

Prace Naukowe Instytutu Geotechniki  
Politechniki Wrocławskiej

Seria: Monografie

60

19

Wojciech Ciężkowski

**Studium hydrogeochemii wód leczniczych  
Sudetów polskich**

1741191

Magaryz

Wrocław 1990



**Wojciech Ciężkowski**

**Studium hydrogeochemii  
wód leczniczych  
Sudetów polskich**



PRACE NAUKOWE POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Scientific Papers of the Institute of Geotechnics

No. 60 of the Technical University of Wrocław

No. 60

Monographs

No. 19

1990

Wojciech CIĘŻKOWSKI

A Study on the Hydrogeochemistry of Mineral  
and Thermal Waters  
in the Polish Sudety Mountains (SW Poland)

**Recenzenci**  
Jan MALINOWSKI  
Andrzej ZUBER

**Redaktor naukowy**  
Jacek OSSOWSKI

**Opracowanie redakcyjne**  
Teresa JARMAKOWICZ

**Korekta**  
Barbara WACHOWSKA

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1990

**WYDAWNICTWO POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ**  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

**ISSN 0084-2834**

Nakład 300+70 egz. Ark. wyd. 10,5. Ark. druk. 8<sup>3/8</sup>. Papier offset. kl. III, 70 g, B1.  
Oddano do druku we wrześniu 1990 r. Druk ukończono w październiku 1990 r.  
Zakład Graficzny Politechniki Wrocławskiej. Zam. nr 1161/90.



Pracę poświęcam  
mojej *ŻONIE EWIE*

*Wody lecznicze,  
hydrogeochemia,  
izotopy, zanieczyszczenia*

Wojciech CIĘŻKOWSKI\*

## STUDIUM HYDROGEOCHEMII WÓD LECZNICZYCH SUDETÓW POLSKICH

W Sudetach polskich występują trzy podstawowe typy wód leczniczych: szczawy, wody termalne i wody radoczyste. Przedstawiono dotychczasowe poglądy na wpływy, warunki krążenia i genezę tych wód z poszczególnych złóż. Na tle zwykłych wód podziemnych scharakteryzowano hydrochemię wód leczniczych oraz określono w nich udział domieszek wód zwykłych. Zaprezentowano skład izotopowy wód zwykłych Sudetów oraz pewne ich regionalne prawidłowości. Pozwoliło to na interpretację wyników oznaczeń izotopowych wód leczniczych umożliwiając między innymi określenie wysokości położenia ich obszarów zasilenia oraz wieku wód. Scharakteryzowano zaistniałe już oraz potencjalne zagrożenia ilościowe i jakościowe sudeckich wód leczniczych ze szczególnym uwzględnieniem w nich wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych.

### 1. WSTĘP

Wody lecznicze są szczególnym rodzajem wód podziemnych. Dzięki specyficznemu składowi chemicznemu i właściwościom fizycznym wykorzystywane mogą być w celach leczniczych. Sudety, pasmo górskie w południowo-zachodniej części kraju, są pod tym względem szczególnie uprzywilejowane. Występujące tu różnego rodzaju wody wypływają najczęściej w źródłach, ujawniając od wieków swą obecność. Stąd też tradycje balneologiczne na

---

\* Instytut Geotechniki Politechniki Wrocławskiej, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław.

tym obszarze sięgają już I wieku p.n.e. (Szczawno Zdrój), a w czasach nowożytnych - wczesnego średniowiecza (1241 r. Łądek Zdrój i 1281 r. Cieplice Śl. Zdrój). Obecnie 16 sudeckich złóż wód stanowi aż 23% ilości wszystkich wód uznanych za lecznicze w kraju.

Wody lecznicze Sudetów polskich nie mają zbyt bogatej literatury monograficznej. Opracowań takich doczekały się niektóre szczawy Ziemi Kłodzkiej (J. Fistek [70]), wody termalne Łącka Zdroju (W. Ciężkowski [24]) i w pewnym stopniu wszystkie wody termalne Sudetów (J. Dowgiałło [54]). Pozostałe publikacje mają najczęściej charakter przyczynkowy lub ogólny.

