, Utah, USA	0.3–1.5 meters	2–8.5 minutes	46–94 minutes
Unnamed geyser ^{3,*}	Salton Sea, California, USA	0.1–0.5 meters	10–60 seconds	seconds
Jones Fountain of Life ⁴	Clearlake, California, USA	< 1.0 meter	60 minutes	22 minutes
Cold Water Geyser ^{5,*}	Yellowstone, Wyoming, USA	0.5 meters	unknown	10 minutes
Source Intermittente de Vesse ⁶	Bellerive, France	1–6 meters	230–270 minutes	45–50 minutes
Andernach Geyser [*]	Andernach, Germany	40–60 meters	1.5–4 hours	7–8 minutes
Boiling Fount local name: Brubbel	Wallenborn, Germany	2–3 meters	30 minutes	“a few minutes”
Mokena Geyser ⁷	North Island, New Zealand	0.5–5 meters	minutes–hours	seconds–minutes
Povremeni Geyser ⁸	Sijarinska, Serbia	20 meters	9 minutes	2 minutes
Herlany Geyser	Herlany, Slovakia	20–30 meters	32–34 hours	30 minutes
Persí Geyser ⁹	Persí, Slovakia	“smaller than Herlany Geyser”	hours (“shorter than Herlany Geyser”)	minutes (probably < 30)

¹ Murray, unpublished manuscript.; ² Ross (1997); ³ Bryan (2003); ⁴ Galloway *et al.* (1997); ⁵ Whittlesey (1988);

⁶ Bellerive-sur-Alleur (2004); ⁷ Environment Waikato (2004); ⁸ Serbia Tourism (2004); ⁹ Rinehart (1980).

Csupán két olyan hideg vizű szén-dioxidos gejzírrel számol be a szakirodalom, amelyek **természetes repedésből** fakadnak és valószínűleg érintetlen a közvetlen környezetük, ilyen a kis névtelen forrás Salton Sea-ben, California államban és a Cold Water Geyser, Yellowstone-ban (Glennon & Pfaff, 2004).

A felsorolt példák közül csak néhányról mondhatjuk el, hogy komolyabb kutatások tárgyát képezték. Az USA-ban előforduló kutatót gázgejzírek a következők: Crystal, Champagne, Woodside, Ten Mile, Tumbleweed, ezek mind Utah államban találhatóak. A dolgozatokban megjelennek még az Unnamed, Jones Fountain of Life California állambeli gázgejzírek is, de a legkutatottabb a **Crystal gejzír**, a Green-folyó (Green River) partján, a hasonló nevű település közelében, amely a világ legnagyobb hideg vizű gázgejzírreként ismert (N 38.9383°, W110.1342°).



2. ábra: A Crystal gejzír erupciója (internetes forrás1).

A **Crystal Geyser** véletlenszerűen létrehozott, kőolaj kutatási célból mélyítették le 1935-ben, amely végül egy 800 m mély furást eredményezett (2. ábra). A fúrással átmetszettek egy olyan felszín alatti réteget, amelyben nagymennyiségű CO_2 tározódik. A rétegben levő CO_2 feláramlásának, valamint a rétegnyomásnak és hidrosztatikai nyomásnak köszönhetően a rétegvíz ártézi jelleggel tör a felszín fölé (Baer and Rigby, 1978).

Működése nagy aktivitású, kitörési folyamata két részre osztható: egy rövid, 7-32 perces kitörési fázis és egy hosszabb, 98-113 perces erupció. Évenként kb. 11 000 tonna CO_2 gáz szabadul fel a gázgejzír kitörésein keresztül. Legnagyobb kitörési magassága 20 m. A térség gejzírjeire jellemző, hogy mésztufa lerakódást/építményt

hoznak létre maguk körül, ami a feltörő vízből csapódik ki. Ez a Crystal Geyser-re is jellemző. A víz magas CaCO_3 tartalma a tartóközetből származik, és ugyanakkor összefüggésben van a CO_2 karbonátos kőzetekből való származásával is (Gouveia, Friedmann, 2006).

Későbbi kutatások a Crystal Geyser-ről rávilágítottak arra, hogy működési aktivitása négy részre osztható: (1) kismértékű vízkitörési fázis, (2) nagymértékű / fő vízkitörési fázis, (3) utó-feláramlások, (4) újratöltődés / pihenési időszak. Egy kitörési ciklus alatt az oldott anyagok koncentrációja 0-44%-os ingadozást mutat, ami a különböző vízáradó rétegekből való táplálás eredménye (Han et al., 2017).

Az Utah állambeli **Woodside gejzír** az előbb bemutatott Crystal Geyser-től megközelítőleg 40 km-re, ÉNy-ra helyezkedik el (3. ábra). A helyiek elmondása szerint a folyamatos kitörési fázisok 1-1,5 órák, amelyeket 28 perces nyugalmi időszak követ. A folyamat kilövellések és szünetek összessége. Az első robbanásszerű kilövellések általában magasabbak, elérhetik a 10 m-t, a további folytonos vízsugarak magassága csökken, megközelítőleg 2-3 m magasak (Glannon & Pfaff, 2004).



3. ábra: Woodside gejzír (Alan Glannon, 2004) (internetes forrás2).

Utah államon kívül Új-Mexikóban (New Mexico) is írtak le hasonló jelenségeket, ilyen a mesterségesen kialakított **Chimayó gejzír**, Chimayó városához közel, amelynek fúratát eredetileg vízellátási célokkal mélyítették le 85 m-re 1972-ben. A térségben számos törésvonal fut és szeizmikusan aktív a terület, amely feltételek a CO₂ áramlásának kedveznek. A Chimayó gejzír kitörései 7-9 percig tartanak, ezeket 10-12 vagy 20-26 órás pihenő időszak választja el egymástól. A kitörési magasság elérheti a 20 m-t, amely feltételezhetően a kis csőkeresztmetszetnek (10 cm) is köszönhető. A víz hőmérsékletében legfeljebb 1°C-os eltérés figyelhető meg az aktív és inaktív fázisok között (Watson, 2014; Yuan et al., 2019).

A **rank-herlányi hideg gejzír** Szlovákiában, Kassától 20 km-re található, fúrását 1870-ben kezdték meg annak érdekében, hogy az akkori kút köré épült fürdőházat és ivókutat



4. ábra: A Rank-herlányi időszakos ártézi szökőkút erupciója 1903.június 7.-én, az erupció teljes (Cholnoky hagyaték, internetes forrás3)

még több ásványvízzel lássák el (4. ábra). Egy másik ok, hogy a fúrás előtti kút 178 m mélységénél, a víz felszínén vékony „zsíros, olajnemű hártaréteget” fedeztek fel és a kőolaj felkutatása érdekében mélyebbre fúrtak. A fúrás munkálatait Zsigmondy Vilmos bányamérnök irányítása alatt végezték 404 m mélységig. A fúrást követően a víz kitörési magassága a 30 m-t is elérte, melyek 2-3 percig tartottak, 1-2 perces szünetekkel (Zsigmondy, 1875). Már akkor megállapították, hogy a gejzírszerű működés egyrészt a gáz felhajtó erejének köszönhető. Ezt Borovszky, (1896) is megjegyzi és a kitörések magyarázatát a nagy széndioxid mennyiségben látja.

A fúrást követő időszakban a herlányi hideg gejzírnél a kitörések kis időközönként történtek, míg 1928-ra már 28-32 órára emelkedett az inaktív

fázis időtartama és az ásványvíz kémiai összetétele is jelentősen megváltozott (Noszky, 1929). Már Borovszky, Szilkay (1896) rámutat a kitörési ciklusok megváltozására. Rinehart (1980) 30 perces aktív periódussal és 22 órás inaktív periódussal jellemzi a herlányi jelenséget 1973-as adatokra hivatkozva. Jelenleg a rankherlányi gejzírnek kb. 25 perces kitörési fázisa van, amely alatt a víz 10-15 m magasra tör fel, ezt megközelítőleg egy 32-36 órás inaktív fázis követi. Vízhozama a kitörés alatt 25-30 l/s (Štrba, 2014). A herlányi gejzírről részletesebb kutatások eredményei még nem jelentek meg.

Glannon és Pfaff (2004) egy **Perši gejzír**ről is beszámolnak, amely minden téren kisebb mértékű és időtartamú fázisokkal jellemezhető a herlányihoz képest. A szerzők leírják, hogy a látogatók gyakran kövekkel fedik be a forrás nyílását, így megváltoztatva a vízoszlop megjelenését. A Perši gejzírt a fent említett szerzőkön kívül más szakirodalmi forrásban vagy internetes fórumon nem találtuk meg, így feltehetően napjainkra az időszakos kitörő jellege már nem is létezik.

Németországban Rheinland-Pfalz régióban legalább két hideg vizű gejzír volt ismeretes. Az I. és a II. világháborúban elpusztították őket és csak az **Andernach**-ot fűrték újra és állították vissza 2001-ben (Glannon, & Pfaff, 2004), (5. ábra). A gázgejzír 40-60 m magasságú kitöréseket produkál 7-8 percig, minden másfél órában (Rinehart, 1980). Ma a turisták számára érdekelt látványosság, működése szabályozva van, megtekintése hajóúttal összekötött program, amelyet saját weboldal népszerűsít (internetes forrás4).



5. ábra: Az Andernach gejzír erupciója
(internetes forrás4)

Wallenborn városi parkjában is megtalálható egy kisméretű hideg vizű gejzír, a helyiek által **Brubbel**ként ismeretes, a forrás medencéjének felújítását 2001-ben fejezték be (Rinehart, 1980).

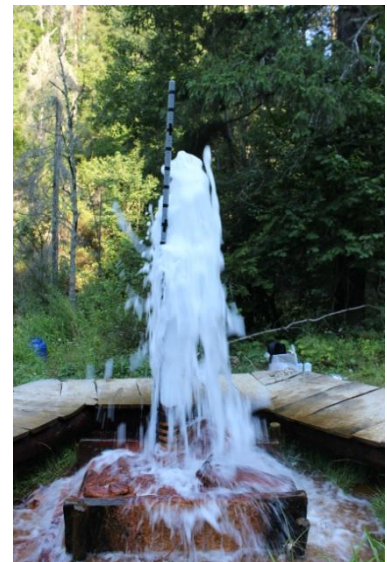
Az Új-Zéland-i Északi-szigeten a **Mokena gejzír** egy 1-5 m magasságú kitörésekkel jellemezhető hideg vizű gejzír ((Katherine Luketina, pers. comm) Glannon & Pfaff, 2004) (6. ábra). 1936-ban fűrték, egy már kialudt vulkán területén helyezkedik el Te Aroha Domain parkjában. Az előbb említett hideg gejzírekkel ellentétben ez viszonylag magas hőmérsékletű vízzel rendelkezik, 70°C. A kitörések esetében nem lehet periódikusságot megállapítani. A fűrást időnként lezárják a kitörés megelőzése / lefolytása érdekében. A Mokena gejzír is mészkő vidéken helyezkedik el, a gejzír körül vékony travertin réteg húzódik, ami a mészkőnek egy változata (Glannon & Pfaff, 2004).



6. ábra: A Mokena gejzír kitörése Új-Zélandon (internetes forrás5).

A Hargita-hegység nyugati lejtőjén található a **kirulyi** hidegvizű gejzírszerű jelenség (H503-as számú fűrés vagy Lobogó-borvíz), amely az egyetlen eddig leírt példa Románia területéről. A fűrés 1999-ben készült és 150 m mély (László, 1999). Az időszakos kitöréséről ismeretes ásványvíz egy 1,4 x 0,8 m-es beton foglalatból kiálló 32 cm magas, 11 cm átmérőjű csőből jut a felszínre. A fűrés a Kiruly-patak bal partján, a parttól 10 méterre található (Czellecz 2013).

