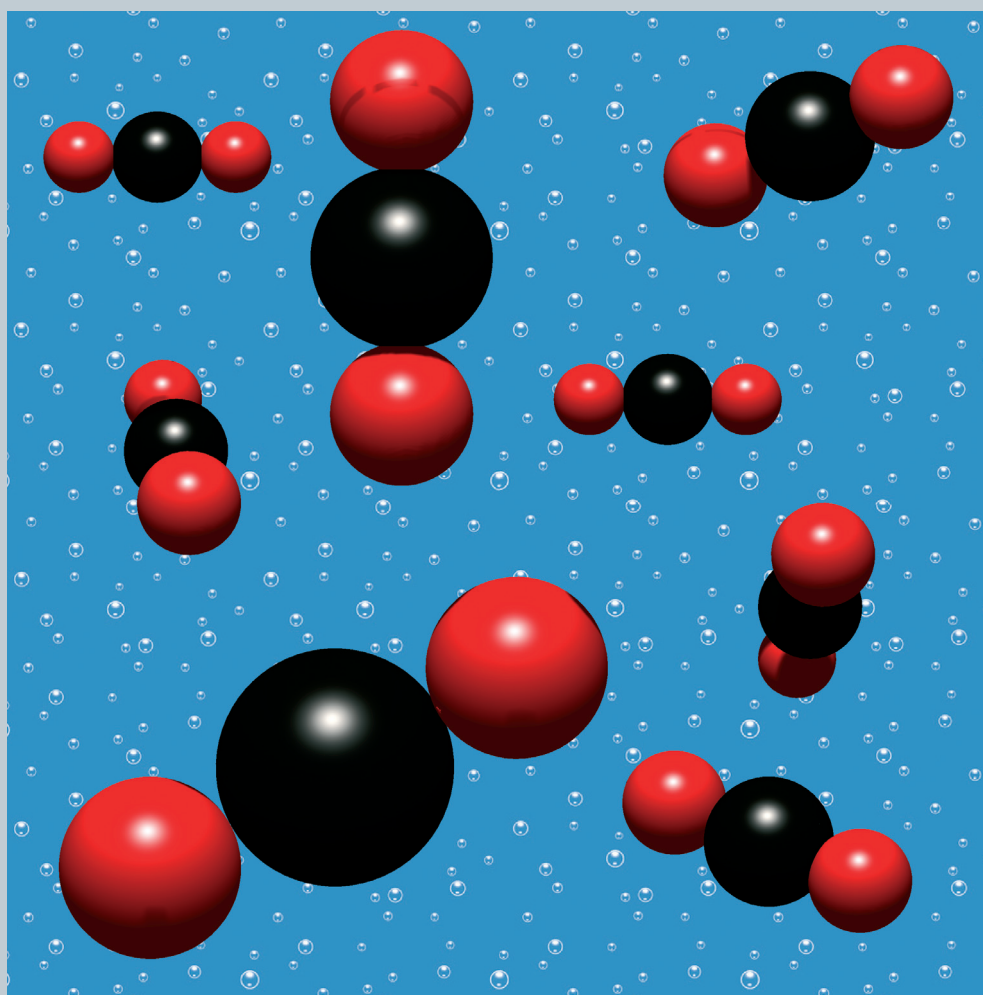


# OKREŚLENIE ZAWARTOŚCI DWUTLENKU WĘGLA W POWIETRZU GLEBOWYM W SUDETACH W REJONACH WYSTĘPOWANIA SZCZAW

Stanisław Żak, Tadeusz A. Przylibski, Wojciech Ciężkowski



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej

# **Określenie zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym w Sudetach w rejonach występowania szczaw**



Ministerstwo Środowiska



Wykonano na zamówienie Ministra Środowiska  
za środki finansowe wypłacone przez  
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej



**Stanisław Żak, Tadeusz A. Przylibski,  
Wojciech Ciężkowski**

**Określenie zawartości  
dwutlenku węgla  
w powietrzu glebowym w Sudetach  
w rejonach występowania szczaw**



Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej  
Wrocław 2008

Recenzent  
Jan DOWGIAŁŁO

Opracowanie redakcyjne i korekta  
Hanna JUREK

Projekt okładki  
Stanisław ŻAK

Opracowanie map  
Stanisław ŻAK

Książka zawiera płytę CD

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część niniejszej książki, zarówno w całości, jak i we fragmentach, nie może być reprodukowana w sposób elektroniczny, fotograficzny i inny bez zgody właściciela praw autorskich.

© Copyright by Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2008

OFICyna WYDAWNICZA POLITECHNIKI WROCLAWSKIEJ  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław  
<http://www.oficyna.pwr.wroc.pl>  
e-mail: [oficwyd@pwr.wroc.pl](mailto:oficwyd@pwr.wroc.pl)

ISBN 978-83-7493-377-3

Drukarnia Oficyny Wydawniczej Politechniki Wrocławskiej. Zam. nr 314/2008.

## Spis treści

I.	Wstęp .....	7
II.	Dotychczasowe badania strumienia i zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym w Sudetach .....	10
III.	Metodyka badań i sposób opracowania wyników .....	13
III.1.	Lokalizacja punktów pomiarowych .....	13
III.2.	Badania stężenia CO <sub>2</sub> w powietrzu glebowym .....	14
III.2.1.	Podstawowa siatka punktów pomiarowych i punkty dodatkowe .....	14
III.2.2.	Punkty kontrolne .....	15
III.3.	Badania adwekcyjno-dyfuzyjnego strumienia CO <sub>2</sub> .....	16
III.4.	Mapy .....	18
III.4.1.	Mapy stężenia CO <sub>2</sub> w powietrzu glebowym .....	18
III.4.2.	Mapy strumienia CO <sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery .....	18
III.5.	Obliczenia statystyczne .....	19
IV.	Wyniki badań w poszczególnych rejonach występowania szczaw .....	20
IV.1.	Czerniawa Zdrój .....	20
IV.2.	Świeradów Zdrój .....	23
IV.3.	Stare Rochowice .....	26
IV.4.	Szczawno Zdrój .....	29
IV.5.	Jedlina Zdrój .....	33
IV.6.	Kudowa Zdrój .....	36
IV.7.	Jeleniów .....	40
IV.8.	Duszniki Zdrój i Bobrowniki Stare .....	43
IV.9.	Polanica Zdrój .....	47
IV.10.	Stary Wielisław Dolny .....	51
IV.11.	Gorzanów .....	53
IV.12.	Szczawina i Nowa Łomnica .....	57
IV.13.	Nowa Bystrzyca .....	60
IV.14.	Długopole Zdrój .....	62
IV.15.	Stare Bogaczowice .....	66
V.	Podsumowanie .....	70
V.1.	Stężenie CO <sub>2</sub> w powietrzu glebowym .....	71
V.2.	Strumień CO <sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery .....	73
V.3.	Wyniki badań w odniesieniu do budowy geologicznej Sudetów .....	74
V.4.	Wpływ eksploatacji szczaw na ich zasoby .....	77
V.5.	Zagrożenie dwutlenkiem węgla .....	79
	Spis literatury i wykorzystywanych materiałów archiwalnych .....	80
	Spis załączników .....	87



## Wstęp

Badania stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym i jego strumienia z powierzchni terenu do atmosfery mają istotne znaczenie z dwóch powodów. Jeden z nich związany jest z racjonalną eksploatacją szczaw<sup>1</sup>, a drugi z ewentualnym zagrożeniem, jakie może stanowić ten gaz dla ludzi.

Racjonalna eksploatacja szczaw wiąże się z ochroną ich jakości i zasobów. Zasoby szczaw są bezpośrednio związane z obecnością w wodach podziemnych dwutlenku węgla. Jest to dwutlenek węgla pochodzenia endogenicznego, który powstał w głębi litosfery i migruje ku powierzchni Ziemi. Panuje przekonanie, że eksploatacja szczaw nie powoduje zmniejszenia ich zasobów. Oznacza to, że eksploatacja nie wpływa również na zmianę ilości zawartego w górotworze endogenicznego CO<sub>2</sub>. O takim przekonaniu świadczy brak działań mających na celu kontrolę wydostającego się z litosfery dwutlenku węgla. Wyraża się to między innymi praktykowanym sposobem ustalania zasobów szczaw<sup>2</sup> oraz brakiem pomiarów ilości wydzielającego się CO<sub>2</sub> w większości ujęć tych wód.

Tymczasem bardzo prawdopodobna jest sytuacja, w której eksploatacja szczaw może prowadzić do zmniejszania ich zasobów. Można to zweryfikować, prowadząc w odpowiednio długim okresie, obserwacje ilości wydobytego w ujęciach dwutlenku węgla, przypadającej na jednostkę objętości wydobytej wody. Innym sposobem może być okresowe określanie całkowitej ilości endogenicznego CO<sub>2</sub>, który wydostaje się w jednostce czasu z litosfery. Zarówno w pierwszym, jak i w drugim przypadku wyraźne obniżanie się ilości wypływu CO<sub>2</sub> z czasem będzie świadczyło o istotnym szczypaniu zasobów szczaw. Określenie całkowitej ilości dwutlenku węgla wypływającego z litosfery powinno być również niezbędne do oszacowania maksymalnej, sumarycznej wielkości eksploatacji szczaw przez wszystkie ujęcia w danym rejonie (określenie zasobów dyspozycyjnych). Nie powinno się bowiem doprowa-

---

<sup>1</sup> Szczawami zostały nazwane wody podziemne, które zawierają co najmniej 1000 mg wolnego dwutlenku węgla w jednym dm<sup>3</sup> wody. Na mocy rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 14 lutego 2006 r. w sprawie złóż wód podziemnych zaliczonych do solanek, wód leczniczych i termalnych oraz złóż innych kopaliny leczniczych, a także zaliczenia kopaliny pospolitych z określonych złóż lub jednostek geologicznych do kopaliny podstawowych (Dz. U., Nr 32, Poz. 220, Dz. U., Nr 246, poz. 1790) wszystkie szczawy zostały uznane za wody lecznicze.

<sup>2</sup> Całość zagadnień związanych z występowaniem, dokumentowaniem i eksploatacją endogenicznego dwutlenku węgla w Polsce przedstawiona została w pracy Ciężkowskiego i współautorów (2002).



dzać do sytuacji, w której ilość wydostającego się CO<sub>2</sub> w wyniku eksploatacji szczaw znacznie przekracza ilość tego gazu, która w sposób naturalny wydostawała się do atmosfery w okresie zanim powstały ujęcia tych wód.

Na całkowitą ilość wydostającego się CO<sub>2</sub> z litosfery składają się:

- adwekcyjno-dyfuzyjny przepływ gazowego CO<sub>2</sub> przez powierzchnię terenu,
- wypływ dwutlenku węgla na powierzchnię terenu razem z wodami podziemnymi w postaci gazowej i rozpuszczonej (źródła, dopływy wód podziemnych do zbiorników i cieków powierzchniowych, wypływy z odwiertów).

Niniejsza książka stanowi pierwszą pracę poświęconą głównie pierwszemu z wymienionych zagadnień – regionalnej ocenie przepływu gazowego CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery w rejonach występowania szczaw w Sudetach. Obejmuje ona badania adwekcyjno-dyfuzyjnego i adwekcyjnego strumienia masy. Ich przeprowadzenie stanowiło do tej pory największy problem w ocenie całkowitej ilości wydobywającego się w jednostce czasu endogenicznego CO<sub>2</sub>. Należy też zaznaczyć, że obecnie są już techniczne możliwości określenia wypływu CO<sub>2</sub> razem z wodami podziemnymi i należy sądzić, iż w najbliższej przyszłości będą podjęte uzupełniające badania w tym zakresie.

Dwutlenek węgla jest cięższy od powietrza, dlatego też migracja tego gazu w kierunku powierzchni Ziemi może prowadzić do jego gromadzenia się w obiektach zagłębionych pod powierzchnią terenu, takich jak piwnice, garaże, wykopy ziemne itp. Na możliwość gromadzenia się gazu wskazują dwa podstawowe czynniki – stężenie gazu w powietrzu glebowym oraz wielkość strumienia gazu. Nagromadzenie się CO<sub>2</sub> stwarza zagrożenie dla zdrowia, a nawet życia ludzi. W związku z tym na obszarach o dużych zawartościach dwutlenku węgla w powietrzu glebowym, zwłaszcza jeżeli jednocześnie powiązane są one obszarowo z rejonami występowania zwiększonego strumienia CO<sub>2</sub>, powinny obowiązywać zaostrzone rygory związane z budową i korzystaniem z obiektów i instalacji podziemnych, a także wykonywaniem wszelkiego rodzaju prac poniżej powierzchni terenu.

Zasadniczym celem niniejszej pracy jest określenie zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym oraz adwekcyjno-dyfuzyjnego strumienia tego gazu w rejonach występowania szczaw w Sudetach i przedstawienie otrzymanych wyników na mapach topograficznych i geologicznych w skali 1:10 000. Opracowanie może być wykorzystywane w działalności uzdrowiskowych zakładów górniczych, organów koncesyjnych, organów nadzoru górniczego. Będzie ono również przydatne dla jednostek administracyjnych w planowaniu przestrzennym oraz podczas wydawania decyzji dotyczących lokalizacji budynków, realizacji wykopów, budowli i instalacji podziemnych, a także wykonywania wszelkich prac związanych z przebywaniem osób poniżej powierzchni terenu.

Praca została wykonana w Instytucie Górnictwa Politechniki Wrocławskiej w latach 2006 i 2007 na zlecenie Departamentu Geologii i Koncesji Geologicznych Ministerstwa Środowiska. Była finansowana przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Jej realizacja jest wynikiem ogłoszonego przez Ministerstwo Środowiska przetargu nieograniczonego na wykonanie pracy geologicznej pt. *Określenie zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym w rejonach występowania szczaw w Sudetach*. Przedstawiona przez

Politechnikę Wrocławską oferta rozszerzała zakres prac o badania strumienia CO<sub>2</sub>. Przyjęty przez Komisję Dokumentacji Hydrogeologicznych program obejmował rejony istniejących obecnie szczaw i uwzględniał wykonanie badań stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym i jego strumienia z powierzchni terenu do atmosfery. Badaniami nie objęto obszarów, w których całkowicie zanikły źródła szczaw oraz obszarów wzdłuż regionalnych uskoków i dyslokacji, które mogą być naturalnymi drogami migracji dwutlenku węgla z głębi Ziemi. Pozostał też pierwotny – zgodny ze zleceniem – tytuł opracowania, który nie uwzględnia wyników badań strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery.

Należy również zaznaczyć, że w trakcie realizacji prac zasadniczo rozszerzono ich zakres w porównaniu z oczekiwaniami Ministerstwa Środowiska. Liczbę oznaczeń strumienia dwutlenku węgla zwiększono prawie dwukrotnie i zamiast pojedynczych pomiarów stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym wykonano w każdym punkcie pomiarowym oznaczenia tego gazu na kilku głębokościach. Wyniki prac przedstawiono na mapach. Oprócz wymaganych map wynikowych na podkładach topograficznych, opracowane wyniki przedstawiono także na mapach geologicznych. Koszty związane z dodatkowymi pracami ponieśli Wykonawcy.

Autorzy opracowania pragną podziękować Markowi Misztalowi i Mariuszowi Kaźmierczakowi za ogromny wkład własny w realizację prac terenowych oraz Piotrowi Mazurkowi za przeprowadzenie badań stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym w punktach kontrolnych. Podziękowania składają autorzy również recenzentowi – Profesorowi Janowi Dowgialle za wnikliwe uwagi, które wykorzystane zostały do ostatecznej redakcji pracy.

## II. Dotychczasowe badania strumienia i zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym w Sudetach

Kompleksowe badania całkowitego strumienia endogenicznego CO<sub>2</sub> prowadzone są w świecie od niedawna. Są one realizowane przede wszystkim na obszarach aktywnej działalności wulkanicznej lub w „rejonach geotermalnych”, gdzie występuje znaczny adwekcyjny i konwekcyjny strumień tego gazu. Badania takie prowadzone są na dużych obszarach w kilku krajach (Włochy, USA, Kanada), gdzie wypływy gazu są bardzo duże (Chiodini i in. 1998; Rogie i in. 2000, 2001 i inne).

W Polsce nie prowadzono dotychczas kompleksowych badań strumienia endogenicznego dwutlenku węgla. Pojedyncze próby punktowego określania strumienia gazu z ekshalacji położonych w rejonie występowania szczaw wykonano w przeszłości na obszarze Karpat, co zestawiono w pracy Ciężkowskiego i współautorów (2002). Metoda pomiaru była oparta na bezpośrednim pomiarze wydatku gazu wypływającego z powierzchni terenu objętej namiotem foliowym. Ze względu na warunki wypływu gazu metoda ta okazała się mało przydatna, ponieważ strumień gazu znajdował ujście poza powierzchnią obejmowaną przez namiot. Pomiar strumienia CO<sub>2</sub> pochodzącego z desorpcji z węgla kamiennego wykonał zespół pracowników Akademii Górniczo-Hutniczej (Kotarba 2002; Korus i in. 2002). Określali oni ilościowy wpływ dwutlenku węgla na obszarze likwidowanych kopalń byłego Wałbrzyskiego Zagłębia Węglowego. Strumień określano za pomocą komory akumulacyjnej zamkniętej, pobierając próbki gazu z komory w określonych odstępach czasu (Kotarba 2002). Stężenie gazu w komorze określano laboratoryjnie metodą chromatografii gazowej. Wartości naturalnej emisji dwutlenku węgla określono w 56 punktach. Natomiast w rejonie występowania szczaw w Sudetach do tej pory nie przeprowadzono żadnych badań strumienia CO<sub>2</sub>.

Na uwagę zasługują wykonane badania izotopowe dwutlenku węgla (Dowgiałło, 1978; Kotarba, 1988), które rzucają światło na pochodzenie endogenicznego dwutlenku węgla w Sudetach. Potwierdziły one wcześniejsze przypuszczenia różnych badaczy zebrane w pracy Fistka (1977) o juwenilnym pochodzeniu tego gazu. Jest on związany z przejawami trzeciorzędowej działalności wulkanicznej na tym obszarze, a zatem jego ekshalacje z powierzchni terenu do atmosfery można określić jako mofety.

W rejonach występowania szczaw w Sudetach realizowane były dotychczas tylko pomiary zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym. Objęły one jedynie niewielkie powierzchnie w rejo-

nie Szczawna Zdroju, Dusznik Zdroju i Kudowy Zdroju. Najszersze prace w tym zakresie przeprowadzono w 1971 roku pod nadzorem J. Fistka, H. Tęsiorskiej i D. Starzyńskiej w rejonie Szczawna Zdroju (Fistek i in. 1972). Objęły one obszar około 2,0 km<sup>2</sup>, na którym wykonano 906 sondowań w siatce 50 × 50 m. Metodyka badań polegała na wykonaniu otworu o głębokości 0,4–3 m i średnicy 2", a następnie oznaczeniu w nim, z użyciem aparatu Orsata, stężenia dwutlenku węgla. W wyniku przeprowadzonych prac na przeważającym obszarze badanego terenu stwierdzono, że stężenie dwutlenku węgla jest mniejsze od 0,1% obj. Wartości takie uzyskiwano w punktach, w których występowały „ciężkie gliny zwałowe”. Natomiast największe stężenie, dochodzące do 3%, a maksymalnie 4,3% obj., zarejestrowano w sondach, które nawierciły gliny o „dużym stopniu zapiaszczenia” oraz utwory piaszczyste. Stężenie powyżej 2,0% obj. stwierdzono zaledwie w 11 punktach. Brak szczegółowego opisu metodyki badań uniemożliwia ocenę przydatności uzyskanych wyników pomiarów i ich ewentualną korelację z wynikami aktualnych badań autorów.

Duży zakres badań zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym zrealizowano również na obszarze Dusznik Zdroju (Fistek i Tęsiorska 1972) i Kudowy Zdroju (Tęsiorska i Fistek 1971) odpowiednio w latach 1964–1965 i 1969. W Dusznikach Zdroju badaniami objęto obszar około 0,14 km<sup>2</sup> w siatce 25 × 25 m, wykonując 289 sondowań. Zachowana dokumentacja tych badań nie ma jednak przyporządkowania punktów pomiarowych do punktów zaznaczonych na planie sytuacyjnym.

W części uzdrowiskowej Dusznik Zdroju wykonane były również badania zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym w latach 2002 i 2003 (Krzemińska 2002; Kiełczawa 2004). Pomiary wykonywano, wykorzystując rurkowy wykrywacz gazów WG-2M. Oznaczenie zawartości CO<sub>2</sub> polegało na wykonaniu płytkiego (do 1,0 m) otworu o małej średnicy, umieszczeniu na jego dnie rurki wskaźnikowej i po wymuszeniu przepływu przez nią określonej objętości powietrza glebowego odczytaniu wartości stężenia gazu. Jest to pomiar obarczony błędem, z jednej strony związanym z dokładnością wskazań rurek wskaźnikowych, a z drugiej zaburzeniami składu powietrza glebowego w trakcie wykonywania otworu. Ogólnie jednak metoda ta daje stosunkowo poprawne wyniki oznaczeń. Badania wykonywano w trzech etapach. W ramach pierwszego etapu rozpoczęto pomiary wiosną 2002 roku w pobliżu ujęć wód leczniczych oraz w miejscach obserwowanych wcześniej ekshalacji CO<sub>2</sub> na obszarze około 0,015 km<sup>2</sup>. Największe anomalie stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym (13–18% obj.) notowano wówczas w rejonie ujęcia Pieniawa Chopina. Na południe od wspomnianego ujęcia oraz w rejonie ujęcia nr 39 i na prawym brzegu Bystrzycy Dusznickiej, na wysokości ujęcia B-4, wartości stężenia CO<sub>2</sub> wyniosły 2,0–2,5% obj. Najmniejsze zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym występowały w okolicy ujęcia Jan Kazimierz (0–1% obj.).

Drugi etap prac przeprowadzono w okresie jesień–zima 2002/2003 r., a trzeci wiosną 2003 r. Obszar badań objął około 0,22 km<sup>2</sup> i 59 punktów pomiarowych. W obu etapach uzyskano zbliżone wyniki. Największe zawartości CO<sub>2</sub> (16–18% obj.) zanotowano w okolicy ujęć Agata i B-4 (Kiełczawa 2004). Najmniejsze wartości stężenia (0–1% obj.) badanego gazu występowały w pobliżu Domu zdrojowego i Pijalni wód mineralnych.

W Kudowie Zdroju obszar badań objął ok. 0,21 km<sup>2</sup> powierzchni terenu, na którym wykonano 314 sondowań w siatce 25 × 25 m (Tešiorowska i Fistek 1971).

Należy zaznaczyć, że na obszarze Republiki Czeskiej w przylegających do Polski obszarach występowania szczaw w przeszłości wykonano również zdjęcia gazowe w powietrzu glebowym w Bělovsí (koło Kudowy Zdroju) oraz Lázně Libvěra koło Czerniawy Zdroju (Valeš i in. 1975).

Duży zakres prac związanych z oznaczaniem stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym zrealizował zespół prof. M. Kotarby w rejonie likwidowanych kopalń w Wałbrzyskim Okręgu Węglowym. Wykonano tam na przestrzeni lat 1999–2001 ponad 3300 oznaczeń (Kotarba 2002). Próbkę powietrza pobierano z głębokości do około 2 m, a stężenie gazu oznaczano metodą chromatografii gazowej. Uzyskane wyniki badań w czternastu polach pokazały, że największe stężenie dla jednego z pól wyniosło ponad 17% obj., a najmniejsze około 3,5% obj.

Można w tym miejscu zaznaczyć, że na obszarze polskich Karpat zdjęcia gazowe były wykonywane w znacznie szerszym zakresie i objęły w sumie powierzchnię ok. 140 km<sup>2</sup> (nie-raz wykonywane były kilkakrotnie na tym samym obszarze). Najstarsze badania wykonywane były aparatem Orsata (rejon Jastrzębika i Złockiego – Szura 1964), nowsze zaś rurkowymi wykrywaczami gazów WG-2M (Krynica Zdrój – Ciężkowski i in. 1999a; Ciężkowski i in. 1999b; Szczawa – Józefko i in. 1999; Szczawnica – Józefko 1997; Tylicz – Cisek 1998; Staśko i in. 2007; Muszyna – Radwan i in. 2000; Józefko i in. w oprac.).

Szczawy sudeckie wraz z występującym w nich dwutlenkiem węgla były przedmiotem wielu prac, z których ważniejszymi – w większości o charakterze ogólnym – są przedwojenne prace Frecha (1912) i Meistersa (1933) oraz powojenne Dominikiewicza (1951), Teisseyre (1966), Dowgiałły (1969), Fistka (1977; 1989), Paczyńskiego i Płochniewskiego (1996). Dodatkowo zostały one omówione zbiorczo przez Ciężkowskiego (1990; 2000; 2003), Dowgiałłę (2002) oraz Dowgiałłę i Fistka (2007).

### III. Metodyka badań i sposób opracowania wyników

Badania wykonane w ramach niniejszej pracy obejmują 16 obszarów występowania szczaw w Sudetach. W każdym z tych obszarów badania realizowano z zastosowaniem identycznej metodyki badań i z użyciem takiego samego sprzętu, a wyniki opracowano w ten sam sposób.

#### III.1. Lokalizacja punktów pomiarowych

W realizacji pracy dużą uwagę zwrócono na odpowiednią lokalizację punktów pomiarowych, począwszy od ich zaplanowania, do ustalenia w terenie. W każdym punkcie pomiarowym wykonywano badania stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na czterech głębokościach, badania strumienia masy CO<sub>2</sub>, oraz pomiar temperatury, ciśnienia i wilgotności powietrza atmosferycznego. Odpowiednia lokalizacja punktów i ustalenie dokładnego położenia punktów pomiarowych umożliwia z jednej strony zidentyfikowanie miejsc o widocznych przejawach CO<sub>2</sub> i z drugiej strony powtórzenie w przyszłości pomiarów i określenie ewentualnych zmian zachodzących w czasie.

Zaplanowaną lokalizację punktów pomiarowych naniesiono na szczegółową mapę geologiczną Sudetów w skali 1:25 000. W planowaniu brano pod uwagę istniejące i dawne ujęcia szczaw, budowę geologiczną (litostratygrafię, tektonikę i warunki hydrogeologiczne), morfologię, hydrografię i zabudowę terenu. Ustalając zasięg poszczególnych obszarów badań, wykorzystano dane geologiczne dotyczące Sudetów przedstawione syntetycznie w opracowaniach o charakterze przekrojowym (Oberc 1972; 1995; Stupnicka 1989; Żelaźniewicz 1995; 1997; 2005; Żelaźniewicz i in. 1995; Cwojdzński i Żelaźniewicz 1995; Franke i Żelaźniewicz 2000; Aleksandrowski i in. 2000; Aleksandrowski i Mazur 2002; Oberc-Dziedzic i in. 2005; Mazur i in. 2006). W przypadku analizowania szczegółowych kwestii dotyczących poszczególnych obszarów badań skorzystano z literatury zebranej w wymienionych pracach. Publikacje najważniejsze dla omawianych i dyskutowanych przez autorów wyników badań zacytowano w rozdziale IV, podczas omawiania poszczególnych obszarów występowania szczaw.

Planowane punkty pomiarowe rozmieszczone były w siatce podstawowej 200 × 200 m. Tak sporządzoną siatkę przeniesiono na aktualne mapy topograficzne w skali 1:10 000. Korzystając z elektronicznych wersji map, określono współrzędne geograficzne punktów pomia-

rowych w układzie 1965 lub 1992. Następnie współrzędne te przeliczono do układu WGS 84, który jest stosowany w technice GPS.

W celu lepszego określenia obszaru występowania stref anomalnych, wykonywano również badania w dodatkowych punktach pomiarowych. Realizowano je poza zaplanowaną siatką w otoczeniu punktów, w których zmierzono wyraźnie większe dla danego rejonu stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym. Lokalizację tych punktów ustalano w trakcie wykonywania prac terenowych.

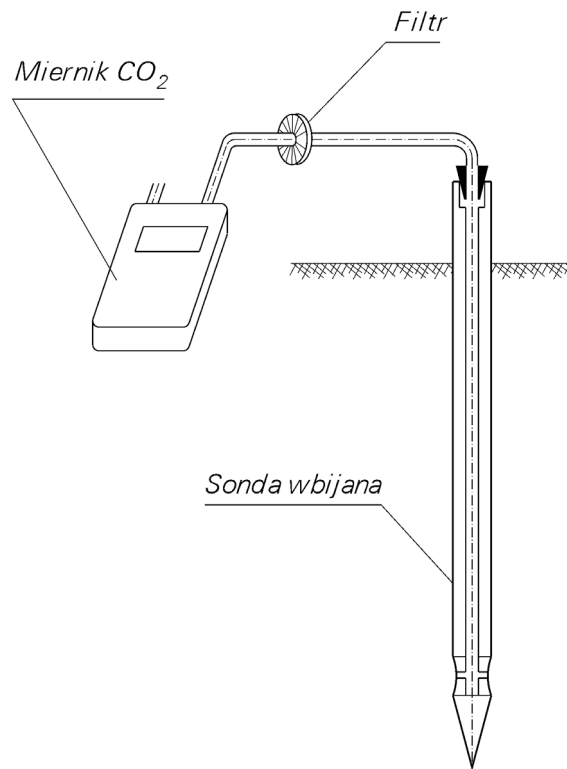
Położenie wszystkich punktów pomiarowych ustalano za pomocą urządzeń nawigacji satelitarnej GPS. W tym celu określone w układzie WGS 84 współrzędne geograficzne wprowadzano do pamięci odbiornika GPS Etrex-Vista. Urządzenie to wykorzystywano następnie w terenie do lokalizacji punktów pomiarowych. Pomiarów realizowano najczęściej zgodnie z planowanym położeniem, jednak w przypadku występowania trwałej nawierzchni, przeszkód terenowych, instalacji podziemnych lub braku łączności satelitarnej, lokalizację punktów przesuwno o możliwie niewielką odległość. Dlatego też przyjęto zasadę, że dla każdego realizowanego punktu pomiarowego w terenie będą notowane dokładne współrzędne wskazywane przez GPS. Dokładność lokalizacji za pomocą urządzenia Etrex-Vista w zdecydowanej większości przypadków wynosiła 5–10 m. Tylko w nielicznych przypadkach była ona mniejsza.

## III.2. Badania stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym

### III.2.1. Podstawowa siatka punktów pomiarowych i punkty dodatkowe

Badania stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym wykonano w próbkach zasysanych z określonej głębokości przez pompkę wbudowaną do miernika gazu. W celu pobrania próbki gazu zastosowano własnej konstrukcji sondę wbijaną o średnicy około 2,5 cm (rys. III.1).

W każdym punkcie pomiarowym badania stężenia CO<sub>2</sub> wykonywano najczęściej w próbkach gazu pobieranych z czterech głębokości, tj.: 0,25, 0,50, 0,75 i 1,0 m p.p.t. W obszarze zabudowanym, w miejscach występowania dużego prawdopodobieństwa przebiegu instalacji podziemnych, pomiary wykonywane były na dwóch głębokościach – 0,25 i 0,50 m p.p.t. Zmniejszenie głębokości sondowań następowało również w przypadku wcześniejszego osiągnięcia zwierciadła wód podziemnych, zwięzłych skał lub innych przeszkód. Oznaczenie stężenia wykonano miernikiem Anagas CD98 działającym na zasadzie absorpcji promieniowania podczerwonego techniką NDIR (*Non-dispersive Infrared*) o zakresie wskazań 0,00–60% obj., zapewniającym dokładność pomiaru wynoszącą około 5% wskazania. Należy zaznaczyć, że występowanie utworów bardzo słabo przepuszczalnych (glin, ilów) powodowało niekiedy trudności z zassaniem z nich próbki powietrza glebowego, co uniemożliwiało oznaczenie stężenia gazu na danej głębokości.



Rys. III.1. Schemat zestawu pomiarowego do badań stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym

### III.2.2. Punkty kontrolne

Badania stężenia CO<sub>2</sub> w punktach kontrolnych miały na celu weryfikację stałości poziomu stężenia gazu w powietrzu glebowym w całym okresie badań. Wykonane one zostały za pomocą rurkowego wykrywacza gazów WG-2M. Oznaczenie zawartości CO<sub>2</sub> polegało na wykonaniu otworu o średnicy 3 cm i głębokości 1 m. Ścianki otworu zabezpieczano przez wstawienie na stałe perforowanej przy dnie rurki z korkiem uszczelniającym na powierzchni terenu. W tak przygotowanym otworze badania prowadzono w odstępach jednodniowych. Polegały one na umieszczeniu na spodzie otworu rurki wskaźnikowej i wymuszeniu przepływu przez nią ściśle określonej objętości powietrza glebowego. Stężenie określano na podstawie zmiany zabarwienia rurki wskaźnikowej. Jest to pomiar obarczony błędem z jednej strony związanym z dokładnością wskazań rurek wskaźnikowych, a z drugiej z zaburzeniami składu powietrza glebowego w trakcie wykonywania otworu. Generalnie jednak metoda daje stosunkowo poprawne wyniki oznaczeń. Błąd pomiarów wykonywanych rurkowym wykrywaczem gazów WG-2M wynosi 0,5% obj. z zastosowaniem rurek o zakresie pomiaru od 0 do 6% obj. i 1% obj. dla rurek o zakresie wskazań od 0 do 18% obj.