Niniejsza praca jest znacznie rozszerzonym podsumowaniem publikowanych i niepublikowanych prac autora i uzupełnia w pewnym zakresie problematykę hydrogeologiczną sudeckich wód leczniczych. Celem pracy jest określenie genezy, położenia obszarów zasilania wód leczniczych, czasu ich przepływu podziemnego oraz procesów mieszania się w strefach drenażu z płytkimi wodami podziemnymi i wynikających stąd zagrożeń. Problemy te rozpatrzono opierając się na nowoczesnych badaniach izotopowych, oznaczeniach wybranych zanieczyszczeń występujących w wodach oraz wieloletnich archiwalnych wynikach badań składu chemicznego tych wód.

Początkowe rozdziały pracy mają charakter ogólny. W rozdziale drugim zestawiono podstawowe pojęcia dotyczące podziału i nazewnictwa wód leczniczych oraz krótko zaprezentowano podział geologiczny i hydrogeologiczny Sudetów. W trzecim rozdziale przedstawiono przegląd dotychczasowych wiadomości i poglądów na wpływy, warunki krążenia i genezę wód leczniczych z poszczególnych złóż.

Myślą przewodnią dalszej, szczegółowej części pracy jest problem obecności domieszek wód zwykłych w ujęciach wód leczniczych i wynikające stąd konsekwencje. I tak w rozdziale czwartym na tle zwykłych wód podziemnych przedstawiono hydrochemię wód leczniczych z określeniem udziału w nich domieszek wód zwykłych. W rozdziale piątym zaprezentowano skład izotopowy wód zwykłych rozpatrywanego obszaru oraz pewne regionalne ich prawidłowości. Pozwoliło to w dalszej części tego rozdziału na interpretację wyników oznaczeń izotopowych wód leczniczych, umożliwiając między innymi określenie wysokości położenia ich obszarów zasilania oraz wieku wód. Wykazana obecność domieszek wód zwykłych uzasadnia możliwość pojawiania się zanieczyszczeń w eksploatowanych wodach, stąd rozdział szósty przedstawia zaistniałe już i potencjalne zagrożenia jakościowe i ilościowe sudeckich wód leczniczych ze szczególnym uwzględnieniem obecności w nich wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych.

Autor dziękuje wszystkim, którzy przyczynili się do powstania tej pracy, a zwłaszcza sponsorom badań: Dyrekcji Instytutu Geotechniki i Komisji Senackiej PWR., byłemu Naczelnemu Inspektorowi Lecznictwa Uzdrawiskowego Ministerstwa Zdrowia i Opieki Społecznej, Dyrekcjom Zespołu Uzdrawisk Kłodzkich oraz PP Uzdrawiska "Świeradów-Czerniawa" i innym.

## 2. WPROWADZENIE

### 2.1. Wody lecznicze - pojęcia ogólne, podział

Pojęcie wody leczniczej zostało w Polsce unormowane. Zgodnie z BN-74/9560-05 woda lecznicza jest to:

- woda podziemna,
- bakteriologicznie i chemicznie bez zarzutu,
- o niewielkich wahanjach składu chemicznego i właściwości fizycznych,
- o właściwościach leczniczych udowodnionych na podstawie badań naukowych lub długotrwałej obserwacji lekarskiej,
- uznana za leczniczą przez Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej.

Wody lecznicze dzielimy według tej normy:

a) według zawartości rozpuszczonych w niej składników stałych i gazowych na:

- lecznicze wody mineralne (zawierające co najmniej 1 g rozpuszczonych składników stałych w 1 dm<sup>3</sup> wody),
- lecznicze wody słabo zmineralizowane - swoiste (zawierające poniżej 1 g/dm<sup>3</sup> rozpuszczonych składników stałych, ale zawierające jeden lub więcej składników swoistych),
- lecznicze wody mineralne - swoiste (wody mineralne zawierające jeden lub więcej składników swoistych),

b) według temperatury na:

- lecznicze wody chłodne, o temperaturze poniżej 20 °C,
- lecznicze wody termalne, o temperaturze powyżej 20 °C.