A **kirulyi** gejzírszerű jelenség teljes ciklusa megközelítőleg 51 óra, amiből 38 óra aktív, kitörési fázis és 13 óra inaktív fázis (7.ábra). A feltörő vízoszlop kitörési magassága az aktív fázis kezdetén elérheti akár az 1.7 m magasságot. Az inaktív fázis abban nyilvánul meg, hogy a csőből kitörő víz visszahúzódik a furatba, megközelítőleg 1 m mélységbe. A visszaesés pillanatától kezdődően a víz újra emelkedni kezd a furatban, amíg el nem éri annak tetejét, amit egy újabb kitörés követ (Czellecz, 2013).



7. ábra: A kirulyi gejzírszerű jelenség, (Czellecz, 2013).

Az artézi jellegű víz bizonyos fizikai-kémiai paraméterei a kitörés különböző fázisaiban eltérőek. Az elektromos vezetőképesség értékei 450 microS/cm eltérést mutatnak az aktív és inaktív fázis alatt vett vízminták esetében, a magasabb értékek a kitörési fázisra jellemzőek. Legszembetűnőbb az oldott CO₂ koncentrációjában megfigyelhető

változás, a két fázis között 450-600 mg/l-es eltérés mutatkozik. Ez esetben a magasabb értékek az inaktív fázisban jellemzőek (Czellecz et al., 2015).

3. A hideg vizű gejzírek/ gejzírszerű jelenségek működése

a) A Zsigmondy-féle működési elmélet a hideg gejzíreket tekintve:

Zsigmondy Béla 1875-ben próbálja magyarázni a gázgejzírek működési folyamatát. Vizsgálata alapján kitörés abban az esetben jöhet létre, ha a fúrás csövében tartós vízmozgás van jelen. Mivel a fúrás egy oldalon közvetlen kapcsolatban van a felszínnel a hidrosztatikai nyomás kisebb a cső felső részében. A csőbe vízbeáramlás történik a rétegből és az ebben megvalósuló heves mozgás / áramlás következtében a CO₂ buborékok fokozatosan kezdenek a vízből kiválni a csővezeték legfelső pontjain, mivel itt a felszínhez közel a nyomás alacsonyabb.

Ebből kifolyólag arra következtethetünk, hogy a vízoszlop tömege a CO₂ buborékok kiválása által könnyebbé válik, ugyanis a korábban kizárólag vízzel telített csőtérfogatot a gázkiválást követően víz és a gáz tölti ki. Így a cső mélyebb részein levő vízre visszaható hidrosztatikai nyomás értéke kevesebb lesz. A visszaható kisebb nyomás azt eredményezi, hogy a mélyebb részeken is a gáz kiválik a vízből. A CO₂ felszabadul a vízből a cső alsó részén és felfele igyekszik. A buborékok gyors mozgással magukkal rántják a vízmolekulákat a felszín felé. A szén-dioxid nagyobb része kísérogáz formájában, a megmaradt kisebb része pedig oldott formában van jelen a csővezetékben.

Zsigmondy a gázfelhalmozódást, mint fő kialakító tényezőt emeli ki az erupció létrehozásában, így arra következtethetünk, hogy az időszakosság magyarázatára is a gáz jelenléte utal. A gázokra vonatkozó általános fizikai törvényszerűségből indul ki, miszerint a gázok oldódása vízben nyomás függő. Az, hogy mennyi ideig tart a kitörés, attól függ, hogy mennyi időt vesz fel a gáznak a vízből való kiválása két állapot között: a vízben oldott gázállapot által gyakorolt nyomásviszony és a vízből kivált gázállapot által gyakorolt nyomásviszony között.

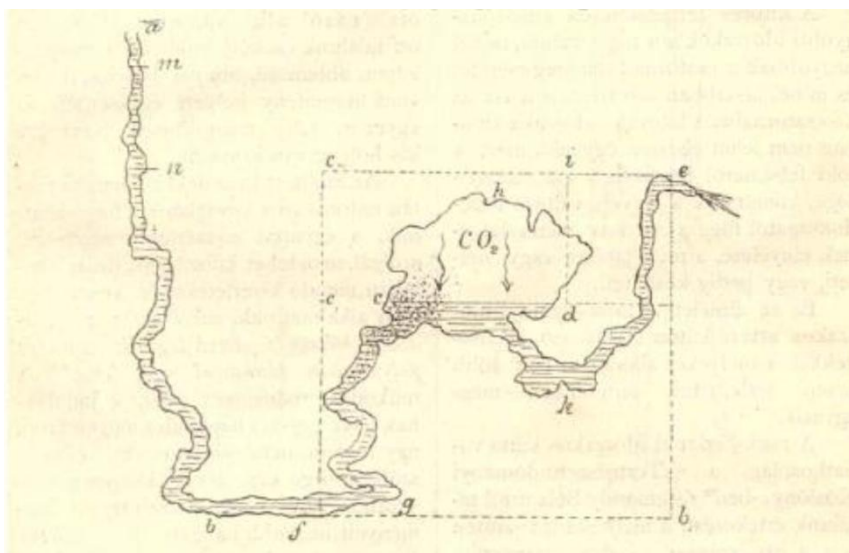
A Zsigmondy féle hideg-gejzír elmélet ezen részét úgy értelmezhetjük, hogy a gáz teljes mértékben nem válik ki vízből a kitörés során, adott mennyiség a kitörés pillanatában is oldott állapotban ott marad a vízben. Arról az időintervallumról van szó, amelyik a gázzal telített víz

állapot (nagy mennyiségű oldott gáz a vízben) és a gázhiányos víz állapot között eltelik (kis mennyiségű oldott gáz a vízben).

b) **Antolik-féle működési elmélet a hideg gejzíreket tekintve:**

Antolik Károly (1890) modellezése némiképp eltér a Zsigmondy-féle ábrázolástól, ennek ellenére ő is a gázok jelenlétét tekinti a hidegvizű gejzírek fő mozgatórugójának. Antolik elméletében egy felszínalatti üreg szükséges, melyben a felszín alatt mozgó víz és a benne oldott gáz összegyűlik (8. ábra). A vízben oldott CO_2 az üregbe érkezve kiszabadul a vízből. Ez annak tudható be, hogy az üregben lévő nyomás alacsonyabb a rétegben és a repedés hálózatban levő nyomáshoz képest. A felszabaduló szén-dioxid és a víz molekulái egyre több helyet foglalnak el az üregben, térfogatuk növekedni kezd. Az egyre szűkebbnek bizonyuló térnek és a nyomásnövekedésnek következtében a víz és gáz keveréke kilöködik az üregből a felszín felé a repedéseken/ csővezetéken keresztül.

A modellezés során arra a következtetésre jutott, hogy ilyen jelenség csakis mészkővidéken jöhet létre, mivel a kőzetek közötti üregek elsősorban karsztos területeken alakulnak ki. Antolik szerint a jelenség működésének kulcsa tehát a felszín alatti „gáztartályok” (gázzal kitölthető üregek) jelenlétében keresendő.



8. ábra: Antolik K. (1890) felszínalatti üregmodellje.

Rinehart (1980) a hideg vizű gejzírek működési elvéről nem beszél, saját elmélete nincs, azonban a CO_2 fontosságát az időszakos kitörések kialakításában ő is kihangsúlyozza. Akár oldott formában, akár, mint kísérőgázként jelennek meg a víz mellett a gázok, elősegítik annak a felszínre irányuló mozgását.

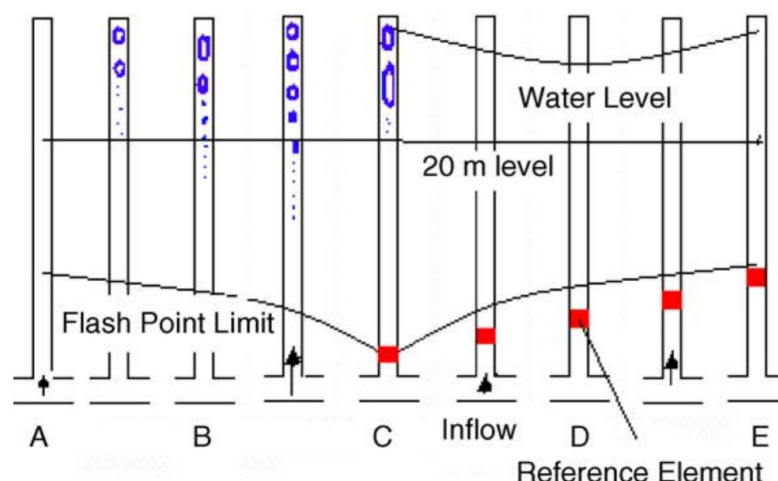
c) **A Xinli-Lu-féle működési elmélet a hideg gejzíreket tekintve:**

Xinli Lu (2005) részletesebb elemzést végez a hideg vizű gejzírek működési mechanizmusáról, itt egyértelműen kitűnik a modernebb, analitikai szemléletmód. Azt azonban meg kell jegyeznünk, hogy elméletének alapját már 1875-ben leírta Zsigmondy. A hidegvizű gejzírszerű jelenség fő alkotója / mozgatója az oldott gáz jelenléte a vízben.

A kitörés egy vertikális csatornán keresztül valósul meg egy gázzal telített folyadék esetében, ahogy a folyadék felfele - a felszín irányába – mozog, amely mozgást a hidrosztatikai nyomás csökkenésének következtében a vízből kiváló gáz indít el és tart fenn. A víz kilökése, vagyis a kilökési pontja a vertikális csatornában egyre lennebb kerül, mivel a gáz kiválása is a folyadékból folyamatosan lennebb (mélyebben) valósul meg. Az oldat – víz és a benne oldott gáz - a csőben halad felfele, egy adott magasságban eléri azt a helyzetet, amikor a nyomásváltozás hatására a gáz kezd kiválni a vízből.

A folyamat kezdetén az áramlás egyfázisú, mivel csak víz van a csővezetékben a gáz benne oldott állapotban jelenik meg. A későbbiekben az áramlás kétfázisúvá válik, a vízből a gáz egy része kiválik.

Xinli Lu (2005) utal Sherzer-re (1933), aki felismerte a felvezető csatorna átmérőjének hatását a kitörésre és periodicitásra. A szerző magára is hivatkozik, 2004-es cikkére, és azt mondja, hogy a gejzírszerű működés akkor jelenik meg, ha a cső hossza és átmérője közötti arány 30-110 között van. Ez kell ahhoz, hogy egy speciális kétfázisú áramlás (slug flow) kialakulhasson a csőben, ami a Taylor-buborékok (Taylor bubbles) létrejötte által valósul meg. Pontosan ez a buboréktípus kell kialakuljon, mivel ez képes kilökni a vizet és létrehozni a kitörést.



9. ábra: Xinli Lu (2005) Vázlatdiagram a forrás gejzírszerű körforgását elindító fizikai folyamatról (flash point = gázkiválási pont)

Xinli Lu és szerzőtársai elméletét lépésről lépésre a 9. ábrán szemlélteti. Az oldott gázzal teli víz felér a cső tetejére és átfolyik a cső száján. A víz a cső száján való átfolyás pillanata előtt is magával hoz már kivált gázbuborékokat, de ezek nincsenek még különösebb hatással a rendszerre, ezek még csak egyszerű buborékok (A és A/B fázisok az 9. ábráról). A vízáadó rétegből folyamatosan áramlik be a csőbe a víz, ez eredményezi azt, hogy a csőben emelkedjen a vízszint.