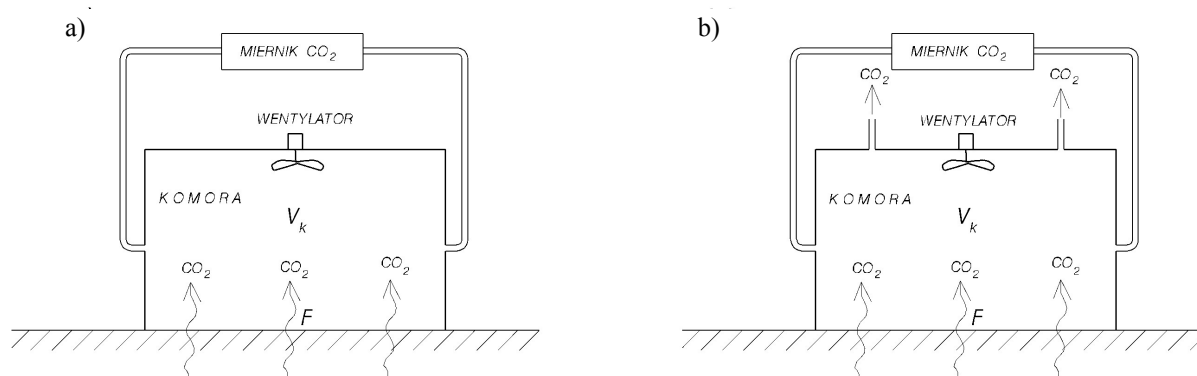


### III.3. Badania adwekcyjno-dyfuzyjnego strumienia CO<sub>2</sub>

Miarą szybkości migracji dowolnej wielkości jest strumień, czyli jej ilość przechodząca przez jednostkę powierzchni w jednostce czasu (Atkins 2001). Ilość dwutlenku węgla przepływającego przez powierzchnię terenu z podłoża skalnego do atmosfery określono jako strumień masy  $E$ . Oznacza on masę dwutlenku węgla  $m$  przepływającego w jednostce czasu  $t$  przez jednostkę powierzchni  $F$  w zadanym kierunku. Strumień masy można wyrazić wzorem:

$$E = \frac{dm}{Fdt} \quad (1)$$

W przypadku przepływu gazowego CO<sub>2</sub>, wielkość strumienia gazu  $E$  można oznaczyć za pomocą komory akumulacyjnej (rys. III.2). Umożliwia ona określenie strumienia będącego wynikiem dyfuzji, adwekcji i konwekcji. Mogą mieć zastosowanie dwa typy komory akumulacyjnej – zamknięta i otwarta (Żak 2004). Komora otwarta stosowana jest przy występowaniu bardzo dużych przepływów adwekcyjnych (ekshalacji gazowych). Ponieważ nigdzie w obszarach badań nie stwierdzono dużego strumienia adwekcyjnego gazu, wszystkie badania więc wykonano za pomocą komory zamkniętej.



Rys. III.2. Schemat ideowy komory akumulacyjnej: a) zamkniętej, b) otwartej

Wielkość strumienia określano ze wzoru:

$$E = \frac{dm}{Fdt} = \rho \frac{V_k}{F} \frac{dc}{100dt} = \rho_n \frac{V_k}{F} \frac{P}{P_n} \frac{T_n}{T} \frac{dc}{100dt} \quad (2)$$

gdzie:

$E$  – strumień gazu [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ],

$dm$  – masa gazu przepływająca przez powierzchnię  $F$  w czasie  $dt$  [kg],

- $\rho$  – gęstość CO<sub>2</sub> w warunkach pomiaru [kg·m<sup>-3</sup>],
- $\rho_n$  – gęstość CO<sub>2</sub> w warunkach normalnych (1,977 kg·m<sub>n</sub><sup>-3</sup>),
- $V_k$  – objętość czynna komory [m<sup>3</sup>],
- $F$  – pole powierzchni, przez którą następuje dopływ gazu do komory [m<sup>2</sup>],
- $P$  – ciśnienie atmosferyczne w trakcie pomiaru [bar],
- $P_n$  – ciśnienie normalne (1,01325 bar),
- $T_n$  – temperatura normalna (273,15K),
- $T$  – temperatura w czasie pomiaru [K],
- $dc$  – zmiana stężenia objętościowego gazu w komorze w czasie  $dt$  [% obj.],
- $dt$  – przyrost czasu [s].

Aby oznaczyć strumień gazu, należy znać objętość czynną komory  $V_k$  (objętość komory wraz z objętością przewodów doprowadzających gaz i objętością gazu zawartego w mierniku), pole powierzchni  $F$ , przez którą przepływa badany gaz do komory, ciśnienie  $P$  i temperaturę  $T$  powietrza wewnątrz komory w trakcie pomiaru oraz zmianę stężenia objętościowego gazu w czasie  $dc/dt$ . Ze względu na możliwe zwiększenie ciśnienia oraz zmniejszenie wielkości strumienia dyfuzyjnego, zmianę stężenia w czasie  $dc/dt \cong \Delta c/\Delta t$  powinno się określić dla możliwie krótkiego czasu. Jeżeli przyjmie się stałą wartość strumienia gazu w trakcie pomiaru, to  $dc/dt$  również powinno mieć wartość stałą. Tym samym zależność stężenia gazu w komorze w czasie powinna zmieniać się liniowo. Ze względu na dokładność oznaczenia strumienia precyzyjne wyznaczenie wielkości zmian stężenia CO<sub>2</sub> w czasie ( $dc/dt$ ) jest bardzo istotne. W tym celu, na podstawie pomiarów stężenia dwutlenku węgla w komorze akumulacyjnej, w określonych odstępach czasu wyznaczano równanie między stężeniem  $c$  a czasem  $t$  ( $c = at + b$ ). Współczynniki równania  $a$  i  $b$  obliczano dla każdego punktu pomiarowego na zasadzie dopasowania do linii prostej metodą najmniejszych kwadratów. Uwzględniano przy tym wszystkie pomiary stężenia gazu w komorze. Tak określony współczynnik  $a = dc/dt$  służył do wyznaczenia wartości strumienia ze wzoru (2).

Badania strumienia prowadzono za pomocą komory akumulacyjnej własnej konstrukcji. Była ona już z powodzeniem wykorzystywana w pomiarach strumienia CO<sub>2</sub> w rejonie Muszyny w Karpatach, a także w badaniach strumienia innych gazów – <sup>222</sup>Rn i <sup>220</sup>Rn w Sudechach. Zastosowano tu komorę o czynnej objętości  $V_k = 0,00708$  m<sup>3</sup> i polu powierzchni podstawy  $F = 0,0908$  m<sup>2</sup>. Komora wyposażona była w wentylator zapobiegający gromadzeniu się dwutlenku węgla w dolnej jej części. Uszczelnienie komory z podłożem następowało przez wciśnięcie krawędzi komory w grunt na ustaloną ogranicznikami głębokość. W trakcie badania określano wartość stężenia gazu w odstępach jednonminutowych przez okres 4 do 5 minut. Wartość stężenia w komorze oznaczano miernikiem ATX 620 o dokładności 50 ppm, rozdzielczości 10 ppm i zakresie pomiarowym od 0 do 60 000 ppm, podłączając go w obiegu zamkniętym (rys. III.2).

Należy zaznaczyć, że metodą tą mierzony jest całkowity strumień dwutlenku węgla, który stanowi składowa pochodzenia biogenicznego (produkcja CO<sub>2</sub> przez rośliny) oraz składowa endogeniczna.

## III.4. Mapy

### III.4.1. Mapy stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym

Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym zmienia się w zależności nie tylko od położenia geograficznego i pory roku, ale również wraz z głębokością. W rejonach przepływu gazu z głębi litosfery w kierunku powierzchni terenu najczęściej stężenie gazu wzrasta wraz z głębokością. Istnieją jednak sytuacje, w których największe wartości stężenia występują na mniejszych głębokościach. W związku z tym przyjęto zasadę, że do obliczeń statystycznych i wykreślania map przyjmowane będą największe wartości stężenia, jakie oznaczono w danym profilu. Takie podejście jest również uzasadnione zróżnicowaną głębokością sondowania oraz brakiem wyników w przypadku występowania bardzo słabo przepuszczalnych skał.

Aby utworzyć mapę stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym przeliczono najpierw współrzędne z układu WGS 84, w zależności od rodzaju map, odpowiednio na układ 1965 lub 1992. Następnie, zmierzone w każdym punkcie pomiarowym, maksymalne wartości stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym naniesiono na elektroniczną mapę topograficzną. Taki sposób postępowania umożliwia naniesienie punktu pomiarowego z dokładnością pomiaru w terenie. W skali 1:10 000, w której drukowano mapy, jest to dokładność 0,5–1 mm. W związku z tym każdy punkt na mapie został oznaczony kółkiem o średnicy 1 mm, co oznacza, że rzeczywisty punkt pomiarowy znajduje się w obrębie tego symbolu. Na podstawie naniesionych na mapę wyników zostały następnie wykreślone izolinie stężenia. Ze względu na skalę zróżnicowania wartości stężenia oraz charakter przepływu gazu w porach i szczelinach skał, do wykreślania izolinii stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym przyjęto skalę logarytmiczną. Izolinie główne wykreślano dla wartości stężenia równej: 0,5%, 1%, 2%, 4%, 8%, 16%, 32% i 64%, natomiast izolinie pomocnicze dla stężenia o wartości 1,4%, 2,8%, 5,7%, 11,3%, 22,6% i 45,2%. Dla bardziej czytelnego przedstawienia zmienności stężenia, izolinie o zawartości mniejszej, niż średnia wartość dla danego rejonu, wykreślano kolorem zielonym, a powyżej średniej kolorem czerwonym.

Opracowaną treść mapy, tj. punkty pomiarowe, izolinie stężenia, siatkę podstawową oraz ujęcia szczaw, przeniesiono na mapę geologiczną w skali 1:25 000. Arkusze mapy topograficznej i geologicznej przedstawiono w formie drukowanej w skali 1:10 000, a także dołączono do wydania książkowego w postaci plików w formacie jpg na dysku CD.

### III.4.2. Mapy strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery

Wartość strumienia adwekcyjno-dyfuzyjnego obliczano na podstawie pomiarów wykonywanych w komorze akumulacyjnej, zgodnie z procedurą przedstawioną w rozdziale III.3.

Obliczenia takie przeprowadzono dla każdego punktu pomiarowego. Następnie wartości strumienia zostały wprowadzone na elektroniczną mapę topograficzną. Sposób naniesienia punktów pomiarowych i odpowiadających im wartości na mapę był analogiczny do przypadku stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym. Na podstawie wartości strumienia w punktach pomiarowych generowano następnie izolinie. Izolinie strumienia CO<sub>2</sub>, wyrażone w g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, wykreślano w skali liniowej. Dla bardziej czytelnego przedstawienia zmienności strumienia izolinie o wartości mniejszej niż średnia dla danego rejonu wykreślano kolorem zielonym, a o wartości powyżej średniej kolorem amarantowym.

Opracowaną treść mapy, tj. punkty pomiarowe, izolinie strumienia CO<sub>2</sub>, siatkę podstawową oraz ujęcia szczaw, przeniesiono na mapę geologiczną w skali 1:25 000. Arkusze map topograficznej i geologicznej przedstawiono w formie drukowanej w skali 1:10 000 i dołączono do wydania książkowego w postaci plików w formacie jpg na dysku CD.

### III.5. Obliczenia statystyczne

Uzyskane wyniki badań stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym oraz strumienia z powierzchni terenu do atmosfery poddano analizie statystycznej. Polegała ona przede wszystkim na określeniu wartości średniej tych parametrów oraz zakresu wartości tła dla każdego z 16 obszarów badań. Do obliczeń statystycznych wykorzystywano tylko wartości w punktach równomiernie rozmieszczonych na danym obszarze, czyli punktach leżących na przecięciach linii stanowiących podstawową siatkę pomiarową. Nie brano pod uwagę wyników w punktach dodatkowych, które były wykonywane w pobliżu punktów o zwiększonym stężeniu gazu w powietrzu glebowym. Wartości średniej i tła obliczono dla każdego rejonu występowania szczaw, uwzględniając charakter rozkładu oznaczanych wartości. Charakter rozkładu wartości ma istotny wpływ na obliczaną wartość średniej i tła. Dla rozkładu normalnego wartość średnią stanowi średnia arytmetyczna, a jako granice tła przyjmowano wartości średnią ± dwa odchylenia standardowe. Jeżeli rozkład otrzymanych wartości dla danego obszaru nie był normalny, obliczone wartości poddawano transformacji mającej na celu sprowadzenie przetransformowanych wyników do rozkładu normalnego i dopiero potem określano wartość średnią i zakres tła. Weryfikację rozkładu przeprowadzano za pomocą testu  $\chi^2$  na poziomie istotności 0,05. Poddając transformacji uzyskane wartości, określano również charakter rozkładu. Na przykład, jeżeli wartości poddano logarytmowaniu i uzyskane w ten sposób nowe wartości mają na poziomie istotności 0,05 rozkład normalny, to taki rozkład jest rozkładem logarytmiczno-normalnym.

Jeżeli po transformacji nie można było przyjąć hipotezy o normalności rozkładu, wówczas szukano innej transformacji, która pozwalała uzyskać rozkład normalny. Po uzyskaniu rozkładu normalnego, określano wartość średnią oraz wartości tła (jako wartość średnia ± dwa odchylenia standardowe), a następnie przeprowadzano transformację odwrotną. Wyniki obliczeń po transformacji odwrotnej przyjmowano za właściwe wartości średniej i tła.

## IV. Wyniki badań w poszczególnych rejonach występowania szczaw

Planowany zakres prac obejmował pomiar stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym, oznaczenie adwekcyjno-dyfuzyjnego strumienia tego gazu przepływającego przez powierzchnię terenu do atmosfery oraz sporządzenie map oznaczanych parametrów w skali 1:10 000 wraz z objaśnieniami.

Wykonanie pomiarów zaplanowano we wszystkich, tj. w szesnastu rejonach występowania szczaw w Sudetach. Lokalizację rejonów badań przedstawiono na mapie ogólnogeograficznej w skali 1:500 000 (zał. 1) oraz na mapie tektonicznej w takiej samej skali (zał. G1). Realizację badań zaplanowano w podstawowej siatce o długości boku wynoszącej 200 m. W przypadku stwierdzenia anomalii stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym pomiary były zagęszczane. Uzyskane wyniki stężenia i strumienia gazu opracowano dla każdego rejonu występowania szczaw.

### IV.1. Czerniawa Zdrój

#### A. Charakterystyka rejonu

W budowie geologicznej okolic Czerniawy Zdroju biorą udział, poza czwartorzędem, wyłącznie utwory krystaliczne reprezentowane przez serie skał suprakrustalnych złożonych z różnych odmian gnejsów i łupków krystalicznych. Wiek tych utworów został określony jako prekambryjski. Skały te wchodzi w skład masywu karkonosko-izerskiego, leżąc w jego metamorficznej części (Kornaś 1959; Szałamacha i Szałamacha 1984; Aleksandrowski i Mazur 2002; Ciężkowski i in. 2003; Mazur i in. 2006).

Na budowie geologicznej okolic Czerniawy wycisnęło swe piętno sporo cykli górotwórczych. Z najstarszymi ruchami staroassyntyjskimi należy wiązać pofałdowanie mas skalnych i zjawisko metamorfozy regionalnej osadów klastycznych. Okres waryscyjskich ruchów tektonicznych manifestuje się obecnością licznych skał żyłowych, których przebieg

wyznaczają w rejonie Świeradowa kierunki linii uskokowych o przebiegu NW–SE, wkraczające na obszar Czerniawy. Kierunek NW–SE reprezentuje strefa dyslokacyjna, zwana przez Berga (1926) uskokiem źródłowym Czerniawy i Świeradowa. Istnienie tego uskoku nie zostało później potwierdzone przez polskich badaczy. Uskok ten jest w wielu miejscach porozrywany poprzecznymi dyslokacjami o kierunku NE–SW. Strefom tym towarzyszą głębokie szczeliny skalne, ułatwiające krążenie wód mineralnych, zawierających wolny dwutlenek węgla. W części północnej Czerniawy dopatrywać się można wyłącznie dyslokacji o przebiegu N–S i NE–SW. W obrębie tych stref występują liczne głębokie szczeliny i pęknięcia skalne, stwarzające dogodne warunki dla krążenia wód i dwutlenku węgla. Właśnie z tymi rozluźnieniami tektonicznymi związane są ujęcia wód leczniczych Czerniawy Zdroju (Starzyńska 1972; Fistek 1975a; Ciężkowski 1983).

Na obszarze Czerniawy występują dwa podstawowe typy wód leczniczych. Są to słabo zmineralizowane wody radonowe oraz szczawy wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowe, żelaziste, z kwasem metakrzemowym. Istniejące obecnie ujęcia szczaw to odwierty: nr 4 eksploatowany w centrum miejscowości oraz nieeksploatowane P-1, P-2 i GT-1 w rejonie Pogranicza (Starzyńska 1972; 1993). Obecnie na obszarze Czerniawy Zdroju nie ma ujęć wód radonowych.

## **B. Opis realizacji i wyniki badań**

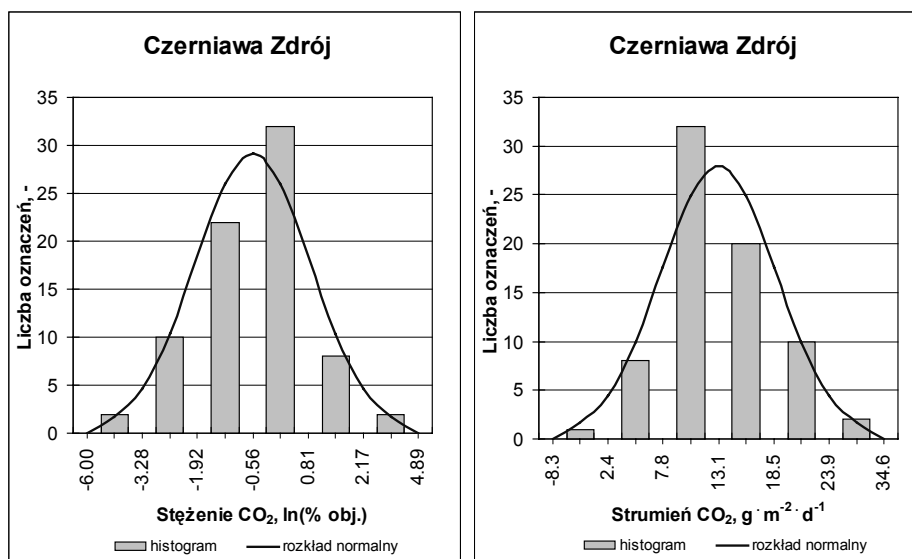
Badania w rejonie Czerniawy Zdroju wykonano w dniach od 19.07. do 26.07.2006 roku na obszarze o powierzchni 2,50 km<sup>2</sup>. Rejon badań obejmował strefę tektoniczną zwaną uskokiem źródłowym Świeradowa–Czerniawy oraz dwa obszary stwierdzonego występowania szczaw. Należy nadmienić, że w tych samych utworach skalnych po stronie czeskiej także znajdują się ujęcia szczaw.

### *Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym*

W rejonie Czerniawy Zdroju pomiar stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym wykonano łącznie w 113 profilach glebowych. Wartość średnią i tło określono na podstawie 76 profili rozmieszczonych w regularnej siatce 200 × 200 m, uwzględniając maksymalną wartość stężenia w danym profilu i charakter rozkładu. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości stężenia można przyjąć jako logarytmiczno-normalny. Histogram rozkładu zlogarytmowanych wartości stężenia, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.1.

Średnią wartość stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym w rejonie Czerniawy Zdroju obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią geometryczną. Wynosi ona na tym obszarze 0,57% obj. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono, dokonując transformacji uzyskanych wartości przez logarytmowanie. Dla przetransformowanych wartości przeprowadzono test zgodności z rozkładem normalnym i dopiero potem określono zakres tła. Wynosi on 0,03–8,8% obj.

W rejonie Czerniawy Zdroju występują lokalnie miejsca o bardzo dużym stężeniu CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym, przekraczającym 60% obj. Bieg izolinii stężenia CO<sub>2</sub> jest związany zarówno z kierunkiem NE–SW (w NW części obszaru), jak i z kierunkiem sudeckim (NW–SE w SE części obszaru). Kierunki wydłużenia kształtu anomalnych wartości stężenia na obszarze Czerniawy Zdroju są także zgodne z biegiem dolin. Szczegółowy rozkład stężenia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 2A) i geologicznej (zał. G2A) w skali 1:10 000.



Rys. IV.1. Histogram stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym i strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery dla rejonu Czerniawy Zdroju

#### *Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery*

Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery oznaczono w rejonie Czerniawy Zdroju łącznie w 111 punktach pomiarowych. Wartość średnią i tło określono, uwzględniając charakter rozkładu, na podstawie 73 punktów, które były rozmieszczone w regularnej siatce 200 × 200 m. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości strumienia można przyjąć jako normalny. Histogram rozkładu strumienia, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.1.

Średnią wartość strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery w rejonie Czerniawy Zdroju obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią arytmetyczną. Wynosi ona na tym obszarze 13,14 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono jako wartość średnią ± dwa odchylenia standardowe z próby ( $E_{sr} \pm 2s$ ). Tak obliczone tło wynosi 0,75–27,77 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>.

W rejonie Czerniawy Zdroju występują lokalnie miejsca o nieco zwiększonym strumieniu względem tła. Należy sądzić, że w takich miejscach udział endogenicznego CO<sub>2</sub> w oznaczo-

nym strumieniu jest istotny. Można tutaj wyróżnić dwa wyraźne kierunki tworzące strefy zwiększonego strumienia dwutlenku węgla, o przebiegu NW–SE oraz prostopadłym do niego – SW–NE. Wymienione kierunki pokrywają się z kierunkami dominujących w tym rejonie dyslokacji. Anomalie układające się w kierunku NW–SE można połączyć w jedną strefę ciągnącą się również pomiędzy Świeradowem Zdrojem i Czerniawą Zdrojem. Przemawia to za słuszością koncepcji istnienia uskoku źródłowego Świeradowa-Czerniawy zaproponowanej przez Berga (1926). Szczegółowy rozkład strumienia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 2B) i geologicznej (zał. G2B) w skali 1:10 000.

Na omawianym obszarze nie obserwuje się związku między stężeniem CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym a strumieniem tego gazu. Współczynnik korelacji określony dla wszystkich punktów pomiarowych wynosi –0,09.

## IV.2. Świeradów Zdrój

### A. Charakterystyka rejonu

W budowie geologicznej rejonu Świeradowa Zdroju biorą udział, poza czwartorzędem, wyłącznie utwory krystaliczne reprezentowane przez serie skał suprakrustalnych, złożonych z różnych odmian gnejsów i łupków krystalicznych. Wiek tych utworów został określony jako prekambryjski. Skały te wchodzi w skład masywu karkonosko-izerskiego, leżąc w jego metamorficznej części. Obszar ten zbudowany jest głównie z granitognejsów izerskich, zawierających wkładki łupków łuszczkowych, kwarcowo-skaleniovych i biotyto-amfibolitowych. Na terenie Świeradowa wśród gnejsów izerskich wyróżnić można wiele odmian: drobno-, średnio- i gruboziarnistych o wyraźnej teksturze kierunkowej, miejscami oczkowej. Poprzecinane są one żyłami bazaltowymi, należącymi do trzeciorzędowego cyklu magmowego (Kornaś 1959; Szałamacha i Szałamacha 1984; Aleksandrowski i Mazur 2002; Ciężkowski i in. 2003; Mazur i in. 2006).

Na budowie geologicznej okolic Świeradowa wycisnęło swe piętno kilka cykli górotwórczych. Z najstarszymi ruchami staroassyntyjskimi należy wiązać pofałdowanie mas skalnych i zjawisko metamorfozy regionalnej osadów klastycznych. Okres waryscyjskich ruchów tektonicznych manifestuje się obecnością licznych skał żyłowych, których przebieg wyznaczają w rejonie Świeradowa kierunki linii uskokowych o orientacji NW–SE. Z tej ostatniej orogenezy na terenie Świeradowa widoczne są dwa główne kierunki tektoniczne, tj. odnawiający założenia waryscyjskie NW–SE, i nowy, prostopadły do niego NE–SW. Kierunek NW–SE reprezentuje strefa dyslokacyjna, zwana przez Berga (1926) uskokiem źródłowym Czerniawy i Świeradowa. Istnienie tego uskoku nie zostało później potwierdzone przez polskich badaczy. Uskok ten jest w wielu miejscach porozrywany poprzecznymi dyslokacjami o kierunku NE–SW. Strefom tym towarzyszą głębokie szczeliny skalne, ułatwiające krążenie wód mineralnych, zawierające wolny dwutlenek węgla. Niewątpliwie z główną strefą uskokową związane są ujęcia szczaw



w Świeradowie Zdroju (otwór 2P). Natomiast wody radonowe, nawiercone w otworach 1P i 3P w Świeradowie, mogą być związane ze strefami przyuskokowymi lub strefą kontaktową leuko-granitu z granitognejsem (kontakt tektoniczny).

Na obszarze Świeradowa Zdroju występują dwa podstawowe typy wód leczniczych. Są to słabo zmineralizowane wody radonowe i szczawy wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowe, żelaziste, radonowe. Wędrujący ku górze licznymi szczelinami i strefami tektonicznymi CO<sub>2</sub> nasycza napotkaną na swej drodze wodę podziemną. Radon, obecny w wodach podziemnych, stanowi produkt rozpadu promieniotwórczego radu obecnego w skałach zbiornikowych tych wód. W Świeradowie Zdroju szczawy są eksploatowane zarówno płytkimi studniami kopanymi (ujęcie Górne), jak i otworami wiertniczymi (1A, 2P). Wody radonowe są natomiast eksploatowane głównie studniami kopanymi (Scherautz 1965; Fistek 1967b; Fistek i Teisseyre 1967; Fistek i Scherautz 1968; Fistek i Starzyńska 1973; Fistek 1975a; 1975b; Fistek i in. 1975; Cieżkowski 1983; Przylibski i in. 1998).

## **B. Opis realizacji i wyniki badań**

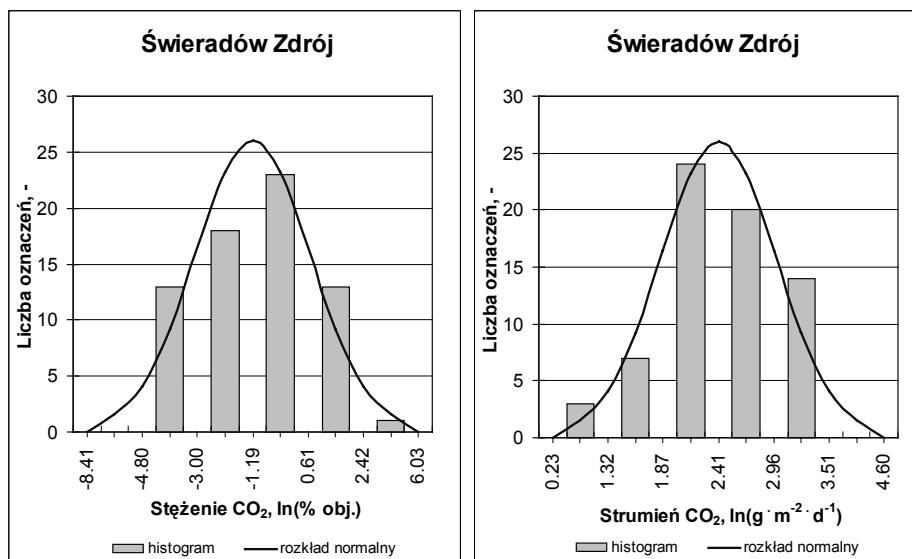
Badania w rejonie Świeradowa Zdroju wykonano w dniach 18.07–31.07.2006 roku na obszarze o powierzchni 2,12 km<sup>2</sup>. Obszar ten obejmuje strefę tektoniczną zwaną przez Berga (1926) *Uskokiem Źródłowym Świeradowa–Czerniawy* i system uskokuw prostopadłych do tej dyslokacji. Zawiera on dwa obszary występowania szczaw – jeden w dolinie rzeki Kwisy (źródło Zofia) i drugi w rejonie Domu zdrojowego, około 50 m ponad dnem doliny.

### *Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym*

W rejonie Świeradowa Zdroju pomiar stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym wykonano łącznie w 92 profilach glebowych. Wartość średnią i tło określono na podstawie 68 profili rozmieszczonych w regularnej siatce 200 × 200 m, uwzględniając maksymalną wartość stężenia w danym profilu i charakter rozkładu. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości stężenia można przyjąć jako logarytmiczno-normalny. Histogram rozkładu zlogarytmowanych wartości stężenia, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.2.

Średnią wartość stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym w rejonie Świeradowa Zdroju obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią geometryczną. Wynosi ona na tym obszarze 0,30% obj. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono, dokonując transformacji uzyskanych wartości przez logarytmowanie. Dla przetransformowanych wartości przeprowadzono test zgodności z rozkładem normalnym i dopiero potem określono zakres tła. Mieści się on w granicach 0,01–11,2% obj.

W rejonie Świeradowa Zdroju występują lokalnie miejsca o dużym stężeniu CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym. Maksymalna wartość, jaka została zmierzona, wynosi 12,5% obj. Zwiększone zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym występują w centrum Świeradowa Zdroju w pobliżu Domu zdrojowego oraz w kierunku na północny wschód od niego, tj. w kierunku



Rys. IV.2. Histogram stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym i strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery dla rejonu Świeradowa Zdroju

otwierającej się doliny Kwisy, a także w równoległej, leżącej nieco na SE dolinie Świeradówki. Nie stwierdzono przestrzennej zależności tych obszarów od litologii, można natomiast stwierdzić, że kierunek biegu izolinii stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym pokrywa się z kierunkiem zaznaczonych na mapie uskoku biegających w kierunku NE-SW. Maksyma położone w południowo-zachodniej części obszaru badań pokrywają się z przebiegiem uskoku zaznaczonych na mapie geologicznej (Szałamacha i Szałamacha 1984). Szczegółowy rozkład stężenia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 3A) i geologicznej (zał. G3A) w skali 1:10 000. Uzyskane przez autorów wyniki wskazują na istnienie strefy dyslokacyjnej przedłużającej się w kierunku północno-zachodnim na obszar Czerniawy. Stwierdzone przez autorów w terenie żyły kwarcowe, punktowe wysięki szczaw oraz bardzo duże wartości stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym (zał. G2A), zlokalizowane pomiędzy ujęciami szczaw w Świeradowie i Czerniawie, wskazują na kontynuację dyslokacji o przebiegu NW-SE pomiędzy tymi miejscowościami. Fakty te przemawiają za słusznością koncepcji istnienia uskoku źródłowego Świeradowa-Czerniawy zaproponowanej przez Berga (1926).

#### *Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery*

Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery oznaczono w rejonie Świeradowa Zdroju łącznie w 92 punktach pomiarowych. Wartość średnią i tło określono, uwzględniając charakter rozkładu, na podstawie 68 punktów, które były rozmieszczone w regularnej siatce 200 × 200 m. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości strumienia można przyjąć jako logarytmiczno-normalny. Histogram rozkładu strumienia, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.2.

Średnią wartość strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery w rejonie Świeradowa Zdroju obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią geometryczną. Wynosi ona na tym obszarze 11,19 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono, dokonując transformacji uzyskanych wartości przez logarytmowanie. Dla przetransformowanych wartości określono średnią i zakres tła, a następnie wielkości te delogarytmowano. Obliczony w ten sposób zakres tła wynosi 3,15–29,77 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>.

W obrębie Świeradowa Zdroju wszystkie oznaczone wartości strumienia nie przekraczają wartości tła tego rejonu. Można więc sądzić, że udział endogenicznego CO<sub>2</sub> w całym rejonie jest mało istotny. Większe wartości strumienia na obszarze Świeradowa Zdroju wyraźnie rozciągają się wzdłuż dolin Kwisy, Świeradówki i potoku Sancta Maria, a także w centrum miejscowości, nieco na NE od Domu Zdrojowego, pomiędzy dolinami Świeradówki i potoku Sancta Maria. Można zatem wyróżnić dwa wyraźne kierunki tworzące strefy zwiększonego strumienia dwutlenku węgla o przebiegu NW–SE oraz prostopadłym do niego – SW–NE. Są one zgodne z biegiem uskoków tektonicznych w tym obszarze. Szczegółowy rozkład strumienia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 3B) i geologicznej (zał. G3B) w skali 1:10 000.

Na omawianym obszarze obserwuje się brak wyraźnego związku między stężeniem CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym a strumieniem tego gazu. Współczynnik korelacji określony dla wszystkich punktów pomiarowych wynosi 0,18.

### IV.3. Stare Rochowice

#### A. Charakterystyka rejonu

Rejon Starych Rochowic położony jest w obszarze metamorfiku kaczawskiego. Występują tu utwory staropaleozoiczne i skały osadowe permu pokryte osadami czwartorzędu. Formacja staropaleozoiczna charakteryzuje się płytką metamorfozą i silnym zaangażowaniem tektonicznym. Seria metamorficzna reprezentowana jest przez utwory:

- dolnego kambru i górnego kambru, wykształcone w postaci wapieni i dolomitów, łupków zielenkowych, diabazów, keratofirów i porfiroidów,
- ordowiku, wykształcone w postaci łupków ilastych, serycytowych i serycytowo-kwarcowych,
- syluru, wykształcone jako łupki krzemionkowo-serycytowe i lidyty.

Po fałdowaniach młodokaledońskich sedymentacja w Górach Kaczawskich pojawiła się dopiero w permie. Na omawianym terenie występują utwory permu zaliczane do czerwonego spągowca. Wykształcony jest on w postaci ilowców, łupków piaszczystych i fanglomeratów o zabarwieniu szarym i czerwonym, nietkniętych metamorfozą i niezaburzonych tektonicznie.

W czwartorzędzie okres plejstocenu reprezentują piaski i żwiry fluwioglacjalne oraz gliny zwałowe, holocen zaś to gliny zboczowe i aluwia.

Okolice Starych Rochowic wchodzą w obręb wielkiej jednostki tektonicznej wieku kaledońskiego, zwanej antyklina Bolków–Wojcieszów. Antyklina ta składa się z czterech jednostek tektonicznych niższego rzędu o charakterze płaszczwinowym, ponasuwanych na siebie z północy na południe. W rejonie Starych Rochowic występują dwie jednostki: Bolkowa i Dobromierza. Leżąca niżej w profilu jednostka Bolkowa zbudowana jest z wapieni wojcieszowskich, przykrytych zieleńcami, nad nimi zaś występują utwory ordowiku i syluru. Jednostka ta jest kilkakrotnie zafałdowana i obalona na południe. Zapada pod jednostkę Dobromierza, którą budują warstwy łupków zieleńcowych, nachylone monoklinalnie ku SE. Utwory staropaleozoiczne obu jednostek przykryte są na znacznej przestrzeni osadami czerwonego spągowca, które wypełniają również zapadlisko Wierzchosławic. Zapadlisko to jest jednostronnym rowem, ograniczonym od NE uskokiem Starych Rochowic. Powstał on prawdopodobnie podczas ruchów młodosańskich. Uskok ten jest końcowym, północnym fragmentem dużej linii dyslokacyjnej, zwanej dyslokacją Strugi. Uskok Starych Rochowic spełnia zasadniczą rolę w hydrogeologii wód zmineralizowanych tego rejonu. Wody uznane za lecznicze ujęte zostały w obrębie tej strefy.