Składnikiem swoistym (specyficznym) jest pierwiastek lub związek chemiczny, który powoduje lecznicze działanie wody występując w niej (w 1 dm<sup>3</sup>) w ilości co najmniej:

- |  |                    |
|--|--------------------|
| 10 mg Fe <sup>2+</sup>   | - woda żelazista,  |
| 0,7 mg As <sup>3+</sup> + As <sup>5+</sup> lub 1,5 mg HAsO <sub>4</sub> <sup>-</sup>   | - woda arsenowa,   |
| 1 mg Mn <sup>2+</sup>  | - woda manganowa,  |
| 1 mg F <sup>-</sup>  | - woda fluorkowa,  |
| 5 mg Br <sup>-</sup>   | - woda bromkowa,   |
| 1 mg J <sup>-</sup>  | - woda jodkowa,    |
| 1 mg siarki oznaczanej jodometrycznie<br>(H <sub>2</sub> S + HS <sup>-</sup> + S <sup>2-</sup> + S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | - woda siarczkowa, |
| 5 mg HBO <sub>2</sub>  | - woda borowa,     |

100 mg $H_2SiO_3$	- woda krzemowa,
74 Bq (2 nCi)	- woda radoczymna,
1000 mg wolnego <sup>1</sup> $CO_2$	- szczawa,
250-999 mg wolnego <sup>1</sup> $CO_2$	- woda kwasowęglowa.

W innych krajach (ZSRR, CSSR, RFN i in.) normy te nieraz nieznacznie odbiegają od przedstawionych wartości. Należy zaznaczyć, że w Polsce wody lecznicze zostały uznane za kopalinę i z tego powodu ich eksploatacja podlega przepisom prawa górniczego.

W Sudetach występują wody podziemne spełniające w sumie wszystkie wymienione kryteria, lecz tylko niektóre z nich uznane zostały przez Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej za lecznicze. Ten warunek formalny spełniają lub spełniały okresowo wody z 19 złóż (tab. 1).

W większości krajów, w których stosowane jest lecznictwo balneologiczne, polskiemu pojęciu wody leczniczej odpowiadają pojęcia wód mineralnych i termalnych lub tylko wód mineralnych. Ostatnia propozycja Komisji Geologii Wód Mineralnych i Termalnych Międzynarodowej Asocjacji Hydrogeologów [133] definiuje wodę:

a) zmineralizowaną - jako wodę naturalną, charakteryzującą się podwyższoną mineralizacją ( $> 1 \text{ g/dm}^3$ ) i (lub) podwyższoną zawartością składników specyficznych ( $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $H_2SiO_4$ , Fe, As, B i in.),

b) termalną - jako wodę o temperaturze powyżej  $35^\circ C$  lub temperaturze wyższej od temperatury strefy stałej temperatury rocznej danej miejscowości<sup>2</sup>.

Ponieważ sudeckie wody termalne zawierają składniki swoiste, przeto wszystkie wody lecznicze tego obszaru można określać jako w o d y z m i n e r a l i z o w a n e.

Wszystkie one są pochodzenia infiltracyjnego (co będzie udokumentowane w dalszej części pracy), a więc przestrzeń, w której następuje formowanie się danego rodzaju wód, a na którą składają się:

- obszar zasilania (strefa infiltracji),
- drogi przepływu,
- strefy akumulacji (nie we wszystkich przypadkach),
- obszar wypływu na powierzchnię (strefa drenażu)

można nazwać z ł o ż e m w ó d l e c z n i c z y c h.

<sup>1</sup> Pojęcie błędnie przyjęte w normie, powinno być: rozpuszczonego.

<sup>2</sup> Definicja ta odbiega od przyjętej w nomenklaturze polskiej; w pracy za granicę temperatur wód termalnych przyjęto  $20^\circ C$ .

T a b e l a 1

Wykaz wód uznanych za lecznicze decyzją Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej w latach: 1963, 1969, 1974, 1979 i 1985

