

Wyniki badań zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym w rejonie Muszyny, Beskid Sądecki

Krystian Kawa¹

Analysis of carbon dioxide concentrations in soil-air in Muszyna area, Beskid Sądecki. Prz. Geol., 63: 810–813.

Abstract. The researches made in September 2013 in 44 points allowed to perform the map of carbon dioxide concentration in soil-air of Muszyna region. It were made in order to estimate groundwater resources in Andrzejówka and Milik in OG Muszynianka. These measurements are upgrading analysis from 2004. WG-2M was used as a measuring instrument. Obtained values were included between 0 and 4.5% vol. There is clearly visible, that the anomaly areas laying accordingly to the faults and it is connected to subductive carbon dioxide. It allows to designate deposits of mineral water, confirm the tectonics and finally, chose the path of further rational management policy of mineral water.

Keywords: carbonated waters, carbon dioxide, soil-air, exhalations, Muszyna

Badania przeprowadzono w celu określenia anomalii dwutlenku węgla w powietrzu glebowym, w miejscowościach Andrzejówka i Milik, w granicach obszaru górniczego „Muszynianka” w Beskidzie Sądeckim (ryc. 1) oraz sporządzenia na ich podstawie mapy koncentracji stężenia tego gazu. Badania te wykonywano w ramach realizacji tematu pracy magisterskiej „Zmiana zawartości CO₂ w powietrzu glebowym w wyznaczonych rejonach na obszarze Andrzejówki”. Do pomiarów wykorzystano sprzęt, którym dysponował UZG Muszyna. Charakterystyczną cechą rejonu Muszyny jest współwystępowanie wód zwykłych oraz mineralnych i leczniczych, do których należą szczawy (o zawartości wolnego CO₂ powyżej 1000 mg/dm³) oraz wody kwasowęglowe (o zawartości wolnego CO₂ od 250 do 999 mg/dm³).

Rozkwit Muszyny pod koniec XX w. był związany z dynamicznym rozwojem przemysłu rozlewniczego. Stale rosnące zapotrzebowanie na wody mineralne i lecznicze zmusza do poszukiwania nowych obszarów do lokalizacji ujęć tych wód. Jedną z wykorzystywanych metod jest wykonanie zdjęcia gazowego dwutlenku węgla w powietrzu glebowym. Badanie to jest pomocne do wytypowania potencjalnych rejonów występowania szczaw i wód kwasowęglowych. Podwyższone zawartości CO₂ w powietrzu glebowym mogą sugerować jego obecność również w wodach podziemnych. Udokumentowane powierzchniowe ekshalacje CO₂ są związane z występowaniem dyslokacji tektonicznych na tym terenie (Ciężkowski, 2002).

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ I WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

Muszyna znajduje się w zewnętrznych Karpatach fliszowych w obrębie południowo-wschodniej części płaszczowiny magurskiej, w krynickiej strefie tektoniczno-facjalnej. Odślawiają się tu eoceńskie warstwy magurskie, do których zalicza się piaskowce z Piwnicznej, łupki z Hanuszowa oraz piaskowce magurskie (popradzkie) (Birkenmajer & Oszczytko, 1989; Chrzastowski i in., 1993).



Ryc. 1. Lokalizacja terenu badań na tle powiatu nowosądeckiego
Fig. 1. Location of study area on the background of nowosądeckie district

Muszyna leży po zachodniej stronie dyslokacji krynickiej o przebiegu SE–NW. Ponadto na tym obszarze występuje szereg mniejszych dyslokacji poprzecznych. Na terenie badań występują dwa uskoki – Andrzejówka–Roztoka Wielka i Milik–Szczawnik, który jednocześnie ogranicza zasięg łupków z Hanuszowa od strony południowo-wschodniej (Chrzastowski i in., 1993).

Ze względu na znaczne skomplikowanie budowy geologicznej Karpaty są uznawane za obszar o złożonych warunkach hydrogeologicznych. Szczególny wpływ na występowanie i przepływ wód mają procesy tektoniczne. W rejonie Andrzejówka–Milik stwierdzono dwa piętra wodonośne – paleogeńskie oraz czwartorzędowe. Wody mineralne i lecznicze typu szczawy występują w poziomie wodonośnym starszym, w paleogeńskich utworach fliszowych. Obszar badań jest zbudowany z piaskowców z Piwnicznej

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; kawa@agh.edu.pl.

o charakterze szczelinowo-porowym. Czwartorzędowy użytkowy poziom wodonośny występuje w dolinie potoku Andrzejówka. Tworzą go otoczaki, żwiru i piaski rzeczne z domieszką glin tarasów erozyjno-akumulacyjnych plejstocenijskich oraz tarasów nadzalewowych holoceńskich. Wkładki glin i ilów pojawiają się jedynie lokalnie i nie tworzą ciągłej warstwy izolującej. W obydwu poziomach wodonośnych zasilanie odbywa się głównie na drodze infiltracji opadów atmosferycznych bezpośrednio na wychodniach (Porwisz i in., 1997).