Występujące niegdyś na tym obszarze wody lecznicze, to szczawy i wody siarczanowo-wodorowęglanowo-sodowo-wapniowe. Są to wody szczelinowe, które gromadzą się w strefach rozluźnień tektonicznych w obrębie utworów staropaleozoicznych. Dwa źródła ujęto przed drugą wojną światową (1937), natomiast trzy otwory wiertnicze odwiercono w latach 1967–1968. W chwili obecnej ujęcia te są zdewastowane i nie nadają się do eksploatacji. Występowanie wód leczniczych wiąże się z dyslokacją Starych Rochowic. Przylegające do skał staropaleozoicznych wzdłuż linii uskoku utwory czerwonego spągowca powodują spiętrzenie wód podziemnych i ich wypływ na powierzchnię. Środowiskiem mineralizującym są serie staropaleozoiczne. Wody infiltracyjne, nasycone CO<sub>2</sub>, rozpuszczają minerały otaczających skał. Duża zawartość siarczanów pochodzi przypuszczalnie z łupków ilastych i krzemionkowych syluru. Migracja dwutlenku węgla z głębokich stref odbywa się wzdłuż uskoku i towarzyszącej mu sieci szczelin skalnych. Obszarami infiltracji wód opadowych w głąb są zapewne wzniesienia otaczające Rochowice od północy i północnego wschodu (Fistek i Scherautz 1961; Fistek i Szarszewska 1969; Teisseyre 1976; Fistek 1975c).

## **B. Opis realizacji i wyniki badań**

Badania w rejonie Starych Rochowic wykonano w dniach 16.08–21.08.2006 roku na obszarze o powierzchni 1,59 km<sup>2</sup>. Obszar obejmuje skały paleozoiczne metamorfiku kaczawskiego w rejonie NW zakończenia uskoku Strugi.

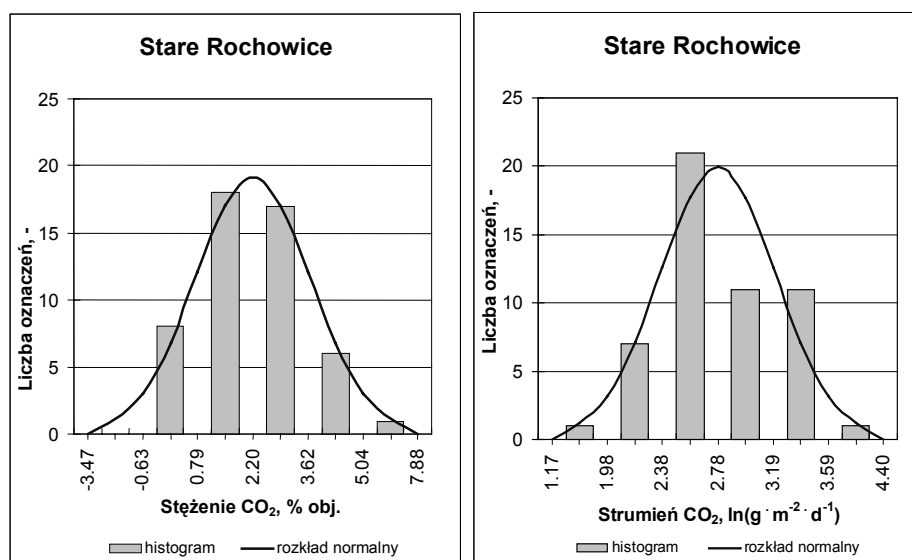
### *Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym*

W rejonie Starych Rochowic pomiar stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym wykonano łącznie w 78 profilach glebowych. Wartość średnią i tło określono na podstawie 52

profilu rozmieszczonych w regularnej siatce  $200 \times 200$  m, uwzględniając maksymalną wartość stężenia w danym profilu i charakter rozkładu. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości stężenia można przyjąć jako normalny. Histogram rozkładu wartości stężenia  $\text{CO}_2$  na tle rozkładu normalnego przedstawiono na rysunku IV.3.

Średnią wartość stężenia  $\text{CO}_2$  w powietrzu glebowym w rejonie Starych Rochowic obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią arytmetyczną. Wynosi ona na tym obszarze 2,20% obj. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono jako wartość średnią  $\pm$  dwa odchylenia standardowe z próby. Mieści się on w granicach 0,00–5,06% obj.

W rejonie Starych Rochowic praktycznie nie występują obszary o anomalnie dużej zawartości  $\text{CO}_2$  w powietrzu glebowym, z wyjątkiem części NW obszaru – źródłowej części doliny Potoku Rochowickiego wypełnionej utworami czwartorzędu. Występują tu lokalnie miejsca o bardzo dużym stężeniu  $\text{CO}_2$  w powietrzu glebowym. Maksymalna wartość, jaka została tu określona, przekracza 60% obj. Szczegółowy rozkład stężenia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 4A) i geologicznej (zał. G4A) w skali 1:10 000.



Rys. IV.3. Histogram stężenia  $\text{CO}_2$  w powietrzu glebowym i strumienia  $\text{CO}_2$  z powierzchni terenu do atmosfery dla rejonu Starych Rochowic

#### *Strumień $\text{CO}_2$ z powierzchni terenu do atmosfery*

Strumień  $\text{CO}_2$  z powierzchni terenu do atmosfery oznaczono w rejonie Starych Rochowic łącznie w 77 punktach pomiarowych. Wartość średnią i tło określono, uwzględniając charakter rozkładu, na podstawie 52 punktów, które były rozmieszczone w regularnej siatce  $200 \times 200$  m. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości strumienia można przyjąć jako logarytmiczno-normalny. Histogram rozkładu wartości strumienia, poddanych logarytmowaniu, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.3.

Średnią wartość strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery w rejonie Starych Rochowic obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią geometryczną. Wynosi ona na tym obszarze 16,19 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono, dokonując transformacji uzyskanych wartości przez logarytmowanie. Dla przetransformowanych wartości określono średnią i zakres tła, a następnie wielkości te delogarytmowano. Obliczony w ten sposób zakres tła wynosi 7,2–36,3 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>.

W rejonie Starych Rochowic występują miejsca, w których wartości strumienia wyraźnie przekraczają górną granicę tła. Obszary, charakteryzujące się dużymi wartościami strumienia dwutlenku węgla, występują na znacznej powierzchni badanego obszaru. Największa powierzchniowo i pod względem wartości anomalia znajduje się w południowej części obszaru i jest przestrzennie, a prawdopodobnie i genetycznie związana z dyslokacją Strugi. W części N oraz NE obszaru strefa zwiększonych wartości strumienia staje się coraz bardziej „rozmyta”, co może być efektem związanym z transportem gazu już w pewnej odległości od wygasającego w tym rejonie uskoku Starych Rochowic, czyli zakończenia dyslokacji Strugi. Natomiast nie da się stwierdzić żadnych zależności tych anomalii od charakterystyki litologicznej utworów tego obszaru. Szczegółowy rozkład strumienia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 4B) i geologicznej (zał. G4B) w skali 1:10 000.

Na omawianym obszarze nie obserwuje się wyraźnego związku między stężeniem CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym a strumieniem tego gazu. Współczynnik korelacji określony dla wszystkich punktów pomiarowych wynosi -0,04.

## IV.4. Szczawno Zdrój

### A. Charakterystyka rejonu

W budowie geologicznej rejonu Szczawna Zdroju biorą udział skały metamorficzne i kompleks skał osadowych karbonu dolnego – seria kulmowa. W południowej części obszaru, poza granicami uzdrowiska, występują utwory karbonu górnego. Są to warstwy wałbrzyskie i białokamieńskie z pokładami węgla kamiennego. Skały metamorficzne reprezentują prekambryjskie gnejsy kry sowiogórskiej, odsłaniające się w niewielkich wystąpieniach na NE od Szczawna Zdroju.

Najstarszym ogniwem karbonu dolnego jest kulm z Chwaliszowa. Są to grube ławice polimiktycznych zlepieńców szarogłazowych przewarstwionych piaskowcami szarogłazowymi, często zlepieńcowatymi. Największy obszar zajmuje kulm z Lubomina, przebiegający rozszerzającym się pasem z kierunku E na NW. Jest to seria złożona z ławic zlepieńcowych z wkładkami piaskowców szarogłazowych i mułowców. Najmłodsze ogniwo tego kompleksu to kulm ze Szczawna biegnący łukowym pasem przecinającym dolinę Szczawnika z E na W. Jest to seria naprzemianległych, powtarzających się ławic zlepieńców, pia-

skowców szarogłazowych i mułowców. Miąższość całej serii kulmu zmienia się w granicach 300–400 m.

Rejon Szczawna Zdroju stanowi fragment NE skrzydła niecki śródsudeckiej. Utwory dolnego karbonu na omawianym obszarze układają się pasmowo, przebiegając ze wschodu na zachód. Warstwy kulmu ze Szczawna i z Lubomina zapadają monoklinalnie w kierunku S lub SSW pod kątem od 60° do 90° w części E, znacznie łagodniej w części W (do 25° kulm z Lubomina, 35°–60° kulm ze Szczawna). Granica kulmu z Chwaliszowa z kulmem niecki śródsudeckiej ma charakter tektoniczny. Seria ta jest silnie spiętrzona i stromo nasunięta w kierunku SW na kulm z Lubomina, czemu towarzyszą liczne uskoki poprzeczne i spękania. Blok gnejsów Gór Sowich wciska się klinem między śródsudecki kulm z Lubomina a kulm z depresji Świebodzie. Strefy dyslokacyjne, oddzielające poszczególne jednostki, mają decydujące znaczenie dla tektoniki rejonu Szczawna Zdroju. Do najważniejszych dyslokacji tego rejonu należą:

- strefa tektoniczna Strugi o kierunku NW–SE, oddzielająca nieckę śródsudecką od depresji Świebodzie; przebiega w odległości około 400 m na NE od źródeł wód leczniczych;
- uskoki Szczawnika, prostopadły do wymienionej strefy, biegnący wzdłuż doliny Szczawnika. Mają one zasadnicze znaczenie dla genezy wód leczniczych tego rejonu. Uskoki i spękania na terenie Szczawna na ogół biegną w kierunkach NW–SE i NE–SW.

Wody mineralne Szczawna Zdroju są wodami szczelinowymi, związanymi ze strefami tektonicznymi o głębokim zasięgu. Pod względem składu chemicznego są to szczawy wodorowęglanowo-sodowo-wapniowe (radonowe) o ogólnej mineralizacji do 4,7 g·dm<sup>-3</sup> i zawartości wolnego CO<sub>2</sub> dochodzącej do 2,5 g·dm<sup>-3</sup>. Wydajności źródeł są niewielkie, rzędu kilkuset litrów na godzinę. Drogami wędrówki dwutlenku węgla są strefy głębokich szczelin i spękań tektonicznych. Wędrujący ku górze dwutlenek węgla nasycza napotkane, infiltrujące w głąb wody podziemne. Spiętrzenie nasyconych CO<sub>2</sub> wód podziemnych następuje na granicy różniących się warunkami przepuszczalności facji kulmu ze Szczawna z kulmem z Lubomina. Przecięcie strefy kontaktowej tych facji uskokiem Szczawnika stworzyło bardzo sprzyjające warunki dla wypływu wód leczniczych. Tu właśnie zostały ujęte szczawy. Są to ujęcia płytke, dzwonowe, gazo- i wodoszczelne. Lecznictwo uzdrowskie bazuje na wodach ze źródeł „Mieszko”, „Mieszko-14”, „Dąbrówka”, „Młynarz” i „Marta” (Teisseyre b.r.; Fistek i Tęsiowska 1969; Fistek i in. 1972; Fistek i in. 1975; Haydukiewicz i in. 1984; Bossowski i Czerski 1987).

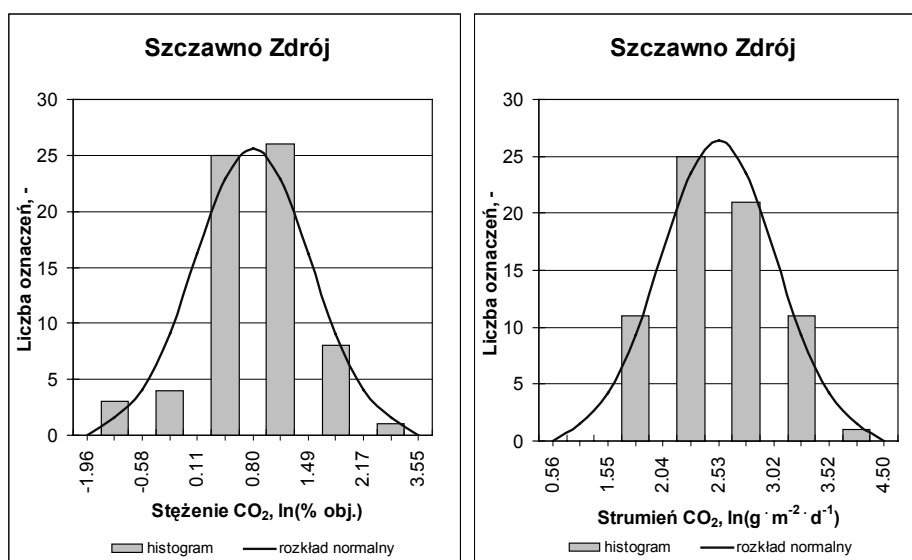
## **B. Opis realizacji i wyniki badań**

Badania w rejonie Szczawna Zdroju wykonano w dniach od 8.08. do 27.08.2007 roku na obszarze o powierzchni 2,05 km<sup>2</sup>. Południowo-zachodnia strefa badań obejmuje wychodnie warstw wałbrzyskich. Badania realizowane były wzdłuż doliny Szczawnika od wychodni warstw wałbrzyskich przez osady kulmu ze Szczawna, kulmu z Lubomina po gnejsy sowiogórskie. W bezpośrednim sąsiedztwie dzisiejszych źródeł Szczawna Zdroju istniało w prze-

szłości kilkanaście źródeł szczaw, które obecnie zanikły. Obszar badań częściowo pokrywa się z obszarem zdjęcia gazowego wykonanego przez J. Fistka i współautorów w 1971 r.

#### *Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym*

W rejonie Szczawna Zdroju pomiar stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym wykonano łącznie w 103 profilach glebowych. Wartość średnią i tło określono na podstawie 69 profili rozmieszczonych w regularnej siatce 200 × 200 m, uwzględniając maksymalną wartość stężenia w danym profilu i charakter rozkładu. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości stężenia można przyjąć jako logarymiczno-normalny. Histogram rozkładu wartości stężenia poddanych logarytmowaniu, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.4.



Rys. IV.4. Histogram stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym i strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery dla rejonu Szczawna Zdroju

Średnią wartość stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym w rejonie Szczawna Zdroju obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią geometryczną. Wynosi ona na tym obszarze 2,22% obj. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono dokonując transformacji uzyskanych wartości przez logarytmowanie. Dla przetransformowanych wartości przeprowadzono test zgodności z rozkładem normalnym i dopiero potem określono zakres tła. Mieści się on w granicach 0,56–3,96% obj.

Anomalnie zwiększone zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym w rejonie Szczawna Zdroju występują w czwartorzędowych osadach dolin potoków, rozcinających utwory tak karbońskiego kulmu ze Szczawna i kulmu z Lubomina, jak również na terenie wychodni klastycznych utworów kulmowych. Obszary anomalne zlokalizowane są również na obszarze wychodni gnejsów sowio-



górkich. Największe wartości układają się w strefy o przebiegu NW–SE, zgodnym z kierunkiem dyslokacji Strugi, a także niemal równoległym do biegu warstw kulmowych. Strefy takie występują także wzdłuż uskoku Szczawnika, biegnącego niemal prostopadle do dyslokacji Strugi. Maksymalna wartość stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym, jaka została określona, jest bardzo duża, gdyż przekracza 60% obj. Szczegółowy rozkład stężenia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 5A) i geologicznej (zał. G5A) w skali 1:10 000.

#### *Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery*

Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery oznaczono w rejonie Szczawna Zdroju łącznie w 104 punktach pomiarowych. Wartość średnią i tło określono, uwzględniając charakter rozkładu, na podstawie 69 punktów, które były rozmieszczone w regularnej siatce 200 × 200 m. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości strumienia można przyjąć jako logarytmiczno-normalny. Histogram rozkładu wartości strumienia poddanych logarytmowaniu, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.4.

Średnią wartość strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery w rejonie Szczawna Zdroju obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią geometryczną. Wynosi ona na tym obszarze 12,57 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono, dokonując transformacji uzyskanych wartości przez logarytmowanie. Dla przetransformowanych wartości określono średnią i zakres tła, a następnie wielkości te delogarytmowano. Obliczony w ten sposób zakres tła wynosi 4,7–33,6 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>.

W rejonie Szczawna Zdroju występują miejsca, w których wartości strumienia przekraczają górną granicę tła. Można sądzić, że w tych miejscach udział endogenicznego CO<sub>2</sub> w całkowitym strumieniu tego gazu jest istotny. Obszary o największej powierzchni i wartości strumienia dwutlenku węgla stwierdzono wzdłuż doliny potoku Szczawnik, ale rozciągają się one także w kierunku do niej prostopadłym, zarówno w części północno-wschodniej, jak i południowo-zachodniej badanego obszaru. Można w takim ułożeniu izolinii dopatrywać się związku zarówno z dyslokacją Szczawnika, o kierunku SW–NE, jak i dyslokacją Strugi, oddzielającą utwory kulmowe depresji Świebodzić od kulmu depresji śródsudeckiej. Ta ostatnia dyslokacja przedłuża się także w kierunku południowo-wschodnim, oddzielając utwory karbonu depresji śródsudeckiej od prekambryjskich skał krystalicznych kry gnejsowej Gór Sowich i określana jest mianem dyslokacji Szczawno–Głuszycy. Można przypuszczać, że stanowi ona drogę migracji CO<sub>2</sub>, aczkolwiek gaz ten migruje zapewne na mniejszych głębokościach również szerszą strefą przez przepuszczalne utwory klastyczne kulmu, zwłaszcza zlepieńce i piaskowce. Również prostopadle i zapewne płytsze dyslokacje, jak np. uskoku Szczawnika, mogą tę migrację ułatwiać, powodując jednocześnie zwiększenie na powierzchni obszarów anomalnych i ich „rozciągnięcie” w kierunku prostopadłym do przebiegu dyslokacji Strugi–Szczawna–Głuszycy. Szczegółowy rozkład strumienia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 5B) i geologicznej (zał. G5B) w skali 1:10 000.

Na omawianym obszarze nie obserwuje się związku między stężeniem CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym a strumieniem tego gazu. Współczynnik korelacji określony dla wszystkich punktów pomiarowych wynosi –0,01. W związku z likwidacją zagłębia węgla kamiennego i odbudową zwierciadła wód podziemnych, nie stwierdzono również tutaj wyraźnie zwiększonego stężenia CO<sub>2</sub>.

## IV.5. Jedlina Zdrój

### A. Charakterystyka rejonu

W budowie geologicznej okolic Jedliny Zdroju biorą udział skały krystaliczne bloku gnejsowego Gór Sowich oraz kompleks utworów osadowych i wylewnych formacji karbońskich, wchodzących w skład niecki śródsudeckiej. Te dwie jednostki na terenie Jedliny mają kontakt tektoniczny wzdłuż dyslokacji Strugi, której fragment nosi w tym rejonie nazwę uskoku Szczawno–Głuszyca.

Prekambr reprezentowany jest przez różnej odmiany gnejsy budujące krę sowiogórską. Karbon dolny na tym terenie tworzą utwory kulmu ze Szczawna wykształconego w postaci zlepieńców drobno- i średnioziarnistych, szarogłazów i mułowców. Miąższość tego kompleksu wynosi 300–400 m.

Karbon górny zbudowany jest, w kolejności od spagu, następująco:

- warstwy wałbrzyskie (namur A), wykształcone są przede wszystkim jako utwory drobnoziarniste, mułowcowo-ilaste oraz piaszczyste, z pokładami węgla,
- warstwy z Białego Kamienia (westfal) są osadami piaszczysto-zlepieńcowatymi, średnio- i gruboziarnistymi. Budują one pasmo wzgórz okalające Jedlinę od wschodu i północy,
- warstwy żaclerskie, które stanowią, obok warstw wałbrzyskich, ważną serię węglonośną i wykształcone są w postaci różnoziarnistych piaskowców zlepieńcowatych i zlepieńców piaszczystych.

W okolicy Jedliny występują też porfiry zaliczane do westfalu. Tworzą one liczne intruzje we wszystkich formacjach geologicznych. Większość wystąpień porfirowych okolic Jedliny wykazuje wtórne przeobrażenia, polegające głównie na kaolinityzacji. Porfiry, dzięki gęstej sieci ciosu termicznego i szczelinowatości, stanowią dogodną drogę infiltracji wód opadowych oraz odgrywają dużą rolę w wędrówce wód podziemnych. W okolicy Jedliny porfirom towarzyszą tufy i autoklastyczne brekcje porfirowe. Na tym terenie występują również melafiry i hydrotermalne żyły barytowe.

W części omawianego rejonu gnejsy sowiogórskie, poza ich zmienną i różnie zorientowaną foliacją, nie wykazują w swej wewnętrznej budowie większego zróżnicowania tektonicznego. Foliacja ta wykazuje orientację zbliżoną do równoleżnikowej z odchyleniem w kierunku NW–SE i upadem ku północy. Badania wykazały obecność na tym terenie wielu dyslokacji o kierunkach równoległych i prostopadłych do dyslokacji brzeżnej gnejsów Gór Sowich, zwanej dyslokacją Szczawno–Głuszyca (Bossowski i in. 1994). Uskoki równoległe do tej dyslokacji charakteryzują się dużym zrzutem (ok. 150 m). Drugi system na omawianym obszarze jest prostopadły lub skośny do pierwszego, o zrzutach nie przekraczających 80 m. Towarzyszą mu liczne spękania obserwowane w piaskowcach i zlepieńcach żaclerskich. Uskoki poprzeczne, o kierunkach SW–NE, tworzą w rejonie Jedliny lokalny rów, z którym związane były wystąpienia naturalnych źródeł szczaw. Zostały one wysłodzone w miarę eksploatacji pokładów węglowych z warstw żaclerskich. Z tektoniką uskoku tego obszaru wiążą się również intruzje skał wylewnych. Intruzje zgodne reprezentowane

przez porfiry towarzyszą warstwom wałbrzyskim, tworząc w nich sille. Niezgodne, do których zalicza się porfiry i melafiry, przebijają kominami głównie warstwy żaclerskie i łącznie ze skałami wulkanoklastycznymi tworzą rozległe pasmo wulkanitów w zachodniej części omawianego obszaru.

Wody lecznicze Jedliny Zdroju to szczawy wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowo-sodowe wypływające ze spękanych porfirów (odwiert J-600), a także słabo zmineralizowane szczawy radonowe znajdujące się w obrębie kompleksu piaskowców karbońskich, poniżej strefy uskokuwej na głębokości około 300 m p.p.t. (odwiert J-300). Zbiornikiem tych wód są utwory osadowe i wylewne karbonu, magazynujące wody szczelinowo-warstwowe. Ilość wód zgromadzonych w osadach karbonu jest niewielka z racji niekorzystnego wykształcenia litologicznego tych utworów. Korzystniejszymi warunkami hydrogeologicznymi odznaczają się jedynie strefy o większym zaangażowaniu tektonicznym. Reżim wód mineralnych został tu naruszony eksploatacją górnictwem. Jednakże w głębszych warstwach skalnych występują strefy wodonośne zawierające wodę mineralną. Strefy te związane są z liniami dyslokacji i uskokuw oraz towarzyszących im spękań. Stanowią one również drogi krążenia dwutlenku węgla. Główną rolę w wydobywaniu się CO<sub>2</sub> z głębszych warstw górotworu można przypisać strefom szczelin występujących w intruzjach porfirowych (Fistek 1967a; Szarszewska 1970; Bosowski i in. 1994; Poprawski i Filbier 1997; Zaleska i in. 2004).

## **B. Opis realizacji badań**

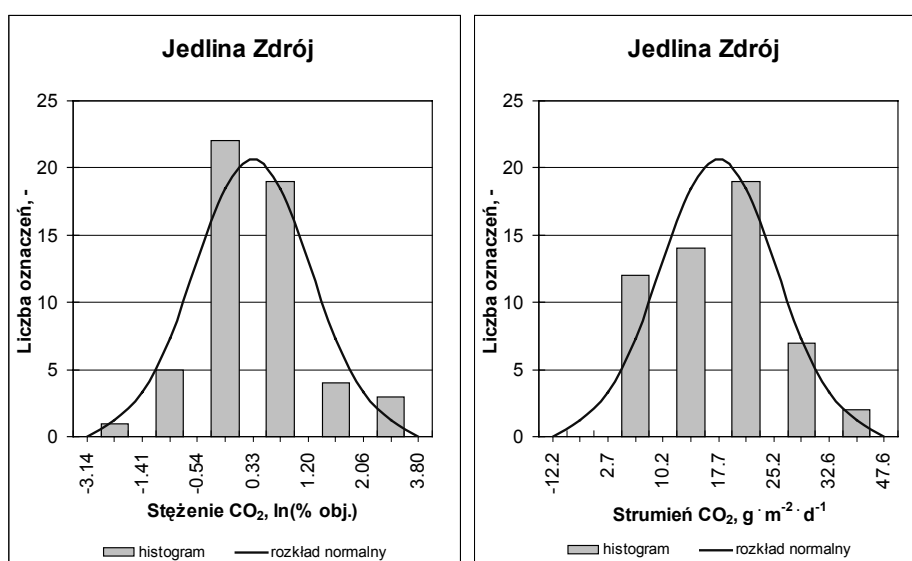
Badania w rejonie Jedliny Zdroju wykonano w dniach 8.06–26.06.2007 roku na obszarze o powierzchni 1,78 km<sup>2</sup>. Siatka pomiarowa rozciągnięta jest w kierunku SW–NE, przecina dwa systemy uskokuw: jeden równoległy do krawędzi kry sowiogórskiej i drugi prostopadły do niej. Obszar obejmuje strefę występowania zanikłych źródeł szczaw. Na obszarze tym występują skały osadowe i magmowe karbonu oraz gnejsy sowiogórskie.

### *Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym*

W rejonie Jedliny Zdroju pomiar stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym wykonano łącznie w 84 profilach glebowych. Wartość średnią i tło określono na podstawie 54 profili rozmieszczonych w regularnej siatce 200 × 200 m, uwzględniając maksymalną wartość stężenia w danym profilu i charakter rozkładu. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości stężenia można przyjąć jako logarytmiczno-normalny. Histogram rozkładu wartości stężenia poddanych logarytmowaniu, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.5.

Średnią wartość stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym w rejonie Jedliny Zdroju obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią geometryczną. Wynosi ona na tym obszarze 1,39% obj. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono, dokonując transformacji uzyskanych wartości przez logarytmowanie. Dla przetransformowanych wartości przeprowadzono test zgodności z rozkładem normalnym i dopiero potem określono zakres tła. Mieści się on w granicach 0,25–5,67% obj.

Zwiększone zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym występują na znacznej części obszaru badań, obejmując różne wydzielania litologiczne – porfiry, utwory karbonu, a także osady rzeczne, leżące na gnejsach sowiogórskich. Obszar anomalnych zawartości dwutlenku węgla jest zlokalizowany przede wszystkim w środkowej części rowu tektonicznego, wypełnionego głównie utworami klastycznymi karbonu oraz w mniejszym stopniu porfirami. Nie widać wyraźnego przestrzennego związku z dyslokacjami. Maksymalna wartość stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym, jaka została określona, jest duża i wynosi 17,2% obj. Szczegółowy rozkład stężenia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 6A) i geologicznej (zał. G6A) w skali 1:10 000.



Rys. IV.5. Histogram stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym i strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery dla rejonu Jedliny Zdroju

#### *Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery*

Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery oznaczono w rejonie Jedliny Zdroju łącznie w 84 punktach pomiarowych. Wartość średnią i tło określono, uwzględniając charakter rozkładu, na podstawie 54 punktów, które były rozmieszczone w regularnej siatce 200 × 200 m. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości strumienia można przyjąć jako normalny. Histogram rozkładu wartości strumienia, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.5.

Średnią wartość strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery w rejonie Jedliny Zdroju obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią arytmetyczną. Wynosi ona na tym obszarze 17,68 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono jako wartość średnią ± dwa odchylenia standardowe z próby. Obliczony w ten sposób zakres tła wynosi 2,6–32,7 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>.

W rejonie Jedliny Zdroju występują miejsca, w których wartości strumienia przekraczają górną granicę tła. Można sądzić, że w tych miejscach udział endogenicznego CO<sub>2</sub> w całkowitym strumieniu jest istotny. Zwiększone wartości strumienia CO<sub>2</sub> występują przede wszystkim w środkowej części rowu tektonicznego wypełnionego utworami klastycznymi karbonu. Nie widać przestrzennego związku między powierzchnią anomalnych wartości strumienia dwutlenku węgla a liniami dyslokacji tektonicznych, w tym znaczących uskózków regionalnych, jak np. dyslokacji Szczawno–Głuszycza, oddzielającej krę gnejsową Gór Sowich od niecki śródsudeckiej. Być może dobrze przepuszczalne utwory klastyczne karbonu powodują swobodne rozprzestrzenianie się strumienia dwutlenku węgla nie tylko wzdłuż dyslokacji ramowych rowu tektonicznego, w tym oddzielających krę gnejsową Gór Sowich od niecki śródsudeckiej, ale także przez całą miąższość osadów karbońskich, leżących nad starszymi skałami krystalicznego podłoża. Szczegółowy rozkład strumienia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 6B) i geologicznej (zał. G6B) w skali 1:10 000.

Na omawianym obszarze nie stwierdzono związku między stężeniem CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym a strumieniem tego gazu. Współczynnik korelacji określony dla wszystkich punktów pomiarowych wynosi 0,09.

## IV.6. Kudowa Zdrój

### A. Charakterystyka rejonu

Omawiany obszar znajduje się w obrębie jednostki geologicznej zwanej obniżeniem Kudowy. Najstarsze skały należą do staropaleozoicznego lub algonckiego kompleksu skał metamorficznych, reprezentowanych przez łupki krystaliczne, chlorytowo-biotytowe, kwarcytowe i fylity serycytowe. Wychodnie tych skał widoczne są w południowo-wschodnim obrzeżeniu zapadliska Kudowy (jednostki Lewina i Taszowa). Wśród kompleksu metamorficznego tkwi waryscyjska intruzja magmowa granitoidu kudowskiego powstała w dolnym karbonie. Skały osadowe górnego karbonu to zróżnicowane osady klastyczne ułożone w naprzemianległe warstwy piaskowców arkozowych z wkładkami łupków ilastych i piaszczystych oraz zlepieńców. W rejonie Kudowy miąższość tych utworów osiąga 140 m. Utwory permskie są reprezentowane przez wyższe ogniwa czerwonego spągowca. Zbudowane są głównie z różnoziarnistych zlepieńców o spoiwie ilastym oraz z gruboławicowych piaskowców arkozowych (Gierwielaniec i Radwański 1958; Gierwielaniec 1955; 1965; Borkowska 1959).

Największe rozprzestrzenienie i podstawowe znaczenie dla hydrogeologii mają występujące tu osady kredy górnej (cenoman i turon). Profil cenomanu środkowego rozpoczynają zlepieńce wapniste, wyżej leżą piaskowce i brekcja muszlowa, na których spoczywają piaskowce cenomanu górnego. Turon dolny stanowią mułowce i margle ilasto-krzemionkowe z *Inoce-*

*ramus labiatus*, turon środkowy zaś budują margle krzemionkowe z *Inoceramus lamarcki*, a górny margle ilasto-krzemionkowe.

Okolice Kudowy stanowią jednostkę tektoniczną zwaną zapadliskiem Kudowy, której przedłużeniem na stronę czeską jest niecka Hronova, a dalej rów Pořici-Hronov. Zapadlisko jest asymetryczne, typu fleksurowego. Ograniczone jest systemem dyslokacji ramowych – od południa i południowego zachodu uskokiem Słone–Jarkov przechodzącym we fleksurę, od północy i północnego wschodu uskokiem o charakterze fleksury Zbečnik–Kudowa–Lewin. Zasadniczym rysem zapadliska jest obecność licznych dyslokacji o dwóch dominujących kierunkach przebiegu: starsze NW–SE na założeniach waryscyjskich i młodsze, poprzeczne do nich, o kierunku SW–NE.

Do dyslokacji starszych, odgrywających ważną rolę w krążeniu wód podziemnych, należą:

- strefa uskokowa doliny potoku Kudowskiego biegnąca od Czermej przez Kudowę Zdrój, Jeleniów do Lewina (tu już jako fleksura). Strefa ta zaburzona jest uskokiem prostopadłym SW–NE,
- uskok Lewin Kłodzki–Dańczów–Kudowa Górna, wzdłuż którego metamorfik jednostki Lewina i granitoid Kudowy kontaktuje z osadami czerwonego spągowca,
- fleksura Kudowa Górna–Czerma–Ždárky–Zalesi–Hronov,
- fleksura południowo-zachodniego obrzeżenia zapadliska, biegnąca od Krzyżanowa poprzez Jurków, Słone do Hronova.

Z dyslokacji młodszych o kierunku NE–SW na uwagę zasługują:

- uskok Jeleniowa,
- uskok Jerzykowice Wielkie–Kudowa Zdrój–Kudowa Zakrze–Brzozowice,
- uskok Sodrohovice–Ždárky–Słone.