Miejscowość	1963 <sup>1</sup>	1969 <sup>2</sup>	1974 <sup>3</sup>	1979 <sup>4</sup>	1985 <sup>5</sup>	Charakter miejscowości
Bobrowniki Stare	+	+				
Cieplice Śl. Zdrój	+	+	+	+	+	U
Czerniawa Zdrój	+	+	+	+	+	U
Długopole Zdrój	+	+	+	+	+	U
Duszniki Zdrój	+	+	+	+	+	U
Gorzanów		+	+	+		
Jedlina Zdrój			+	+	+	U
Jeleniów		+	+	+	+	
Kowary		+	+	+	+	M
Kudowa Zdrój	+	+	+	+	+	U
Lądek Zdrój	+	+	+	+	+	U
Polanica Zdrój	+	+	+	+	+	U
Przerzeczyn Zdrój <sup>7</sup>	+	+	+	+	+	M
Sosnówka	+	+	+	+		
Stare Rochowice (Bolków)	+	+	+	+	+	M
Szczawina				+	+	
Szczawno Zdrój	+	+	+	+	+	U
Szklarska Poręba			+	+	+	
Świeradów Zdrój	+	+	+	+	+	U
Razem	13	16	17	18	16	

Monitor Polski: 1 28, 2 45, 3 29, 4 6, 5 37; 6 miejscowości: U - uzdrowiskowe (MP nr 45 z 1967 r.), M - na które zostały rozciągnięte niektóre przepisy o uzdrowiskach (Dz.U. nr 31 z 1970 r.), 7 poza zrębem Sudetów

## 2.2. Sudety jako rejon geologiczny i hydrogeologiczny

Sudety stanowią północno-wschodni fragment masywu czeskiego, największego masywu krystalicznego Europy środkowej. Występujące tu skały prekambryjskie przebudowane zostały głównie podczas orogenezy bajkałskiej (assyntyjskiej), a następnie kaledońskiej [155]. Decydującą rolę dla obecnej tektoniki miały intensywne i wielofazowe ruchy warwscyjskie zakończone intruzjami granitoidowymi. Tektonika warwscyjska spowodowała powstanie licznych dyslokacji, wzdłuż których powstałe bloki zostały przemieszczone pionowo. Na obszarze masywu znajdują się fragmenty młodo-

paleozoiczno-mezozoicznej pokrywy wypełniającej nieckę czeską, śródsudecką, północnosudecką. Ruchy górotwórcze orogenezy alpejskiej powodują odmłodzenie starych i powstanie nowych linii oraz wypiętrzenie wzdłuż nich bloków, tworzących na obrzeżeniu masywu obszary górskie wyniesione na wysokość setek metrów ([148], [155], [181]).

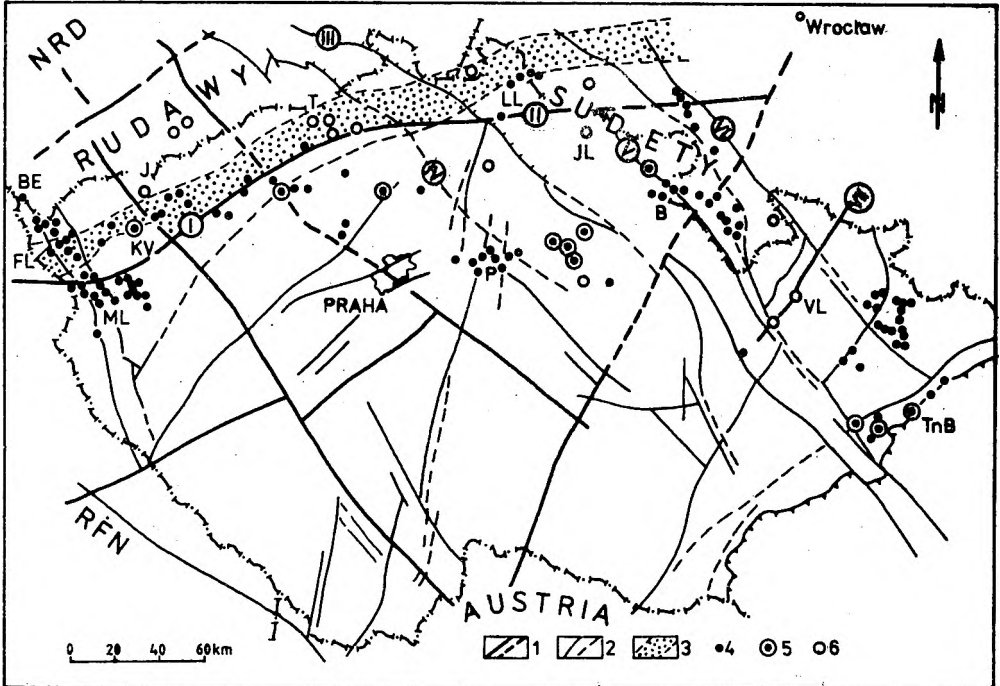
Powstałe tak elewowane obszary oraz linie głębokich nieciągłości mają zasadnicze znaczenie w tworzeniu się wód zmineralizowanych. Obszary podniesione stanowią strefy infiltracji opadów i wód powierzchniowych, linie uskokowe zaś są drogami przepływu podziemnego, nieraz głębokiego. Dzięki niemu wody uzyskują podwyższoną temperaturę, nasycane są juwenilnym CO<sub>2</sub> i wzbogacają się w różne składniki swoiste. Szkic tektoniczny całego masywu czeskiego wraz z występującymi w jego obrębie podstawowymi rodzajami takich wód przedstawiono na rys. 1.