Zgodnie z podziałem przyjętym przez Paczyńskiego i Płochniewskiego (1996) rejon Muszyny należy do hydrogeologicznej prowincji karpackiej, regionu Karpat zewnętrznych, subregionu popradzkiego (DIII). Wyjątkowo „kwaśny” charakter występujących tu wód mineralnych jest związany z ich intensywnym wzbogacaniem w dwutlenek węgla.

DWUTLENEK WĘGLA

Dwutlenek węgla to bezbarwny gaz, prawie bezwonny o lekko kwaskowatym i orzeźwiającym smaku. Nie jest gazem trującym, ale może spowodować uduszenie w przypadku wysokich stężeń. Jego zawartość w powietrzu atmosferycznym przy powierzchni Ziemi wynosi ok. 0,037% obj. Stężenie dwutlenku węgla w powietrzu glebowym osiąga podobne wartości, co jest związane z ciągłym wyrównywaniem stężeń gazów między atmosferą a gruntem. Jego stężenie w wodach podziemnych i w powietrzu glebowym w przypowierzchniowych warstwach skał zależy od ilości utworzonej w miejscu jego powstawania oraz warunków panujących na drodze jego migracji. Doprowadzenie dodatkowego wglębnego dwutlenku węgla powoduje wzrost jego koncentracji w powietrzu glebowym. Dwutlenek węgla może występować w różnych postaciach i formach, a jego stan skupienia determinują temperatura i ciśnienie. Jest gazem dobrze rozpuszczalnym w wodzie, powszechnie obecnym w wodach podziemnych (Ciężkowski, 2002; Rajchel, 2012).

Proces migracji dwutlenku węgla z podłoża Karpat do płytszych warstw geologicznych, a dalej do wód podziemnych i do gleby, jest skomplikowany. Geneza występowania dwutlenku węgla w Karpatach fliszowych nie jest do końca wyjaśniona. Jako źródło pierwotnego pochodzenia zakłada się strefę subdukcji, gdzie w wysokiej temperaturze następuje przetopienie i przeobrażenie skał różnego typu, co skutkuje uwalnianiem się tego gazu (Rajchel, 2013).

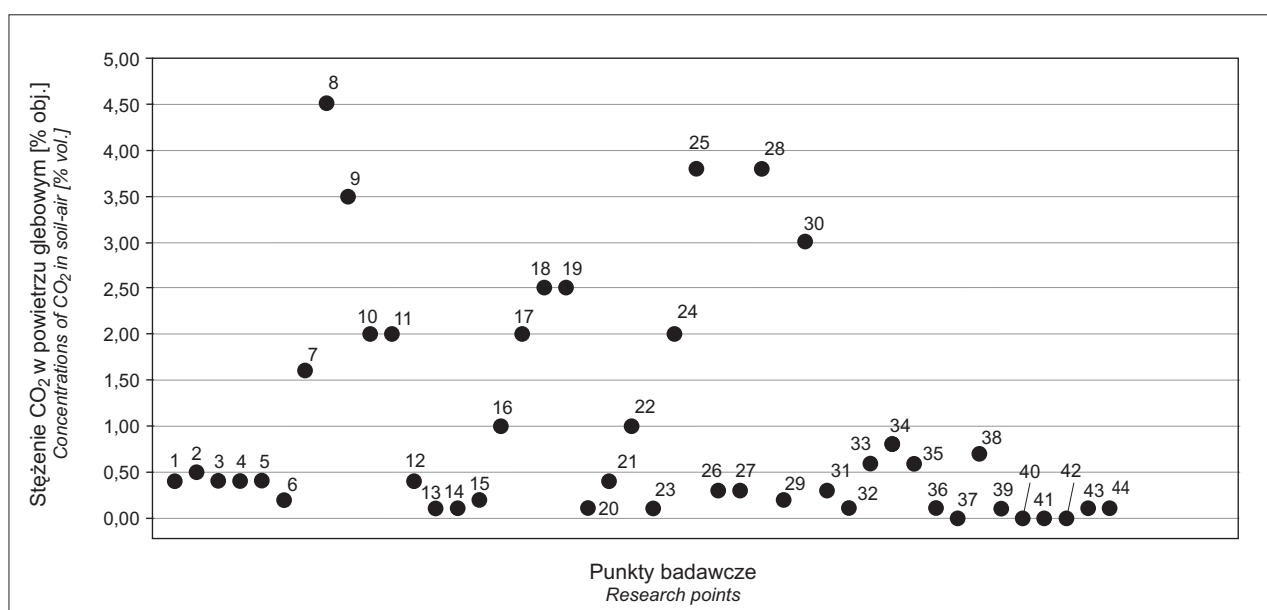
Zasięg ekshalacji CO₂ w Karpatach polskich wyznaczają granice występowania szczaw. W rejon doliny Popradu dwutlenek węgla dostają się poprzez system mniejszych nieciągłości tektonicznych. Z dużym prawdopodobieństwem można uznać, że gaz ten występujący w Andrzejówce jest związany z uskokiem Andrzejówka–Roztoka Wielka, natomiast w Miliku – z uskokiem Milik–Szczawnik. Przemieszczający się ku powierzchni dwutlenek węgla nie tylko nasyca wody podziemne, lecz jego nadmiar uwalnia się do atmosfery (mofeta w Złockiem), tworząc anomalie stężeń tego gazu w powietrzu glebowym (Porwisz i in., 1997; Rajchel, 2012).