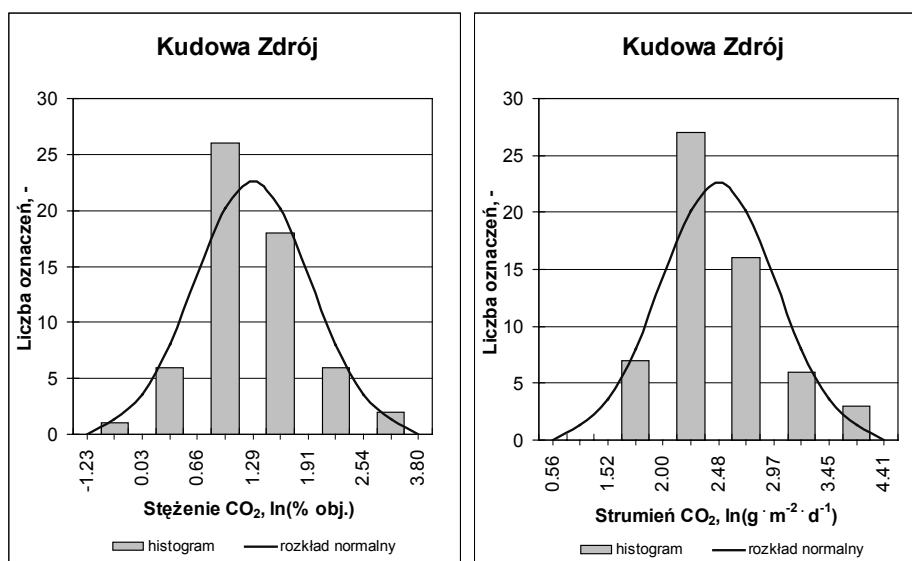
Wody mineralne występują głównie w spągowych partiach kredy górnej, przede wszystkim w piaskowcach górnego cenomanu i mułowcach krzemionkowych dolnego turonu. Zwiększona mineralizacja wód w wyższych partiach kredy, jak i czasami w czwartorzędzie, jest spowodowana przenikaniem wód podziemnych z podłoża skalnego wzdłuż stref tektonicznych. Wody mineralne nie tworzą tu oddzielnego zbiornika, ale funkcjonują w ogólnym układzie hydrodynamicznym obszaru i każda zmiana w reżimie układu dotyczy zarówno wód zwykłych, jak i mineralnych. Pod względem fizykochemicznym wody mineralne Kudowy i okolic charakteryzują się zróżnicowanym składem kationowo-anionowym, wspólną zaś, choć niejednakową, zawartością wolnego CO<sub>2</sub>. Są to szczawy o mineralizacji ogólnej 1,0–3,8 g·dm<sup>-3</sup> i zawartości CO<sub>2</sub> do 2,2 g·dm<sup>-3</sup>, słaboradonowe. Są to wody pochodzenia infiltracyjnego, nasycone dwutlenkiem węgla w strefach zdyslokowanych na kontakcie z krystalicznym podłożem, a następnie zmineralizowane na skutek przechodzenia do roztworu składników uwolnionych z minerałów skałotwórczych w wyniku przemian chemicznych. Obszarem o intensywnej infiltracji wód opadowych jest zapewne południowo-zachodnia część zapadliska, tj. strefa wychodni utworów permskich czerwonego spągowca i górnej kredy. Szczawy Kudowy Zdroju ujęte są odwiertami o różnej głębokości („Moniuszko”, „Nowy Marchlewski”, nr 26 i 27, nr 18, K-200) oraz płytkimi studniami („Górne”, „Gazowe”) (Fistek 1974b; Fistek i Gierwielaniec 1982; Borowiec i in. 1985).

## B. Opis realizacji badań

Badania w rejonie Kudowy Zdroju wykonano w dniach 23.07–2.08.2007 roku na obszarze o powierzchni 1,80 km<sup>2</sup>. Obszar obejmuje centrum Kudowy, wchodząc nieco w zabudowane doliny we wschodniej części oraz sięgając Czermnej na południowym zachodzie. Obszar ten rozciągnięty jest wzdłuż uskoku, w których miejscu przecinania się występuje większość wpływów szczaw kudowskich. Rejon Czermnej objęty jest również przeprowadzonymi badaniami, gdyż na północny zachód od Kudowy odwiertami P-6 i P-4 oraz na terenie Republiki Czeskiej (Hronov) stwierdzono występowanie szczaw.

### Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym

W rejonie Kudowy Zdroju pomiar stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym wykonano łącznie w 88 profilach glebowych. Wartość średnią i tło określono na podstawie 59 profili rozmieszczonych w regularnej siatce 200 × 200 m, uwzględniając maksymalną wartość stężenia w danym profilu i charakter rozkładu. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości stężenia można przyjąć jako logarytmiczno-normalny. Histogram rozkładu wartości stężenia poddanych logarytmowaniu, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.6.



Rys. IV.6. Histogram stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym i strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery dla rejonu Kudowy Zdroju

Średnią wartość stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym w rejonie Kudowy Zdroju obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład wyników, jako średnią geometryczną. Wynosi ona na tym obszarze 3,62% obj. i jest to największa średnia we wszystkich objętych badaniami rejonach Sudetów. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono, dokonując transformacji uzyska-

nych wartości przez logarytmowanie. Dla przetransformowanych wartości przeprowadzono test zgodności z rozkładem normalnym i dopiero potem określono zakres tła. Mieści się on w granicach 1,03–12,7% obj.

Na obszarze Kudowy Zdroju zwiększone wartości stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym notowane są w obszarze doliny Kudowskiego Potoku, Bystrej i Dańczówki. Obszary anomalne występują zarówno na wychodniach warstw kredy górnej, jak i holocenu, wypełniających dna dolin. Obszary te częściowo pokrywają się z zaznaczonymi na mapie geologicznej uskokiemi biegnącymi również w dnach wymienionych dolin potoków. Maksymalna wartość stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym jest bardzo duża i wynosi 35,4% obj. Szczegółowy rozkład stężenia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 7A) i geologicznej (zał. G7A) w skali 1:10 000.

#### *Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery*

Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery oznaczono w rejonie Kudowy Zdroju łącznie w 88 punktach pomiarowych. Wartość średnią i tło określono, uwzględniając charakter rozkładu, na podstawie 59 punktów, które były rozmieszczone w regularnej siatce 200 × 200 m. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości strumienia można przyjąć jako logarytmiczno-normalny. Histogram rozkładu wartości strumienia poddanych logarytmowaniu, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.6.

Średnią wartość strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery w rejonie Kudowy Zdroju obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią geometryczną. Wynosi ona na tym obszarze 11,99 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono, dokonując transformacji uzyskanych wartości przez logarytmowanie. Dla przetransformowanych wartości określono średnią i zakres tła, a następnie wielkości te delogarytmowano. Obliczony w ten sposób zakres tła wynosi 4,6–31,4 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>.

W rejonie Kudowy Zdroju występują miejsca, w których wartości strumienia wyraźnie przekraczają górną granicę tła. Można sądzić, że w tych miejscach udział endogenicznego CO<sub>2</sub> w całkowitym strumieniu jest istotny. Rozkład obszarów o zwiększonych wartościach strumienia CO<sub>2</sub> jest podobny do opisanego rozmieszczenia obszarów o zwiększonych wartościach stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym. Charakterystyczna jest jednak duża pod względem wartości anomalia zlokalizowana w centrum Kudowy Zdroju. Przebieg izolinii strumienia dwutlenku węgla jest charakterystycznie wydłużony w kierunku NW–SE i pokrywa się z kierunkiem strefy uskokowej doliny Kudowskiego Potoku. Strefa ta jest w wielu miejscach przecięta prostopadłymi uskokiemi, niewątpliwie również ułatwiającymi migrację CO<sub>2</sub>. Szczegółowy rozkład strumienia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 7B) i geologicznej (zał. G7B) w skali 1:10 000.

Ze wszystkich omawianych obszarów występowania szczaw w Sudetach w Kudowie Zdroju widoczny jest najbardziej wyraźny związek między stężeniem CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym a strumieniem tego gazu. Współczynnik korelacji określony dla wszystkich punktów pomiarowych wynosi 0,52 i jest on istotny statystycznie na poziomie istotności 0,05. Jest to silna korelacja dodatnia.



## IV.7. Jeleniów

### A. Charakterystyka rejonu

Rejon Jeleniowa znajduje się w obrębie jednostki geologicznej zwanej obniżeniem Kudowy. Najstarsze utwory należą do staropaleozoicznego lub algonckiego kompleksu skał metamorficznych, reprezentowanych przez łupki: krystaliczne, chlorytowo-biotytowe, kwarcytowe i fyllity serycytowe. Wschodnie tych skał widoczne są w południowo-wschodnim obrzeżeniu zapadliska Kudowy (jednostki Lewina i Taszowa). Wśród kompleksu metamorficznego tkwi intruzja magmowa granitoidu kudowskiego. Skały osadowe górnego karbonu to zróżnicowane osady klastyczne ułożone w naprzemianległe warstwy piaskowców, łupków ilastych i piaszczystych oraz zlepieńców. Utwory permskie są reprezentowane przez wyższe ogniwa czerwonego spągowca. Zbudowane są głównie z różnoziarnistych zlepieńców o spoiwie ilastym oraz rzadziej z gruboławicowych piaskowców arkozowych.

Największe rozprzestrzenienie i podstawowe znaczenie dla hydrogeologii mają w tym rejonie osady kredy górnej (cenoman i turon). Profil cenomanu środkowego rozpoczynają zlepieńce wapniste, wyżej leżą piaskowce i brekcja muszlowa, na których spoczywają piaskowce cenomanu górnego. Turon dolny budują od spągu mułowce i margle ilasto-krzemionkowe z *Inoceramus labiatus*, turon środkowy zaś tworzą margle krzemionkowe z *Inoceramus lamarcki*, a górny margle ilasto-krzemionkowe.

Utwory czwartorzędu są reprezentowane głównie przez osady plejstocenu – gliny zwietrzelinowe, rumosze zboczowe, żwiry i piaski starych tarasów akumulacyjnych. Utwory holocenu występują przeważnie w postaci glin, piasków i żwirów, związanych z dolinami rzek i potoków.

Okolice Jeleniowa leżą w obrębie jednostki tektonicznej zwanej zapadliskiem Kudowy. Zapadlisko jest asymetryczne, typu fleksurowego. Ograniczone jest systemem dyslokacji ramowych – od S i SW uskokiem Słone–Jarkov przechodzącym we fleksurę, od N i NE zaś uskokiem o charakterze fleksury Zbečnik–Kudowa–Lewin. Zasadniczym rysem zapadliska jest obecność licznych dyslokacji o dwóch dominujących kierunkach przebiegu: starsze NW–SE na założeniach waryscyjskich i młodsze, poprzeczne do nich, o kierunku SW–NE. Do pierwszych, odgrywających ważną rolę w krążeniu wód podziemnych, należą:

- strefa uskoku doliny potoku Kudowskiego biegnąca od Czermej przez Kudowę Zdrój, Jeleniów do Lewina (tu już jako fleksura). Strefa ta zaburzona jest prostopadłym uskokiem (SW–NE),
- uskok Lewin Kłodzki–Dańczów–Kudowa Górna, wzdłuż którego metamorfik jednostki Lewina i granitoid Kudowy kontaktuje z osadami czerwonego spągowca,
- fleksura Kudowa Górna–Czermna–Ždarky–Zalesi–Hronov,
- fleksura południowo-zachodniego obrzeżenia zapadliska, biegnąca od Krzyżanowa poprzez Jurków, Słone do Hronova.

Z dyslokacji młodszych, o kierunku NE–SW na uwagę zasługują:

- uskok Jeleniowa,

- uskoki Jerzykowice Wielkie–Kudowa Zdrój–Kudowa Zakrze–Brzozowice,
- uskoki Sodrohovice–Ždárky–Słone.

Wody mineralne występują głównie w spągowych partiach kredy górnej, przede wszystkim w piaskowcach górnego cenomanu i mułowcach krzemionkowych dolnego turonu. Zwiększona mineralizacja wód zarówno w wyższych partiach kredy, jak i czasami w czwartorzędzie jest spowodowana przenikaniem wód podziemnych z podłoża skalnego wzdłuż stref tektonicznych. Wody mineralne nie tworzą tu oddzielnego zbiornika, ale funkcjonują w ogólnym układzie hydrodynamicznym obszaru i każda zmiana w reżimie układu dotyczy zarówno wód zwykłych, jak i mineralnych. Szczawy wodorowęglanowo-wapniowe, sodowe, arsenowe, radonowe ze złoża w miejscowości Jeleniów ujęte są odwiertem J-150, który obecnie nie jest eksploatowany (Gierwielanec i Radwański 1958; Fistek 1970; Sadowska 1989).

## B. Opis realizacji i wyniki badań

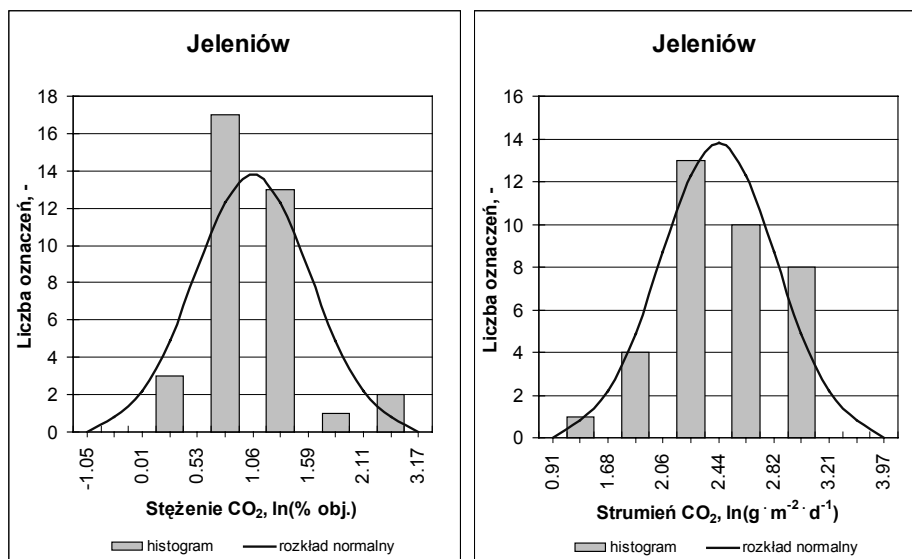
Badania w rejonie Jeleniowa wykonano w dniach 2.08–6.08.2007 roku na obszarze o powierzchni 0,67 km<sup>2</sup>. Obszar obejmuje połączenie dolin Bystrej i Klikawy o założeniach tektonicznych. W jego obrębie znajdują się ujęcia szczaw w Jeleniowie w rejonie rozlewni wód mineralnych oraz w centrum miejscowości. Pomiedzy tymi ujęciami zachodzi wyraźna zależność hydrauliczna. Dodatkowo w otworze P-5 stwierdzono podwyższoną temperaturę wody. Stąd obszar rozciągnięty jest wzdłuż doliny Bystrej. Wszystkie wypływy znajdują się w skałach kredowych zapadliska Kudowy.

### *Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym*

W rejonie Jeleniowa pomiar stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym wykonano łącznie w 44 profilach glebowych. Wartość średnią i tło określono na podstawie 36 profili rozmieszczonych w regularnej siatce 200 × 200 m, uwzględniając maksymalną wartość stężenia w danym profilu i charakter rozkładu. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości stężenia można przyjąć jako logarytmiczno-normalny. Histogram rozkładu wartości stężenia poddanych logarytmowaniu, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.7.

Średnią wartość stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym w rejonie Jeleniowa obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią geometryczną. Wynosi ona na tym obszarze 2,89% obj. i jest po rejonie Kudowy Zdroju największą średnią w całych Sudetach. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono, dokonując transformacji uzyskanych wartości przez logarytmowanie. Dla przetransformowanych wartości przeprowadzono test zgodności z rozkładem normalnym i dopiero potem określono zakres tła. Mieści się on w granicach 1,00–8,29% obj.

Na obszarze Jeleniowa zwiększone wartości stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym notowane są w dolinach Kudowskiego Potoku, Bystrej i Dańczówki. Obszary anomalne występują zarówno na wychodniach warstw kredy górnej, jak i czwartorzędu, wypełniających dna dolin. Obszary te częściowo pokrywają się z zaznaczonymi na mapie geologicznej uskokami biegnącymi również w dnach wymienionych dolin potoków.



Rys. IV.7. Histogram stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym i strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery dla rejonu Jeleniowa

Maksymalna wartość stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym jest duża i wynosi 17,8% obj. Szczegółowy rozkład stężenia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 8A) i geologicznej (zał. G8A) w skali 1:10 000.

#### *Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery*

Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery oznaczono w rejonie Jeleniowa łącznie w 44 punktach pomiarowych. Wartość średnią i tło określono, uwzględniając charakter rozkładu, na podstawie 36 punktów, które były rozmieszczone w regularnej siatce 200 × 200 m. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości strumienia można przyjąć jako logarytmiczno-normalny. Histogram rozkładu wartości strumienia podanych logarytmowaniu, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.7.

Średnią wartość strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery w rejonie Jeleniowa obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią geometryczną. Wynosi ona na tym obszarze 11,49 g·m<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono, dokonując transformacji uzyskanych wartości przez logarytmowanie. Dla przetransformowanych wartości określono średnią i zakres tła, a następnie wielkości te delogarytmowano. Obliczony w ten sposób zakres tła wynosi 5,3–24,7 g·m<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>.

W rejonie Jeleniowa w żadnym punkcie pomiarowym wartości strumienia nie przekraczają górnej granicy tła. Można sądzić, że w całym rejonie dominujące znaczenie ma CO<sub>2</sub> pochodzenia biogenicznego. Jednak ze względu na dużą średnią wartość stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym zaznacza się również wpływ endogenicznego CO<sub>2</sub> w strumieniu. Przemawia za tym stosunkowo duża wartość współczynnika korelacji między stężeniem

CO<sub>2</sub> a strumieniem tego gazu. Współczynnik korelacji określony dla wszystkich punktów pomiarowych wynosi 0,33 i jest on istotny statystycznie na poziomie istotności 0,05. Jest to korelacja dodatnia o średnim natężeniu. Rozkład obszarów o zwiększonych wartościach strumienia CO<sub>2</sub> jest więc podobny do rozmieszczenia obszarów o zwiększonych wartościach stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym. Szczegółowy rozkład strumienia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 8B) i geologicznej (zał. G8B) w skali 1:10 000.

## IV.8. Duszniki Zdrój i Bobrowniki Stare

### A. Charakterystyka rejonów

W budowie geologicznej okolic Dusznik Zdroju biorą udział różnowiekowe zespoły skał metamorficznych i osadowych. Najstarszymi utworami są skały metamorficzne prekambru. Reprezentowane są one przez różne odmiany łupków krystalicznych: kwarcytowe, łyszczykowe, grafitowe, albitowo-epidotowe, a także wapienie krystaliczne i paragnejsy. W obrębie tych skał, w strefach dyslokacji tektonicznych spotyka się liczne intruzje porfiru, które należy wiązać z waryscyjskim cyklem magmowym, z przełomu karbonu i permu.

Na podłożu skał metamorficznych omawianego terenu zalegają utwory górnokredowe, wypełniające obniżenie dusznickie. Profil kredowy reprezentują zlepieńce lub piaskowce cenomanu, wyżej mułowce poziomu *Actinocamax plenus*, obficie zabarwione glaukonitem oraz margle poziomu *Inoceramus labiatus* dolnego turonu. Środkowy turon to margle piaszczyste i piaszczysto-wapniste, przeławiczone piaskowcami kwarcowo-skaleniovymi poziomu *Inoceramus lamarki*. Powyżej występują margle słabo zdiagenezowane, ciemnoszare górnego turonu. Sedymentację górnej kredy w rejonie Dusznik Zdroju kończą osady koniakku – margle ilasto-krzemionkowe lub piaszczyste i piaskowce kwarcowe.

Rejon Dusznik położony jest w obrębie dwóch jednostek tektonicznych wyższego rzędu: krystaliniku Gór Bystrzyckich i Orlickich oraz niecki śródsudeckiej. Linia ograniczającą obie jednostki jest uskoku Duszniki–Gorzanów o kierunku NW–SE, który w sąsiedztwie uzdrowiska nosi nazwę uskoku brzeżnego Dusznik. Strefa ta jest w wielu miejscach porozrywana uskokami poprzecznymi. Druga ważna strefa dyslokacyjna przebiega na południowy zachód od Dusznik Zdroju i wyznacza ją linia uskoku Podgórze–Graniczna–Zieleniec, o kierunku NNW–SSE. Rejon położony pomiędzy wspomnianymi strefami zaburzeń tektonicznych jest obszarem zapadliskowym, wewnątrz którego obserwowana jest niezwykle gęsta sieć uskoków i głębokich szczelin. Uskoki te tną teren na bloki przemieszczane względem siebie i układają je schodowo, z obniżeniem w kierunku północnym. Na uwagę zasługuje linia tektoniczna biegnąca wzdłuż doliny rzeki Bystrzyca Dusznickiej, zwana uskokiem źródłowym Dusznik Zdroju. Uskok źródłowy wykazuje nachylenie ku południowemu wschodowi i w swej południowej części przecina grupę mniejszych uskoków o kierunku NW–SE.

Wody lecznicze Dusznik Zdroju są szczawami wodorowęglanowo-wapniowo-sodowymi, niekiedy magnezowymi, z dużą zawartością wolnego dwutlenku węgla (do  $2,4 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ). Wody te odznaczają się najwyższą temperaturą spośród szczaw sudeckich (do  $18^\circ\text{C}$ ), co oznacza, że są one wodami głębokiego krążenia, które swoją ciepłotę zawdzięczają stopniowi geotermicznemu. Największą rolę w hydrogeologii szczaw tej okolicy odgrywają dwa kierunki ważnych dyslokacji – uskoki Dusznik o kierunku NW–SE i poprzeczny do niego (SW–NE), biegnący dolinami Bystrzycy Dusznickiej i potoku Bobrownik Starych. Z tym ostatnim związane jest występowanie szczaw Dusznik Zdroju i Bobrownik Starych, położonych około 3 km na wschód od Dusznik Zdroju.

Szczawy Dusznik Zdroju ujęte są odwiertami: „Pieniawa Chopina”, „Jan Kazimierz”, „Agata”, „Zimny Zdrój”, B-1, B-2, B-3, B-4, nr 39. W Dusznikach Zdroju eksploatowany jest także  $\text{CO}_2$ . Gaz ten odzyskiwany jest z większości wymienionych otworów, po czym sprężony i skroplony sprzedawany jest do celów spożywczych.

Na terenie Bobrownik Starych znane były dwa źródła szczaw „Maria” i „Teresa”. Źródło „Teresa” uległo naturalnemu zniszczeniu w czasie powodzi w 1997 roku, natomiast zdewastowane źródło „Maria” jest obecnie odrestaurowane.

Szerzej warunki geologiczne i hydrogeologiczne rejonu Dusznik Zdroju przedstawili Fistek 1965; 1977; Opletal i in. 1980; Cymerman 1992; Dowgiałło i Fistek 2003.

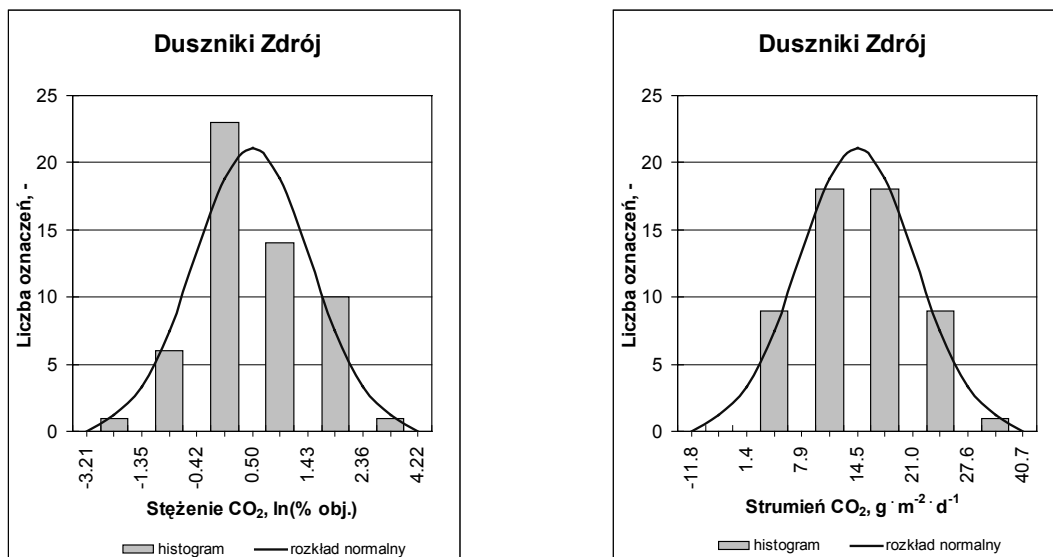
## B. Opis realizacji i wyniki badań

Badania w rejonie Dusznik Zdroju i Bobrownik Starych wykonano w dniach 28.06–16.07.2007 roku. Powierzchnia rejonu badań w Dusznikach Zdroju wyniosła  $1,58 \text{ km}^2$ , a w Bobrownikach Starych  $0,2 \text{ km}^2$ . Siatka pomiarowa rozciąga się wzdłuż doliny Bystrzycy Dusznickiej. Dnem doliny przebiega strefa uskoku, która wraz z licznymi, tnącymi ją w poprzek, uskokami tworzy strefę źródłową Dusznik Zdroju. W północno-wschodniej części obszar wychodzi poza uskoki brzeżny Dusznik, będący częścią dużej strefy dyslokacyjnej odpowiadającej prawdopodobnie za doprowadzenie endogenicznego  $\text{CO}_2$ . W części południowo-zachodniej i południowej obszar wchodzi on w doliny cieków, przy czym w dolinie Bystrzycy Dusznickiej obejmuje obszar z licznymi występującymi uskokami o kierunku sudeckim. Istniejące i nieistniejące ujęcia szczaw położone są wzdłuż całego obszaru badań. Należy także zaznaczyć, że wykonywane wcześniej zdjęcia gazowe obejmowały tylko samo dno doliny Bystrzycy Dusznickiej. Obszar przedstawianych badań pokrywa w całości obszary zdjęcia gazowego wykonanego przez J. Fistka i współautorów w 1971 r. oraz wykonanych przez E. Krzemińską, B. Kiełczawę i P. Mazurka w latach 2002 i 2003.

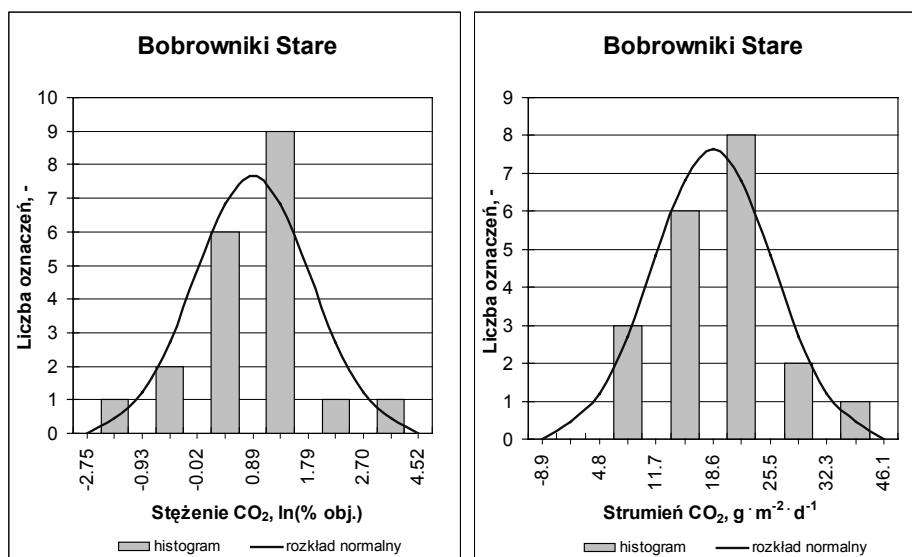
### *Stężenie $\text{CO}_2$ w powietrzu glebowym*

W rejonie Dusznik Zdroju pomiar stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym wykonano łącznie w 89 profilach glebowych, a w rejonie Bobrownik Starych w 22 profilach. Wartość średnią i tło określono odpowiednio na podstawie 55 profili i 20 profili rozmieszczonych w regularnej siatce, uwzględniając maksymalną wartość stężenia w danym profilu i charakter rozkładu. Analiza sta-

tystyczna wykazała, że w obu przypadkach na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości stężenia można przyjąć jako logarymiczno-normalny. Histogram rozkładu wartości stężenia poddanych logarytmowaniu, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunkach IV.8 i IV.9.



Rys. IV.8. Histogram stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym i strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery dla rejonu Dusznik Zdroju



Rys. IV.9. Histogram stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym i strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery dla rejonu Bobrownik Starych

Średnie wartości stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym w rejonie Dusznik Zdroju i Bobrownik Starych obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład jako średnie geometryczne. Wynoszą one odpowiednio 1,66 i 2,42% obj. Zakres tła dla omawianych rejonów obliczono, dokonując transformacji uzyskanych wartości przez logarytmowanie. Dla przetransformowanych wartości przeprowadzono test zgodności z rozkładem normalnym i dopiero potem określano zakresy tła. Mieszczą się one dla rejonu Dusznik Zdroju w granicach 0,26–6,40% obj., a dla rejonu Bobrownik Starych w granicach 0,39–6,14% obj.

Obszar zwiększonych wartości stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym zarówno w rejonie Dusznik Zdroju, jak i Bobrownik Starych zajmuje doliny rzek i potoków. W Bobrownikach Starych pokrywa się on jednocześnie z uskokiem tektonicznym, wzdłuż którego wypiętrzone są skały krystaliczne metamorfiku bystrzycko-orlickiego ponad nieckę śródsudecką wypełnioną osadami kredy. Dyslokacja ta to uskoki Duszniki–Gorzanów, na tym odcinku nazywany także uskokiem brzeżnym Dusznik, biegnący w kierunku WNW–ESE. Anomalnie duże wartości występują na obu skrzydłach uskoku, a więc obszary o zwiększonych wartościach stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym nie są związane z żadnym wydzieleniem litostratygraficznym, gdyż występują zarówno na obszarze zbudowanym ze skał osadowych kredy, jak i osadów holocenijskich przykrywających prekambryjskie skały krystaliczne. Natomiast na obszarze Dusznik Zdroju zwiększone wartości, obserwowane w dolinie Bystrzycy Dusznickiej, są prawdopodobnie związane z tzw. uskokiem źródłowym Dusznik.

Maksymalne wartości stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym są duże i wynoszą 27,7% obj. i 24,5% obj. odpowiednio dla Dusznik Zdroju i Bobrownik Starych. Szczegółowy rozkład stężenia dla rejonów Dusznik Zdroju i Bobrownik Starych przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 9A) i geologicznej (zał. G9A) w skali 1:10 000.

#### *Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery*

Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery oznaczono w rejonie Dusznik Zdroju łącznie w 89 punktach pomiarowych, a w rejonie Bobrownik Starych w 22 punktach. Wartość średnią i tło określono uwzględniając charakter rozkładu odpowiednio na podstawie 55 i 20 punktów, które były rozmieszczone w regularnej siatce. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 w obu przypadkach rozkład wartości strumienia można przyjąć jako normalny. Histogramy rozkładu strumienia na tle rozkładu normalnego przedstawiono na rysunkach IV.8 i IV.9.

Średnie wartości strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery w omawianych rejonach obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią arytmetyczną. Wynoszą one na tym obszarze 14,46 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> i 18,58 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> odpowiednio dla Dusznik Zdroju i Bobrownik Starych. Zakresy tła obliczono jako wartość średnią ± dwa odchylenia standardowe z próby ( $E_{sr} \pm 2s$ ). Wynoszą one odpowiednio 1,3–27,6 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> dla Dusznik Zdroju oraz 4,6–32,5 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> dla Bobrownik Starych.

W rejonach Dusznik Zdroju i Bobrownik Starych praktycznie nie występują miejsca o anomalnych wartościach strumienia względem tła. Należy sądzić, że na całej badanej po-

wierzchni dominującą rolę odgrywa biogeniczny CO<sub>2</sub>. Niemniej jednak wyraźnie widoczne są obszary o zwiększonej wartości strumienia CO<sub>2</sub>, które układają się równolegle do uskoku brzeżnego Dusznik (Duszniki–Gorzanów) w pewnej od niego odległości, na obu skrzydłach, zarówno w rejonie Dusznik Zdroju, jak i Bobrownik Starych. Może to świadczyć o migracji endogenicznego CO<sub>2</sub> wzdłuż tej strefy dyslokacyjnej w kierunku powierzchni litosfery. Szczegółowy rozkład strumienia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 9B) i geologicznej (zał. G9B) w skali 1:10 000.

Na omawianym obszarze nie obserwuje się wyraźnego związku między stężeniem CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym a strumieniem tego gazu. Współczynniki korelacji określone dla wszystkich punktów pomiarowych wynoszą dla rejonu Dusznik Zdroju 0,15, a dla rejonu Bobrownik Starych –0,19.

## IV.9. Polanica Zdrój

### A. Charakterystyka rejonu

W budowie geologicznej rejonu Polanicy Zdroju i sąsiadującego z nią Szalejowa Górnego biorą udział głównie utwory kredy górnej, przykryte osadami czwartorzędu. Podłoże kredy zbudowane jest ze skał krystalicznych, tj. gnejsów i łupków łuszczkowych, na których na północny zachód od Polanicy Zdroju i Szalejowa Górnego zalegają skały osadowe i wylewne permu (czerwony spągowiec), bezpośrednio podścielające osady kredy górnej.

Osady kredy górnej o miąższości dochodzącej do 450 m charakteryzują się dużym zróżnicowaniem litologicznym i facjalnym, od gruboklastycznych, zlepieńcowo-piaskowcowych, przez marglisto-piaszczyste, do ilastych. Cenoman górny reprezentowany jest przez zlepienie podstawowy i wyżej leżące ławice piaskowca glaukonitowego i piaskowce ciosowe. Turon dolny to mułowce i piaskowce glaukonitowe, wapniste, a w górnej części profilu margle krzemionkowe poziomu *Inoceramus labiatus*, przedzielone mułowcem wapnistym. Turon środkowy zbudowany jest z naprzemianległych osadów marglistych i piaszczystych poziomu *Inoceramus lamarcki*. Turon górny wykształcony jest w postaci margli ilasto-piaszczystych. Osady koniaku to margle ilaste i piaszczyste, piaskowce kwarcowe i w stropie margle ilaste z wkładkami piaskowców wapnistych.