W północnej części masywu podstawowe znaczenie mają dwa kierunki linii uskokowych:

- SW-NE, tzw. kierunek kruszcogórski (rudawski) i poprzeczny do niego
- SE-NW, tzw. kierunek sudecki.

W pierwszej grupie jedną z podstawowych linii w tzw. systemie podkruszcogórskim jest strefa rozłamu litomierzycznego, dzięki któremu istnieją liczne wypływy różnych rodzajów wód zmineralizowanych na obszarze zachodnich Czech; eksploatuje się je w znanych uzdrowiskach Karlowe Wary, Mariańskie Łaźnie, Franciszkowe Łaźnie i in. Drugim z kierunków charakteryzuje się tzw. system łabski (ryft łabski) umiejscawiany w osi czeskiej niecki kredowej. Jest to pasmo pomiędzy nasunięciem łużyckim a linią Łaby, mające około 50 km szerokości, w którym wg Z. Misara i in. [148] można wyróżnić kilka węższych stref tektonicznych. System ten oddziela czeski blok śródgórski od NE obrzeżenia całego masywu, jaki stanowią Sudety i równoległy do nich blok przedsudecki. Sudety stanowią zrąb wydłużony w kierunku NW-SE, oddzielony od bloku przedsudeckiego brzeżnym uskokiem sudeckim, np. [155]. Południową granicą zrębu jest nasunięcie łużyckie. Kierunek sudecki mają ważniejsze linie tektoniczne. Określa on również przebieg poszczególnych jednostek geologicznych Sudetów. Jednostki te, zróżnicowane litologicznie i wiekowo, składają się na swoistą "mozaikową" budowę zrębu sudeckiego. W lewej części tabeli 2 zestawiono, według podziału J. Oberca [155], jednostki tektoniczne Sudetów polskich; przebieg ich granic uwidacznia rys. 2.

Sudety oraz blok przedsudecki pod względem hydrogeologicznym należą do makroregionu zwanego hydrogeologicznym masywem czeskim [117]. Nie wchodząc w zawilności nazewnictwa oraz kryteria i zasadność poszczególnych podziałów ([117]-[119], [145], [157] i in.) w pracy tej za J. Kryzą



Rys. 1. Podstawowe systemy uskokowe masywu czeskiego (wg Z. Misářa i in. [148], uproszczone) oraz położenie na ich tle wypływów szczaw i wód termalnych; lokalizacja wystąpień wód na podstawie [89], [114], [115], [120], [121], [131] i in.: 1 - głębokie uskoki stwierdzone badaniami geofizycznymi: I - litomericki, II - strański; 2 - inne ważniejsze uskoki: III - nasunięcie łuzyckie, IV - linia Łaby, V - nasunięcie Poříčí-Hronov, VI - brzeżny uskok sudecki, VII - nasunięcie ramzowskie; 3 - oharecka strefa ryftowa potwierdzona na powierzchni wylewami wulkanitów; wypływy: 4 - szczaw, 5 - szczaw termalnych, 6 - wód termalnych; ważniejsze uzdrowiska czeskie: B - Běloves, FL - Františkovy Lázně, J - Jáchymov, JL - Janské Lázně, KV - Karlovy Vary, LL - Lázně Libverda, ML - Mariánské Lázně, P - Poděbrady, T - Teplice, TnB - Teplice nad Bečvou, VL - Velké Losiny, niemieckie: BE - Bad Elster