METODA POMIAROWA

Pomiary dwutlenku węgla w powietrzu glebowym w Andrzejówce i Miliku wykonano we wrześniu 2013 r. Punkty badawcze wyznaczono wzdłuż potoków, dróg i przecinek leśnych, w rejonie ujęć wód mineralnych oraz w przypuszczalnych strefach uskokowych.

Za pomocą stalowego pręta wykonywano otwór o średnicy 4 cm, a stężenie gazu mierzono na głębokości od 0,8 do 1 m. Urządzenie pomiarowe stanowił wykrywacz gazów WG-2M, który składa się z pompki harmonijkowej, gumowego węża o długości 1,5 m oraz wykrywaczy wskaźnikowych FASER.

Do rurki wskaźnikowej z jednej strony przymocowano pompkę harmonijkową, natomiast z drugiej – gumowy wąż, którego końcówkę umieszczono na dnie otworu. Pomiar odbył się przez zassanie powietrza i odczyt zawartości dwutlenku węgla na skali rurki. Według Instrukcji



Ryc. 2. Stężenie dwutlenku węgla w powietrzu glebowym w poszczególnych punktach badawczych
Fig. 2. Carbon dioxide concentration in soil-air in individual points

Użytkowania IU-80/1, wykrywacze te umożliwiają oznaczenie zawartości CO₂ w powietrzu w przedziale 0–18% obj. Powyższy sposób pomiaru jest łatwy w wykonaniu i daje wystarczająco dokładne wyniki, ponieważ uwzględnia naturalną zmienność zawartości gazu w powietrzu glebowym (Ciężkowski, 2002).