Ahogy a víz átfolyik a csövön a meglévő sima buborékok hatására a cső felső, felszín közeli részénél lecsökken a hidrosztatikai nyomás. A vízoszlop magasságát a cső hossza limitálja, így a cső szájánál elindult folyamat „végigfut” lefele az egész csövön. Ahogy a gázkiválás elkezdődik a cső szájánál, fent a felszín közelben ez egy pozitív visszacsatolást indít el. A nyomáscsökkenés további gázkiválást eredményez és egyre mélyebben történik a buborékfejlődés-növekedés (B fázis az 9. ábráról).

Az egyre nagyobb mértékű gázkiválás elér abba az állapotba, amikor a csőben lévő gáztelítettség meghaladja a 30%-ot, a maradék összetevő a víz. E határ közelében és fölött alakulnak ki a Taylor-buborékok, amelyek nagy helyet foglalnak el a cső keresztmetszetében és felfele irányuló mozgásuk során magukkal rántják a vizet is. Ez okozza a kitörést (C fázis a 9. ábráról).

A kitörés eredményeként a rendszerből távozik a szabad CO_2 gáz, ami szabad állapotban, kísérőgázként volt jelen. A kiürült rendszert pótolja a vízáadó rétegből a víz beáramlása a csőbe, ami lassan történik. A szabadon érkező / lévő gázbuborékok nem

elegendőek ahhoz, hogy a kitörést fenntartsák, a gáztelítettség egyre kisebb, ezért a kitörés megszűnik (C/D fázis a 9. ábráról).

Az újonnan beáramló víz okozza a csőben a vízoszlop emelkedését és ezzel együtt a nyomás növekedését is, mert ebben az esetben a frissen érkező vízben a gáz még oldott formában van jelen (D-E fázis a 9. ábráról).

Az előbb bemutatott elméleteket átgondolva elmondható, hogy Antolik Károly (1890) elgondolása a legkevésbé tudományos. Zsigmondy Béla (1875) elmélete az adott korban logikusan felépített, igen pontos és jól átgondolt tudományos alapokon nyugszik, mai szemmel is megállja a helyét. Hasonlóságokat lehet felfedezni a mai modern korban született elmélettel. A legpontosabb elméletet a hidegvizű gejzírek működését tekintve Lu et al. (2005) prezentálja. A nagy mennyiségű CO₂, mint alapfeltétel mellett részletesen kitér olyan feltételekre is mint, a fűrés csövének hossza és átmérője közötti arány, a Taylor-buborékok kialakulásának szükségessége.

4. A szén-dioxid előfordulása a Keleti-Kárpátok térségében

A hidegvizű gejzírek szakirodalmát áttekintve világossá vált, hogy kialakulásuk elsődleges feltétele egy fűrés és a szén-dioxid jelenléte. A fűrés lényege, hogy ezen keresztül egy zárt, nagy nyomás alatt levő réteget megnyitunk és könnyű feláramlási útvonalat biztosítunk a gázzal teli víznek, illetve magának a szabad gáznak. Szintén elsődleges feltételként nevezhetjük meg a nagy mennyiségű szén-dioxid gáz jelenlétét az adott rétegben, illetve a réteget átszelő törésvonal és repedéshálózatban. A CO₂ ilyen nemű fontosságából / szerepéből kiindulva lényegesnek tartottuk, hogy a Keleti-Kárpátok zónájában való jelenlétére, áramlási mechanizmusára vonatkozóan röviden áttekintést adjunk.

A szén-dioxid eredetét tekintve felszín közeli és mélységi származásokat különíthetünk el. A felszín közeli eredet esetében karbonátos vegyületeket (nem kőzet), adott bomlási reakciók lezajlását karbonátos környezetben vagy aerob szerves bomlást említhetünk. A mélységi eredet esetében két forrást említ a szakirodalom: vulkáni eredetet és a karbonátos kőzetekből származó eredetet (Bányai, 1936; Preda és Țenu, 1981).

A romániai CO₂ előfordulásokról elsősorban a szénsavas ásványvizek kutatása során beszélt a korábbi szakirodalom, ami alapján előfordulása egyértelműen a vulkáni térséghez köthető (10. ábra) (Pricajan és Airinei, 1981). A témában Bányai János, Artemiu Pricăjan és Ștefan Airinei neveit említhetjük, mint jelentősebb szerzőkét, akik az 1940-1990 közötti

időszakban végezték felméréseiket. Napjainkban többnyire Kis Boglárka névéhez köthetjük a vulkáni térségben, főként Csomád-Bálványos régióban végzett CO₂ gázfelmérési munkákat.

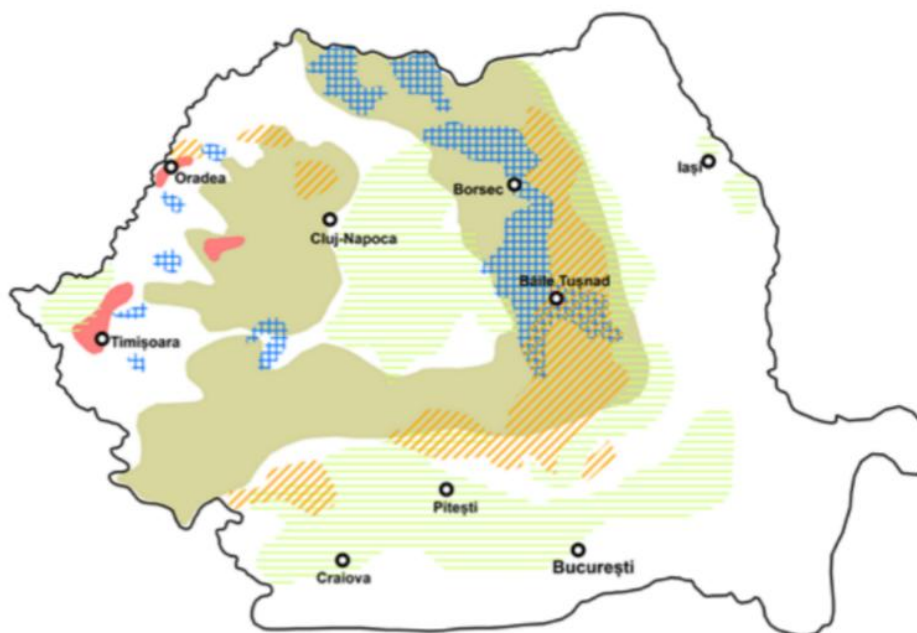


Fig. 1. Sketch figure of the main mineral water types of Romania with special focus on the Eastern Carpathians: CO₂-rich mineral waters (blue grid), NaCl-rich mineral waters (green lines), sulfate and H₂S-rich mineral waters (orange lines), mixed waters (overlapping of different types, ex. in the SE Carpathians), geothermal waters (red areas), modified after Pricăjan, 1972.

10. ábra: Románia fő ásványvíztípusai, különös tekintettel a Keleti-Kárpátokra: CO₂-ban gazdag ásványvizek (kék rács), NaCl-ban gazdag ásványvizek (zöld vonalak), szulfátokban és H₂S-ben gazdag ásványvizek (narancssárga vonalak), vegyes összetételű vizek (különböző típusú lefedések, pl. az Északkeleti Kárpátokban), geotermális vizek (piros terület) (Kis B., Baciu C., 2014).

Pricăjan A., Airinei Șt. a szén-dioxid (szabad gázfeltörés és vízben oldott forma) elterjedési területét, amely a fiatal, neogén vulkáni térséghez (Kelemen-Görgényi-Hargita vonulat) köthető, mofetta övezetként nevezik meg. A kifejezést az 1975-ös és 1981-es munkájukban magyarázzák és más dolgozataikban is használják.

A 4000 km² területű fiatal neogén vulkánitok elterjedési területéhez képest több mint, háromszor nagyobb a törésvonalrendszer által szállított CO₂ felszínre áramlási területe. Ezen a 13.000 km² területen a CO₂ a felszín alól szabad gázként vagy a felszín alatti vízbe való beoldódás során szénsavas ásványvizekkel együtt kerül a felszínre (Airinei és Pricăjan, 1975).

A szén-dioxidos úgynevezett mofetta övezet, a szűk értelemben vett fiatal neogén vulkáni vonulattól eltávolodva, keleti irányban kiterjedtebb, mint nyugati irányban (Pricăjan, Airinei, 1979). Ebben a törésvonal-hálózat játszik nagy szerepet, amely által a szén-dioxidos tulajdonságok benyúlnak más típusú hidrogeológiai zónák övezetébe kialakítva a vegyes

típusú ásványvizeket, mint például a kénes-szénsavas vagy enyhén sós és szénsavas ásványvíz-forrásokat a Csíki-havasok térségében (Kisgyörgy és Kristó, 1978).

Az idősebb neogén vulkanitok térségében, az Avas-Gutin-Cibles hegyvonulatok zónájában is jellemzőek a szén-dioxid feláramlások szénsavas ásványvizek formájában. Számuk kisebb, mint a fiatal neogén vulkanitok térségében, illetve gyakran más gázokkal keveredve a hegyközi medencékben (Nagybányai-medence, Lápos-medence, Máramarosi-medence) vegyes típusú ásványvizekkel jelentkeznek (Kisgyörgy és Kristó, 1978).

A CO_2 közlekedése és szétterjedése a kérgi-, regionális-, és lokális törésvonalrendszeren keresztül valósul meg, ezeket egészítik ki a helyi mikrórepedések, amelyeknek ugyanakkor a felszín irányába is vezethetik a szén-dioxidot. A közlekedésük függ a repedéshálózatnak a összeköttetéseitől, a méreteitől, a felszín irányába való elhelyezkedésüktől és nyitottságuktól (Airinei és Pricajan, 1975).

A szén-dioxid kiáramlás, mint utóvulkáni jelenség, legintenzívebben a nem fiatal neogén vulkanitok közvetlen, szűk környezetében észlelhető, hanem, azoktól keletre és nyugatra. A feláramlás többnyire elszórtan, pontszerűen jelentkezik. A vulkáni térségtől délkeletre, Kovászna város térségében bizonyos kutakban mért CO_2 nyomás 1,7 - 70 atmoszféra között mozgott (Airinei, Pricajan, 1975).

A szén-dioxid áramlása komplex folyamatok eredménye és ritmikusan jelentkezik. A szén-dioxid fluxus változására nincsen hatással a hőmérséklet és az atmoszferikus nyomás. A 60-as és 70-as években végzett felmérések Borszéken, Csíkszentkirályon, a Csíkszentimrei Büdösfürdön és Hargitafürdön azt bizonyítják, hogy a CO_2 áramlása mennyiségi és minőségi szempontból nem állandó, hanem időszakos oszcillációkat mutat. A szabad szén-dioxid szintek által mutatott oszcillációk mértéke elérte a több 10 cm-t a vizsgálati kutakban (a havi átlagtól való eltérést fejezi ki). A megfigyelőkutak eredményeiből havi, évszaki és éves ritmicitások figyelhetők meg (Airinei, Pricajan, 1975).

A szén-dioxid feláramlások mennyiségi adatainak felmérésével és közlésével legújabban Kis B. és szerzőtársai (2017) foglalkoztak. Az általuk közölt adatok pontszerű, egyszeri felmérések alapján történtek és általánosítva jelennek meg. A mélységi eredetű CO_2 folyamatos feláramlása jellemző a Csomád-Bálványos vulkáni térség környezetében, ami mennyiségileg eléri a 8700 t/év fluxust. Olyan jellegű felmérésekről, hogy több éven keresztül ugyanabból a kútból CO_2 feláramlást mérjenek, mint ahogy Pricajan és Airinei tették, jelenleg nincs tudomásunk.