Fig. 1. Basic chains of faults of Czech block (after Misář et al. [148] simplified) and position of acidulous springs and thermal waters according to [89], [114], [115], [120], [121], [131] and the other: 1 - deep-reaching faults stated due to geophysical tests: I - fault of Litomeř, II - fault of Straň; 2 - other more important faults: III - Lusatian thrust fault, IV - Elbe stream, V - Poříčí-Hronov thrust fault, VI - Sudetic border fault, VII - Ramzova thrust fault; 3 - Ohřa rift zone visible on the surface due to vulcanite effusions; discharges of: 4 - acidulous springs, 5 - thermal springs, 6 - thermal waters; some important Czech health resorts: B - Běloves, FL - Františkovy Lázně, J - Jáchymov, JL - Janské Lázně, KV - Karlovy Vary, LL - Lázně Libverda, ML - Mariánské Lázně, P - Poděbrady, T - Teplice, TnB - Teplice on Bečva, VL - Velké Losiny; German health resorts: BE - Bad Elster



## Podział geologiczny (uproszczony) i hydrogeologiczny polskich Sudetów zachodnich

Jednostki tektoniczne, wg J.Oberca [155]		Jednostki hydrogeologiczne, wg J.Krzyży [126]		Podstawowe typy wód zmineralizowanych <sup>2</sup>
Nazwa jednostki <sup>1</sup>	Litologia i stratygrafia	Podregion (system)	strefa hydrogeologiczna (podsystem)	
metamorfik śnieżnicki, Krowiarek, Gór Bialskich i Gór Żłoty (metamorfik Ładka i Śnieżnika) mtSnKrkGBlaGZł	seria łupków łyszczykowych, gnejsy (proterozoik), tonality, granitoidy	zbiornik Masywu Śnieżnika	strefa metamorfiku śnieżnickiego	T, Rn
intruzja kłodzko-żłostocka mwgKł-Zł	granitoidy waryscyjskie		strefa metamorfiku kłodzko-żłostockiego	
metamorfik kłodzki mtKł	łupki łyszczykowe, gnejsy, amfibolity, mylonity (proterozoik), zieleniec, fylity, wapienie (głównie sylur), granitoidy waryscyjskie	zbiornik Gór Bystrzyckich i Orlickich	strefa gnejsów orlickich	CO <sub>2</sub> , (T)
metamorfik Gór Bystrzyckich i Orlickich mtGByGO	seria łupków łyszczykowych, fylitów i gnejsów (proterozoik), kreda		strefa gnejsowo-osadowa Gór Bystrzyckich	
masyw granitoidowy Kudowy mwgKw	granitoidy waryscyjskie	zbiornik sówiogórski	strefa gnejsów sówiogórskich	
masyw granitoidowy Nowego Hradka mwgNH	granitoidy waryscyjskie		strefa kulmu sówiogórskiego	
blok sówiogórski bGSo	gnejsy, serpentynity, seria dolnokarbońska, porfiry górnokarbońskie			
struktura bardzka stBa	skały osadowe starszego proterozoiku po dewon, dolny karbon			