Polanica Zdrój położona jest na pograniczu dwóch wielkich jednostek tektonicznych – niecki śródsudeckiej i rowu górnej Nisy Kłodzkiej. Tektonika tych jednostek ma charakter uskokowy i związana jest z ruchami młodosańskimi. Uskoki te prawdopodobnie powstały na starych założeniach waryscyjskich i zapewne sięgają w głębokie podłoże krystaliczne. Utwory kredowe tworzą synklinalne zagłębienie o rozciągłości NW-SE, ograniczone od północy i południa Górami Bystrzyckimi i Stołowymi. Zagłębienie to zaburzone jest wzdłuż swych północno-wschodnich i południowo-zachodnich brzegów podłużnymi dys-



lokacjami. Prócz tych zaburzeń strefa ta pocięta jest uskokami poprzecznymi o kierunku NE–SW, które na terenie uzdrowiska uformowały wiele zapadniętych bloków. Uskokowy styl tektoniki w połączeniu z synklinalnym ułożeniem warstw kredowych ma duże znaczenie dla genezy wód mineralnych. Gęsta sieć uskoków wskazuje na głębokie zaburzenia warstw skalnych podłoża kredowego, z którymi to strefami związana jest obecność CO<sub>2</sub> w wodach mineralnych tego rejonu. Do najważniejszych deformacji dysjunktywnych tego obszaru należą:

- strefa tektoniczna Duszniki–Gorzanów,
- uskok Batorów–Polanica Zdrój (tzw. główny uskok Gór Stołowych),
- uskok Wolany–Polanica Zdrój z wiązką uskoków na terenie Polanicy, wzdłuż tej strefy dyslokacyjnej odbywa się migracja CO<sub>2</sub> z głębszego podłoża i następuje zapewne spiętrzenie wód podziemnych płynących z kierunku północno-zachodniego,
- uskok Wolany–Szalejów Górny.

W omawianym rejonie wody mineralne występują w piaskowcach kredowych, w pobliżu głównych stref dyslokacyjnych. Występowanie wód szczelinowych w utworach kredowych ograniczone jest do mułowców i margli dolnego turonu, w obszarach o większej szczelinowatości tych skał (strefy uskokowe).

Wody lecznicze Polanicy Zdroju są wodami szczelinowo-warstwowymi i występują w spękanych piaskowcach kwarcowo-skaleniovych turonu środkowego. Są to szczawy o mineralizacji sięgającej 2,7 g/dm<sup>3</sup> i zawartości dwutlenku węgla do 2,9 g/dm<sup>-3</sup>. Ujęte wpływy mają charakter artezyjski o dużych wydajnościach. Występowanie tych wód związane jest ze strefami zaburzeń tektonicznych (uskoki, fleksury), które są drogami doprowadzającymi juwenilny dwutlenek węgla z głębszych partii górotworu do wód krążących w piaskowcach kredy. Obecnie w Polanicy Zdroju znajdują się cztery eksploatowane odwierty ujmujące szczawy uznane za lecznicze (P-300a, „Wielka Pieniawa”, „Pieniawa Józefa I” oraz „Pieniawa Józefa II”). Wody te, oprócz celów balneologicznych, wykorzystywane są także w rozlewnictwie.

Na obszarze górniczym „Polanica Zdrój”, w jego północno-zachodniej części, wypływają szczawy w Szalejowie Górnym. Znajduje się tu jedno nieeksploatowane źródło „Victoria”.

Podstawowe informacje geologiczne i hydrogeologiczne o tym rejonie znajdują się w pracach Wójcika i Gaździka 1958; Wójcika 1961; Fistka 1966, 1977 oraz Kowalskiego 1983.

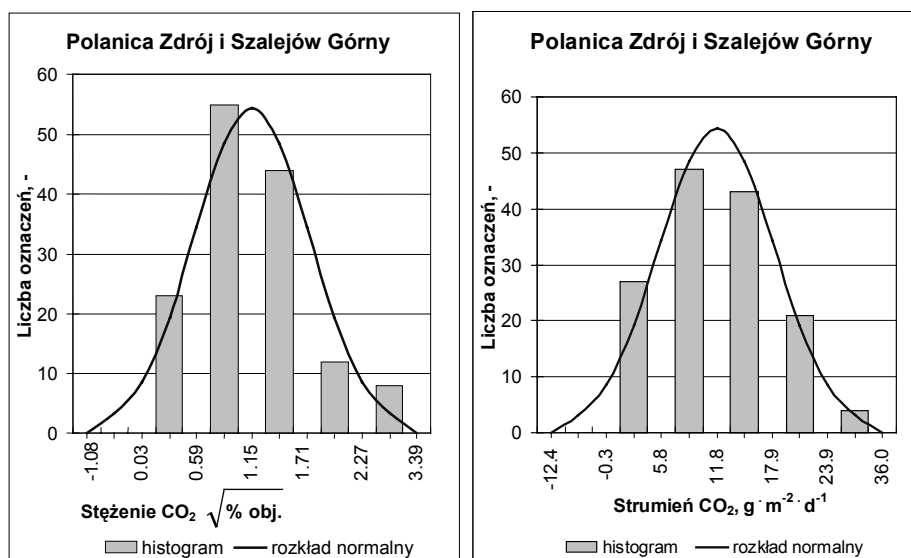
## **B. Opis realizacji i wyniki badań**

Badania w rejonie Polanicy Zdroju i Szalejowa Górnego wykonano w dniach 11.09–30.09.2006 roku na obszarze o powierzchni 4,85 km<sup>2</sup>. Siatka obejmuje obszar Polanicy Zdroju zbudowany ze skał kredy. Według J. Fistka zasilanie tutejszych szczaw odbywa się od południa, od brzeźnego uskoku Dusznik oraz od północy, z rejonu Wolan. Ponieważ od strony południowej wykonano ostatnio wiele wierceń, w których nie trafiono na gaz,

dlatego obszar badań obejmuje centrum miejscowości oraz teren położony na północny wschód, wzdłuż stref uskokowych Polanica–Wolany, gdzie zaobserwowano już występowanie szczaw. Obszar badań rozciąga się aż do Szalejowa Górnego. Obejmuje on tereny zbudowane ze skał kredy, wzdłuż potoku płynącego z Wolan, tj. zgodnie z biegiem strefy dyslokacyjnej Wolany–Szalejów Górny, z którą Fistek (1977) łączy doprowadzenie CO<sub>2</sub> z większej głębokości. W obrębie tej strefy w Szalejowie Górnym występuje źródło szczaw „Victoria”.

#### *Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym*

W rejonie Polanicy Zdroju i Szalejowa Górnego pomiar stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym wykonano łącznie w 216 profilach glebowych. Wartość średnią i tło określono na podstawie 142 profili rozmieszczonych w regularnej siatce 200 × 200 m, uwzględniając maksymalną wartość stężenia w danym profilu i charakter rozkładu. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości stężenia można przyjąć jako pierwiastkowo-normalny. Histogram rozkładu wartości stężenia poddanych pierwiastkowaniu, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.10.



Rys. IV.10. Histogram stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym i strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery dla rejonu Polanicy Zdroju i Szalejowa Górnego

Średnią wartość stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym w rejonie Polanicy Zdroju i Szalejowa Górnego obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład. Wynosi ona na tym obszarze 1,33% obj. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono, dokonując transformacji uzyskanych wartości przez pierwiastkowanie. Dla przetransformowanych wartości przeprowadzono test zgodności z rozkładem normalnym i dopiero potem określono zakres tła, który wynosi 0,00–5,16% obj.

W rejonie Polanicy Zdroju występują lokalnie miejsca o bardzo zwiększonym stężeniu CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym. Maksymalna wartość, jaka została określona dla tego obszaru, wynosi 7,6% obj. Zwiększone zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym na obszarze Polanicy Zdroju i Szalejowa Górnego stwierdzono przede wszystkim w obrębie dolin Bystrzycy Dusznickiej i Cichej oraz ich dopływów. Jednakże niewielkie obszary o wyraźnie zwiększonych wartościach stężenia stwierdzono także w obszarach leżących wysoko na zboczach dolin i na wzgórzach wododziałowych. Nie stwierdzono również związku przestrzennego obszarów anomalnych z litologią skał kredy i czwartorzędu. Układ izolinii stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym wskazuje, że anomalie zwiększonych wartości rozciągają się w kierunkach N–S oraz NE–SW. Kierunki te pokrywają się z regionalnymi dyslokacjami, a zwłaszcza z uskokiem Wolany–Polanica Zdrój. Szczegółowy rozkład stężenia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 10A) i geologicznej (zał. G10A).

#### *Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery*

Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery oznaczono w rejonie Polanicy Zdroju i Szalejowa Górnego łącznie w 215 punktach pomiarowych. Wartość średnią i tło określono, uwzględniając charakter rozkładu, na podstawie 142 punktów, które były rozmieszczone w regularnej siatce 200 × 200 m. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości strumienia można przyjąć jako normalny. Histogram rozkładu strumienia, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.10.

Średnią wartość strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery w rejonie Polanicy Zdroju i Szalejowa Górnego obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią arytmetyczną. Wynosi ona na tym obszarze 11,84 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono jako wartość średnią ± dwa odchylenia standardowe z próby ( $E_{\bar{y}} \pm 2s$ ). Tak obliczony zakres tła wynosi 0,0–24,0 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>.

W rejonach Polanicy Zdroju i Szalejowa Górnego występują lokalnie miejsca o zwiększonym strumieniu względem tła. Należy sądzić, że w takich miejscach udział endogenicznego CO<sub>2</sub> w oznaczonym strumieniu jest istotny. Zwiększone anomalne wartości strumienia dwutlenku węgla na tym obszarze pokrywają się zasadniczo z dolinami rzek i potoków. Układ izolinii strumienia CO<sub>2</sub> zdaje się świadczyć, że anomalie zwiększonych wartości rozciągają się w kierunkach N–S oraz rzadziej NE–SW. Zwłaszcza pierwszy z tych kierunków pokrywa się z dużą, regionalną strefą dyslokacyjną, jaką stanowi uskok Wolany–Polanica Zdrój, któremu zresztą w literaturze (Fistek, 1977) przypisywano rolę strefy doprowadzającej gaz i wodę, odpowiedzialnej za powstawanie szczaw tego obszaru. Są to głębokie dyslokacje, sięgające prawdopodobnie krystalicznego podłoża, oddzielające nieckę śródsudecką od rowu górnej Nysy Kłodzkiej. Szczegółowy rozkład strumienia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 10B) i geologicznej (zał. G10B).

Na omawianym obszarze nie obserwuje się wyraźnego związku między stężeniem CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym a strumieniem tego gazu. Współczynnik korelacji określony dla wszystkich punktów pomiarowych wynosi 0,18.

## IV.10. Stary Wielisław Dolny

### A. Charakterystyka rejonu

W budowie geologicznej rejonu Starego Wielisława Dolnego biorą udział głównie utwory kredy górnej, przykryte osadami czwartorzędu. Podłoże kredy zbudowane jest ze skał krystalicznych, tj. gnejsów i łupków łuszczkowych, na których w rejonie Starego Wielisława Dolnego zalegają skały osadowe i wylewne permu (czerwony spągowiec), bezpośrednio podścielające osady kredy górnej. Ponadto w rejonie Starego Wielisława Dolnego występują skały metamorficzne – łupki hornblendowe starszego paleozoiku oraz górnokarbońskie granodioryty.

Osady kredy górnej o miąższości dochodzącej do 450 m charakteryzują się dużym zróżnicowaniem litologicznym i facjalnym, od gruboklastycznych, zlepieńcowo-piaskowcowych, przez marglisto-piaszczyste, do ilastych. Cenoman górny reprezentowany jest przez zlepienie podstawowy i wyżej leżące ławice piaskowca glaukonitowego i piaskowce ciosowe. Turon dolny to mułowce i piaskowce glaukonitowe, wapniste, a w górnej części profilu margle krzemionkowe poziomu *Inoceramus labiatus*, przedzielone mułowcem wapnistym. Turon środkowy zbudowany jest z naprzemianległych osadów marglistych i piaszczystych poziomu *Inoceramus lamarcki*. Turon górny wykształcony jest w postaci margli ilasto-piaszczystych. Osady koniaków to margle ilaste i piaszczyste, piaskowce kwarcowe i w stropie margle ilaste z wkładkami piaskowców wapnistych.

W rejonie Starego Wielisława Dolnego występują dyslokacje o kierunkach NW–SE oddzielające struktury niecki śródsudeckiej od granitoidów kłodzko-złotostockich oraz metamorfiku kłodzkiego. W rejonie tym są one gęsto przecinane uskokami o przebiegu SW–NE.

W Starym Wielisławiu Dolnym występowały źródła szczaw (Wójcik 1961; Fistek 1977), a obecnie na podstawie eksploatacji odwiertu ujmującego szczawę działa rozlewnia wód butelkowanych.

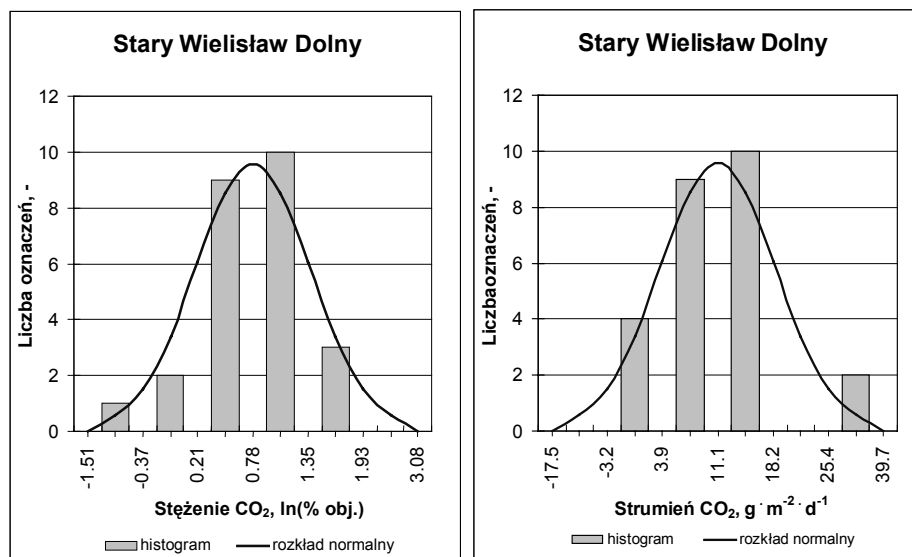
### B. Opis realizacji i wyniki badań

Badania w rejonie Starego Wielisława Dolnego wykonano w dniach 6.09–7.09.2006 roku na obszarze o powierzchni 0,57 km<sup>2</sup>. Obszar badań obejmuje najbliższe sąsiedztwo wypływów szczaw z osadów górnokredowych tuż przy wschodniej fleksurze rowu górnej Nysy, poprzecinanej tu licznymi uskokami poprzecznymi.

#### *Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym*

W rejonie Starego Wielisława Dolnego pomiar stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym wykonano łącznie w 35 profilach glebowych. Wartość średnią i zakres tła określono na podstawie 25 profili rozmieszczonych w regularnej siatce 200 × 200 m, uwzględniając maksymalną wartość stężenia w danym profilu i charakter rozkładu. Analiza statystyczna wy-

kazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości stężenia można przyjąć jako logarytmiczno-normalny. Histogram rozkładu wartości stężenia poddanych logarytmowaniu, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.11.



Rys. IV.11. Histogram stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym i strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery dla rejonu Starego Wielisławia Dolnego

Średnią wartość stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym w rejonie Starego Wielisławia Dolnego obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią geometryczną. Wynosi ona na tym obszarze 2,18% obj. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono, dokonując transformacji uzyskanych wartości przez logarytmowanie. Dla przetransformowanych wartości przeprowadzono test zgodności z rozkładem normalnym i dopiero potem określono zakres tła, który wynosi 0,69–3,15% obj.

Obszar zwiększonych zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym (anomalii dodatnich) leży w strefie wschodni skał okrucowych permu – zlepieńców drobnoziarnistych oraz piaskowców i łupków ilastych, w dolinie Bystrzycy Dusznickiej. Anomalia ta nie jest związana z uskokiem przecinającym dolinę Bystrzycy Dusznickiej niemal prostopadle, tj. biegnącym w kierunku NNW–SSE. Występującą na tym obszarze anomalię należy wiązać przede wszystkim z dobrze przepuszczalnymi średnio- i grubookrucowymi utworami permu. Szczegółowy rozkład stężenia CO<sub>2</sub> przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 11A) i geologicznej (zał. G11A) w skali 1:10 000.

#### *Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery*

Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery oznaczono w rejonie Starego Wielisławia Dolnego łącznie w 35 punktach pomiarowych. Wartość średnią i tło określono, uwzględ-

niając charakter rozkładu, na podstawie 25 punktów, które były rozmieszczone w regularnej siatce. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości strumienia można przyjąć jako normalny. Histogram rozkładu strumienia, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.11.

Średnią wartość strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery w rejonie Starego Wielisławia Dolnego obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią arytmetyczną. Wynosi ona na tym obszarze 11,09 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono jako wartość średnią ± dwa odchylenia standardowe z próby ( $E_{sr} \pm 2s$ ). Tak obliczony zakres tła wynosi 0,0–25,5 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>.

W rejonie Starego Wielisławia Dolnego występują lokalnie miejsca o zwiększonym strumieniu względem tła. Należy sądzić, że w takich miejscach udział endogenicznego CO<sub>2</sub> w oznaczonym strumieniu jest istotny. Obszar dodatniej anomalii jest znacznie bardziej rozciągnięty w kierunku równoleżnikowym, niż w przypadku zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym. Układ izolinii wskazuje jednak na rozciągłość NNW–SSE anomalii, a więc w kierunku zgodnym z rozprzestrzenieniem utworów permu i kierunkiem zaznaczonego na mapie uskoku tektonicznego, obcinającego wychodnię skał permskich. Szczegółowy rozkład strumienia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 11B) i geologicznej (zał. G11B) w skali 1:10 000.

Na omawianym obszarze nie obserwuje się wyraźnego związku między stężeniem CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym a strumieniem tego gazu. Współczynnik korelacji określony dla wszystkich punktów pomiarowych wynosi 0,15.

## IV.11. Gorzanów

### A. Charakterystyka rejonu

Na terenie Gorzanowa pod pokrywą czwartorzędu występują dwa zasadnicze kompleksy skalne: metamorficzny i osadowy. Prekambryjskimi skałami metamorficznymi są łupki łyszczykowe o zróżnicowanym składzie mineralnym. Skały te określa się jako łupki łyszczykowe – biotytowo-muskowitowo-chlorytowe. Często występują w nich wkładki kwarcu. Bezpośrednio na prekambryjskim podłożu zalegają utwory osadowe górnej kredy, należące do cenomanu, turonu i koniak. Serię kredową rozpoczynają gruboziarniste piaskowce wapieniste, o miąższości ponad 40 m, zaliczone do cenomanu z przejściem do turonu dolnego. Wyżej zalegają margle krzemionkowe, miejscami zapiaszczone, barwy ciemnoszarej, z wkładkami mułowców. Zawierają one udokumentowaną faunę *Inoceramus labiatus*, co umożliwia przypisanie tych osadów dolnemu turonowi. Miąższość ich wynosi 39 m. Następny kompleks marglisto-piaszczysty o miąższości 189 m rozpoczynają margle wapienisto-krzemionkowe, silnie spękane z wypełnieniami kalcytowymi, przechodzące w margle piaszczysto-krzemionkowe, ciemnoszare o miąż-

szości 53 m. Powyżej głębokości 134 m występują piaskowce wapniste (14 m miąższości), przewarstwione marglami krzemionkowymi, przechodzące w stropie w piaskowce krzemionkowo-skaleniowe (53 m miąższości). Przykrywają je margle krzemionkowe, zwięzłe (42 m miąższości) oraz margle ilaste przewarstwione marglami krzemionkowymi (21 m miąższości). Kompleks ten należy do turonu środkowego, poziomu *Inoceramus lamarcki*. Wyżej zalegają margle ilaste i ilasto-krzemionkowe należące do turonu górnego. Powyżej 65 m nawiercono margle piaszczysto-ilaste przechodzące w margle ilaste stanowiące osady koniak.

Gorzanów położony jest w terenie, w którym sąsiadują ze sobą metamorfik Łądka-Śnieżnika, reprezentowany przez strefę synklinalną Krowiarek oraz rów górnej Nysy Kłodzkiej. Pasma Krowiarek budują struktury biegnące w kierunku NW-SE z monoklinalnym upadem warstw pod kątem 40-70° ku NE. Rów Nysy wypełniają utwory górnokredowe, zalegające poziomo w części środkowej, ulegające zestromieniu na wschodnim obrzeżeniu rowu. Występuje tu fleksura Dębowej Góry o przebiegu NW-SE. W jej północnej części obserwuje się ciągły profil osadów kredowych od cenomanu do turonu, zapadających ku SW pod kątem 50-55°. W kierunku południowym fleksura przechodzi początkowo w uskok pionowy w okolicy Mielnika, następnie w uskok inwersyjny. Ważną również deformacją jest nasunięcie Krosnowic o przebiegu południkowym, obserwowane na wschód od torów kolejowych, między Krosnowicami a Gorzanowem. Ma ono znaczną amplitudę. Niektórzy geolodzy przedłużają tę strukturę aż do strefy występowania źródeł w Gorzanowie. W obrębie rowu górnej Nysy największe znaczenie ma dyslokacja WNW-ESE zwana uskokiem Pstrażna-Gorzanów. W części NW składa się ona z dwóch uskoków pionowych, łączących się w jeden bezpośrednio na zachód od rzeki Nysy Kłodzkiej. Wzdłuż dyslokacji tej występuje silne zbrekcjowanie skał turonu środkowego. Profile przewierconych utworów wskazują, że skrzydło południowe uskoku znajdującego się w centrum Gorzanowa (pomiędzy otworami nr 5 i nr 6) jest zrzucone o 100 m. Powstanie otwartych szczelin umożliwia wędrówkę wód i CO<sub>2</sub> ze znacznych głębokości, wskazując na zaangażowanie tektoniczne metamorficznego podłoża. Na południe od Gorzanowa przebiega uskok północny Bystrzycy Kłodzkiej o kierunku NNW-SSE. Jest to dyslokacja pionowa w obrębie kredy górnej. Dyslokacje w rejonie Gorzanowa powstały lub zostały odnowione w kenozoiku, nakładając się na struktury starsze.

Wody w utworach kredy górnej występują zarówno w piaskowcach kwarcowo-skaleniowych, jak i w marglach na kilku poziomach. Są to wody szczelinowo-warstwowe, związane ze strefą dyslokacyjną uskoku Pstrażna-Gorzanów. Charakteryzują je duże samowypływy – 15-238 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>. Są to szcawy wodorowęglanowo-wapniowo-sodowe, zawierające znaczną ilość CO<sub>2</sub>. Ich temperatura wynosi 10-16 °C. Z czterech otworów odwierconych po 1900 roku dwa (nr 1 i nr 3) po częściowej rekonstrukcji są eksploatowane do dziś ze zmiennym powodzeniem. W latach 1966-1967 ubiegłego wieku wykonano odwierty nr 5 i nr 6 w odległości 0,5 km na wschód od starych ujęć w dolinie rzecznej pomiędzy Nysą Kłodzką a torami kolejowymi. W ostatnich latach odwiercono kolejne otwory, z których eksploatowane są wody kwasowęglowe i szcawy na potrzeby rozlewnicze. Występowanie wód Gorzanowa związane jest z dużym zaangażowaniem tektonicznym kredy i jej metamorficznego podłoża. Wędrówkę wód ułatwiają szczeliny i doprowadzany z dużych głębokości CO<sub>2</sub>.

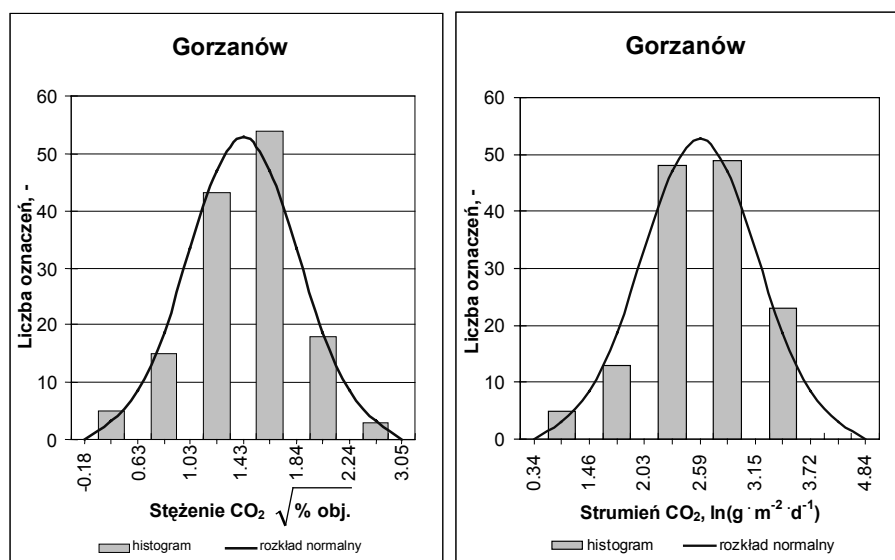
Uaktywnia on wody, które wzbogacają się w jony pochodzące ze skał, przez które przepływają. Zasadnicze znaczenie w doprowadzeniu CO<sub>2</sub> z podłoża przypisywane jest strefie uskokuwej Pstrążna–Gorzanów (Wójcik 1961; Biel i in. 1967; Szarszewska 1974; Fistek 1977; Cwojdzński 1979; Grześkowiak i in. 1994; Kielczawa 2001).

## B. Opis realizacji i wyniki badań

Badania w rejonie Gorzanowa wykonano w dniach 28.08–9.09.2006 roku na obszarze o powierzchni 4,72 km<sup>2</sup>. Obszar obejmuje strefę przecinania się systemu uskokuwej Pstrążna–Gorzanów z ramowym uskokiem rowu górnej Nysy Kłodzkiej (uskok Waliszowa), wzdłuż którego kredowe utwory rowu Nysy Kłodzkiej kontaktują z krystalicznymi skałami metamorfiku Łądko–Śnieżnika. W centrum obszaru, w dolinie Nysy Kłodzkiej wypływają szczawy znane od wielu wieków.

### Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym

W rejonie Gorzanowa pomiar stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym wykonano łącznie w 206 profilach glebowych. Wartość średnią i tło określono na podstawie 138 profili rozmieszczonych w regularnej siatce 200 × 200 m, uwzględniając maksymalną wartość stężenia w danym profilu i charakter rozkładu. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości stężenia można przyjąć jako pierwiastkowo-normalny. Histogram rozkładu wartości stężenia poddanych pierwiastkowaniu, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.12.



Rys. IV.12. Histogram stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym i strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery dla rejonu Gorzanowa



Średnią wartość stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym w rejonie Gorzanowa obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład. Wynosi ona na tym obszarze 2,06% obj. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono, dokonując transformacji uzyskanych wartości przez pierwiastkowanie. Dla przetransformowanych wartości przeprowadzono test zgodności z rozkładem normalnym i dopiero potem określono zakres tła, który wynosi 0,39–5,03% obj.

W rejonie Gorzanowa występują lokalnie miejsca o zwiększonym stężeniu CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym. Maksymalna wartość, jaka została zmierzona dla tego obszaru wynosi 12,4% obj. Widoczny jest brak zależności między występowaniem zwiększonych zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym a przebiegiem granic litologicznych oraz uskoków zaznaczonych na mapie geologicznej. Rejony anomalne występują w dolinach rzek: Nysy Kłodzkiej i Łomnicy, ale także i na wzgórzach wododziałowych. Szczegółowy rozkład stężenia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 12A) i geologicznej (zał. G12A) w skali 1:10 000.

#### *Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery*

Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery oznaczono w rejonie Gorzanowa łącznie w 206 punktach pomiarowych. Wartość średnią i tło określono, uwzględniając charakter rozkładu, na podstawie 138 punktów, które były rozmieszczone w regularnej siatce 200 × 200 m. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości strumienia można przyjąć jako logarytmiczno-normalny. Histogram rozkładu wartości strumienia poddanych logarytmowaniu, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.12.

Średnią wartość strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery w rejonie Gorzanowa obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią geometryczną. Wynosi ona na tym obszarze 13,3 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono, dokonując transformacji uzyskanych wartości przez logarytmowanie. Dla przetransformowanych wartości określono średnią i zakres tła, a następnie wielkości te delogarytmowano. Obliczony w ten sposób zakres tła wynosi 4,3–41,1 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>.

W rejonie Gorzanowa występują miejsca, w których wartości strumienia wyraźnie przekraczają górną granicę tła. Można sądzić, że w tych miejscach udział endogenicznego CO<sub>2</sub> w całkowitym strumieniu jest istotny. Rozmieszczenie obszarów o anomalnie dużych wartościach strumienia dwutlenku węgla jest podobne, jak w przypadku zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym. Może być to pośrednim potwierdzeniem wielokierunkowego rozchodzenia się strumienia dwutlenku węgla w skałach klastycznych nad głębokimi dyslokacjami w obrębie skał krystalicznych, w kierunkach ułatwionej migracji, tj. większej przepuszczalności skał dla gazów. Szczegółowy rozkład strumienia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 12B) i geologicznej (zał. G12B) w skali 1:10 000.

Na omawianym obszarze nie obserwuje się bardzo wyraźnego związku między stężeniem CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym a strumieniem tego gazu. Współczynnik korelacji określony dla wszystkich punktów pomiarowych wynosi 0,17.

## IV.12. Szczawina i Nowa Łomnica

### A. Charakterystyka rejonu

W budowie geologicznej rejonu Szczawiny i sąsiadującej z nią Nowej Łomnicy biorą udział skały metamorficzne, należące do metamorfiku bystrzycko-orlickiego oraz osadowe, reprezentowane przez kompleks skał górnokredowych i czwartorzędowych. Najstarszymi utworami występującymi na omawianym terenie jest kompleks paragnejsów dwulyszczykowych z wkładkami łupków łyszczykowych, biotyto-muskowitowych, z nielicznymi wtrąceniami łupków amfibolitowych i kwarcowo-grafitowych oraz granitognejsy oczkowe. Występujące na południu i zachodzie od miejscowości Szczawina skały te zaliczane są do prekambriu lub starszego paleozoiku. Wykazują monoklinalny bieg i upad foliacji w kierunku zachodnim i południowo-zachodnim ( $40-45^\circ$ ), tylko miejscami stwierdza się ich większe nachylenie związane ze strefą uskokuwą (np. wzdłuż fleksury kredowej rowu górnej Nysy). Skały osadowe górnej kredy reprezentowane są przez serie osadów piaszczysto-marglistych, zalegające bezpośrednio na skałach metamorficznych na wierzchołku grzbietu Równi Łomnickiej i na jej wschodnich skłonach. W rejonie tym są one silnie tektonicznie zaburzone i tworzą zachodnią krawędź rowu górnej Nysy (fleksura podkreślona uskokami). Najstarszym stratygraficznie ogniwem kredy są osady górnego cenomanu, reprezentowane przez piaskowiec i lokalnie zlepieńce. Na nich zalegają utwory dolnego turonu wykształcone w postaci mułowców i piaskowców glaukonitowych poziomu *Actinocamax plenus*. Powyżej występują margle ilasto-krzemionkowe poziomu *Inoceramus labiatus*, o miąższości kilkudziesięciu metrów (turon dolny). Turon środkowy zbudowany jest z zespołu osadów marglisto-piaszczystych o miąższości do 120 m. Na tych utworach we wschodniej części Szczawiny zalegają margle ilaste turonu górnego, będące skałą słabo zdiagenezowaną, ciemnoszarą, kończące profil kredy w tym rejonie.

Szczawina i Nowa Łomnica leżą w obrębie zachodniej krawędzi rowu górnej Nysy Kłodzkiej, który wypełniony jest osadami górnej kredy. Krawędź ta na zachodzie kontaktuje z krystalinikiem Gór Bystrzyckich i Orlickich. Linia wzdłuż której obie jednostki graniczą, ma charakter tektoniczny, a ściślej jest to bądź tzw. zachodnia fleksura rowu górnej Nysy, bądź fleksura wschodniego skłonu Równi Łomnickiej.

Odslaniający się na powierzchni omawianego terenu krystalinik bystrzycki rozprzestrzenia się w kierunku NW–SE i zapada monoklinalnie pod kątem  $40-55^\circ$  w kierunku południowo-zachodnim. Zalegające na skałach metamorficznych utwory kredy w okresie ruchów alpejskich zostały silnie zaburzone. Stwierdzono tu wiele dyslokacji, z których do najważniejszych należy zaliczyć zachodnią fleksurę rowu górnej Nysy. Budujące fleksurę osady kredowe mają rozciągłość NW–SE i upad zmienny  $40-80^\circ$ . W obszarze większego nachylenia warstw (na NW od potoku Szczawina) fleksura podkreślona jest uskokiem, wzdłuż którego paragnejsy graniczą z serią osadów górnokredowych. Fleksura ta w rejonie Szczawiny rozcięta jest młodszymi dyslokacjami poprzecznymi SW–NE o charakterze uskoku listwowych. Spośród nich najważniejszy jest inwersyjny uskoku Szczawiny, który prawdopodobnie ma charakter nasunięcia. Me-

tamorficzne serie krystaliniku Gór Bystrzyckich i Orlickich na przestrzeni kilkuset metrów nasunięte były pod znacznym kątem na osady kredy. Zaburzenie to o charakterze głębokiego odkłucia tektonicznego ma istotne znaczenie dla pojawienia się szczaw tego obszaru (Fistek 1977).

Najkorzystniejsze parametry hydrogeologiczne badanego terenu mają utwory kredowe. Szczególnie dotyczy to piaskowców dolno- i środkowoturońskich. Właściwości zbiornikowe tych osadów polepszają się w strefach zaburzeń tektonicznych, gdzie istnieją szczeliny i spękania. W obrębie utworów metamorficznych występują wyłącznie wody szczelinowe. Utworami wodonośnymi dla szczaw Szczawiny i Nowej Łomnicy są przede wszystkim skały krystalicznego podłoża oraz utworów osadowych kredy. Na powierzchnię wypływają poprzecznymi dyslokacjami, rozrywającymi fleksurę zachodniego brzegu rowu górnej Nysy Kłodzkiej. Z dotychczasowych badań wynika, że uskokowi Szczawiny towarzyszą liczne szczeliny i spękania, ułatwiające wydobywanie się z głębszej partii górotworu dwutlenku węgla wraz z wodą. Duża szczelinowatość skał tego obszaru sugeruje, że szczawy mogą występować tu nie tylko w spękanych paragnejsach w sąsiedztwie uskoku Szczawiny, ale też w obrębie spękanych piaskowców dolnego turonu, budujących fleksurę rowu górnej Nysy Kłodzkiej. Przejawami strumienia dwutlenku węgla w omawianym obszarze są zarówno stwierdzone wypływy szczaw, jak również liczne ekshalacje CO<sub>2</sub> na powierzchni terenu.

Szczawina obecnie dysponuje dwoma ujęciami szczaw – naturalnym, ujętym źródłem „Studzienne”, eksploatowanym okresowo na potrzeby rozlewni i nieeksploatowanym odwiertem „Szczawina-1”. Woda ze źródła należy do słabozmineralizowanych szczaw wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowych, żelazistych, radonowych. Zlokalizowane są one w obrębie skał metamorfiku Gór Bystrzyckich i Orlickich, przy samym uskoku brzeżnym, oddzielającym skały metamorficzne od osadów kredy rowu górnej Nysy Kłodzkiej.