A felszín alól kiáramló mélységi szén-dioxid gáz általában más gázok kíséretében jelenik meg, a gázösszletben többnyire 73 – 99 %-ban a szén-dioxid dominál (Airinei, Pricajan, 1975). A felszín alatti vizek magukba oldják szén-dioxidot. Túltelített állapot

esetében, adott körülmények között, a vízből kiválhat a gáz egy része és szabad szén-dioxid formát ölt. Romániában, a mofetta övezet ásványvizeiben általában 1000-3000 mg/l koncentrációban van jelen a CO₂ (Pricajan, Airinei, 1979).

5. Anyag és módszer

Jelen kutatás azon alapszik, hogy a szakirodalomban leírt hidegvízű gejzírszerű jelenségre keressünk példákat hazai területen. A nemzetközi irodalom megközelítőleg 20 ilyen példát mutat be, amelyek vulkáni vagy mészkő/homokkő térségekben találhatóak és működésük mozgatórugójaként a CO₂ jelenlétét nevezik meg. Romániában az Avas-Gutin-Cibles-Kelemen-Görgényi-Hargita vulkáni vonulat mentén a szén-dioxid feltörésének számos példájával találkozhatunk szénsavas ásványvízforrások és mofetták formájában. A Hargita-hegység a Csomád-hegységgel együtt a Kárpát-Pannon-térség legfiatalabb vulkáni vonulata, ahol már leírtak egy hidegvízű gejzírszerű jelenséget. Mindezek alapján azt feltételezzük, hogy a térségben adottak a feltételek ilyen jelenségek kialakulására.

A szakirodalomban leírt példák alapján elmondhatjuk, hogy a hidegvízű gejzírszerű jelenségek a következő fontosabb jellemzőkkel bírnak: többnyire fűrt kutak, de ritkán lehetnek természetes források is, nagymennyiségű oldott CO₂ a vízben és szabad kísérőgázként, ártézi jelleg, időszakosság, hidrosztatikai nyomás-változás a furatban, a vízparaméterek ingadozása a működés különböző fázisaiban.

Kutatásunk során azt az elvet követtük, hogy az előbb felsorolt jellemzőket alapul véve igyekezzünk megfigyelni, megvizsgálni néhány hazai ásványvízfeltörést. A felmérésünkbe bevont ásványvíz feltörésekről a Hargita-, és Görgényi-menti terepismeretünk alapján voltak előzetes információink, illetve egy esetben az információt kaptuk egy „érdekesen működőnek” leírt ásványvíz-forrásról.

Kutatásunk során részletesebb felmérést végeztünk három ásványvíz feltörésről. Ezek a következők: Gyergyóremetei-fúrás, Székelyszáldobosi Valálági-borvíz és a Rákospataki ásványvíz-forrás. Ezek mellett további két ásványvíz feltörés esetében feltételezzük a hidegvízű gejzírszerű jelenséget. Ezek a következők: Szejkefürdői mofetta fúrása és az Előpataki-fúrás.

Méréseinket 2018 augusztusában, októberében és 2019 áprilisában végeztük, minden esetben helyszínen tett megfigyeléseink és méréseink/méréssorozataink voltak (2. táblázat).

2. táblázat: A három általunk vizsgált gejzírszerű jelenségek mérése, mérősorozata.

A vizsgálat időpontja	Dátum	Vízhozam	Időszakosság megfigyelése	Néhány vízparaméter vizsgálata	CO ₂ vizsgálata	Hidrosztatikai nyomás vizsgálata
Gyergyóremetei-fúrás	2018. 08. 21.	X	X	X	-	-
Száldobosi Valálági-borvíz	2018.08.22-23., 2018.10.27-28.	-	X	X	X	X
Rákospataki ásványvíz-forrás	2019.04.05.	-	X	X	X	X

A **vízhozam** mérésére csak a Gyergyóremetei-fúrás esetében volt lehetőségünk és az úszókás vízhozam mérési módszert alkalmaztuk. A méréshez szükséges három pont felvétele, az így kirajzolódó szakaszok azonos távolságra kell legyenek egymástól. A szakaszokon szelvényeket hozunk létre, a vízmélységet figyelembe véve, körülbelül 10 centiméterenként. Az úszó elindulástól egészen a kijelölt ponton való áthaladási ideje adja a sebességet, az itt áthaladó víz térfogata pedig a vízhozamot. Szükségszerű a sűrűbb mérés, a szakasz minden pontján.

Az **időszakosság** megfigyelése mindhárom esetben folyamatosan történt, a Gyergyóremetei-fúrás és a Rákospataki ásványvíz-forrás esetében több, hosszú (akár több óra is) videofelvételt készítettünk, hogy az alkalomszerű „kitörések” mozgásait, változásait utólagosan elemezhesük.

Az **oldott CO₂** vizsgálata hagyományos laboratóriumi eszközökkel, titrálós módszerrel történt. Az oldott CO₂-t Száldobosi Valálági-borvíz esetében óránként mértünk, a Rákospataki ásványvíz-forrásnál 5-10 percenként. A művelet a következőképpen történt: 10 ml NaOH-hoz (0,1 N koncentráció) 10 ml vízminta hozzáadása után megszínezzük az oldatot fenolftaleinnel és ehhez fokozatosan titrálunk 10 ml HCl-t (0,1 N koncentráció) egészen addig, amíg a színe hirtelen átlátszó nem lesz (10. ábra). A pipetában maradt értéket leolvassza, azt a megfelelő mérőszámmal beszorozva megkapjuk a koncentrációt mg/l-ben. A mérés pontossága: 22 mg/l.



11. ábra: Az oldott CO₂ vizsgálata hagyományos titrálós módszerrel.

Hasonlóképpen történik a **hidrogén-karbonát**

meghatározása is: 10 ml vízmintát megszínezzünk methylorange-al és ehhez addig titrálunk HCl-t (0,1 N koncentráció), amíg a színe hirtelen ciklamenné vált. A pipettaból elfogyott HCl mennyiségét leolvassa, azt a megfelelő mérőszámmal beszorozva megkapjuk a mennyiséget mg/l-ben. Ebben az esetben a pontosság 30,5 mg/l.



12. ábra: Thermo Orion 5 Star hordozható elektródás multiparaméter mérő

A **vízparaméterek vizsgálata** néhány általános mutatóra tért ki, amelyeket a Thermo Orion 5 Star hordozható elektródás multiparaméter (11. ábra) mérő segítségével mértünk. Az eszközzel a Száldobosi Valálági-borvíz esetében óránként mértünk, míg Rákospatakon 5-10 percenként. A vizsgált paraméterek következők: hőmérséklet, pH, elektromos vezetőképesség, illetve ezen utóbbiból származtatott összes oldott anyag-

tartalom. A meghatározások pontossága: pH – 0,01 egységes hibahatár, hőmérséklet – 0,1 °C pontosság, EC – 0,01 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pontosság, származtatott TDS – 1 mg/l pontosság. A

A **hidrosztatikai nyomás** mérése a Dataqua DA-S-LTRB 118 elektródás mélységi nyomásmérő műszer segítségével történt, amellyel percenkénti adatrögzítés történt. A hőmérsékletre való tekintettel 0,01°C pontosságú, a nyomás esetében 0,01 bar a hibaérték. A Száldobosi Valálági-borvíz esetében 2018 augusztusában 5,8 és 3 m mélységben, míg az októberi méréssorozatkor 7 m mélységben mértünk hidrosztatikai nyomást és hőmérsékletet. A Rákospataki ásványvíz-forrás esetében 0.3 m mélységben mértünk hidrosztatikai nyomást és hőmérsékletet.

A kapott adatokat Microsoft Excel táblázatkezelő szoftver segítségével összegeztük valamint, ArcGIS, Global Mapper szoftverekkel készítettük a szemléltető térképeket.

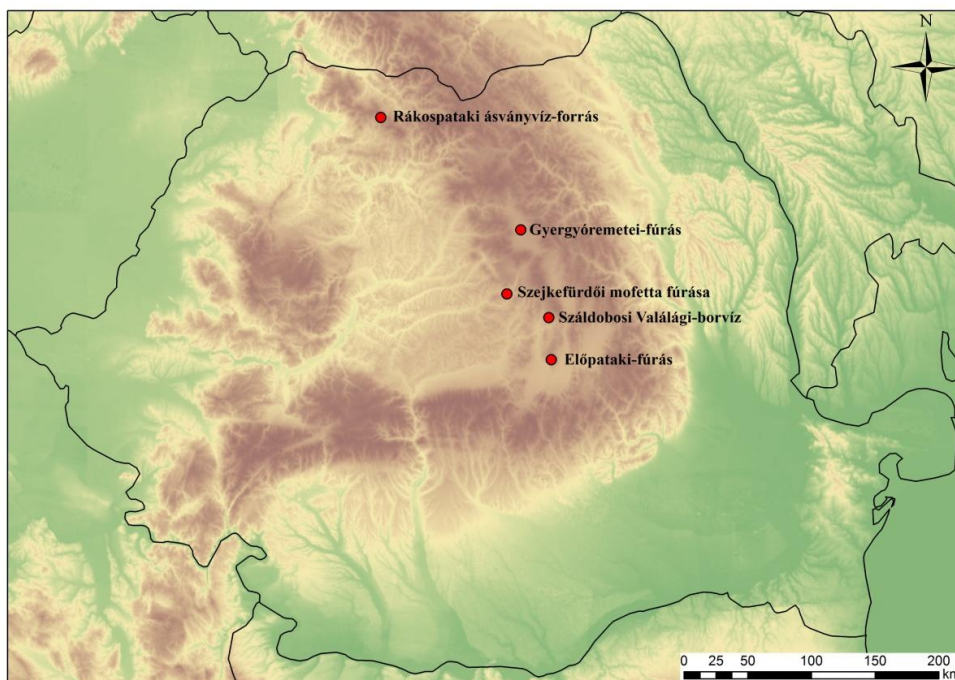


13. ábra: Mérési folyamat a terepen (baloldalt Száldobosi Valálági-borvíz, jobboldalt Rákospataki ásványvíz-forrás).

6. Az általunk vizsgált helyszínek/jelenségek bemutatása

Kutatásunk tárgyát öt ásványvíz feltörés képezi, amelyek közül jelen esetben hárommal foglalkoztunk mélyrehatóbban, a további kettő a jövőbeli kutatási célok között szerepel (14. ábra).

A két, még nem vizsgált ásványvíz feltörés az Előpataki-fúrás és a Szejkefürdői mofetta fúrása. Az Előpataki ásványvíz vasas-szénsavas jellegű, a helyiek elmondása, illetve saját tapasztalat is alátámasztja az időszakos működést. A Szejkefürdői mofetta fúrása sós ásványvizet és főként metángázt hoz a felszínre. Ennek különlegessége abban áll, hogy nem szén-dioxid gáz járul hozzá az ártézi feltörésekhez, illetve a gázok nem oldott formában, hanem leginkább kísérogázként vannak jelen. Észrevételeinket a helyszínre való kiszállás során tettük, analíziseket azonban még nem végeztünk.



14. ábra: A vizsgált ásványvízes-fúrásokat/-forrásokat összesítő térkép (készítette: Szopos Noémi).

A következőkben a három részletesebben felmért ásványvíz feltörést mutatjuk be.

Száldobosi Valálági-borvíz



15. ábra: A Száldobosi Valálági-borvíz, 2018.