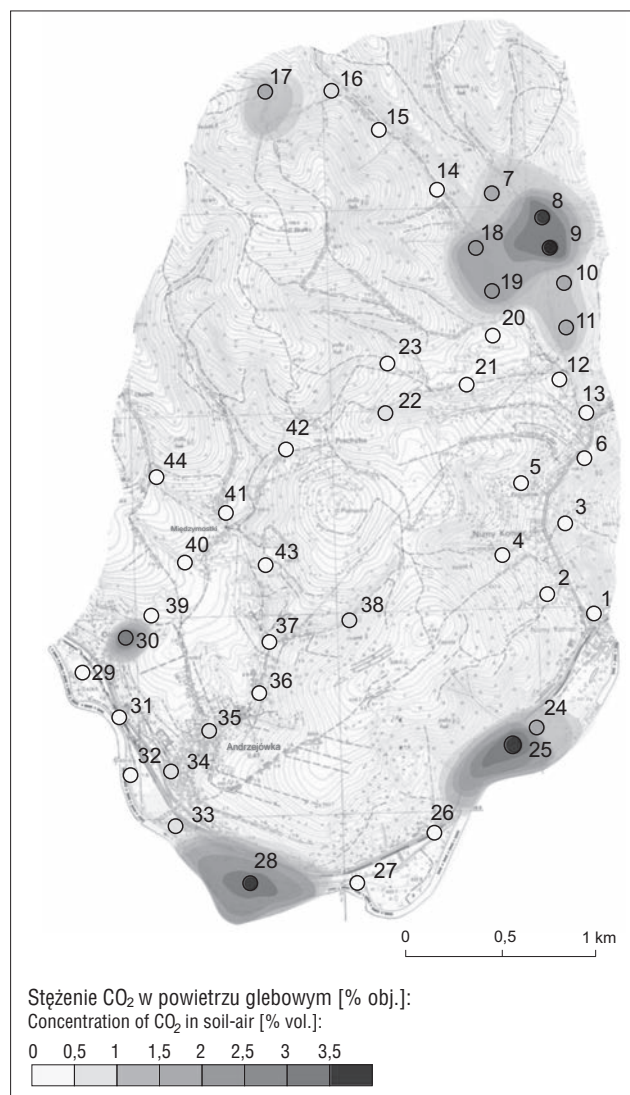
Prace badawcze wykonywano w krótkim czasie w zblizonych warunkach atmosferycznych. Badania prowadzono przy słonecznej, bezdeszczowej pogodzie, co jest istotne, ponieważ w trakcie opadów (i tuż po nich) w przestrzeniach porowych gleby jest możliwa obecność większej niż zazwyczaj ilości wody, utrudniającej swobodny przepływ gazu.

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

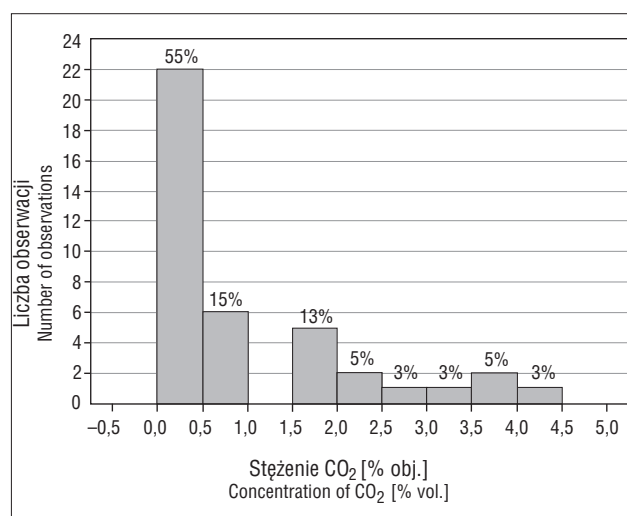
Do badań wytypowano 44 punkty (ryc. 2) w Miliku i Andrzejówce. Zbiorczą mapę stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym przedstawiono na rycinie 3. W ramach opisu statystycznego skonstruowano histogram empiryczny (ryc. 4) i obliczono podstawowe miary statystyczne w programie Statistical10. Z analizy statystycznej wyłączono pomiary, w których nie stwierdzono obecności dwutlenku węgla, w celu uniknięcia niewiarygodnych wyników opisu statystycznego. Są to pomiary w punktach nr 37, 41, 42 i 43, zlokalizowane w Andrzejówce, w pobliżu przysiółka Międzymostki. Średnia koncentracja dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na całym obszarze badań wynosi 1,08% obj., przy odchyleniu standardowym równym 1,25% obj. Ze względu na duży zakres zmienności stężenia CO₂ uznano za celowe użycie w tym przypadku mediany. W porównaniu do średniej arytmetycznej, parametr ten jest mniej wrażliwy na zaburzenie wyniku spowodowane wartościami odstającymi. Mediana stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze badań wynosi 0,4% obj.

Wyniki badań podzielono na 9 klas, o rozpiętości 0,5% obj. każda. Ponad połowę obserwacji (55%) skupia przedział zawierający wartości najniższe – poniżej 0,5% obj. Podczas analizy danych można zauważyć, że otrzymane wyniki cechują się bardzo dużą zmiennością, o czym świadczy współczynnik zmienności równy 115,16%. Dodatkowym potwierdzeniem niejednorodności otrzymanych wyników jest jego dodatnia (prawostronna) asymetria rozkładu oraz wielomodalność (trójmodalność) empirycznego rozkładu dwutlenku węgla w powietrzu glebowym. W związku z tym, w celu dokładniejszej interpretacji wyników, punkty pomiarowe zaklasyfikowano do trzech grup. Pierwszą grupę stanowią klasy o zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym poniżej 1% obj. Należy do niej aż 28 wyników badań (70%). Wartości te można uznać za tło (Radwan i in., 2000; Ciężkowski, 2002). Występują one na całym obszarze badań. Druga grupa to 8 punktów badawczych (21%) o podwyższonym stężeniu dwutlenku węgla w powietrzu glebowym (1,5–3,0% obj). W trzeciej grupie znalazły się wartości anomalne przekraczające 3% obj., stwierdzone badaniami w 4 punktach (punkty nr 8, 9, 25 i 28).