W rejonie Nowej Łomnicy źródła szczaw występują w dnach dolin potoków, zapewne w obrębie zaznaczonych na mapach geologicznych przypuszczalnych stref uskokowych.

Warunki geologiczne i hydrogeologiczne opisali w swych pracach Fistek i Gierwielaniec 1961; Wójcik 1961; Dumicz 1964; Fistek 1974a, 1977.

## **B. Opis realizacji i wyniki badań**

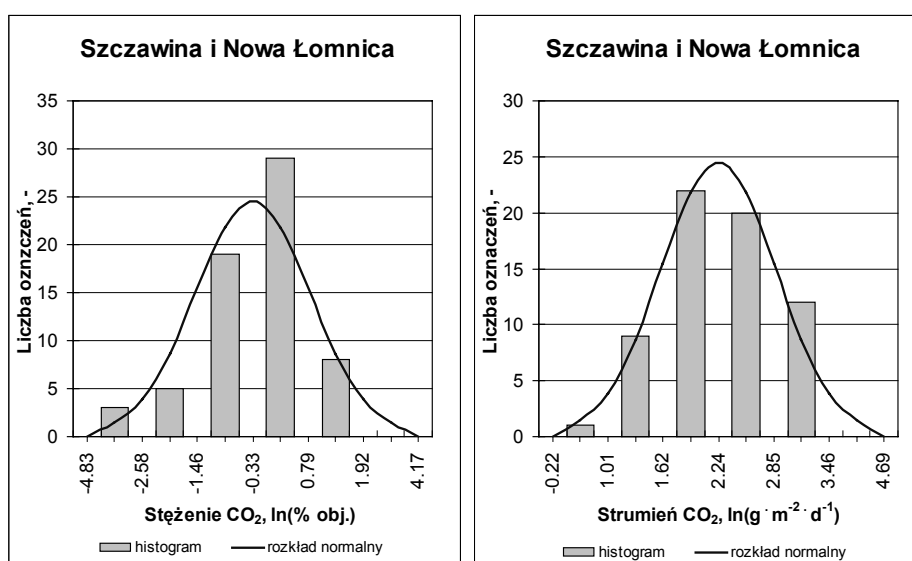
Badania w rejonie Szczawiny i Nowej Łomnicy wykonano w dniach 22.08–26.08.2006 roku na obszarze o powierzchni 1,74 km<sup>2</sup>. W Szczawinie siatka jest rozciągnięta w dół doliny potoku, ponieważ znane są wzmianki o ekshalacjach gazu w potoku poniżej ujęć oraz prostopadle wzdłuż uskoku brzeżnego.

### *Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym*

W rejonie Szczawiny i Nowej Łomnicy pomiar stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym wykonano łącznie w 93 profilach glebowych. Wartość średnią i tło określono na podstawie 64 profili rozmieszczonych w regularnej siatce 200 × 200 m, uwzględniając maksymalną wartość stężenia w danym profilu i charakter rozkładu. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości stężenia można przyjąć jako logaryt-

miczno-normalny. Histogram rozkładu wartości stężenia poddanych logarytmowaniu, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.13.

Średnią wartość stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym w rejonie Szczawiny i Nowej Łomnicy obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią geometryczną. Wynosi ona na tym obszarze 0,72% obj. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono, dokonując transformacji uzyskanych wartości przez logarytmowanie. Dla przetransformowanych wartości przeprowadzono test zgodności z rozkładem normalnym i dopiero potem określono zakres tła, który wynosi 0,07–9,49% obj.



Rys. IV.13. Histogram stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym i strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery dla rejonu Szczawiny i Nowej Łomnicy

Największe anomalne wartości zanotowano w dolinach strumieni w obrębie wychodni skał krystalicznych metamorfiku orlicko-bystrzyckiego. Anomalie te tylko niekiedy związane są przestrzennie z zaznaczonymi na mapie liniami uskoków tektonicznych. Szczegółowy rozkład stężenia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 13A) i geologicznej (zał. G13A) w skali 1:10 000.

#### *Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery*

Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery oznaczono w rejonie Szczawiny i Nowej Łomnicy łącznie w 92 punktach pomiarowych. Wartość średnią i tło określono, uwzględniając charakter rozkładu, na podstawie 64 punktów, które były rozmieszczone w regularnej siatce 200 × 200 m. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości strumienia można przyjąć jako logarymiczno-normalny. Histogram rozkładu wartości strumienia poddanych logarytmowaniu, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.13.

Średnią wartość strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery w rejonie Szczawiny i Nowej Łomnicy obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią geometryczną. Wynosi ona na tym obszarze 9,36 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono, dokonując transformacji uzyskanych wartości przez logarytmowanie. Dla przetransformowanych wartości określono średnią i zakres tła, a następnie wielkości te delogarytmowano. Obliczony w ten sposób zakres tła wynosi 2,7–31,9 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>.

Rozkład anomalnie dużych wartości strumienia jest podobny do rozkładu zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym. Największe pod względem zarówno wartości, jak i obszaru są anomalie związane z terenem rowu górnej Nysy Kłodzkiej, przyległym do skrzydła wiszącego zachodniego uskoku ramowego tego rowu tektonicznego. Bardzo wyraźną anomalię stanowi rejon ujęć szczaw w Szczawinie, gdzie być może znajduje się zwornik dwóch głębokich dyslokacji krystalicznego podłoża – kopuły orlicko-śnieżnickiej. Dyslokacje te przebiegałyby w kierunkach wzajemnie do siebie niemal prostopadłych, tj. NW–SE (zachodni ramowy uskok rowu górnej Nysy) i NE–SW (tzw. uskok Szczawiny). Szczegółowy rozkład strumienia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 13B) i geologicznej (zał. G13B) w skali 1:10 000.

Na omawianym obszarze nie obserwuje się bardzo wyraźnego związku między stężeniem CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym a strumieniem tego gazu. Współczynnik korelacji określony dla wszystkich punktów pomiarowych wynosi 0,23 i jest to wartość istotna statystycznie na poziomie istotności 0,05. Jest to słaba korelacja dodatnia.

## IV.13. Nowa Bystrzyca

### A. Charakterystyka rejonu

W budowie geologicznej rejonu Nowej Bystrzycy biorą udział skały metamorficzne, należące do metamorfiku bystrzycko-orlickiego oraz skały osadowe reprezentowane przez zwietrzliny i luźne osady rzeczne plejstoceny i holoceny. Najstarszymi utworami występującymi na omawianym terenie jest kompleks paragnejsów dwułuszczkowych z wkładkami łupków łuszczkowych, biotyto-muskowitowych, z nielicznymi wtrąceniami łupków amfibolitowych i kwarcowo-grafitowych oraz granitognejsy oczkowe. Występujące na południe i zachód od miejscowości Szczawina skały zaliczane są do prekambru. Wykazują monoklinalny bieg i upad foliacji w kierunku zachodnim i południowo-zachodnim (40–45°), tylko miejscami stwierdza się ich większe nachylenie związane ze strefą uskoku (np. wzdłuż fleksury kredowej rowu górnej Nysy Kłodzkiej).

W obrębie utworów metamorficznych występują wyłącznie wody szczelinowe. Skały metamorficzne są skałami wodonośnymi dla szczaw Nowej Bystrzycy. Na powierzchnię wypływają one poprzecznymi dyslokacjami, rozrywającymi fleksurę zachodniego brzegu rowu górnej Nysy Kłodzkiej.

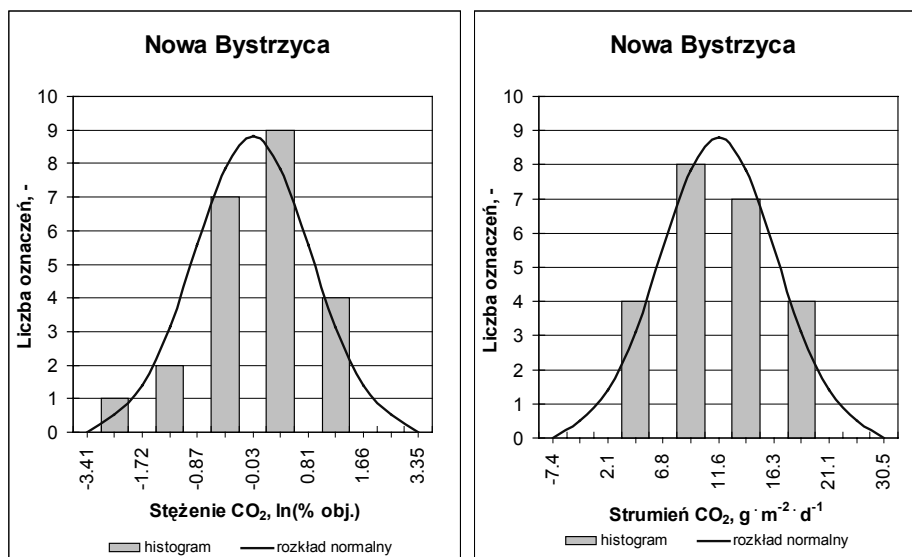
W rejonie Nowej Bystrzycy stwierdzono występowanie jednego źródła szczawy w dolinie Bystrzycy. Występuje ono w obrębie zaznaczonych na mapach geologicznych przypuszczalnych stref uskokowych. Źródło to znajduje się około 1200 m na południowy zachód od ramowego uskoku oddzielającego rów górnej Nysy Kłodzkiej od metamorfiku Gór Bystrzyckich i Orlickich (Fistek i Gierwielaniec 1961; Fistek 1977).

## B. Opis realizacji i wyniki badań

Badania w rejonie Nowej Bystrzycy wykonano w dniach 5.09–6.09.2006 roku na obszarze o powierzchni 0,26 km<sup>2</sup>. W centrum obszaru w rejonie Nowej Bystrzycy znajduje się źródło szczawy, a obszar jest rozciągnięty wzdłuż doliny Bystrzycy, której dnem biegnie uskok. Dolina ta jest mocno wcięta, ze stromymi brzegami.

### *Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym*

W rejonie Nowej Bystrzycy pomiar stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym wykonano łącznie w 26 profilach glebowych. Wartość średnią i tło określono na podstawie 23 profili rozmieszczonych w regularnej siatce, uwzględniając maksymalną wartość stężenia w danym profilu i charakter rozkładu. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości stężenia można przyjąć jako logarymiczno-normalny. Histogram rozkładu wartości stężenia poddanych logarytmowaniu, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.14.



Rys. IV.14. Histogram stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym i strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery dla rejonu Nowej Bystrzycy

Średnią wartość stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym w rejonie Nowej Bystrzycy obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią geometryczną. Wynosi ona na tym obszarze 0,97% obj. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono, dokonując transformacji uzyskanych wartości przez logarytmowanie. Dla przetransformowanych wartości przeprowadzono test zgodności z rozkładem normalnym i dopiero potem określono zakres tła, który wynosi 0,20–5,41% obj.

Największe anomalne wartości zanotowano w dolinie Bystrzycy, w obrębie wychodni skał krystalicznych metamorfiku orlicko-bystrzyckiego. Wartości takie zaobserwowano wzdłuż przypuszczalnego uskoku biegnącego dnem tej doliny. Szczegółowy rozkład stężenia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 14A) i geologicznej (zał. G14A) w skali 1:10 000.

#### *Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery*

Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery oznaczono w rejonie Nowej Bystrzycy łącznie w 26 punktach pomiarowych. Wartość średnią i tło określono, uwzględniając charakter rozkładu, na podstawie 23 punktów, które były rozmieszczone w regularnej siatce. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości strumienia można przyjąć jako normalny. Histogram rozkładu wartości strumienia, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.14.

Średnią wartość strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery w rejonie Nowej Bystrzycy obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią arytmetyczną. Wynosi ona na tym obszarze 11,58 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono jako wartość średnią ± dwa odchylenia standardowe z próby ( $E_{sr} \pm 2s$ ). Obliczony w ten sposób zakres tła wynosi 2,0–21,2 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>.

W rejonie Nowej Bystrzycy występują miejsca, w których wartości strumienia nieznacznie przekraczają górną granicę tła. Rozkład anomalnie dużych wartości strumienia jest podobny do rozkładu zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym. Zwiększone wartości zaobserwowano wzdłuż przypuszczalnego uskoku biegnącego dnem doliny Bystrzycy, w obrębie wychodni skał krystalicznych metamorfiku bystrzyckiego. Współczynnik korelacji określony dla wszystkich punktów pomiarowych między stężeniem CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym a strumieniem CO<sub>2</sub> do atmosfery wynosi 0,29. Szczegółowy rozkład strumienia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 14B) i geologicznej (zał. G14B) w skali 1:10 000.

## IV.14. Długopole Zdrój

### A. Charakterystyka rejonu

W rejonie Długopola Zdroju wydzielono następujące formacje geologiczne: prekambryjską, górnokarbońską, górnokredową oraz czwartorzędową. Prekambr tego rejonu tworzą pa-

ragnejsy dwułyszczykowe, amfibolity, łupki łyszczykowe i granitognejsy. Karbon górny reprezentuje brekcja tektoniczna z hematytem, której występowanie związane jest z uskokami. Jest to utwór niejednorodny, zwięzły i twardy, o dużej zawartości krzemionki i pyłu hematytowego, barwiącego skałę na kolor wiśniowy. Osady kredy górnej leżą tu transgresywnie na silnie zniwelowanym podłożu krystalicznym. Reprezentowane są przez piętra górnego cenomanu, turonu i koniaku. Osady cenomanu są zwykle gruboklastyczne, zlepieńcowo-piaskowcowe, skały turońskie zaś mają charakter przeważnie marglisto-piaszczysty lub wapnisty, natomiast utwory koniaku są ilasto-piaszczyste i ilaste, rzadziej wapniste.

Omawiany obszar leży w obrębie dwóch jednostek tektonicznych Sudetów środkowych – rowu górnej Nisy Kłodzkiej i metamorfiku Gór Bystrzyckich i Orlickich. Linia, wzdłuż której obie jednostki graniczą ze sobą, ma charakter tektoniczny. Jest to fleksura skłonu Jagodnej i Jedlnika. Powstanie metamorfiku Gór Bystrzyckich i Orlickich związane jest z wieloma cyklami górotwórczymi, które kolejno odcisnęły swoje piętno na ich budowie geologicznej. Najstarsze występujące tu utwory, to łupki łyszczykowe i granitognejsy należące do prekambriu. Późniejsze cykle górotwórcze ograniczyły się jedynie do pofałdowania skał, a następnie zdyslokowania ich oraz poprzesuwanie poszczególnych elementów tektonicznych w pionie i poziomie. Na omawianym obszarze obserwuje się na ogół monoklinalne ułożenie warstw o kierunku NNW–SSE oraz upadzie 25–60° ku SW. Ze względu na zróżnicowanie litologiczne i nieco odmienny styl budowy tektonicznej wyróżniono tu dwie jednostki niższego rzędu – masyw Jagodnej i masyw Poręby. Pierwsza z nich zbudowana jest głównie z gnejsów oczkowych i mieszanych, sfałdowanych i sprasowanych, o laminacji NW–SE, z upadem ku południowemu zachodowi. Masyw Jagodnej tną trzy radialnie układające się dyslokacje. Są to uskoki: Sasanki, Jagodna–Wyszki oraz Jagodna–Poręba. Jednostka Jagodnej wyraźnie zaznacza się w krajobrazie, budując najwyższy grzbiet Gór Bystrzyckich. Od wschodu i północy graniczy z rowem Nisy. Element tektoniczny Poręby zbudowany jest z gnejsów przeciekowych i łupków łyszczykowych rozciągających się na zachód i południe od wsi Poręba. Kompleks ten wykazuje monoklinalne nachylenie warstw w kierunku południowo-wschodnim. Obserwuje się tu mniejsze w stosunku do poprzedniej jednostki zdyslokowanie terenu. Uskoki zgrupowane są tylko w rejonie Poręby i na szczycie Jedlnika. Mają one charakter bądź uskoków normalnych, bądź listwowych, utworzonych w okresie waryscyjskim i odnowionych podczas fałdowań saksońskich.

Rów górnej Nisy Kłodzkiej powstał w okresie ruchów młodosaksońskich. Wypełniony jest utworami górnej kredy, spod których lokalnie ukazują się łupki łyszczykowe. W obrębie rowu wydzielić można wiele elementów tektonicznych niższego rzędu: fleksur oraz uskoków, które mają decydujące znaczenie w powstawaniu źródeł wód mineralnych (szczaw). Wymienić tu należy uskok źródłowy Długopola Zdroju o kierunku NW–SE, biegnący od Długopola do Ponikwy oraz uskok południowy Długopola Dolnego. Na szczególną uwagę zasługuje strefa tektoniczna ciągnąca się od Długopola Zdroju przez Długi Grzbiet, Lubiec i Równię Łomnicką do Szczawiny, tworząc na tym odcinku zachodnią krawędź rowu Nisy. Miejscami ma ona charakter fleksury i zwana jest tu fleksurą Równi Łomnickiej. Południowy odcinek fleksury zaburzony jest biegnącym równoległe do niej



uskokiem, tzw. uskokiem północnym Długopola Dolnego oraz uskokami poprzecznymi, powodującymi powtórzenia ogniw kredy. Jeden z nich to uskok Jagodna–Wyszki, który stanowi odnowione w ruchach młodosańskich stare waryscyjskie założenia. U podnóża wzniesień Jagodnej i Jedlnika, po ich wschodniej stronie, przebiega strefa dyslokacyjna zwana fleksurą skłonu Jagodnej i Jedlnika. W rejonie Długopola Górnego fleksura ta przechodzi w uskok inwersyjny, wskutek czego osady kredy zapadają pod warstwy metamorfiku. Występujące tu osady kredy, tj. piaskowce glaukonitowe i margle turonu są silnie spękanane, o upadzie warstw do 65° w kierunku północno-wschodnim. Natomiast osady kredy w rejonie Długopola Zdroju (centralna część rowu) zalegają na ogół poziomo, z lekkim, kilkunastostopniowym nachyleniem ku południowemu zachodowi (Fistek i Gierwielaniec 1961; Dumicz 1964; Walczak–Augustyniak i Wroński 1982; Wroński 1983; Kozdrój 1994).

Wody mineralne Długopola Zdroju to szczawy, których występowanie na terenie uzdrowiska obejmuje niewielką przestrzeń, koncentrując się w dolinie Nysy Kłodzkiej. Ujęte wypływy szczaw znajdują się w obrębie sztolni, w której w średniowieczu eksploatowano ałun (Fistek i Głombik, 1987). Wodonoścem szczaw są łupki łyszczykowe, miejscami sfeldspatyzowane i okruszczone pirytem, zawierające wkładki łupków grafitowych i soczewki kwarcu. Skały te są mocno zaburzone tektonicznie. Na uwagę zasługuje strefa uskokowa o kierunku W–E stwierdzona na obszarze głównych wypływów szczaw. Strefę tę wyznaczają dwa uskoki biegnące w odległości 4 m od siebie, zapadające zgodnie w kierunku południowym o nachyleniu zmiennym w zakresie 45–80°. Obecność szczaw tego rejonu pozostaje również w ścisłym związku z powstaniem rowu górnej Nysy Kłodzkiej, który ma charakter rozległego zapadliska. Wzdłuż zachodniej krawędzi rowu notowane jest regionalne występowanie szczaw od Długopola Zdroju przez Nową Bystrycę, Szczawinę, Nową Łomnicę, Gorzanów do Wielisława Dolnego i Szalejowa Górnego. Szczawy Długopola Zdroju wyznaczają południową granicę zasięgu występowania sudeckich szczaw. Szczawy wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowe, żelaziste, radonowe występujące w Długopolu Zdroju ujęte są w sztolni jako trzy niezależne źródła: „Emilia”, „Kazimierz” i „Renata” (Fistek 1977).

## **B. Opis realizacji i wyniki badań**

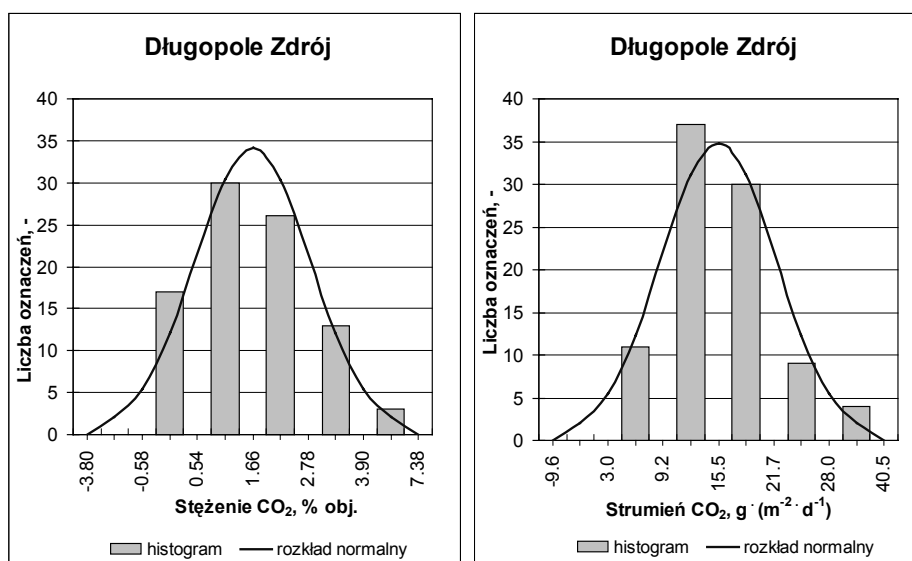
Badania w rejonie Długopola Zdroju wykonano w dniach 9.09–15.09.2006 roku na obszarze o powierzchni 2,69 km<sup>2</sup>. Obejmuje on wychodnie skał krystaliniku orlicko-śnieżnickiego oraz skały osadowe kredy w rowie górnej Nysy Kłodzkiej, w rejonie przecinania ich przez uskok o kierunku WNW–ESE. Na obszarze tym eksploatowane są płytkie ujęcia szczaw – „Emilia”, „Kazimierz” i „Renata”.

### *Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym*

W rejonie Długopola Zdroju pomiar stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym wykonano łącznie w 135 profilach glebowych. Wartość średnią i tło określono na podstawie 95 profili rozmieszczonych w regularnej siatce 200 × 200 m, uwzględniając maksy-

malną wartość stężenia w danym profilu i charakter rozkładu. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości stężenia można przyjąć jako normalny. Histogram rozkładu wartości stężenia, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.15.

Średnią wartość stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym w rejonie Długopola Zdroju obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią arytmetyczną. Wynosi ona na tym obszarze 1,66% obj. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono jako wartość średnią ± dwa odchylenia standardowe z próby. Mieści się on w granicach 0,00–3,91% obj.



Rys. IV.15. Histogram stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym i strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery dla rejonu Długopola Zdroju

W rejonie Długopola Zdroju występują obszary o anomalnie dużej zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym. Maksymalna wartość, jaka została zmierzona, wynosi 9,9% obj. Obszary zwiększonych zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym (anomalii dodatnich) występują zarówno na obszarze wychodni skał osadowych kredy, jak i starszych skał krystalicznych, należących do kopuły orlicko-śnieżnickiej. Przebieg anomalii jest zbliżony do kierunku doliny Nysy Kłodzkiej. Nie widać wyraźnego związku obszarów o zwiększonych zawartościach CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym z zaznaczonymi na mapie liniami uskoków tektonicznych. Największe wartości, w tym wartości anomalne, obserwowane są w dolinie Nysy Kłodzkiej, a przede wszystkim w tych jej rejonach, w których znajdują się wychodne skał krystalicznych. Możliwy jest więc związek występowania zwiększonych wartości stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym z dyslokacjami tektonicznymi, wzdłuż których doszło do wydźwignięcia podłoża krystalicznego. Szczegółowy rozkład stężenia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 15A) i geologicznej (zał. G15A) w skali 1:10 000.

### *Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery*

Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery oznaczono w rejonie Długopola Zdroju łącznie w 134 punktach pomiarowych. Wartość średnią i tło określono, uwzględniając charakter rozkładu, na podstawie 92 punktów, które były rozmieszczone w regularnej siatce 200 × 200 m. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości strumienia można przyjąć jako normalny. Histogram rozkładu wartości strumienia, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.15.

Średnią wartość strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery w rejonie Długopola Zdroju obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią arytmetyczną. Wynosi ona na tym obszarze 15,47 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono jako wartość średnią ± dwa odchylenia standardowe z próby. Obliczony w ten sposób zakres tła strumienia wynosi 2,9–28,3 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>.

W rejonie Długopola Zdroju występują miejsca, w których wartości strumienia wyraźnie przekraczają górną granicę wyznaczonego tła. Można sądzić, że w tych miejscach udział endogenicznego CO<sub>2</sub> w całkowitym strumieniu jest istotny. Rozmieszczenie obszarów zwiększonych wartości (anomalií dodatnich) strumienia dwutlenku węgla jest w głównych zarysach podobne do lokalizacji anomalií zawartości tego gazu w powietrzu glebowym. Współczynnik korelacji między stężeniem CO<sub>2</sub> a strumieniem CO<sub>2</sub> określony dla wszystkich punktów pomiarowych wynosi 0,36 i jest istotny statystycznie na poziomie istotności 0,05. Jest to słaba korelacja dodatnia. Szczególnie duże wartości strumienia CO<sub>2</sub> zanotowano w dnach dolin lewobrzeżnych dopływów Nysy Kłodzkiej, gdzie częściowo także znajdują się wychodnie skał krystalicznych. Mimo braku wyraźnych relacji przestrzennych obszarów anomalnych z zaznaczonymi na mapie liniami uskoku tektonicznych, można sądzić, że strefy te związane są z dyslokacjami odpowiedzialnymi za wydzwignięcie podłoża krystalicznego. Szczegółowy rozkład strumienia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 15B) i geologicznej (zał. G15B) w skali 1:10 000.

## **IV.15. Stare Bogaczowice**

### **A. Charakterystyka rejonu**

Rejon Starych Bogaczowic leży w Sudetach środkowych u zbiegu granic trzech jednostek geologicznych: metamorfiku kaczawskiego, niecki śródsudeckiej i niecki Świebodziec. Najstarsze utwory, należące do starszego piętra strukturalnego metamorfiku kaczawskiego, to spility, kataklazyty i mylonity górnego kambru. Wychodnie tych skał intrudowane są perm-skimi (czerwony spągowiec) skałami wylewnymi o składzie riolitów, trachitów, trachybazaltów i felzytów. Największą jednak część omawianego obszaru zajmują osadowe skały karbo-nu niecki śródsudeckiej. Są to zlepieńce polimiktyczne z wkładkami szarogłazów, mułowców

i ilowców oraz zlepieńców bogatych w otoczaki wapienne. Utwory te należą do serii kulmu ze Starych Bogaczowic, a wiek ich określany jest na dolny wizen. W części zachodniej obszaru pojawiają się także wychodnie skał należących do serii kulmu z Chwaliszowa – polimiktycznych zlepieńców dolnego turneju. Są to utwory wypełniające nieckę Świebodzic. Serie kulmowe mają miąższość dochodzącą do 2500 m.

Utwory kulmu ze Starych Bogaczowic, składające się z kilkudziesięciu cyklotemów, zapadają pod niewielkimi kątami w kierunku S. W tej części niecki śródsudeckiej występuje gęsta sieć uskoków o różnym: zrzucie, biegu, typie i różnym wieku. Kierunki uskoków są zmienne, jednak w omawianym rejonie dominują uskoki o kierunku N–S oraz NNW–SSE. Znacznie mniej dyslokacji wykazuje kierunki W–E oraz NE–SW. Niewątpliwie większość uskoków została odmłodzona w czasie ruchów alpejskich. Najważniejszą dyslokacją w omawianym obszarze jest nasunięcie Strugi oddzielające utwory kulmu ze Starych Bogaczowic, wypełniających nieckę śródsudecką, od osadów kulmu z Chwaliszowa wypełniających nieckę Świebodzic. W rejonie tej dyslokacji występują także bloki skał metamorficznych struktur kaczawskich (tzw. element Strugi) wraz ze skałami osadowymi górnego dewonu, które są intrudowane przez wulkanity permskie. Skały wulkaniczne przecinają także utwory kulmu z Chwaliszowa (Teisseyre 1972).

W Starych Bogaczowicach znane były wystąpienia szczaw wodorowęglanowo-sodowo-wapniowo-magnezowych, manganowych, radonowych. Źródła tych wód występowały w dolinie Strzegomki. Przed II wojną światową wykonano 10 płytkich ujęć studziennych. Po wojnie niektóre z tych źródeł, bijące ze szczelin wśród zlepieńców, były wykorzystywane na potrzeby miejscowej rozlewni wód butelkowanych. Przed wojną istniało także ujęte źródło szczawy w dolinie potoku Czyżynka, w odległości około 3,5 km na zachód od źródeł występujących w rejonie kościoła w Starych Bogaczowicach. Geneza tych szczaw jest prawdopodobnie związana z wodami infiltracyjnymi i juwenilnym dwutlenkiem węgla migrującym systemem szczelin i spękań tektonicznych w skałach kulmu.

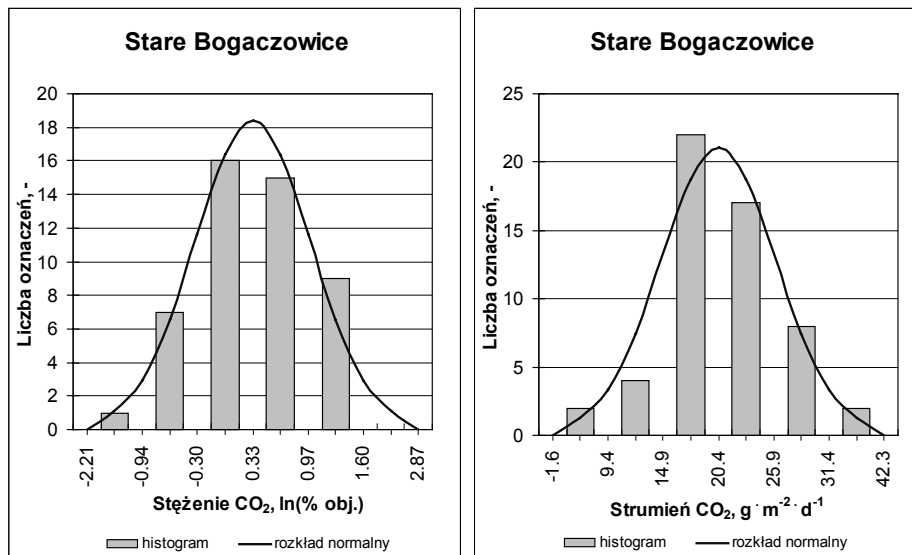
## **B. Opis realizacji i wyniki badań**

Badania w rejonie Starych Bogaczowic wykonano w dniach 10.08–14.08.2006 roku na obszarze o powierzchni 1,35 km<sup>2</sup>. W skałach kulmu ze Starych Bogaczowic w dolinie Strzegomki znane były wystąpienia 10 źródeł szczaw. Istniejące źródła wypływają na uskoku równoległym do uskoku Strugi, w odległości około 1500 m na zachód. Siatka wydłużona jest wzdłuż doliny Strzegomki, od źródeł szczaw do uskoku Strugi.

### *Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym*

W rejonie Starych Bogaczowic pomiar stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym wykonano łącznie w 79 profilach glebowych. Wartość średnią i tło określono na podstawie 50 profili rozmieszczonych w regularnej siatce 200 × 200 m, uwzględniając maksymalną wartość stężenia w danym profilu i charakter rozkładu. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości stężenia można przyjąć jako logarytmiczno-normalny. Histo-

gram rozkładu wartości stężenia poddanych logarytmowaniu, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.16.



Rys. IV.16. Histogram stężenia  $\text{CO}_2$  w powietrzu glebowym i strumienia  $\text{CO}_2$  z powierzchni terenu do atmosfery dla rejonu Starych Bogaczowic

Średnią wartość stężenia  $\text{CO}_2$  w powietrzu glebowym w rejonie Starych Bogaczowic obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład, jako średnią geometryczną. Wynosi ona na tym obszarze 1,39% obj. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono, dokonując transformacji uzyskanych wartości przez logarymowanie. Dla przetransformowanych wartości przeprowadzono test zgodności z rozkładem normalnym i dopiero potem określono zakres tła, który wynosi 0,39–3,56% obj.

Kształt anomalii większych zawartości  $\text{CO}_2$  jest nieregularny i nie jest związany z poszczególnymi wydzieleniami litologicznymi. Wartości anomalnie duże występują w obrębie dolin rzecznych rozcinających warstwy kulmu ze Starych Bogaczowic przykryte utworami czwartorzędowymi rzek i potoków. Obszary te mogą być związane z przypuszczalnymi strefami uskokowymi o przebiegu NNW–SSE, równoległymi do dyslokacji Strugi. Szczegółowy rozkład stężenia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 16A) i geologicznej (zał. G16A) w skali 1:10 000.

#### *Strumień $\text{CO}_2$ z powierzchni terenu do atmosfery*

Strumień  $\text{CO}_2$  z powierzchni terenu do atmosfery oznaczono w rejonie Starych Bogaczowic łącznie w 85 punktach pomiarowych. Wartość średnią i tło określono, uwzględniając charakter rozkładu na podstawie 55 punktów, które były rozmieszczone w regularnej siatce  $200 \times 200$  m. Analiza statystyczna wykazała, że na poziomie istotności 0,05 rozkład wartości stru-

mienia można przyjąć jako normalny. Histogram rozkładu wartości strumienia, na tle rozkładu normalnego, przedstawiono na rysunku IV.16.

Średnią wartość strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery w rejonie Starych Bogaczowic obliczono, biorąc pod uwagę uzyskany rozkład jako średnią arytmetyczną. Wynosi ona na tym obszarze 20,37 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>. Zakres tła dla omawianego rejonu obliczono jako wartość średnią ± dwa odchylenia standardowe z próby. Obliczony w ten sposób zakres tła wynosi 9,3–31,4 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>.