A Valálági-borvíz (15. ábra) Erdővidéken, Székelyszáldobostól 1,5 km-re a Valál-patak (Kormos-patak vízgyűjtő területe) jobb partján, a patakról megközelítőleg 10-15 m-re, az erdei úttól megközelítőleg 80-100 m-re, található ($46^{\circ}51'11.84''$ N, $25^{\circ}40'57.21''$ E). A térség a Hargita-hegység délnyugati előterében, de már nem vulkáni kőzetben helyezkedik el.

A borvízről elsőként Szász Á. (2005) ETDK dolgozatából kapunk részletes leírást, miszerint a fúrást az 1980-as években készítették. Akkori állapotában rácskerítéssel volt körülvéve, szúrós „szén-dioxid buborékolás” jellemezte és a feltörő víz homokos iszapot is felhozott időnként magával. 2005-ös terepi kiszállása során Szász Á. inaktívként jegyezte fel CO_2 buborékolással a fúratban, de aktív vízfeltörés nem volt. (16. ábra)



16. ábra: Száldobosi Valálági-borvíz inaktív állapota, Szász Á., 2005.

A 2018-as terepi kiszállásaink során aktív és folyamatos vízfeltörést tapasztaltunk, amelynek magassága nem haladta meg a 10 cm-t. A fúrás felszín fölötti része egy betonlapból és a fúratot bélelő fémcsőből áll, nem rendelkezik hozam és működésszabályozó csappal. A fúrás mélységéről nem rendelkezünk (még) információkkal. A feltörő víz vasas-szénsavas jellegű. A fúrás jelenleg nincs bekerítve. A mérések elvégzéséhez a fúrás megtisztítására volt szükség, vagyis a fúratcsőből eltávolítottunk több PET-palackot is annak érdekében, hogy minél mélyebbről tudjunk információkat gyűjteni. A fúrásból feltörő víz vizenyős területet alakít ki a cső körül, ez és a feltörés körülményei miatt a vízhozam mérése nagy nehézséget jelent, vízhozam mérést még nem végeztünk.

Gyergyóremetei-fúrás

A Gyergyóremetei-fúrás (17. ábra) a Gyergyói-medencében a Görgényi-havasok lábánál, a vulkáni kőzetek és a medenceüledékek találkozásánál helyezkedik el. Gyergyóremete községközpontjától 1.5 km-re, a Maros folyó bal partjától megközelítőleg 20

m-re található, Hargita megyében (46°46'47" N, 25°26'35" E). A gyergyóremetei polgármesteri hivatal 2009-ben egy hidrogeológiai fúrást hozott létre gyógyfürdő hasznosítására.

A fúrás ásványvize egy 2,5 méter magas csőből 3 ágon van kivezetve, amely néhol kisebb, néhol nagyobb löketekkel tör a felszínre. A vízkilökés nagy erővel folyamatosan történik, melyet kisebb megszakítások jellemeznek. A fúrás mellett a víz a felszínre tör, valószínűleg a csővezeték nem megfelelő állapota miatt, amit a cső mellett szivárgó apró buborékok bizonyítanak. A fúrás körüli vöröses kicsapódás jelzi az ásványvíz vasas jellegét. Abban az állapotban, amikor a kivezető csövön nem jön víz, erős szén-dioxid feláramlás történik, amit annak erős csípős szaga is elárul. A helyiek a fúrás kivezető csővéhez gumicsövet illesztettek, abból a célból, hogy könnyebb legyen a palackok megtöltése (Köllő, 2018).



17. ábra: A Gyergyóremetei hidrogeológiai fúrás, 2018.

Rákospataki ásványvíz-forrás

A Rákospataki ásványvíz-forrás (18. ábra) Rákosfalvától (Poiana Botizii) 4 km-re a Batizpatak völgyében helyezkedik el, Máramaros megyében, (47°37'12" N, 24°03'24" E). A forrás a Cibles-hegység északnyugati lábánál, de már nem vulkáni kőzetben fekszik. Egy információtáblával ellátott Natura 2000-es területről beszélhetünk (Sit Natura 2000 - *Codrii Seculari de la Strâmbu Băiuf*)(internetes forrás7). Az ásványvíz-forrás a Batizpatak jobb partjától 1 méterrel, egy tisztáson helyezkedik el, kiépített, beton köpűbe van foglalva, de a víz a köpű mellett és alatt is elfolyik. Fakerítéssel körbevett és tetőzetként filagória-szerű faépítmény szolgál. A forrás közvetlen közelében lévő betonburkolat oldalán „bevágott”, a hiányos rész a víz időszakos emelkedésekor való elvezetést teszi lehetővé.

A forrás köpűjén nyílások vannak kialakítva, hogy a víz időszakos emelkedésekor a vízhozam ott elfolyjon. Alacsonyabb vízszint esetében is van vízhozam, akkor a foglalat alatt szivárog el a víz a patak irányába. Ilyen feltételek mellett a vízhozam mérése nem megvalósítható.



18. ábra: A baloldali képen a Rákospataki ásványvíz-forrás és közvetlen a környezete, jobboldalt az ásványvíz körüli épített környezet látható.

7. A megfigyelt jelenségekben végzett vizsgálatok

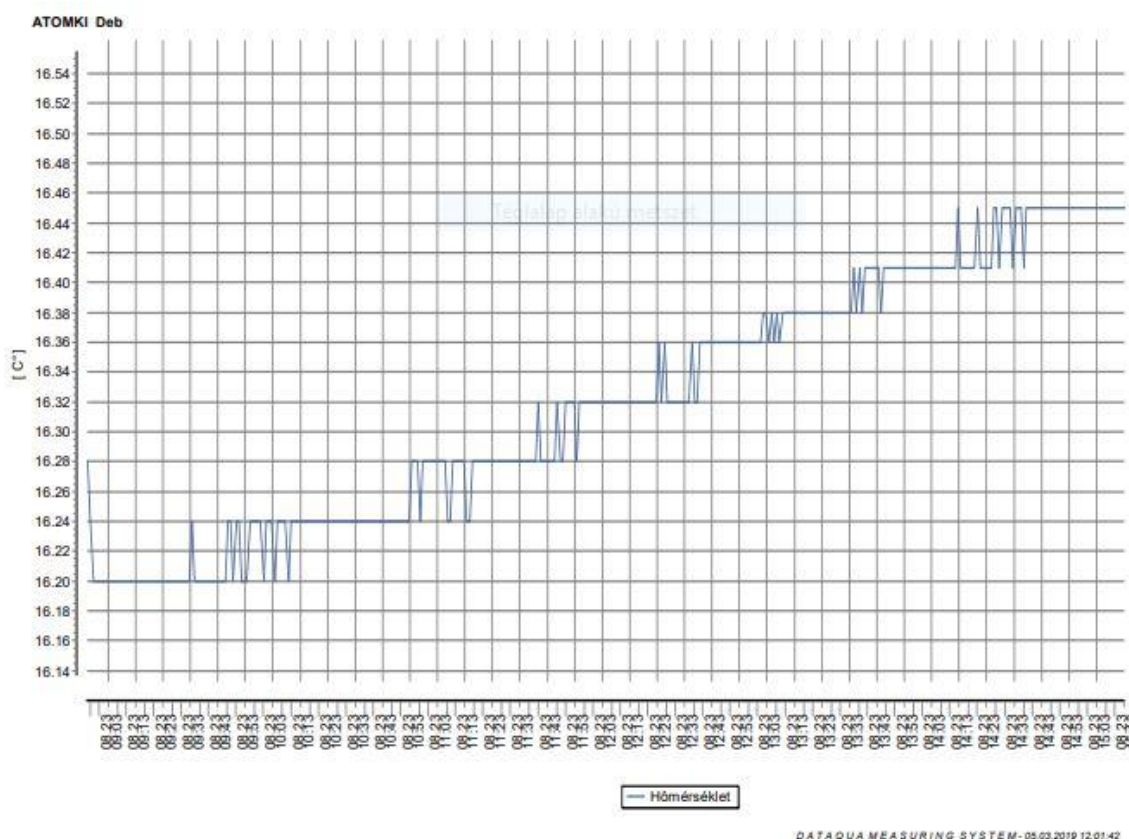
Száldobosi Valálági-borvíz

A folyadékszint (nyomás) és hőmérséklet mérése **augusztus 22**, 17:40-től augusztus 23, 15:20-ig zajlott, megközelítőleg 22 órán keresztül. Az adatok mérése és regisztrálása előbb 5.8, majd 3 m mélységben történt. A nagyobb mélységben 17:40-től a következő nap 08:56-ig történt a mérés, utána a hátralévő időben, pedig a kisebb mélységben.

5.8 m mélységben a **hidrosztatikai nyomás** értéke, amennyiben a vízoszlopban kizárólag víz van, 0.58 bar kellene legyen a fizika törvényeinek megfelelően (,ábra). Ezzel szemben a mért adatok 0.476 és 0.465 közötti nyomásértékeket mutatnak. Ez a különbség rámutat arra, hogy a vízoszlopban gáz is van, és a fúrat csövének keresztmetszetét a víz (és a benne oldott gáz) + a szabad kísérőgáz tölti ki. Ez megközelítőleg 1 m magas vízoszlopbeli különbséget jelent, vagyis 1.1 m vastagságban a csőben víz helyett gáz van. A vizsgált mélységgel ezt az adatot összefüggésbe hozva az vehető észre, hogy az 5.8 m-es keverék-oszlopból 1.1 m vastagságban gáz van és 4.7 m-es vastagságban víz van. Ezekből következtetve a vízoszlop megközelítőleg 20 (18.96 pontosan) térfogatszázaléknyi gázt tartalmaz, ellenben semmilyen szabályszerűséget nem fedeztünk fel a nyomás alakulásában (5.8m mélység).

A szakirodalomból tudjuk, hogy a kitöréshez a Taylor buborékok kialakulása nélkülözhetetlen, ezek pedig 30% körüli aránynál jelennek meg (Lu et al, 2005). A Száldobosi Valálági-borvíz esetében tehát az októberi mérés során nem sikerült olyan helyzetet elcsípni, amikor több gáz érkezik a vízzel, ami megadhatja a lehetőséget a Taylor buborékok kialakulásának.

A **hőmérséklet** terén ugyanebben a mélységben kismértékű változás észlelhető (19. ábra). Az értékek 16.4 és 16.2 °C között alakulnak. A hőmérséklet a mérés első részében 0.2 °C-os csökkenést mutat, majd ezt követi egy 0.1 °C-os növekedés. Habár a mérés az esti órákban kezdődött és a délelőtti órákban ért véget, a napszakos változás nincs befolyással a víz hőmérsékletére ebben a mélységben (a 0.1 °C-os emelkedés hajnali 4 órakor következik be). Az ábrán látható kisebb oszcillációkat feltevésünk szerint az okozza, hogy a buborékok feláramlása zavarja a hőmérséklet mérését. Összességében: a változás kismértékű, nagyobb összefüggések megfogalmazására alkalmatlan.



19. ábra: A Száldobosi Valálági-borvíz hőmérsékletének alakulása 5.8 m mélyen, augusztus 22-23 mérések alapján.

3 méteres mélységben a **hidrosztatikai nyomás** értékei többnyire 0.232 bar és 0.229 bar között ingadoztak. Ebben a mélységben, a vízoszlop nyomása 0.3 bar értéket kellene mutasson, ha az oszlop kizárólag víz. Az eltérés ebben az esetben 0.07 bar, ami 0,7 m-es vízoszlop hiánynak felel meg. Ezt gáz tölti ki. A keverék térfogatszázalékos megoszlása tehát: 23.3 térfogatszázaléknyi gáz és 76.7 térfogatszázaléknyi víz.