i c z n y m a s y w c z e s k i  
c o k ó ł s u d e c k i

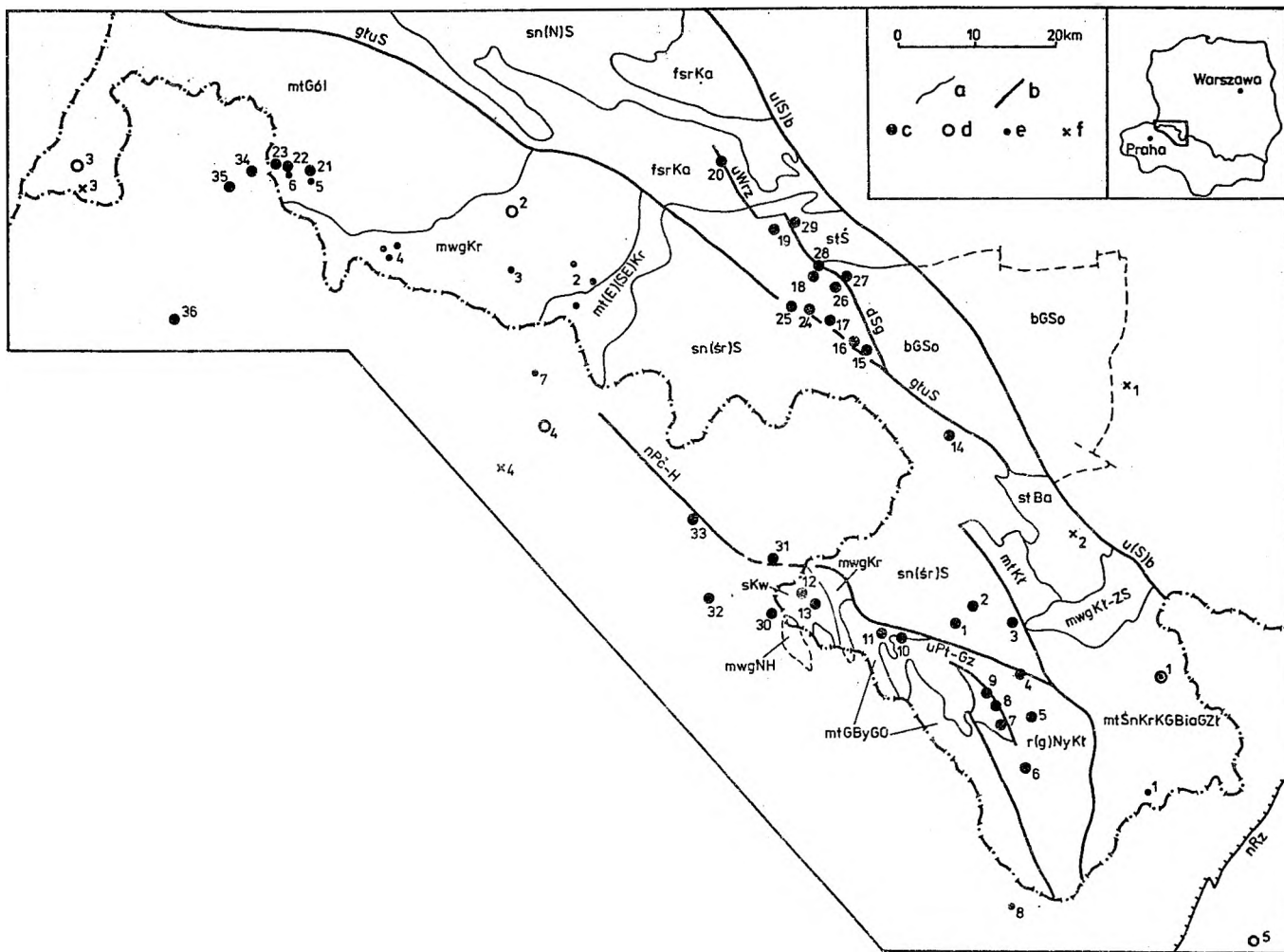
fałdy strefy kaczawskiej fsrKa	seria łupków łyszczykowych, gnejsy (proterozoik), skały kambru - środkowego dewonu
sylinklinorium północno- sudeckie sn(N)S	skały karbonu górnego - triasu, górnej kredy
struktura Świebodzie stS	skały osadowe górnego de- wonu, dolnego karbonu, zieleńce (kambr), fyllity staropaleozoiczne
intruzja granitowa Karkonoszy mwgKr	granitoidy waryscyjskie
metamorfik wschodnich i południowo-wschodnich Karkonoszy mt(E/SE)Kr	seria łupków łyszczykowych (proterozoik), fyllity, zlepieńce (staropaleo- zoiczne)
metamorfik izerski wraz z granitoidem zawidowskim mtGóI	seria łupków łyszczykowych, gnejsy (proterozoik), granitoidy
synklinorium śródsudeckie sn(śr)S z rowem górnej Nysy Kłodzkiej r(g)NyKł	skały dolnego karbonu - triasu, kredy górnej
synklina Kudowy sKw	skały czerwonego spągowca, górnjej kredy

1 - skróty odpowiadają treści rys. 2.