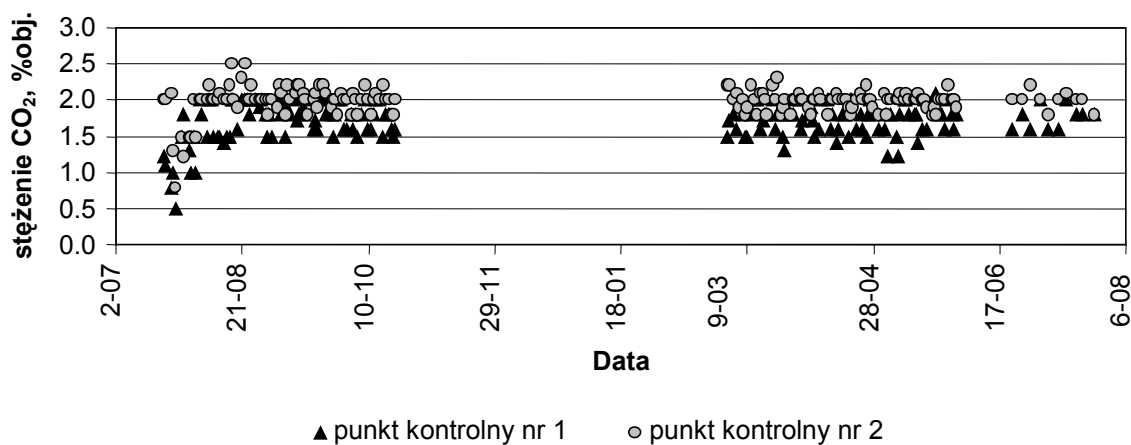
W rejonie Starych Bogaczowic występują miejsca, w których wartości strumienia tylko nieznacznie przekraczają górną granicę wyznaczonego tła. Można więc sądzić, że w całym rejonie w całkowitym strumieniu dominuje biogeniczny CO<sub>2</sub>. Maksymalne wartości strumienia stwierdzono w sąsiedztwie źródeł szczaw. Rejon ten leży w strefie przypuszczalnych uskoków o przebiegu NNW–SSE, równoległych do dyslokacji Strugi. Współczynnik korelacji określony dla wszystkich punktów pomiarowych między stężeniem CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym a strumieniem CO<sub>2</sub> do atmosfery wynosi –0,21. Szczegółowy rozkład strumienia przedstawiono na mapie topograficznej (zał. 16B) i geologicznej (zał. G16B) w skali 1:10 000.

## V. Podsumowanie

Badania terenowe stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym i strumienia tego gazu przeprowadzono w okresie od początku lipca 2006 roku do końca września 2007 roku. Pomiarów nie prowadzono w okresie zimowym, wczesnowiosennym i późnojesiennym, kiedy strumień CO<sub>2</sub> mógł być ograniczony ze względu na zamarzanie wody w porach i szczelinach skał i wyraźnie ograniczoną roślinność. Pomiarów nie wykonywano również w czasie opadów, a jeśli były one intensywne, to również w okresie co najmniej jednej doby po ich ustąpieniu. Jest to związane z utrudnieniem przepływu gazu spowodowanym dużą zawartością wody w przestrzeniach porowych strefy aeracji. Badania stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym oraz badania strumienia dwutlenku węgla wyko-

Tabela V.1. Powierzchnie obszarów badań oraz terminy wykonania badań w poszczególnych rejonach występowania szczaw

Lp.	Nazwa rejonu	Powierzchnia km <sup>2</sup>	Data	
			początek pomiarów	zakończenie pomiarów
1	Czerniawa Zdrój	2,50	19.07.06	26.07.06
2	Świeradów Zdrój	2,12	18.07.06	31.07.06
3	Stare Rochowice	1,59	16.08.06	21.08.06
4	Szczawno Zdrój	2,05	8.08.07	27.08.07
5	Jedlina Zdrój	1,78	8.06.07	26.06.07
6	Kudowa Zdrój	1,80	23.07.07	2.08.07
7	Jeleniów	0,67	2.08.07	6.08.07
8	Duszniki Zdrój	1,58	28.06.07	16.07.07
9	Bobrowniki Stare	0,20	16.07.07	16.07.07
10	Polanica Zdrój i Szalejów Górny	4,85	11.09.06	30.09.06
11	Stary Wielisław Dolny	0,57	6.09.06	7.09.06
12	Gorzanów	4,72	28.08.06	9.09.06
13	Szczawina i Nowa Łomnica	1,74	22.08.06	26.08.06
14	Nowa Bystrzyca	0,26	5.09.06	6.09.06
15	Długopole Zdrój	2,69	9.09.06	15.09.06
16	Stare Bogaczowice	1,35	10.08.06	14.08.06
	<b>Łącznie</b>	<b>30,48</b>		



Rys. V.1. Zmiany stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym w punktach kontrolnych w Polanicy Zdroju w latach 2006 i 2007

nywano w tym samym miejscu i w tym samym czasie. Pomiary w każdym rejonie występowania szczaw były realizowane w krótkim czasie, co zapewniało ich wykonanie w bardzo zbliżonych warunkach. Pole powierzchni obszaru objętego badaniami oraz terminy ich realizacji w określonych rejonach występowania szczaw przedstawiono w tabeli V.1.

Niezależnie od pomiarów mających na celu wykonanie zdjęcia gazowego przeprowadzono badania stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym w punktach kontrolnych. Pomiary takie wykonano w Polanicy Zdroju w okresie od początku lipca 2006 roku do początku sierpnia 2007 roku. Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. V.1. Wskazują one na stabilność warunków pomiarów w całym okresie badań. W związku z tym można uznać, że wyniki pomiarów wykonanych w różnym czasie w poszczególnych rejonach mogą być ze sobą bezpośrednio zestawiane i porównywane.

## V.1. Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym

Pomiary stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym wykonano łącznie w 1503 profilach, w tym w 1026 profilach rozmieszczonych w regularnej siatce 200 × 200 m. Szczegółowe mapy stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym w skali 1:10 000 przedstawiono, dla poszczególnych rejonów występowania szczaw, na podkładach topograficznych (zał. od 2A do 16A) i na podkładach geologicznych (zał. od G2A do G16A). Wartości średnie i zakres tła określono na podstawie maksymalnych wartości stężenia uzyskanych w profilach usytuowanych w regu-



larnej siatce, przy uwzględnieniu charakteru rozkładu wyników pomiarów. Zestawienie wyników badań stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym przedstawiono w tab. V.2.

Zakres średnich wartości stężenia CO<sub>2</sub> mieści się w przedziale od 0,3% obj. w rejonie Świeradowa Zdroju do 3,62% obj. w rejonie Kudowy Zdroju. Wartości stężenia powyżej około 1% obj. są niewątpliwie związane z endogenicznym dwutlenkiem węgla. W niektórych rejonach stwierdzono bardzo duże stężenie dwutlenku węgla. W Czerniawie Zdroju, Starych Rochowicach i Szczawnie Zdroju zmierzone stężenie przekraczało nawet 60% obj. (górny limit detekcji przyrządu pomiarowego).

Tabela V.2. Stężenie CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym  $c$  dla poszczególnych obszarów badań

Lp..	Nazwa rejonu	Liczba zrealizowanych punktów pomiarowych		Typ rozkładu*	Wartość stężenia $c$ , % obj.			
		ogółem	w siatce podstawowej		min.	średnia $c_{\bar{s}r}$	max.	tło $c_{\bar{s}r}-2s \div c_{\bar{s}r}+2s$
1	Czerniawa Zdrój	113	76	LnN	0,01	0,57	> 60	0,03÷8,80
2	Świeradów Zdrój	92	68	LnN	0,01	0,30	12,5	0,01÷11,2
3	Stare Rochowice	78	52	N	0,01	2,20	> 60	0,00÷5,06
4	Szczawno Zdrój	103	69	LnN	0,24	2,22	> 60	0,56÷3,96
5	Jedlina Zdrój	84	54	LnN	0,07	1,39	17,7	0,25÷5,67
6	Kudowa Zdrój	88	59	LnN	0,65	3,62	35,4	1,03÷12,7
7	Jeleniów	44	36	LnN	0,52	2,89	17,8	1,00÷8,29
8	Duszniki Zdrój	89	55	LnN	0,25	1,66	27,7	0,26÷6,40
9	Bobrowniki Stare	22	20	LnN	0,39	2,42	24,5	0,39÷6,14
10	Polanica Zdrój i Szalejów Górny	216	142	$\sqrt{N}$	0,01	1,33	7,6	0,00÷5,16
11	Stary Wielisław Dolny	35	25	LnN	0,55	2,18	7,0	0,69÷3,15
12	Gorzanów	206	138	$\sqrt{N}$	0,07	2,06	12,4	0,39÷5,03
13	Szczawina i Nowa Łomnica	93	64	LnN	0,01	0,72	9,4	0,07÷9,49
14	Nowa Bystrzyca	26	23	LnN	0,11	0,97	3,0	0,20÷5,41
15	Długopole Zdrój	135	95	N	0,01	1,66	9,9	0,00÷3,91
16	Stare Bogaczowice	79	50	LnN	0,01	1,39	9,4	0,39÷3,56
	<b>Łącznie</b>	<b>1503</b>	<b>1026</b>					

\* N – rozkład normalny, LnN – rozkład logarytmiczno-normalny,  $\sqrt{N}$  – rozkład pierwiastkowo-normalny

Uzyskane wartości stężenia są znacznie większe niż wyniki uzyskiwane w przeszłości. Wiąże się to z zastosowaną, lepszą metodyką badawczą (próbka powietrza glebowego jest zasysana bezpośrednio z gruntu). Z tego też powodu uznano za niecelowe szczegółowe porównywanie wykonanych obecnie i dawnych wyników oznaczeń.

Zakres tła jest zróżnicowany w mniejszym stopniu niż wartości średnie. Należy zwrócić uwagę, że niemal w każdym rejonie występowania szczaw oznaczono wartości wyraźnie odbiegające od tła. Dotyczy to zarówno małych, jak i dużych wartości stężenia. Małe wartości

mogą być związane z powstawaniem szczelin między powierzchnią terenu a głębokością, na której wykonywano pomiary. W efekcie może dochodzić do intensywnej wymiany powietrza glebowego z powietrzem atmosferycznym. Jest to prawdopodobne ze względu na fakt, że najczęściej takich oznaczeń występowało po długich okresach suszy. Natomiast wartości stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym większe od około 1–1,5% obj. świadczą o występowaniu endogenicznej składowej dwutlenku węgla.

## V.2. Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery

Badania strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery wykonano łącznie w 1504 punktach, w tym w 1025 rozmieszczonych w regularnej siatce 200 × 200 m. Szczegółowe mapy strumienia CO<sub>2</sub> w skali 1:10 000 przedstawiono, dla poszczególnych rejonów występowania szczaw, na podkładach topograficznych (zał. od 2B do 16B) i na podkładach

Tabela V.3. Strumień CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery  $E$  dla poszczególnych obszarów badań

Lp.	Nazwa rejonu	Liczba zrealizowanych punktów pomiarowych		Typ rozkładu*	Wartość strumienia $E$ , g m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>				Współczynnik korelacji między $c$ a $E$ **
		ogółem	w siatce podstawowej		min.	średnia $E_{\text{sr}}$	max.	tło $E_{\text{sr}}-2s \div E_{\text{sr}}+2s$	
1	Czerniawa Zdrój	111	73	$N$	0,75	13,14	27,77	2,4÷23,9	-0,09
2	Świeradów Zdrój	92	68	$\text{Ln}N$	3,15	11,19	29,45	3,8÷33,3	0,18
3	Stare Rochowice	77	52	$\text{Ln}N$	6,31	16,19	50,98	7,2÷36,3	-0,04
4	Szczawno Zdrój	104	69	$\text{Ln}N$	4,57	12,57	40,75	4,7÷33,6	-0,01
5	Jedlina Zdrój	84	54	$N$	5,89	17,68	39,53	2,6÷32,7	0,09
6	Kudowa Zdrój	88	59	$\text{Ln}N$	3,19	11,99	47,83	4,6÷31,4	<b>0,52</b>
7	Jeleniów	44	36	$\text{Ln}N$	5,09	11,49	23,76	5,3÷24,7	<b>0,33</b>
8	Duszniki Zdrój	89	55	$N$	1,39	14,46	31,61	1,3÷27,6	0,15
9	Bobrowniki Stare	22	20	$N$	7,72	18,58	32,59	4,6÷32,5	-0,19
10	Polanica Zdrój i Szalejów Górny	215	142	$N$	0,77	11,84	29,10	0,0÷24,0	0,18
11	Stary Wielisław Dolny	35	25	$N$	1,58	11,09	31,91	0,0÷25,5	0,15
12	Gorzanów	206	138	$\text{Ln}N$	1,80	13,30	50,10	4,3÷41,1	0,17
13	Szczawina i Nowa Łomnica	92	64	$\text{Ln}N$	1,15	9,36	36,13	2,7÷31,9	0,23
14	Nowa Bystrzyca	26	23	$N$	3,57	11,58	20,94	2,0÷21,2	0,29
15	Długopole Zdrój	134	92	$N$	3,09	15,47	65,93	2,9÷28,3	<b>0,36</b>
16	Stare Bogaczowice	85	55	$N$	4,30	20,37	33,87	9,3÷31,4	-0,21
	<b>Łącznie</b>	<b>1504</b>	<b>1025</b>						

\*  $N$  – rozkład normalny,  $\text{Ln}N$  – rozkład logarytmiczno-normalny,

\*\* obliczenia dla ogólnej liczby punktów – pogrubioną czcionką oznaczono wartości współczynnika korelacji istotne statystycznie na poziomie 0,05.

geologicznych (zał. G2B do G16B). Wartości średnie i tło określono na podstawie wartości strumienia uzyskanych w regularnej siatce, z uwzględnieniem charakteru rozkładu tych wartości. Zestawienie wyników badań strumienia CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery przedstawiono w tabeli V.3. Średnie wartości strumienia mieszczą się w niewielkim przedziale od 9,36 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> w rejonie Szczawiny i Nowej Łomnicy do 20,37 g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> w rejonie Starych Bogaczowic. W niewielkim stopniu zróżnicowane są również zakresy wartości tła.

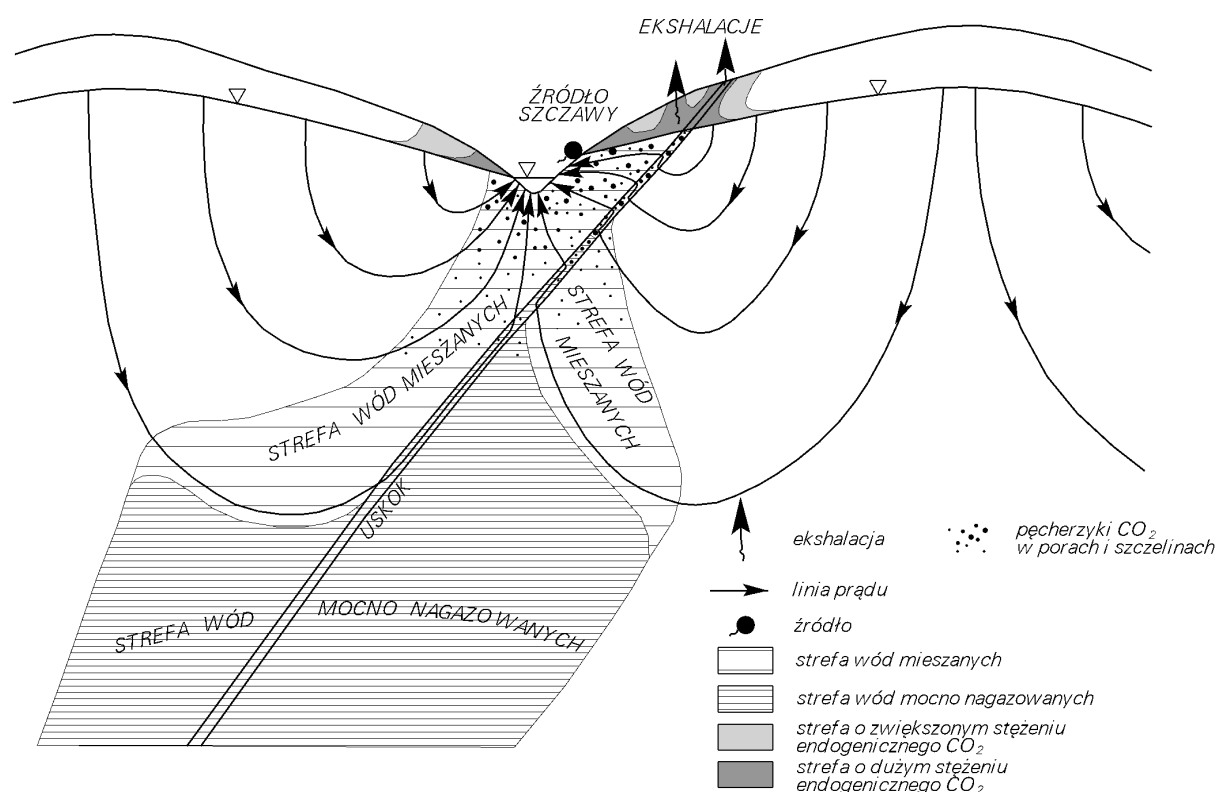
Na całkowitą wielkość strumienia z powierzchni terenu do atmosfery składa się strumień dwutlenku węgla pochodzenia endogenicznego i biogenicznego – produkowanego przez rośliny. Analiza uzyskanych wyników wskazuje na brak korelacji między strumieniem a stężeniem CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym. Może to świadczyć o dominującym znaczeniu dwutlenku węgla pochodzenia roślinnego. Potwierdzeniem tej tezy jest przedstawiana w literaturze ilość CO<sub>2</sub> produkowanego przez rośliny i uwalnianego do atmosfery, która na ogół jest rzędu od 0,1 do kilkudziesięciu g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup> (Chiodini i in. 1998; Yoshikawa i Hasegawa 2000; Klusman 2003; Werner, Brantley 2003; Gorczyca i in. 2003). Ilość ta odpowiada zazwyczaj mierzonym w Sudetach wartościom strumienia. **Należy więc sądzić, że tylko w tych punktach, w których wartość strumienia wyraźnie przekracza górną granicę tła, istotny jest udział endogenicznego dwutlenku węgla.** Porównując w tabeli V.3 stwierdzone, maksymalne wartości strumienia z górną granicą tła widać, że w Sudetach mogą występować obszary, w których udział endogenicznego CO<sub>2</sub> jest istotny, a nawet dominujący. Problem oznaczenia wzajemnego udziału endogenicznego i biogenicznego CO<sub>2</sub> jest kwestią bardzo ważną. Wiąże się ona z możliwością określenia całkowitego strumienia endogenicznego CO<sub>2</sub>. Bez jego oszacowania nie można stwierdzić, w jakim stopniu eksploatacja szczaw prowadzi do zmniejszenia zasobów tych wód. Takie badania, z wykorzystaniem metod izotopowych, powinny zostać wykonane w najbliższym czasie.

### V.3. Wyniki badań w odniesieniu do budowy geologicznej Sudetów

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, że w Sudetach obszary o zwiększonym stężeniu CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym, a także zwiększonym strumieniu tego gazu z powierzchni terenu, znajdują się najczęściej w rejonach dolin i wąwozów, które jednocześnie są naturalnymi, erozyjnymi rozcięciami warstw skalnych. Rozcięcia takie ułatwiają wypływ endogenicznego gazu do atmosfery, szczególnie w miejscach wychodni starszych skał krystalicznych. Na zwiększoną koncentrację CO<sub>2</sub> w rejonach naturalnego drenażu istotny wpływ ma przepływ wód podziemnych (rys. V.2). Wody pochodzenia infiltracyjnego napotykają po drodze wody nągasowane CO<sub>2</sub>, mieszają się z nimi i płyną w kierunku stref drenażowych. Wzdłuż drogi przepływu zmniejsza się ciśnienie w wodzie i dwutlenek węgla wydziela się w postaci pęcherzyków gazu. Ich ilość i wielkość wzrasta w miarę zbliżania się do powierzchni terenu. Przy

dużym nagromadzeniu  $\text{CO}_2$  w postaci gazowej zaczyna się on również przemieszczać jako gaz. W ten sposób dociera do zwierciadła wody i tworzy się ponad nim strefa o zwiększonym stężeniu  $\text{CO}_2$ . Odpływ gazu z takiej strefy może mieć charakter adwekcyjno-dyfuzyjny lub może znaleźć ujście pojedynczymi szczelinami w postaci ekshalacji.

Poniżej zwierciadła wody przepływ gazu w porach i szczelinach skał odbywa się przede wszystkim w strefach o dużej przepuszczalności hydraulicznej. Jeśli strefy uskokowe stanowią takie miejsca, to gaz może wydostawać się na powierzchnię wzdłuż uskoku. Wówczas przy powierzchni mogą się pojawiać obszary o dużym stężeniu  $\text{CO}_2$ , a także ekshalacje. Omówiony schemat migracji endogenicznego  $\text{CO}_2$  w kierunku powierzchni terenu i tworzenia się stref o jego zwiększonym stężeniu przedstawiono na rysunku V.2.



Rys. V.2. Schemat powstawania stref o zwiększonym stężeniu endogenicznego  $\text{CO}_2$  w powietrzu glebowym w Sudetach

Uzyskane mapy stężenia  $\text{CO}_2$  w powietrzu glebowym i strumienia tego gazu z powierzchni terenu do atmosfery świadczą o wędrowce dwutlenku węgla wzdłuż głębokich dyslokacji podłoża krystalicznego, a następnie o rozplywaniu się nad tymi dyslokacjami, w młodszych warstwach skalnych. Największe wartości stężenia i strumienia  $\text{CO}_2$  pojawiają się w najgłębszych wcięciach erozyjnych terenu, zwłaszcza budowanych przez utwory dobrze przepuszczalne, głównie skały okrucowe, a szczególnie luźne i gruboklastyczne (np. utwory karboń-

skie w rejonie Szczawna Zdroju i Jedliny Zdroju, utwory permu w Starym Wielisławiu Dolnym, utwory górnej kredy w Kudowie Zdroju, Jeleniowie, Polanicy Zdroju, Szalejowie Górnym i Gorzanowie oraz luźne osady czwartorzędu). Migrację tę mogą ułatwiać także mniejsze i płytsze dyslokacje (niektóre uskoki np. w centrum Kudowy Zdroju) pod warunkiem, że nie są one wypełnione miazgą lub gliną tektoniczną, które to utwory mogą znacznie ograniczać lub nawet uniemożliwiać migrację gazów takimi strefami uskokowymi.

Przykładem stref tektonicznych, prawdopodobnie stanowiących drogi migracji CO<sub>2</sub> w płytszych strefach, może być uskok Szczawnika na terenie Szczawna Zdroju oraz uskok źródłowy Dusznik. Natomiast głęboką strefą tektoniczną odgrywającą istotną rolę w transporcie CO<sub>2</sub> ku powierzchni litosfery może być zachodni ramowy uskok rowu górnej Nysy Kłodzkiej, co uwidocznione jest przebiegiem izolacji strumienia CO<sub>2</sub> w rejonie Długopola Zdroju, a także w rejonie Szczawiny. Także istotną rolę w tym względzie można przypisywać:

- dyslokacji Strugi (w rejonie Starych Rochowic oraz w rejonie Szczawna Zdroju, a w mniejszym stopniu także w rejonie Starych Bogaczowic), oddzielającej depresję śródsudecką od depresji Świebodziec, jak również
- dyslokacji Szczawno–Głuszyca, będącej kontynuacją dyslokacji Strugi w kierunku SE, oddzielającą gnejsową krę Górną od niecki śródsudeckiej, a także
- uskoku Duszniki–Gorzanów oddzielającemu krystalinik orlicko-bystrzycki od niecki śródsudeckiej w rejonie Dusznik Zdroju i Bobrownik Starych.

Taką rolę można generalnie przypisać zatem dyslokacjom północno-wschodniego i południowo-zachodniego obramowania niecki śródsudeckiej. Mniejsza rozciągłość charakteryzuje uskok Wolany–Polanica Zdrój i związane z nią dyslokacje sięgające krystalicznego podłoża w rejonie Polanicy Zdroju i Szalejowa Górnego, które prawdopodobnie również są odpowiedzialne za doprowadzanie CO<sub>2</sub> z dużych głębokości do powierzchni litosfery. Podobny charakter mają także uskoki w rejonie Świeradowa i Czerniawy oraz uskok biegnący dnem doliny Bystrzycy w rejonie Nowej Bystrzycy.

Anomalie dużych wartości zarówno stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym, jak i strumienia tego gazu nie są związane:

- z żadnymi wydzieleniami litologicznymi, ani też
- wydzieleniami stratygraficznymi skał wychodzących na współczesną powierzchnię terenu w Sudetach.

Wiąże się to z głębłą genezą tego gazu, a co za tym idzie anomalne wartości w skałach leżących na powierzchni są związane z wtórnie ułatwioną migracją w utworach o dużej przepuszczalności dla gazów oraz z wychodniami starych skał krystalicznych (prekambr – paleozoik) rozcinanymi przez głębokie dyslokacje o zasięgu regionalnym lub lokalnym.

Opisany schemat wędrówki juvenilnego CO<sub>2</sub> z głębi skorupy ziemskiej do atmosfery jest zaburzony przez nakładający się na niego strumień fitogenetycznego dwutlenku węgla produkowanego przez korzenie roślin w przypowierzchniowej warstwie gleby. W przypadku, gdy strumień juvenilnego CO<sub>2</sub> nie jest duży, produkowany przez rośliny CO<sub>2</sub> stanowi zasadnicze źródło tego gazu w glebie i powoduje zniekształcenie obrazu i zmianę lokalizacji anomalnie

dużych wartości stężenia tego gazu w powietrzu glebowym oraz jego strumienia wydostającego się do atmosfery.

Na podstawie uzyskanych rezultatów badań można stwierdzić, że w Sudetach zarówno szczawy (także wody kwasowęglowe), jak i suche ekshalacje dwutlenku węgla mogą występować przede wszystkim w rejonach pojawiania się wychodni skał krystalicznych lub też skał krystalicznych przykrytych niezbyt miąższą pokrywą skał osadowych, przecinanych głębokimi dyslokacjami tektonicznymi. Takimi dyslokacjami mogą być np. zachodni ramowy uskok rowu górnej Nysy Kłodzkiej, a także dyslokacje Strugi i Szczawna–Głuszycy, stanowiące północno-wschodnie obramowanie niecki śródsudeckiej, uskok Duszniki–Gorzanów oddzielający krystalinik orlicko-bystrzycki od niecki śródsudeckiej w rejonie Dusznik Zdroju i Bobrownik Starych, uskok Wolany–Polanica Zdrój i towarzyszące mu uskoki oddzielające nieckę śródsudecką od rowu górnej Nysy Kłodzkiej, a także dyslokacje o zasięgu lokalnym, np. uskoki w rejonie Świeradowa i Czerniawy, czy uskok w dnie doliny Bystrzycy.

Nieco inna sytuacja jest charakterystyczna w przypadku obszaru Kudowy Zdroju i Jeleniowa oraz Świeradowa Zdroju i Czerniawy Zdroju. W pierwszym przypadku może istnieć kilka dyslokacji dostarczających CO<sub>2</sub> z głębokiego podłoża do atmosfery, które przecinają wszystkie utwory wypełniające obniżenie Kudowy. Nie stanowią one dużej, regionalnej strefy dyslokacyjnej, jednak mogą osiągać znaczne głębokości, rozcinając także podłoże krystaliczne. W przypadku obszaru Świeradowa Zdroju i Czerniawy Zdroju mamy do czynienia z odsłoniętym na powierzchni krystalinikiem, a zatem większe, aczkolwiek nadal lokalne, dyslokacje tektoniczne mogą sięgać do głębokiego podłoża, umożliwiając transport CO<sub>2</sub> ku powierzchni litosfery. Prawdopodobnie taką zasadniczą dyslokacją jest uskok źródłowy Świeradowa–Czerniawy, a podobną rolę mogą spełniać także mniejsze uskoki do niego prostopadłe, na których rozwinęły się współczesne doliny rzeczne.

W celu potwierdzenia przedstawionych rezultatów badań oraz uzyskania podobnych informacji odnośnie do pozostałej części Sudetów, należy wykonać badania stężenia CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym i strumienia tego gazu z powierzchni terenu do atmosfery wzdłuż opisanych dyslokacji tektonicznych poza obszarami występowania szczaw.

#### **V.4. Wpływ eksploatacji szczaw na ich zasoby**

Występowanie szczaw jest bezpośrednio związane z obecnością w utworach skalnych dwutlenku węgla. Obecnie panuje przekonanie, że dwutlenek węgla stale powstaje w głębi litosfery, a następnie przemieszcza się w kierunku powierzchni terenu. Przyjmowane jest przy tym nieformułowane wyraźnie założenie, że taka sama ilość dwutlenku węgla, jaka powstaje w głębi Ziemi, wypływa do atmosfery. Jest to równoznaczne z przyjęciem hipotezy, że zasoby dwutlenku węgla są odnawialne. W praktyce oznacza to odnawialność zasobów szczaw, gdyż zasilanie wód podziemnych następuje przez nieograniczoną ilość gazu. Wyrazem takie-

go podejścia jest fakt, że podczas eksploatacji szczaw w większości ujęć nie prowadzi się pomiarów ilości wydzielającego się z nich CO<sub>2</sub>. Tymczasem prawdopodobną jest sytuacja, w której więcej dwutlenku węgla wydobywa się na powierzchnię, niż powstaje w głębszych strefach litosfery. Wynika to z tego, że na obszarach geotermalnych i aktywnych wulkanicznie obserwowany obecnie strumień gazów jest zdecydowanie większy niż na obszarach, gdzie aktywność taka wygasła. Oczywiście w takim przypadku kluczowy jest problem związany z określeniem szybkości zmniejszania się ilości gazu w górotworze.

Szybkie zmniejszanie się ilości zgromadzonego w górotworze CO<sub>2</sub> może wystąpić wówczas, gdy dwutlenek węgla był zgromadzony w minionych epokach geologicznych i dopiero obecnie jest on uwalniany. Jest to możliwe ze względu na zdolność magazynowania dwutlenku węgla przez wody podziemne. Wiąże się to z bardzo dobrą rozpuszczalnością CO<sub>2</sub> w wodzie i właściwościami nagazowanych wód. Duże ciśnienie panujące na większych głębokościach powoduje, że zgromadzona ilość gazu w jednostce objętości wody może być bardzo duża. Im większa głębokość, tym panuje większe ciśnienie i tym ilość uwiecznionego dwutlenku węgla w wodzie może być większa. Ponieważ gęstość wody wzrasta wraz z ilością rozpuszczonego gazu, to wraz z głębokością wzrasta również gęstość wody. Taki rozkład gęstości powoduje, że nagazowane wody mają ograniczony udział w krążeniu. Tak więc wody podziemne mogą stanowić zbiornik, w którym jest gromadzony dwutlenek węgla. Z takiego zbiornika można czerpać więcej gazu, niż dopływa go z głębi. Teoretycznie można więc przez eksploatację szczaw doprowadzić do znacznego uszczuplenia zasobów nagazowanych wód, a nawet do ich całkowitego wyeksploatowania. Racjonalna eksploatacja szczaw wymaga zatem kontroli transportu dwutlenku węgla z głębi litosfery do atmosfery. Można to uczynić przez określenie wielkości endogenicznego strumienia CO<sub>2</sub> oraz porównania go z ilością tego gazu wydobywanego wraz z wodą. Jeżeli ilość wydobywanego wraz ze szczawami dwutlenku węgla jest większa niż wynosi naturalny strumień endogenicznego CO<sub>2</sub> z litosfery do atmosfery, to znaczy, że eksploatacja szczaw powoduje zmniejszanie ich zasobów.

Przeprowadzone w ramach przedstawionej pracy wyniki świadczą, że dominujący udział w strumieniu CO<sub>2</sub> z powierzchni terenu do atmosfery w rejonach występowania szczaw w Sudetach ma gaz pochodzenia biogenicznego. Bez dokładniejszych badań, np. izotopowych, nie można obecnie przedstawić ilościowo udziału dwutlenku węgla pochodzenia endogenicznego. Uzyskane wyniki wskazują, że jest on niewielki. Potwierdza to przypuszczenie, że ilość wydobywanego dwutlenku węgla wraz ze szczawami może być istotna w bilansie tego gazu. Eksploatacja szczaw w Sudetach może przyczyniać się więc do zmniejszania ich zasobów. Wynika z tego konieczność obserwacji ilości wydostającego się dwutlenku węgla towarzyszącego eksploatowanym szczawom. Racjonalna eksploatacja wymaga więc ciągłych pomiarów wykładnika gazowego we wszystkich ujęciach wód zawierających wolny dwutlenek węgla, łącznie z jego stężeniem w wodzie. Niezbędne jest również cykliczne oznaczanie składu chemicznego gazu.

Niezależnie od prowadzenia monitoringu w poszczególnych ujęciach szczaw powinno się również określić całkowitą ilość CO<sub>2</sub> pochodzenia endogenicznego, jaka wydostaje się z głębi litosfery do atmosfery.

## V.5. Zagrożenie dwutlenkiem węgla

Dwutlenek węgla nie jest gazem toksycznym, lecz jego zwiększone stężenie zaburza proces oddychania. W powietrzu atmosferycznym jego zawartość wynosi 0,037% obj., natomiast w powietrzu wydychanym przez człowieka około 4% obj. Przy stężeniu w granicach 4,6–5,9% obj. proces oddychania staje się niemożliwy. Może to prowadzić nawet do śmierci przez uduszenie. Przy większych stężeniach dwutlenek węgla nie tylko nie jest wydalany przez organizm, lecz jego zwiększona ilość dostaje się do krwi, pogłębiając niedotlenienie. Wzrost zawartości CO<sub>2</sub> powyżej 30% obj. powoduje natychmiastową śmierć. Najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe (NDSCh) w Polsce wynosi 1,5% obj.

Na obszarach występowania szczaw w Sudetach stężenie dwutlenku węgla w powietrzu glebowym często mieści się w zakresie, który uznawany jest za niebezpieczny dla zdrowia i życia. We wszystkich rejonach, poza rejonem Nowej Bystrzycy, maksymalne zmierzone stężenie jest większe od 7–9% obj., a w kilku z nich jest większe od 60% obj.