W trakcie analizy danych pod kątem zmienności przestrzennej można stwierdzić, że zmiana stężeń następuje nieregularnie. Litologia podłoża i niewielkie różnice głębokości otworów pomiarowych (± 10 cm) nie mają wpływu na otrzymane wyniki. Nie zanotowano również wpływu temperatury na wynik pomiaru, a obserwowane zmiany



Ryc. 3. Mapa rozkładu stężeń dwutlenku węgla w powietrzu glebowym w rejonie Muszyny na tle mapy topograficznej
Fig. 3. Map of the resolution of carbon dioxide concentrations in soil-air in the Muszyna area on the topographic map



Ryc. 4. Histogram rozkładu stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym
Fig. 4. Histogram of carbon dioxide concentration in soil-air

temperatury powietrza (wahania w zakresie 4,4–23,3°C) były głównie związane z lokalizacją punktów pomiarowych na obszarze o zmiennej morfologii i nierównomiernym nasłonecznieniu. Uwagę zwraca korelacja związana z rejonem występowania tektoniki nieciągłej i stwierdzoną badaniami podwyższoną zawartością dwutlenku węgla w powietrzu glebowym, co dowodzi, że gaz ten krąży strefami nieciągłości tektonicznych, na co zwracali uwagę badacze karpaccich wód mineralnych (Świdziński, 1972; Węclawik, 1979; Ciężkowski, 2002; Rajchel, 2012).

Na podstawie analizy wyników badań wyznaczono dwa obszary, w których stężenie CO₂ w powietrzu glebowym jest podwyższone. Jednym z nich jest rejon pierwszego tarasu Popradu, między rzeką a linią kolejową Krynica-Zdrój-Kraków, w pobliżu ujęć eksploatujących wody typu szczawy. W dwóch punktach pomiarowych stwierdzono tam jedne z większych stężeń tego gazu, wynoszące 3,8% obj. Drugim obszarem, gdzie stężenie CO₂ osiąga zdecydowanie najwyższe wartości, są okolice potoku Miliczki, który jest lewobrzeżnym dopływem potoku Milik. Jest to rejon, gdzie odległość między dwoma uskokami – Andrzejówka-Roztoka Wielka i Milik–Szczawnik jest najmniejsza. Zlokalizowany jest tam punkt badawczy nr 8 o najwyższym zarejestrowanym stężeniu dwutlenku węgla – 4,5% obj. Prawdopodobnie znajduje się tutaj szereg mniejszych uskoków, które są drogami krążenia zarówno wód, jak i nasycającego je CO₂. Potwierdzeniem tego jest obecność źródła Kazimierz, udostępniającego szczawę o zawartości 1,9 g/dm³ wolnego CO₂. Wymienione rejon wytypowano jako najbardziej perspektywiczne z punktu widzenia występowania i przyszłego ujmowania wód mineralnych typu szczawy. Ma to również znaczenie dla strategii rozwoju Spółdzielni Pracy Muszynianka, która właśnie w tych rejonach wyznaczyła nowe otwory eksploatacyjne.

Na terenie Andrzejówki nigdy wcześniej nie przeprowadzono pomiaru stężenia tego gazu w powietrzu glebowym. W przypadku Milika takie pomiary wykonano w 2003 r. w 43 punktach opróbowań. W porównaniu do obecnych pomiarów stężenie na całym obszarze było wówczas niższe (średnia równa 0,77% obj., mediana – 0,5% obj.), ale bardziej wyrównane (odchylenie standardowe – 0,8% obj.). Zanotowano tylko jedną wartość anomalną o stężeniu 4,1% obj. oraz dwie podwyższone o stężeniach 2,1 i 2,7% obj. Różnice stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym w czasie mogą być związane z naturalnymi zmianami dróg migracji tego gazu, na co ma wpływ zamykanie i powstawanie nowych szczelin w ośrodku skalnym.