A mélyebb rétegben észlelt gáz által kitöltött térfogat a kisebb mélység irányába nőtt, ami arra utal, hogy a felszín irányába csökkenő nyomás hatására több gáz válik ki a vízből (erről a szakirodalmi áttekintésben részletesen beszámoltunk). Egyéb szabályszerűséget a hidrosztatikai nyomás alakulásában ebben a mélységben sem sikerült felfedezni.

3 méter mélységben a **hőmérséklet** esetében lépcsőzetes emelkedést észlelhetünk nagyjából 16.2 °C-ról 16.45 °C-ra. Az előzőhöz hasonlóan a változás kismértékű, de elindult egy emelkedő trend, amely rögzítésének sajnos a mérés befejezése vetett véget. A hőmérséklet változásának észlelése után (még ha kismértékű is) visszatérhetünk ugyanezen mélység, ugyanezen időszakának nyomásértékeihez, ahol egy szintén minimális, korábban elhanyagolhatónak tekintett 0.01-0.02 báros csökkenést vehetünk észre. Az értelmezéssel itt megállunk, ugyanis nem tartjuk megalapozottnak, hogy egyéb következtetést levonjunk ezek alapján. További mérések elvégzését látjuk szükségesnek.

A Száldobosi Valálági-borvíznél az **októberi** hónapban újabb mérésre került sor, ez alkalommal okt. 27-én, 17:45-től okt. 28-án 16:30-ig, vagyis megközelítőleg 23 órán keresztül folyamatos adatrögzítés történt. A méréseket 6 m mélységben végeztük.

A hidrosztatikai nyomás értékei megközelítőleg 0.485 és 0.495 bar között ingadoznak, ez kismértékű változásnak tekinthető. Az augusztusi hónap adatainak értékeléséhez hasonlóan ez esetben a gáztérfogat százalékos aránya 18,33%.

Az ábrán a zöld vonal a nyomás alakulását mutatja az erőteljes oszcillációk kiszűrése által. Ez arra mutat rá, hogy a mérés kezdetén levő 0.488 bar értékű nyomásviszonyokat egy hosszabb, megközelítőleg 0.490, majd 0.491 bar körüli állapot követ. Ezt a kismértékű emelkedést egy nyomáscsökkenés követ, amely során megközelítőleg 0.487-ig csökken a hidrosztatikai nyomás. A gáztérfogat százalékos arányában ez egy 0.68 %-os különbséget jelent. Ezt az értéket hosszabb méréssorozat hiányában akár mérési hibának is lehet titulálni.

A hőmérséklet értékei az októberi mérés során 16 - 16.5°C között mozogtak, egy kezdeti csökkenő tendenciát egy lépcsőzetesen emelkedő tendencia váltott fel. Habár ennyi mérés alapján komolyabb következtetést még nem tudunk levonni, érdemes megjegyeznünk, hogy a hőmérséklet nagyobb arányú növekedése (kezdete 10:30 körül okt. 28-án) nagyjából

rátévődik a hidrosztatikai nyomás csökkenésére. Habár a változások mértéke kicsi, mégsem lehet véletlenszerű két paraméter egyidejű változása.

Amint már a szakirodalomból is felfigyeltünk rá, az **oldott és szabad szén-dioxid** játssza az egyik legfontosabb szerepet a hideg vízű gejzírszerű jelenségek kialakulásában. Ebből kiindulva vizsgáltuk, lehetőségeinkhez mérten, e fúrás esetében a szén-dioxid alakulását. A szabad szén-dioxid, mint kísérőgáz mérésére nem volt lehetőség, az oldott szén-dioxid vizsgálatát azonban órás bontásban végeztük a 2018. októberi terepi kiszállásunk során.

A 20. ábráról leolvashatjuk az oldott CO₂ alakulását a fúrásból feltörő vízben. Ennek értékei 1300 és 1700 mg/l között alakulnak kisebb ingadozásokkal, amelyek mérési hibaként is felfoghatók. Nem számít azonban mérési hibának a mérési időszak második felében történő koncentráció-emelkedés, amelynek mértéke eléri a 400 mg/l-t. Ez alapján elmondhatjuk, hogy a megfigyelési időszak kezdetén az oldott szén-dioxid mennyisége általában kevesebb volt a vízben, míg az időszak második felében ez emelkedni kezdett és nagyobb oldott CO₂ koncentrációt ért el.



20. ábra: A Száldobosi Valálági-borvíz ásványvizében oldott szén-dioxid változásai 18:00-16:00 óra intervallumok köz

Gyergyóremetei-fúrás

A Gyergyóremetei-fúrás időszakos kitöréseket produkál (21. ábra). A nagysebességű vízkitörést, úgynevezett „elhalások” követik, amelyek alatt a kifolyás megszűnik, ellenben a szén-dioxid szivárgása felerősödik, ezt a fúráscső közvetlen közeléből áramló „szúrós” szaga is bizonyítja.



21. ábra: A baloldali kép a Gyergyóremetei-fúrás erupcióját, a jobboldali az erupciók közötti szünetelési állapotot mutatják.

Az **időszakosság** elemzéséhez videofelvételt (20 perc) készítettünk a fúrás kitörésének állapotáról. A vizsgálat alapján elmondható, hogy a teljes megállások megközelítőleg 5 percnél következnek be. Ezek az „elhalási” időszakok változó időtartamúak, de egy percnél nem tartanak tovább (40-50 másodperc). Az aktív időszakok, amelyek megközelítőleg 5 percre tartanak, kezdetben nagy erősséggel, megszakítások nélkül törnek ki, ez annak tudható be, hogy az erupció rövid megállási időszaka a víznek felgyülemelését eredményezte. A periodikus megállási pillanathoz közeledve az erupcióban úgynevezett „akadozásokat” lehet felfedezni, feltételezzük, hogy a kifolyó víz mennyiségének csökkenése észlelhető.

Az akadozva, löketekkel kibukó víztömeg mennyisége még inkább csökken, több néhány századmásodperces megállások következnek be, végül a teljes inaktív állapotot észlelhetjük. Ez idő alatt a felerősödő CO₂ gáz jellegzetes szaga érezteti hatását, ami alapján arra következtethetünk, hogy nem a gáz hiánya miatt szünetel a kitörési folyamat, hanem valószínűleg a víz összegyülekezési idejének hosszas bekövetkezése folytán.

Rákospataki ásványvíz-forrás

A Rákospataki ásványvíz-forrás **működésének ritmikusságát** meghatározó eleme a CO₂ buborékok számának és gyorsaságának növekedése. A forrás ritmicitását az ásványvíznek a csőben való visszaesésének és a betonfoglat repedésén való kifolyásának az időszerű váltakozása adja (22. ábra). A fúrás 68 cm mélységben 47 cm átmérőjű betonfoglallal van beburkolva, melynek a felső peremén egy kifolyást elősegítő rés található. Internetes források alapján olyan 2016 januárjában készített felvételt bukkantunk, amelyen a csőben a víz visszahúzódása megközelítőleg megközelítőleg 10 cm-el mélyebb, mint amelyet mi tapasztaltunk terepi felmérésünk során. Emellett a felvételen a kitörés erőssége, és hangja is fokozottabb, a heves buborékolással járó erupció a betonfoglat felső pereméig is kilövell. A kitörés nagy erővel, heves buborékolással érkezik, de csak 2,5 percig tart, majd a víz folyamatosan kezd visszahúzódni a csőbe (internetes forrás6).

A saját felvételezés során 50 perces folyamatos állapotváltozást rögzítettünk, amelyet 3 alkalommal megismételtünk. A felvételek elemzéséből kitűnik, hogy a kitörések sűrűn következnek be legkésőbb 3 percen belül. Az erupciók nem érik el a fúrás betonfoglatának felső peremét, csak addig a repedésig áramlik fel az ásványvíz, ahol a víz távozhat a fúrás köpűjéből. A betonfoglat különböző színű belső sávjai az ásványvízből kicsapódó vas-oxidot és a vízben oldott kén-hidrogént emelik ki. A víz hosszabb visszahúzódási időszakai megközelítőleg 1-3 perc között mozognak. A kitörés erőssége és időbeni hossza, hogy hány percig tart, attól függ, hogy a visszahúzódása a furat csövében hány percig tartott. A megfigyelések alapján, egy megközelítőleg 1 perces szünetesést egy viszonylag rövid néhány másodperces kitörés követ, ellenben a 2-3 perces megállások hatására egy viszonylag hosszabb (5-6 perces) és nagyobb vízmennyiséggel feltörő erupció kezdődik (22. ábra).

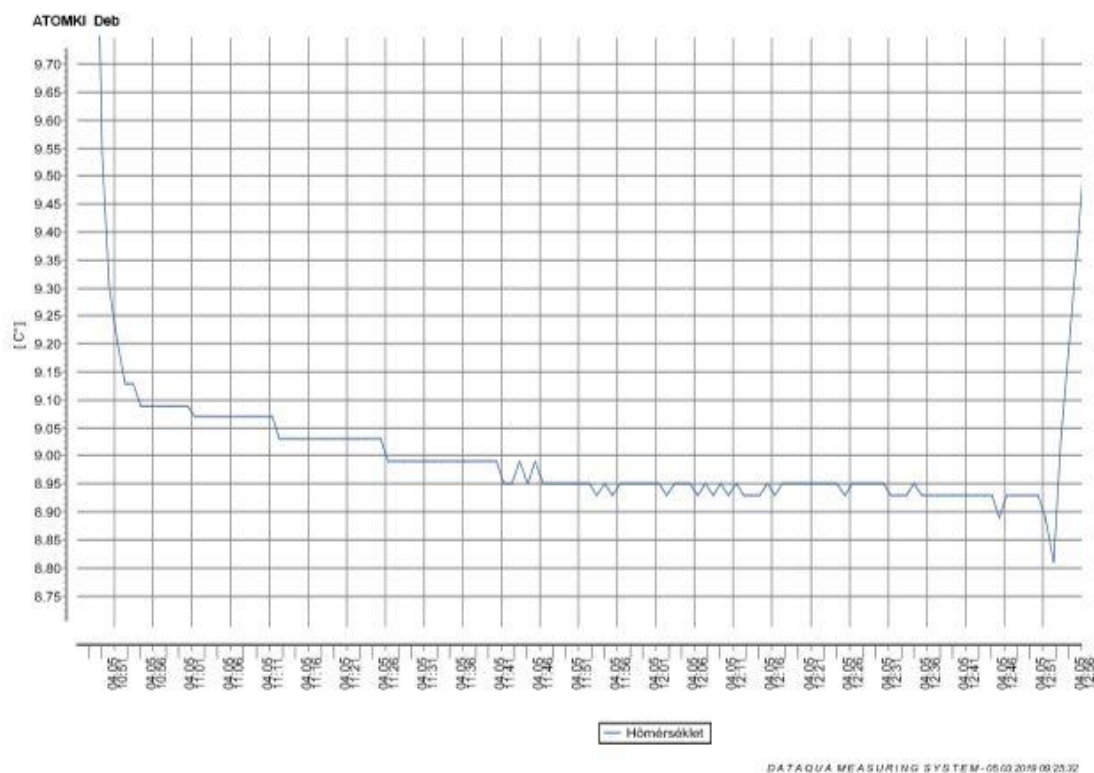


22. ábra Baloldalt a Rákospataki ásványvíz-forrás betonfoglatán való átfolyása, a jobboldali képen a forrás egy alacsonyabb szintje látható.