W rejonach występowania szczaw w Sudetach stwierdzono również zwiększone wartości strumienia CO<sub>2</sub>. Nie były to jednak duże wartości. Największe oznaczone wielkości endogenicznego strumienia CO<sub>2</sub> były tego samego rzędu co wartości strumienia biogenicznego. Należy jednak wziąć pod uwagę to, że szczególne zagrożenie mogą stwarzać ekshalacje endogenicznego CO<sub>2</sub>. Ich zlokalizowanie jest często bardzo trudne, gdyż gaz może wydobywać się nawet pojedynczymi szczelinami o niewielkich rozmiarach. Wokół takich dróg migracji gazu tworzą się zazwyczaj strefy o dużym jego stężeniu w powietrzu glebowym i zwiększonym strumieniu. Dlatego wszystkie strefy o dużym stężeniu CO<sub>2</sub> w powietrzu glebowym i wyraźnie zwiększonym strumieniu tego gazu (tam, gdzie przekroczona jest wartość tła) należy traktować jako potencjalnie niebezpieczne. Ponieważ dwutlenek węgla jest cięższy od powietrza atmosferycznego, to zagrożenie w takich przypadkach występuje przede wszystkim we wszelkich obniżeniach terenu (szybiki, rowy, wykopy budowlane), a zwłaszcza z ograniczoną wentylacją (studzienki instalacyjne, piwnice, garaże).

Najbardziej niekorzystnymi obszarami pod względem zagrożenia gazowego są strefy, w których występuje zarówno duże stężenie gazu, jak i duży strumień. Takie obszary należy uwzględniać w planach zagospodarowania przestrzennego i w czasie prac poniżej powierzchni terenu. Z drugiej zaś strony miejsca takie mogą wskazywać korzystną lokalizację ewentualnych, nowych ujęć szczaw.



## Spis literatury i wykorzystanych materiałów archiwalnych

- Aleksandrowski P., Mazur S., 2002, *Collage tectonics in the northeasternmost part of the Variscan Belt: the Sudetes, Bohemian Massif*, [in:] Winchester J. A., Pharaoh T. C., Verniers J., *Palaeozoic Amalgamation of Central Europe*. Geological Society, London, Special Publications, Vol. 201, s. 237–277.
- Aleksandrowski P., Kryza R., Mazur S., Pin C., Zalasiewicz J. A., 2000, *The Polish Sudetes: Caledonian or Variscan?* Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences, Vol. 90, s. 127–146.
- Atkins P.W., 2001, *Chemia fizyczna*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Baza danych ogólnogeograficznych, 2005, *Raster mapy topograficznej w skali 1:250 000*. Marszałek Województwa Dolnośląskiego, Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej we Wrocławiu, Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego, Wrocław.
- Berg G., 1926, *Erläuterungen zur geologischen Karte von Preussen*, Blatt Flinsberg, Strickerhäuser, 1:25 000, Berlin.
- Biel Z. i in., 1967, *Dokumentacja hydrogeologiczna dotycząca ujęcia wody pitnej i zmineralizowanej z odwiertów górnej kredy w Gorzanowie*. Arch. Przeds. Hydrogeol. we Wrocławiu, (maszynopis).
- Borkowska M., 1959, *Granitoidy kudowskie na tle petrografii głównych typów kwaśnych intruzji Sudetów i ich przedpola*, Arch. Miner., t. 21.
- Borowiec A., Niżyński S., Starzyńska D., 1985, *Sprawozdanie z kompleksowych obserwacji hydrogeologicznych w rejonie przygranicznym Kudowa–Police wykonanych w latach 1982–1984*, Przeds. Geol., Wrocław (maszynopis).
- Bossowski A., Czerski M., 1987, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów*, Arkusz Boguszów, Skala 1 : 25 000, Wyd. Geol., Warszawa.
- Bossowski A., Cymerman Z., Grocholski A., Ihnatowicz A., 1994, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów wraz z objaśnieniami* (1995), Arkusz Jedlina Zdrój, Skala 1 : 25 000, PAE, Warszawa.
- Chiodini G., Cioni R., Guidi M., Raco B., 1998, *Soil CO<sub>2</sub> flux measurements in volcanic and geothermal areas*, Applied Geochemistry, Vol. 13, No. 5, s. 543–552.
- Ciężkowski W., 1983, *Jednostka hydrogeologiczna szczaw Gór Izerskich*, Kwart. Geol., t. 27, nr 3, s. 595–604.
- Ciężkowski W., 1990, *Studium hydrogeochemii wód leczniczych Sudetów polskich*, Pr. Nauk. Inst. Geotechn. PWr nr 60, Wrocław.
- Ciężkowski W., 2000, *Wody lecznicze Ziemi Kłodzkiej*. [w:] *Zdroje Ziemi Kłodzkiej. Historia, przyroda, kultura, przyszłość*, Pod red. Wojciecha Ciężkowskiego, Jacka Dębickiego, Ryszarda Gładkiewicza. Wrocław: Uniw. Wroc. Centrum Badań Śląskoznawczych i Bohemistycznych, s. 77–91.
- Ciężkowski W., 2003, *Szczawy i wody radonowe bloku karkonosko-izerskiego*. [w:] *Sudety Zachodnie: od wendy do czwartorzędu*. Pod red. Wojciecha Ciężkowskiego, Juranda Wojewody, Andrzeja Żelaźniewicza. Wrocław: „Wind”, s. 225–235.
- Ciężkowski W., Cisek J., Porwisz B., Żak S., 1999b, *Dwutlenek węgla w powietrzu glebowym na obszarze zlewni Muszynki w Beskidzie Sądeckim*, [w:] *Współczesne problemy hydrogeologii*, T. IX. Warszawa–Kielce, s. 395–397.

- Ciężkowski W., Doktor S., Graniczny M., Izydorska A., Józefko I., Kozłowski J., Liber-Madziarz E., Mateńko T., Porwisz B., Przylibski T., Teisseyre B., Wiśniewska M., Zuber A., 1996, *Próba określenia obszarów zasilania wód leczniczych pochodzenia infiltracyjnego w Polsce na podstawie badań izotopowych*, Część ogólna oraz zał. 1–42. ZB-U ZDROJE, Wrocław (maszynopis).
- Ciężkowski W., Duliński W., Józefko I., Kielczawa B., Liber Madziarz E., Witczak S., Zuber A., Żak S., 2002, *Występowanie, dokumentowanie i eksploatacja endogenicznego dwutlenku węgla w Polsce, poradnik metodyczny*, Ministerstwo Środowiska, Departament Geologii i Koncesji Geologicznych, Wrocł. Tow. Naukowe, Wrocław.
- Ciężkowski W., Józefko I., Schmalz A., Witczak S. i in., 1999a, *Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wód leczniczych i dwutlenku węgla (jako kopaliny towarzyszącej) ze złoże w uzdrowisku Krynica oraz ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych (zwykłych oraz leczniczych i o właściwościach leczniczych) w zlewni Krynicy*, Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej (maszynopis).
- Cisek J., 1998, *Inwentaryzacja źródeł wód leczniczych i mineralnych, ekshalacji CO<sub>2</sub> oraz ujęć wierconych ujmujących wody lecznicze i mineralne w rejonie Tylicza k. Krynicy w woj. Nowosądeckim*, ZPWM Multico, Tylicz (maszynopis).
- Cwojdziański S., 1981, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów wraz z objaśnieniami*, Arkusz Krosnowice, Skala 1 : 25 000, Wyd. Geol., Warszawa.
- Cwojdziański S., Żelaźniewicz A., 1995, *Podłoże krystaliczne bloku przedsudeckiego*, Annales Societas Geologorum Poloniae. Wydanie specjalne. Przewodnik LXVI Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego „Geologia i ochrona środowiska bloku przedsudeckiego”, s. 11–28.
- Cymerman Z., 1992, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów wraz z objaśnieniami*, Arkusz Duszniki Zdrój, Skala 1 : 25 000, Wyd. Geol., Warszawa.
- Cymerman Z., 1995, *Szczegółowa mapa meologiczna Sudetów wraz z objaśnieniami* (1996), Arkusz Lewin Kłodzki, Skala 1 : 25 000, PAE, Warszawa.
- Cymerman Z., 2004, *Tectonic map of the Sudetes and the Fore-Sudetic block*, Scale: 1:200 000, Państwowy Instytut Geologiczny i Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- Cymerman Z., Mastalerz K., 1995, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów wraz z objaśnieniami* (1995), Arkusz Marciszów, Skala 1 : 25 000, PAE, Warszawa.
- Dominikiewicz M., 1951, *Wody mineralne Polski*, PZWL, Warszawa.
- Dowgiałło J., 1969, *Występowanie wód leczniczych w Polsce*, W: Dowgiałło J., Karski A., Potocki I. (red.), *Geologia surowców balneologicznych*, Wyd. Geol., Warszawa, s. 143–212.
- Dowgiałło J., 1978, *Pochodzenie dwutlenku węgla w szczawach Karpat i Sudetów na obszarze Polski*, Biul. Inst. Geol., Warszawa, s. 191–217.
- Dowgiałło J., 2002, *The Sudetic geothermal region of Poland*, Geothermics, Vol. 31 (3), s. 343–359.
- Dowgiałło J., Fistek J., 2003, *New findings in the Wałbrzych–Kłodzko geothermal subregion (Sudetes, Poland)*. Geothermics, Vol. 32, s. 689–699.
- Dowgiałło J., Fistek J., 2007, *Wody mineralne, Prowincja sudecka*, [w:] *Hydrogeologia regionalna Polski*, pod red. Bronisława Paczyńskiego i Andrzeja Sadurskiego, Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny, 2007, t. II, s. 57–78.
- Dumicz M., 1964, *Budowa geologiczna krystaliniku Gór Bystrzyckich*, Geol. Sudetica, t. 1, Warszawa, s. 5–72.
- Emerle-Tubielewicz H., 1981, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów wraz z objaśnieniami* (1981), Arkusz Kłodzko, Skala 1 : 25 000, Wyd. Geol., Warszawa.
- Fistek J., 1965, *Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych Dusznik Zdroju*, P.P. OTU, Warszawa (maszynopis).
- Fistek J., 1966, *Dokumentacja hydrogeologiczna złoże wód leczniczych Polanicy Zdroju*, P.P.O.T.U., Warszawa (maszynopis).
- Fistek J., 1967a, *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód leczniczych ujętych otworem J-300 w Jedlinie Zdroju*, P.P. OTU, Warszawa (maszynopis).

- Fistek J., 1967b, *Wody mineralne Świeradowa Zdroju*, Przewodnik XL Zjazdu Pol. Tow. Geol., Zgorzelec 24–27.08.1967, Wyd. Geol., Warszawa, s. 76–78.
- Fistek J., 1970, *Ujęcie wody podziemnej mineralnej z utworów kredy górnej w Jeleniowie*, dokumentacja hydrogeologiczna w kat. B. PP OTU Warszawa (maszynopis).
- Fistek J., 1974a, *Dokumentacja hydrogeologiczna ujęcia szczawy w Szczawinie*, B.P.i U.T.B.U. Balneoprojekt, Warszawa (maszynopis).
- Fistek J., 1974b, *Studium hydrogeologiczne w sprawie możliwości dodatkowego zaopatrzenia miasta Kudowy Zdroju w wodę pitną z ujęć wód podziemnych*, Arch. RPWiK w Kłodzku (maszynopis).
- Fistek J., 1975a, *Wytyczne do ujęcia wód termalnych na obszarze Świeradowa i Czerniawy*, Arch. B.P. „Balneoprojekt” (maszynopis).
- Fistek J., 1975b, *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych otworów 1, 3a, 13a w Świeradowie Zdr.*, Arch. B.P. „Balneoprojekt”, Warszawa (maszynopis).
- Fistek J., 1975c, *Stare Rochowice koło Bolkowa*, Przewodnik XLVII Zjazdu Pol. Tow. Geol., Świdnica 22–24.06.1975, Wyd. Geol., Warszawa.
- Fistek J., 1977, *Szczawy Kotliny Kłodzkiej i Gór Bystrzyckich*, Biul. Geol. UW, t. 22, s. 61–115.
- Fistek J., 1989, *Rola uskoku Pstrążna–Gorzanów w kształtowaniu warunków hydrogeologicznych SW obrzeżenia synklinorium śródsudeckiego*, Pr. Nauk. Inst. Geol. PWr, nr 58, Wrocław, s. 362–368.
- Fistek J., Gierwielanec J., 1961, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów wraz z objaśnieniami* (1964), Arkusz Bystrzyca Nowa, Skala 1 : 25 000, Wyd. Geol., Warszawa.
- Fistek J., Gierwielanec J., 1982, *Problematyka hydrogeologiczna zapadliska Kudowy*, Materiały II Ogólnopolskiego Sympozjum „Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej”, Łądek Zdrój, Wyd. Uniw. Wrocł., s. 240–261.
- Fistek J., Głombik J., 1987, *Udział przedsiębiorstw górniczych w pracach hydrogeologicznych związanych z ujmowaniem źródeł wód leczniczych*, Konferencja: 25 lat górnictwa uzdrowiskowego, Krynica 8–10.10.1987, Wyd. AGH, Kraków, s. 240–261.
- Fistek J., Scherautz G., 1964, *Dokumentacja badań hydrogeologicznych źródeł mineralnych leczniczych Bolko I i Bolko II Starych Rochowic koło Bolkowa*, B.U. i E. Tow. Nauk. Ekspertów Bud., Warszawa (maszynopis).
- Fistek J., Scherautz G., 1968, *Dokumentacja powykonawcza 14 odwiertów badawczych odwierconych w latach 1962–1965 w Świeradowie Zdroju*, B.P. „Balneoprojekt”, Warszawa (maszynopis).
- Fistek J., Starzyńska D., 1973, *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych otworów 1P, 2P, 3P, 4P w Świeradowie Zdr.*, Arch. B.P. „Balneoprojekt”, Warszawa (maszynopis).
- Fistek J., Szarszewska Z., 1969, *Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych ujętych odwiertami 1, 2, 3, 4, 5 i 6 w Starych Rochowicach*, Warszawa (maszynopis).
- Fistek J., Teisseyre J., 1967, *Geneza wód mineralnych Świeradowa Zdroju*, Przewodnik XL Zjazdu Pol. Tow. Geol., Zgorzelec 24–27.08.1967, Wyd. Geol., Warszawa s. 177–178.
- Fistek J., Tęšiorowska H., 1969, *Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych Szczawna Zdroju*, P.P.O.T.U., Arch. P.P.U. Szczawno–Jedlina (maszynopis).
- Fistek J., Tęšiorowska H., 1972, *Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych ujętych odwiertami B-1, B-2, B-3 i B-4 w Dusznikach Zdroju*, B.P. „Balneoprojekt”, Wrocław (maszynopis).
- Fistek J., Tęšiorowska H., Starzyńska D., 1972, *Sprawozdanie z I-szego etapu badań geologicznych wykonanych w rejonie Szczawna Zdroju wraz z projektem na wykonanie II-go etapu prac (wierceń)*, Przedsiębiorstwo Państwowe „Obsługa Techniczna Uzdrowisk”, Warszawa (maszynopis).
- Fistek J., Iwanowski S., Iciek A., Jagodziński A., 1975, *Badania geologiczne, geofizyczne i hydrogeologiczne jako przykład kompleksowego rozwiązania problemu poszukiwań wód leczniczych w uzdrowiskach sudeckich*, Biul. Infor. Geofizyka, nr 1, s. 5–30.
- Franke W., Żelaźniewicz A., 2000, *The eastern termination of the Variscides: terrane correlation and kinematic evolution*. [in:] Franke W., Haak V., Oncken O., Tanner D. (eds.), *Quantification and modelling in the Variscan belt*, Geological Society, London, Special Publications, Vol. 179, s. 63–86.
- Frech F., 1912, *Schlesiens Heilquellen in ihrer Beziehung zum Bau der Gebirge*, Berlin.

- Gierwielaniec J., 1955, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów*, Skala 1 : 25000, Arkusz Kudowa, Inst. Geol., Warszawa.
- Gierwielaniec J., 1965, *Budowa geologiczna okolic Kudowy Zdroju*. Inst. Geol. Biul. 185, Z badań geologicznych na Dolnym Śląsku, t. 11, Warszawa, s. 23–90.
- Gierwielaniec J., Radwański S., 1958, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów*, skala 1:25 000, Arkusz Jeleniów, Wyd. Geol., Warszawa.
- Grześkowiak W. i in., 1994, *Dokumentacja hydrogeologiczna ujęcia wód podziemnych z utworów kredowych dla rozlewni wód mineralnych w Gorzanowie (otwory 2 i 4b)*, PPUH Hydrogeo sp. z o.o., Wrocław (maszynopis).
- Gorczyca Z., Różański K., Kuc T., Michalec B., 2003, *Seasonal variability of the soil CO<sub>2</sub> flux and its isotopic composition in southern Poland*, Nukleonika, 48(4), s. 187–196
- Haydukiewicz A., Olszewski S., Porębski S., Teisseyre A., 1984, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów wraz z objaśnieniami* (1985), Arkusz Wałbrzych, Skala 1 : 25 000, Wyd. Geol., Warszawa.
- Józefko I., 1997, *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych i eksploatacyjnych wód podziemnych (zwykłych i leczniczych) na obszarze miasta Szczawnica i gminy Krościenko nad Dunajcem*, Przedsiębiorstwo Geologiczne S.A., Kraków (maszynopis).
- Józefko I. i in., *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych i eksploatacyjnych wód podziemnych (zwykłych i leczniczych) na obszarze górniczym Muszyna II*, (maszynopis).
- Józefko I., Bielec B., Operacz T., Zuber A., 1999, *Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki zasilania oraz zasady ochrony jakości i zasobów wód leczniczych w rejonie Szczawy wraz z oceną zasobów dyspozycyjnych wód zwykłych*, PBG Geoprofil, Kraków (maszynopis).
- Kielczawa B., 2001, *Wody zmineralizowane Gorzanowa*, Praca doktorska, Wydział Górniczy Politechniki Wrocławskiej.
- Kielczawa B., 2004, *Zmienność stężeń dwutlenku węgla w powietrzu glebowym uzdrowiskowej części Dusznik Zdroju*, Materiały konferencyjne, Hydrogeochemia'04, Ostrawa, s. 37–40.
- Klusman R. W., 2003, *Evaluation of leakage potential from a carbon dioxide EOR/sequestration project*, Energy Conversion and Management, Vol. 44, pp. 1921–1940.
- Kornaś J., 1959, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów wraz z objaśnieniami*, Arkusz Pobiedna, Skala 1 : 25 000, Wyd. Geol., Warszawa.
- Korus A., Kotarba M., Dzieńiewicz M., Sechman H., 2002, *Ocena szybkości dopływów gazów złożowych do strefy przypowierzchniowej w niecce wałbrzyskiej*, Konf. „Zagrożenia gazowe w strefie przypowierzchniowej zagłębi węglowych związane z likwidacją kopalń: Wyniki badań i doświadczenia z niecki wałbrzyskiej”, Radków, maj 2002 (w druku).
- Kotarba M., 1988, *Geochemiczne kryteria genezy gazów akumulowanych w serii węglonośnej górnego karbonu niecki wałbrzyskiej*, Zeszyty Nauk. AGH, Geologia, 42, s. 119.
- Kotarba M., 2002, *Zagrożenia gazowe w strefie przypowierzchniowej po likwidacji kopalń w zagłębiach węglowych*, Konf. „Zagrożenia gazowe w strefie przypowierzchniowej zagłębi węglowych związane z likwidacją kopalń: Wyniki badań i doświadczenia z niecki wałbrzyskiej” Radków maj 2002 (w druku).
- Kotarba M., (red.) 2002, *Gas hazard in the near-surface zone of the Wałbrzych coal district caused by coal mine closure: Geological and geochemical controls*, Wyd. Nauk. “Akapit” Kraków.
- Kowalski S., 1983, *Wody podziemne w skałach górnokredowych Gór Stołowych*, Inst. Geol., Prace hydrogeologiczne, z. 15, Wyd. Geol., Warszawa.
- Kozdrój W., 1994, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów wraz z objaśnieniami* (1993), Arkusz Poręba, Skala 1 : 25 000, PAE, Warszawa.
- Krzemińska E., 2002, *Charakterystyka zmian zawartości dwutlenku węgla w wodach leczniczych Dusznik Zdroju z uwzględnieniem naturalnych ekshalacji*, Praca magisterska. Wydział Górniczy Politechniki Wrocławskiej.
- Mapa topograficzna, 2005, *Rastry mapy topograficznej w skali 1:10 000, układ 1965 oraz układ 1992*, Marszałek Województwa Dolnośląskiego, Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej we Wrocławiu, Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego, Wrocław.

- Mazur S., Aleksandrowski P., Kryza R., Oberc-Dziedzic T., 2006, *The Variscan Orogen in Poland*, Geological Quarterly, Vol. 50, No. 1, s. 89–118.
- Meister E., 1933, *Die Kohlensäurehaltigen Mineralquelle der Grafschaft Glatz*, Jb. d. Preuss. Geol. L.A. für das Jahr 1932, Bd 53, Berlin.
- Oberc J., 1972, *Budowa geologiczna Polski*. T. IV Tektonika, cz. 2. *Sudety i obszary przyległe*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Oberc J., 1995, *Schemat budowy geologicznej Dolnego Śląska*, Annales Societatis Geologorum Poloniae. Wydanie specjalne. Materiały z sesji „Geologia i ochrona środowiska bloku przedsudeckiego”, s. 3–9.
- Oberc-Dziedzic T., Kryza R., Klimas K., Fanning M. C., Madej S., 2005, *Gneiss protolith ages and tectonic boundaries in the NE part of the Bohemian Massif (Fore-Sudetic Block, SW Poland)*, Geological Quarterly, Vol. 49, No. 4, s. 363–378.
- Opletal M. i in., 1980, *Geologie Orlických hor. Ústředni ústav geologický*, Academia, nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- Paczyński B., Płochniewski Z., 1996, *Wody mineralne i lecznicze Polski*, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Poprawski L., Filbier P., 1997, *Analiza możliwości wznowienia eksploatacji wód leczniczych w uzdrowisku Jedlina w świetle nowych badań hydrogeologicznych*, W: Górski J., Liszkowska E. (red.), *Współczesne problemy hydrogeologii*. T. VIII. WIND, Wrocław, s. 375–379.
- Przylibski T. A., Kozłowski J., Kabat T., 1998, *Selected processes in acidulous waters from Świeradów Zdrój in the light of the results of chemical analyses over the last thirty years*, Annales Societatis Geologorum Poloniae, Vol. 68, s. 95–101.
- 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 eksploatowanych przez ZEWM „Muszynianka” wraz z obszarami zasilania i oceną zasobów wód podziemnych rejonu Muszyna–Milik*, ZUH s.c., Kraków (maszynopis).
- Radwański S., 1954–1955, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów wraz z objaśnieniami*, Arkusz Wambierzyce, Skala 1 : 25 000, Wyd. Geol., Warszawa.
- Rogie J., Kerrick D., Frondini F., 2000, *Flux measurements of nonvolcanic CO<sub>2</sub> emission from some vents in central Italy*, Journal of Geophysical Research, Vol. 105, No. B4, s. 8435–8445.
- Rogie J., Kerrick D., Sorey M., Chiodini G., Galloway D., 2001, *Dynamics of carbon dioxide emission at Mammoth Mountain, California*, Earth and Planetary Science Letters, Vol. 188, s. 535–541.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 14 lutego 2006 r. w sprawie złóż wód podziemnych zaliczonych do solanek, wód leczniczych i termalnych oraz złóż innych kopalin leczniczych, a także zaliczenia kopalin pospolitych z określonych złóż lub jednostek geologicznych do kopalin podstawowych. DzU Nr 32, Poz. 220, DzU Nr 246, poz. 1790.
- Sadowska M., 1989, *Zmiany parametrów hydrochemicznych w złożu wód mineralnych spowodowane wadliwą eksploatacją na przykładzie odwiertu J-150 w Jeleniowie*, Problemy hydrogeol. pd.-zach. Polski, Prace Naukowe Inst. Geotech. PWr. Nr 58, Wrocław, s. 375–380.
- Scherautz G., 1965, *Dokumentacja inwentaryzacyjna ujęć wód leczniczych Świeradowa Zdroju*, Arch. PP OTU Warszawa (maszynopis).
- Starzyńska D., 1972, *Sprawozdanie z prac hydrogeologicznych związanych z ujęciem wód leczniczych w otworze nr 4 zastępczym dla źródła „Jan” w Czerniawie Zdroju*, B. P. i U.T.B.U. „Balneoprojekt”, Warszawa (maszynopis).
- Starzyńska D., 1993, *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych w utworach prekambryjskich ujętych odwiertami P-1 i P-2 w Czerniawie Zdroju*, B. P. i U.T.B.U. „Balneoprojekt”, Warszawa (maszynopis).
- Staśko S., Ciężkowski W., Oszczytko N., Modelska M., Buczyński S., Olichwer T., Tarka R., Weisło M., 2007, *Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych w rejonie Tylicza*, Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, Wrocław (maszynopis).
- Stupnicka E., 1989, *Geologia regionalna Polski*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.

- Suchodolski Z., 1957, *Warunki geologiczne występowania dwutlenku węgla w Walbrzyskim Rejonie Węglowym*, Pr. Gł. Inst., nr 191.
- Szałamacha J., Szałamacha M., 1984, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów wraz z objaśnieniami*, Arkusz Świeradów Zdrój, Skala 1 : 25 000, Wyd. Geol., Warszawa.
- Szarszewska Z., 1970, *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód leczniczych ujętych otworem J-300 w Jedlinie Zdroju*, B.P. Balneoprojekt, Warszawa (maszynopis).
- Szarszewska Z., 1974, *Dokumentacja hydrogeologiczna ujęcia wód podziemnych Gorzanowa*, Arch. B.P. „Balneoprojekt”, Warszawa (maszynopis).
- Szura T., 1964, *Powierzchniowe zdjęcie gazowe w Krynicy Zdroju*, Pracownia Geologii Złożowej Instytutu Naftowego. Arch. UZG Krynica (maszynopis).
- Teisseyre H., 1976, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów wraz z objaśnieniami* (1977), Arkusz Bolków, Skala 1 : 25 000, Wyd. Geol., Warszawa.
- Teisseyre H., 1972, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów wraz z objaśnieniami* (1973), Arkusz Stare Bogaczowice, Skala 1 : 25 000, Wyd. Geol., Warszawa.
- Teisseyre H., *Mapa geologiczna okolic Szczawna Zdroju*, Skala 1 : 10 000, b.r., b.m.
- Teisseyre J., 1966, *Źródła mineralne Śląska w świetle badań geologicznych 1945–1965*, Z geologii Ziemi Zachodnich, Wrocław, s. 485–505.
- Teşiorowska H., Fistek J., 1971, *Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych Kudowy Zdroju*, Arch. B.P. „Balneoprojekt”, Wrocław, Warszawa (maszynopis).
- Valeš V., Květ R., Pospíšil Z., Řezníček V., 1975, *Hydrogeochemická prospekce nerostných surovin*, Geologické Práce. Správy, nr 62, s. 121–143.
- Werner C., Brantley S., 2003, *CO<sub>2</sub> emissions from the Yellowstone volcanic system*, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 4(7), 1061.
- Walczak-Augustyniak M., Wroński J., 1982, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów wraz z objaśnieniami* (Wroński J.), Arkusz Domaszków, Skala 1 : 25 000, Wyd. Geol., Warszawa.
- Wójcik L., 1961, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów wraz z objaśnieniami*, Arkusz Polanica Zdrój, Skala 1 : 25 000, Wyd. Geol., Warszawa.
- Wójcik L., Gaździk J., 1958, *Szczegółowa mapa meologiczna Sudetów wraz z objaśnieniami*, arkusz Szalejów Górny, Skala 1 : 25 000, Wyd. Geol., Warszawa.
- Wroński J., 1983, *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów wraz z objaśnieniami* (Wroński J., Cwojdzński S., 1984), Arkusz Bystrzyca Kłodzka, Skala 1 : 25 000, Wyd. Geol., Warszawa.
- Yoshikawa S., Hasegawa S., 2000, *Diurnal and seasonal changes in CO<sub>2</sub> concentration and flux in an andisol and simulation based on changes in CO<sub>2</sub> production rate and gas diffusivity*, *JARQ*, Vol. 34, No. 1, s. 1–13.
- Zaleska M., Zieliński W., Borysewicz P., 2004, *Dodatek nr 1 do dokumentacji hydrogeologicznej wód podziemnych odwiertu J-300 w Jedlinie Zdroju*, ARCADIS EKOKONREM, Wrocław (maszynopis).
- Żak S., 2004, *Nowe metody w badaniu CO<sub>2</sub>*, Szkol. resort. służb geol. Polanica Zdrój, s. 28–33.
- Żelaźniewicz A., 1995, *Introduction to chapter VI*, [in:] Dallmeyer R. D., Franke W., Weber K. (eds.), *Pre-Permian geology of central and eastern Europe*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1995, s. 311–314.
- Żelaźniewicz A., 1997, *The Sudetes as a Palaeozoic orogen in central Europe*, *Geological Magazine*, Vol. 134, No. 5, s. 691–702.
- Żelaźniewicz A., 2005, *Przeszłość geologiczna*, [w:] Fabiszewski J. (red.), *Przyroda Dolnego Śląska*, s. 61–134. Polska Akademia Nauk, Oddział we Wrocławiu, Wrocław.
- Żelaźniewicz A., Kemnitz H., Hermsdorf N., 1995, *Structure. Chapter VIC*, [in:] Dallmeyer R.D., Franke W., Weber K. (eds.), *Pre-Permian geology of central and eastern Europe*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1995, s. 328–340.

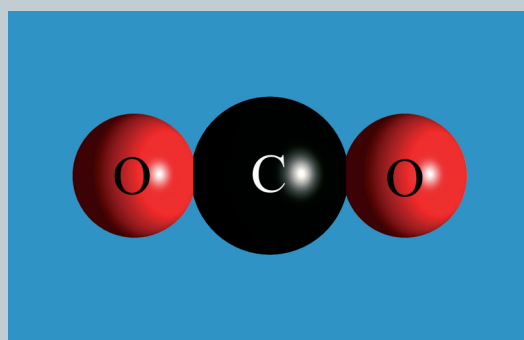
## Spis załączników

- Zał. 1A – Zał. 16B – mapy na podkładach topograficznych  
Zał. G1A – Zał. G16B – mapy na podkładach geologicznych  
Zał. 1. Lokalizacja obszarów badań CO<sub>2</sub> w rejonach występowania szczaw w Sudetach.  
Zał. G1. Lokalizacja obszarów badań CO<sub>2</sub> w rejonach występowania szczaw w Sudetach (mapa tektoniczna według Cymermana, 2004).  
Zał. 2A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Czerniawy Zdroju.  
Zał. 2B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Czerniawy Zdroju.  
Zał. G2A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Czerniawy Zdroju.  
Zał. G2B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Czerniawy Zdroju.  
Zał. 3A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Świeradowa Zdroju.  
Zał. 3B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Świeradowa Zdroju.  
Zał. G3A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Świeradowa Zdroju.  
Zał. G3B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Świeradowa Zdroju.  
Zał. 4A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Starych Rochowic.  
Zał. 4B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Starych Rochowic.  
Zał. G4A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Starych Rochowic.  
Zał. G4B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Starych Rochowic.  
Zał. 5A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Szczawna Zdroju.  
Zał. 5B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Szczawna Zdroju.  
Zał. G5A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Szczawna Zdroju.  
Zał. G5B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Szczawna Zdroju.  
Zał. 6A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Jedliny Zdroju.  
Zał. 6B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Jedliny Zdroju.  
Zał. G6A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Jedliny Zdroju.  
Zał. G6B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Jedliny Zdroju.  
Zał. 7A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Kudowy Zdroju.  
Zał. 7B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Kudowy Zdroju.  
Zał. G7A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Kudowy Zdroju.  
Zał. G7B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Kudowy Zdroju.  
Zał. 8A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Jeleniowa.  
Zał. 8B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Jeleniowa.  
Zał. G8A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Jeleniowa.  
Zał. G8B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Jeleniowa.  
Zał. 9A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Dusznik Zdroju i Bobrownik Starych.  
Zał. 9B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Dusznik Zdroju i Bobrownik Starych.

- Zał. G9A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Dusznik Zdroju i Bobrownik Starych.
- Zał. G9B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Dusznik Zdroju i Bobrownik Starych.
- Zał. 10A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Polanicy Zdroju i Szalejowa Górnego.
- Zał. 10B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Polanicy Zdroju i Szalejowa Górnego.
- Zał. G10A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Polanicy Zdroju i Szalejowa Górnego.
- Zał. G10B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Polanicy Zdroju i Szalejowa Górnego.
- Zał. 11A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Starego Wielisławia Dolnego.
- Zał. 11B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Starego Wielisławia Dolnego.
- Zał. G11A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Starego Wielisławia Dolnego.
- Zał. G11B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Starego Wielisławia Dolnego.
- Zał. 12A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Gorzanowa.
- Zał. 12B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Gorzanowa.
- Zał. G12A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Gorzanowa.
- Zał. G12B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Gorzanowa.
- Zał. 13A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Szczawiny i Nowej Łomnicy.
- Zał. 13B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Szczawiny i Nowej Łomnicy.
- Zał. G13A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Szczawiny i Nowej Łomnicy.
- Zał. G13B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Szczawiny i Nowej Łomnicy.
- Zał. 14A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Nowej Bystrzycy.
- Zał. 14B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Nowej Bystrzycy.
- Zał. G14A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Nowej Bystrzycy.
- Zał. G14B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Nowej Bystrzycy.
- Zał. 15A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Długopola Zdroju.
- Zał. 15B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Długopola Zdroju.
- Zał. G15A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Długopola Zdroju.
- Zał. G15B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Długopola Zdroju.
- Zał. 16A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Starych Bogaczowic.
- Zał. 16B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Starych Bogaczowic.
- Zał. G16A. Mapa zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym na obszarze Starych Bogaczowic.
- Zał. G16B. Mapa strumienia dwutlenku węgla z powierzchni terenu do atmosfery na obszarze Starych Bogaczowic.

Integralną częścią książki jest płyta CD. Zawiera ona, oprócz treści książki i map, także bazę danych, stanowiącą dokumentację wykonanych badań. Tekst zamieszczono w formacie pdf, mapy w formacie jpg, a bazę danych w formacie xls. Baza danych obejmuje wyniki pomiarów stężenia dwutlenku węgla w powietrzu glebowym oraz strumienia tego gazu we wszystkich punktach pomiarowych. Zawiera ona także współrzędne geograficzne punktów pomiarowych oraz dane o warunkach pomiaru, tj. temperaturze powietrza, ciśnieniu atmosferycznym, względnej wilgotności, szacie roślinnej występującej na powierzchni terenu w miejscu wykonywania pomiarów, jak również datę wykonania pomiarów.





Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej  
są do nabycia w księgarni „Tech”  
plac Grunwaldzki 13, 50-377 Wrocław  
budynek D-1 PWr., tel. 071 320 29 35  
Prowadzimy sprzedaż wysyłkową

ISBN 978-83-7493-377-3