WNIOSKI

Pomiary zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym pozwoliły na wykonanie mapy rozkładu jego stężenia w rejonie Muszyny. Na podstawie otrzymanych wyników badań wyznaczono dwa obszary charakteryzujące się obecnością anomalnie wysokich stężeń CO₂. Jeden z nich to rejon pierwszego tarasu Popradu, gdzie odległość od strefy zasilania, za którą można uznać uskoki popradzki,

jest najmniejsza. Drugi obszar to okolice potoku Miliczki w pobliżu źródła Kazimierz. Zaobserwowana tam wysoka anomalia może być wywołana bliskością obecnością uskoku Andrzejówka–Roztoka Wielka i Milik–Szczawnik. Przypuszczalnie w tym rejonie występuje uskoki podłużny lub strefa silnych spekań ułatwiających migrację dwutlenku węgla. Z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, że stężenie gazu będzie maleć ku północy z powodu wygaszania głębokich nieciągłości.

Jako wartości tła w analizowanym rejonie przyjęto aż 70% wyników pomiarów, które nie wykazały podwyższonych stężeń CO₂. Bardzo duża zmienność stężenia tego gazu jest związana z zaburzeniami wywołanymi przez zamykanie szczelin lub zbyt małe szczeliny, co podobnie jak występowanie nieprzepuszczalnego podłoża utrudnia swobodną migrację dwutlenku węgla.

Określenie stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym pomoże wskazać miejsca o podwyższonym stężeniu tego gazu także w wodach podziemnych. W konsekwencji może to wpłynąć na wybór lokalizacji nowych ujęć i zagospodarowanie występujących tam cennych złóż wód mineralnych i leczniczych.

Autor pragnie serdecznie podziękować dr hab. inż. Lucynie Rajchel za pomoc merytoryczną i cenne uwagi oraz anonimowym recenzentom za sugestie i wskazówki. Wyrazy wdzięczności składam także zespołowi Spółdzielni Pracy Muszynianka, a w szczególności mgr. inż. Bogusławowi Porwiszowi i mgr. inż. Wacławowi Szarkowi za życzliwe przyjęcie, pomoc w przygotowaniu do realizacji badań i nadzór nad zadaniem geologicznym, a także mgr. inż. Dominikowi Orubie i Józefowi Sokołowskiemu za wspólne przeprowadzenie pomiarów terenowych.

LITERATURA

- BIRKENMAJER K. & OSZCZYPKO N. 1989 – Cretaceous and Paleogene lithostratigraphic units of the Magura Nappe, Krynica subunit, Carpathians. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 59 (1/2): 145–181.
- CHRZAŚTOWSKI J., NESCIERUK P. & WÓJCIK A. 1993 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Muszyna (1052) wraz z objaśnieniami. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- CIĘŻKOWSKI W. (RED) 2002 – Występowanie, dokumentowanie i eksploatacja endogenicznego dwutlenku węgla w Polsce. Poradnik metodyczny. Wrocławskie Towarzystwo Naukowe, Wrocław, s. 221.
- PACZYŃSKI B. & PŁOCHNIEWSKI Z. 1996 – Wody mineralne i lecznicze Polski. Państw. Inst. Geol., Warszawa, s.108.
- PORWISZ B., MĄDRY J., OPERACZ T. & CHOWANIEC J. (RED.) 1997 – Mapa Hydrogeologiczna Polski 1 : 50 000, ark. Muszyna (1052) wraz z objaśnieniami. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- RADWAN J., PORWISZ B., ZUBER A., KOWALSKI J. & SZAREK W. 2000 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów eksploatacyjnych wód leczniczych i wód o właściwościach leczniczych z utworów trzeciorzędowych ujęć eksploatacyjnych przez ZEWN „Muszynianka” wraz z obszarami zasilania i oceną zasobów wód podziemnych rejonu Muszyna–Milik. ZUC s.c., Kraków.
- RAJCHEL L. 2012 – Szczawy i wody kwasowęglowe Karpat polskich. Wyd. Nauk.-Dydakt. AGH, Kraków, s. 194.
- RAJCHEL L. 2013 – Występowanie, chemizm oraz geneza szczaw i wód kwasowęglowych Karpat polskich. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 456: 501–506.
- ŚWIDZIŃSKI H. 1972 – Geologia i wody mineralne Krynicy. *Pr. Geol. PAN*, 70: 11–105.
- WĘCLAWIK S. 1979 – Szczawy płaszczowiny magurskiej Karpat polskich. *Wszechświat*, 7/8: 2187–2188.