A hidrosztatikai nyomást és hőmérsékletet percenként rögzítve mértünk a Rákospataki ásványvíz-forrás esetében a Dataqua DA-S-LTRB 118 elektródás mélységi nyomásmérő műszer segítségével 0.3 m mélységben, 10:51 és 12:56 intervallum között.

A mérés ideje alatt összességében a **hőmérséklet** 9,1 és 8.8 fok között változott (23. ábra). Az oszcillációk csak minimális mértékben vannak a hőmérséklet alakulásában, leginkább egy nagyon lassú csökkenés észlelhető 9.1°C-ról 8.8°C-ra két óra leforgása alatt. Habár kismértékűek az ingadozások, de általánosságként megfogalmazható, hogy a kezdeti, lépcsőzetes, fokozatos hőmérséklet csökkenést egy gyakran oszcilláló (csak kis különbségeket mutató oszcillációk) fázis követ.

A műszer mérése során a **hidrosztatikai nyomás** 0.046 és 0.052 bar között mozgott. Gyakoriak az oszcillációk, vagyis a nyomásváltozás a víz + oldott gáz + kísérőgáz feltörésének köszönhetően. Amennyiben a víz nagyobb mennyiségű kísérőgázzal jön a felszínre, a hidrosztatikai nyomás alacsonyabb lesz, ugyanis a víz közlekedési útvonalát (jelen esetben a kb. 0.7 m-re lesüllyesztett köpűt) a keresztmetszetet nagyobb százalékban gáz tölti ki.



23. ábra: A Rákospataki ásványvíz-forrás hőmérséklet változása 10:51 és 12:56 intervallumok között (Dataqua DA-S-LTRB 118).

A hidrosztatikai nyomás oszcillációiban némi szabályosság felfedezhető fel (24. ábra): rövid, egymást követő több gázt és kevesebb gázt felhozó ciklusok sorozata:

I. fázis: 10:51-kor a nyomás 0.048, 11:10-kor 0,048. Ebben a ciklusban a maximális érték 0.049, a minimális pedig a 0.046 - tehát ekkor az alacsonyabb értékek dominálnak, vagyis ilyenkor több gáz érkezik. A 0.049-es értéket ötször éri el, míg a 0.046-os értéket kétszer.

II fázis: 11:10-től tart 11:30-ig, amely alatt a minimális érték 0.046 és a maximális érték 0.051 bar. A minimális értéket a ciklusban kétszer lehet észlelni, a maximálisat pedig négy alkalommal éri el. Vagyis általában véve a hidrosztatikai nyomás ebben a ciklusban nagyobb, ez azt jelenti, hogy kevesebb a kísérőgáz mennyisége.

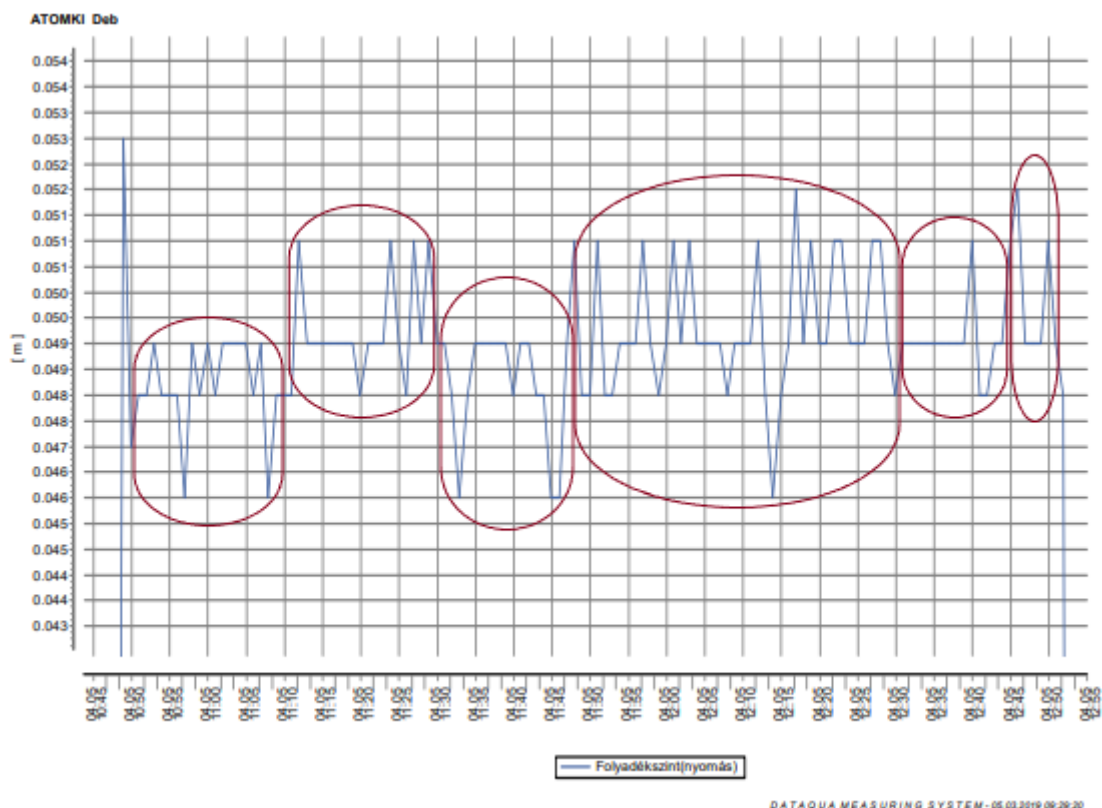
III. fázis: 11:30-tól 11:47-ig. Ebben a ciklusban az alacsonyabb értékek dominálnak. 0.046 a minimum, 0.049 a maximum. A 0.046-os értékre két alkalommal csökken le, illetve több percen keresztül 0.049 bar nyomást mutat. Itt tehát az alacsonyabb értékek dominálnak, több gáz érkezik.

IV. fázis: 11:47-től 12:30-ig - ez egy általánosan hosszabb ideig magasabb nyomást mutató ciklus, amelyet két részre oszt egy alacsony érték. Általában a minimum érték 0.048., míg a maximum érték 0.052 bar, de 12:14-kor egy 0.046-os alacsony értéket regisztrált a

műszer. Gyakoriak a magasabb értékek, vagyis általában kevesebb kísérőgáz érkezett ebben a ciklusban, amit egy erősebb, gázzal teli löket szakított meg.

V. fázis: 12:30-tól 12:44-ig tart. Ez egy rövidebb, főként alacsonyabb értékeket mutató ciklus. A minimum érték 0.048, a maximum érték 0.051. A maximum értéket csak egyszer éri el, azonban több percen keresztül, folyamatosan 0.049-es értéket mutat.

VI. fázis: 14:44-től 12:51-ig, amikor befejeztük a mérésünket és így a ciklus félbeszakadt, de az kivehető, hogy a magasabb értékek dominálnak (0.051, 0.052), a minimum értékét a ciklusnak (0.048) csak egyszer éri el.



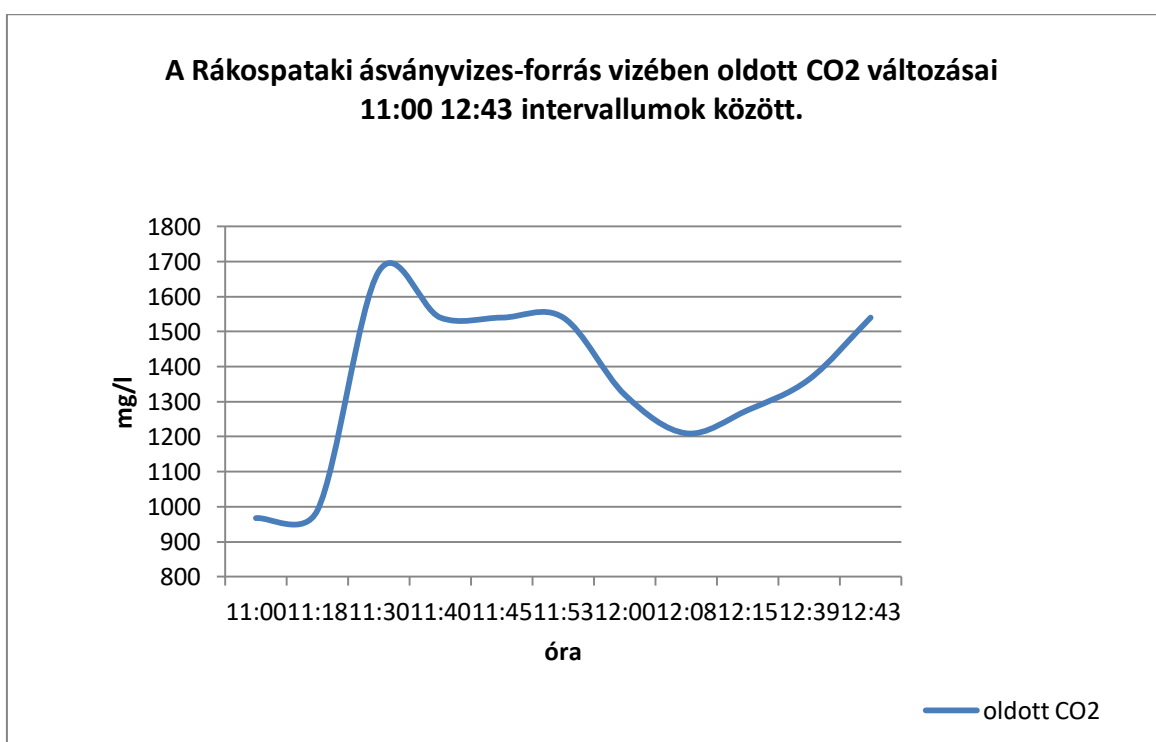
24. ábra: A Rákospataki ásványvíz-forrás folyadékszintjének (nyomás) változásai 10:51 és 12:56 intervallumok között (Dataqua DA-S-LTRB 118)(2019 áprilisa)

Összességében elmondható, hogy a két óra leforgása alatt hat fázist lehet elkülöníteni, amelyekben az alacsonyabb nyomások és magasabb nyomások sorozatosan váltják egymást. Kiemelkedő értékek a fázisokban nincsenek. A fázisok hossza három esetben megközelítőleg 20 perc volt, míg egy esetben egy hosszabb, közel 45 perces magasabb nyomásértékű fázist figyeltünk meg, amit egy rövidebb, közel 15 perces alacsonyabb nyomásértékű fázis követett. Az utolsó fázis időtartamát nem értelmezzük, mert nem volt teljes.

A két paraméter alakulását nézve azt a tételt emelnénk ki, hogy a nyomás hosszabb ideig tartó, magasabb értékeket mutató fázisára rátevődik a hőmérséklet szintjén történő kismértékű oszcillációs fázis, vagyis amikor a nyomás esetében egy változás áll be (hosszabb ideig tart

egy fázis), akkor a hőmérséklet esetében is változás áll be (oszillációk kezdődnek). A változás mértéke mindkét esetben kismértékű. Ennek tisztázására további méréssorozatok szükségesek.

A **oldott CO₂** a Rákospataki-fűrés esetében összhangban van a hidrosztatikai nyomással, miszerint a gáz oldott formában van jelen a csőben és nincs még kiválva a vízből, emiatt nagy a nyomása (25. ábra). A 11:18 és 11:30 időintervallum között hirtelen emelkedik az oldott szén-dioxid, megközelítőleg 700 mg/l-el nő a koncentrációja. Ezt az emelkedést a hidrosztatikai nyomás elemzéseiben is felfedezhetjük (II. fázis). 11:53-tól 12:08-ig a szén-dioxid koncentráció csökkenést mutat, úgy, ahogy a hidrosztatikai nyomás esetében (III. fázis).



25. ábra: A Rákospataki ásványvizes-forrás vizében oldott CO₂ változásai 11:00 12:43 intervallumok között.

8. Következtetések

Kutatásunk során két mesterségesen lemeltyített fűrészt és egy természetes forrást figyeltünk meg működési mechanizmusukra fektetve a hangsúlyt. Célunk az volt, hogy a hidegvízű gejzíryszerű jelenségekhez hasonló tulajdonságokat fedezzünk fel ezen hazai példák esetében is.

A Száldobosi Valálági-borvízen tett megfigyelések során a vízugrás magasságában, illetve a vízhozamban (kitörés/megállás) nem tapasztaltunk változást, vagyis valamilyen irányú történést. Megfigyeléseink két alkalommal, megközelítőleg 22-23 órán keresztül zajlottak. A kirulyfűrdői fűrásból 38 órán keresztül jön folyamatosan a víz (Czellecz et al., 2015), így megtörténhet, hogy a száldobosi példa esetében is az vízkitörés aktív periódusa hosszabb, a víz visszahúzódását a csőbe még nem sikerült megfigyelni.

A hidrosztatikai nyomás alakulása esetében nem találtunk egyértelmű trendet, kisebb oszcillációk alapján véltünk kisebb elmozdulásokat felfedezni. A kirulyi fűrás esetében a több órán keresztül tartó, nagyjából ugyanazon magasságú vízkitörést produkáló fázisban sem volt szembetűnő változás az egyes paraméterek terén (Czellecz et al., 2015). A száldobosi fűrás a hőmérséklet terén sem mutat nagyobb arányú változást $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál, ami kismértékűnek számít.

A száldobosi kút vizében mért CO_2 értékek esetében van értelmezhető változás. Mivel ehhez nem társul a hidrosztatikai nyomás látványosabb változása, ezért azt feltételezzük, hogy nem a kísérőgáz mennyiségében történik ezen megfigyelési időszak alatt változás, hanem csupán a víz oldott gáztartalma változik. Ez alapján felmerül a kérdés, hogy mindvégig ugyanazon réteg biztosítja-e a vízhozamot a fűrásnak.

A Gyergyóremetei-fűrás esetében még nem sikerült mért adatokat csatolni az aktív és inaktív fázisokhoz. Ennek egyik oka az, hogy ezek túl hamar követik egymást, a titrálós mérést pedig ilyen gyorsasággal nehéz elvégezni. A jövőben ezt a hiányosságot pótolni fogjuk a rendszer működésének jobb megértése érdekében.

A Rákospataki ásványvíz-forrás nagyban különbözik az előző két példától. Itt egy természetes forrásról beszélhetünk, amelyből nagymennyiségű gáz áramlik fel - többnyire CO_2 , de a forrás körüli lerakódások H_2S gáz jelenlétére is utalnak. A gázfeltörés felerősödése kis időközönként következik be, aminek eredménye a forrás vízszintjének a megemelkedése. A Rákospataki-forrás működésében több fázist is el tudunk különíteni, amely összhangban van a szén-dioxid és hidrosztatikai nyomás értékeinek alakulásával.

Összességében elmondhatjuk, hogy a Keleti-Kárpátok területe, a CO_2 és számos fűrás jelenlétének köszönhetően megadja a feltételeket a hidegvízű gejzírszerű jelenségek kialakulására. Jövőbeli céljaink között szerepel a most bemutatott esetek részletesebb, még mélyrehatóbb megfigyelése és a működésükről adatok összegyűjtése.

9. Köszönetnyilvánítás

Hálával tartozunk azoknak, akik türelmüket és idejüket nem sajnálva segítségükkel hozzájárultak a dolgozatunk megalkotásához, legelőször témavezetőnknek, Czellecz Boglárkának, és a Székelyföldi Ásványvíz Kataszter Munkacsoport jeles tagjainak: Szopos Noémi, Gombos László, akik a terepi felmérésben és az adatok feldolgozásában is szerepet vállaltak.

10. Irodalomjegyzék

- 1) Antolik K. (1890), *Az időszakos hidegvizű források utánzása*, Fizikai Kísérletek, Természettudományi Közlöny, XXII. évf. 128-130.
- 2) Assayag N., Bickle M.J., Kampman N., Becker J., (2009), *Carbon isotopic constraints on CO₂ degassing in cold-water Geysers, Green River, Utah*, Energy Procedia, 1., 2361–2366.
- 3) Baer, J.L. & Rigby J.K. (1978), *Geology of the Crystal Geyser and environmental implications of its effluent*, Grand County, Utah. Utah Geology, v.5, pp. 125-130.
- 4) Bányai J., (1936), *Természetes gázforrások*, Erdélyi Múzeum, Természettudományi Szakosztály közleményei, XII kötet, 4-9, Kolozsvár.
- 5) Bissig P., Goldscheider N., J. Mayoraz, H. Suerbeck, F.-D. Vuataz, (2006), *Carbogaseous spring waters, coldwater geysers and dry CO₂ exhalations in the tectonic window of the Lower Engadine Valley, Switzerland*, Eclogae geol. Helv. 99., 143–155.
- 6) Borovszky S., Szilkay J., (1896), Magyarország monographiája, Magyarország vármegyéi és városai, *Abauj Torna vármegye és Kassa,(Ránk Herlány)*, I. köt., 362-363.

- 7) Czellecz B.(2014): *Resursele de apă minerală de pe fațada vestică a Munților Harghita (sectorul sudic) și valorificarea acestora*, Teza de doctorat, Universitatea Babeș-Bolyai, Facultatea de Geografie, Cluj-Napoca.
- 8) Czellecz B., Pál Z.,Petrea D., Szász Á., Palcsu L.,(2014), Co₂-Driven Cold Water Geysering Well in Transylvania - Băile Chirui, *Studia UBB Geographia*, lx, 2, 2015, pp. 69-80.
- 9) Glannon J.A. & Pfaff R.M. (2004), *The Operation and Geography of Carbon Dioxide-Driven, Cold-Water "Geysers"*, The GOSA Transactions, v.IX, p.184-192.
- 10) Gouveia F.J. & Friedmann S.J. (2006), *Timing and prediction of CO₂ eruptions from Crystal Geyser, UT*, United States
- 11) Han, W. S., Watson, Z. T., Kampman, N., Grundl, T., Graham, J. P., & Keating, E. H. (2017). *Periodic changes in effluent chemistry at cold-water geyser: Crystal geyser in Utah*. *Journal of Hydrology*, 550, 54-64.
- 12) Kis B.M., Ionescu A., Cardellini C., Harangi Sz., Baciú C., Caracausi A., Viveiros F., (2017), *Quantification of carbon dioxide emissions of Ciomadul, the youngest volcano of the Carpathian-Pannonian Region (Eastern-Central Europe, Romania)*, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 341, 119–130.
- 13) Kis B.M., Baciú C., (2014), *The mineral waters from the eastern carpathians: a chemical review*, *Studia UBB Ambientum*, LIX, 1-2, pp. 71-80.
- 14) Kisgyörgy, Z., Kristó, A. (1978), *România ásványvizei*, Tudományos és Enciklopédiai Könyvkiadó, Bukarest
- 15) László, A. (1999): *Studiul geologic al structurilor vulcanice din partea sudică a masivului Harghita*, Teză de doctorat, Universitatea Babeș-Bolyai, Facultatea de Biologie și Geologie, Cluj-Napoca
- 16) Lucz I. (1884), *A Rank-Herlányi időszakos szökőkút tüneményeinek kísérleti előállítása*, *Természettudományi Közlöny*, XVI. évf. 377-389.

- 17) Noszky J. (1929), *A Rank-herlány álgejzir*, Földtani Közlöny, 59. köt., 56-59., Budapest.
- 18) Pazár I., (1930), *Időszaki források, álgejzerek*, Földtani közlöny LX. kötet, 1-12 füzet, Királyi Magyar Egyetemi Nyomda, Budapest.
- 19) Preda I., Țenu A., (1981), *Resurse de ape minerale și termale, note de curs și lucrări practice*, Univ. din București, Facultatea de Geologie-Geografie, Tipografia Universității din București, București.
- 20) Pricăjan A., Airinei Șt. (1979), *Ape minerale de consum alimentar din Romania*. Editura Științifică și Enciclopedică, București.
- 21) Pricăjan A., Airinei Șt., (1981), *Bogăția hidrotermală balneară din Romania*, Editura Științifică și Enciclopedică, București.
- 22) Rinehart, J.S. (1980). *Geysers and Geothermal Energy*. Springer-Verlag: New York, 223 pp.
- 23) Štrba L., 2014, *The Herlány geysir – a unique hydrogeological and geotouristic locality in Europe*, Geotourism 3–4 (38–39) 41–48.
- 24) Șt. Airinei, A. Pricăjan, (1975), *Some geological connections between the mineral carbonic and thermal waters and the post-volcanic manifestations correlated with the deep geological structure of the East Carpathians territory-Romania*, Institutului de Geologie și Geofizică, Studii Tehnice și Economice, Hidrologie, Seria E., Nr. 12.
- 25) Szász Á., 2005, *Erdővidék borvizei és fürdői*, VIII. Erdélyi Tudományos Diákköri Konferencia, Földrajz Szekció, Kolozsvár, 2005. december 10-11.
- 26) Watson Z.T. (2014), *An Analysis of CO₂-driven Cold-water Geysers in Green River, Utah and Chimayo, New Mexico*, Theses and Dissertations, University of Wisconsin-Milwaukee, 603 p.

- 27) X. Lu, A. Watson, A.V. Gorin, J. Deans (2005), *Measurements in a low temperature CO₂-driven geysering well, viewed in relation to natural geysers*, *Geothermics* 34, 389–410.
- 28) Yuan B., Tan Y.J., Mudunuru M.K., Marcillo O.E., Delorey A.A., Roberts P.M., Webster J.D., Gammans C.N.L., Karra S., Guthrie G.D., Johnson P.A., (2019), *Using Machine Learning to Discern Eruption in Noisy Environments: A Case Study Using CO₂-Driven Cold-Water Geyser in Chimayó, New Mexico*, *Seismological Research Letters* 90 (2A): 591-603.
- 29) Zsigmondy B. (1875), *A rank-herlányi ártézi szökőkút*, *Természettudományi Közlöny*. VII. köt., 75. f., 417-430.
- 30) ***, 2016, *L'or noir des Martres d'Artière*, Bulletin municipal, Les Martres d'Artière <http://cities.reseaudescommunes.fr/cities/522/documents/7q5sr63v96f7ohg.pdf>
- 31) internetes forrás1., <http://amesgeology.weebly.com/crystal-geyser.html>
- 32) internetes forrás2., <https://csmsgeologypost.blogspot.com/2012/04/travertine-at-utah-geysers.html>
- 33) internetes forrás3., <https://hagyatek.cholnoky.ro/tortenelmi-magyarorszagalbum/?wppa-occur=1&wppa-cover=0&wppa-album=18>
- 34) internetes forrás4., <https://www.geysir-andernach.de/?L=1>
- 35) internetes forrás5., <https://www.localist.co.nz/l/cxgxkv>
- 36) internetes forrás6., <https://www.youtube.com/watch?v=lSHqSnjyFl4>
- 37) internetesforrás7., http://www.wwf.ro/resurse/comunicate_de_presa/?uNewsID=33532