2 - CO<sub>2</sub> - szczawy, T - wody termalne, Rn - wody radocenne.

zbiornik kaczawski	strefa zrębów kaczawskich	CO <sub>2</sub>
	strefa rowów permskich	
	strefa depresji Świebodzic	
zbiornik karkonosko-izersko-łużycki	strefa granitu Karkonoszy	T, Rn
	strefa metamorfiku izersko-janowickiego	CO <sub>2</sub> , Rn
	strefa metamorfiku łużyckiego	T, (H <sub>2</sub> S)
zbiornik depresji śród-sudeckiej	strefa kulmu i górnego karbonu	CO <sub>2</sub>
	strefa wulkanitów permskich	
	strefa zrębu Gór Stołowych	
	strefa rowu górnej Nysy Kłodzkiej	
	strefa niecek	Krzeszowa
	Kudowy	CO <sub>2</sub>

H<sub>2</sub>S - wody siarczkowe.



Rys. 2. Wystąpienia wód zmineralizowanych na tle budowy geologicznej Sudetów zachodnich wg J. Oberca [1955]: a - granice jednostek geologicznych, bGSo - blok siewiogórski, fSrKa - fałdy strefy kaczawskiej, mt(E/SE)Kr - metamorfik wschodnich i południowo-wschodnich Karkonoszy, mtGóI - metamorfik izerski wraz z granitoidem zawidowskim, mtGByGO - metamorfik Gór Bystrzyckich i Gór Orlich, mtKł - metamorfik Kłodzki, mtSnKrkGBiaGZŁ - metamorfik śnieżnicki, Krowiarek, Gór Bialskich i Gór Złoty, mwgKł-Zł - intruzja kłodzko-złotostocka, mwgKr - intruzja granitoidowa Karkonoszy, mwgKw - masy granitoidowy Kudowy, mwgNH - masy granitoidowy Nowego Hradka, r(g)NyKł - rów górnej Nysy Kłodzkiej, sKw - synklina Kudowy, sn(N)S - synklinorium północnosudeckie, sn(sr)S - synklinorium śródsudeckie, stBa - struktura bardzka, stS - struktura Świebodzie; b - ważniejsze (dla potrzeb pracy) uskoki, dSg - dyslokacja Strugi, gŁuS - główny uskok Sudetów, nRz - nasunięcie ramzowskie, nPc-H - nasunięcie Pořiči-Hronov, u(S)b - uskoki sudecki brzeżny, uPt-Gz - uskoki Pstrážna-Gorzanów; c - szczawy (nr 1-23 wg tab. 3, z - zanikłe): 1 - Polanica Zdrój, 2 - Szalejów Górny, 3 - Stary Wielisław Dolny, 4 - Gorzanów, 5 - Bystrzyca Kł. (z), 6 - Długopole Zdrój i Długopole Dolne, 7 - Nowa Bystrzyca, 8 - Szczawina, 9 - Nowa Łomnica, 10 - Bobrowniki Stare, 11 - Duszniki Zdrój, 12 - Kudowa Zdrój, 13 - Jeleniów, 14 - Zdrojowisko, 15 - Jedlina Zdrój; kopalnia "Thorez": 16 - pole wschodnie, poz. +50, 17 - pole centralne, poz. -350; 18 - Szczawno Zdrój, 19 - Stare Bogaczowice, 20 - Stare Rochowice, 21 - Świeradów Zdrój, 22 - Czerniawa Zdrój, 23 - Pogranicze; inne szczawy, kopalnia "Victoria": 24 - poz. +70, 25 - przekop przewozowy, poz. +50; 26 - Stary Zdrój (z), 27 - Piaskowa Góra (z), 28 - N część Szczawna (z), 29 - źródło w dolinie Czyżynki (z); szczawy czeskie: 30 - Běloves, 31 - Hronov, 32 - Trstice, 33 - Batňovice, 34 - Nové Město pod Smrkem, 35 - Lázně Libverda, 36 - Vratislavice; d - wody termalne: 1 - Łądek Zdrój, 2 - Cieplice Śl. Zdrój, 3 - Turów, czeskie: 4 - Janské Lázně, 5 - Velké Losiny; e - wody radioaktywne: 1 - Śnieżnik, 2 - Kowary, 3 - Sosnowka, 4 - Szklarska Poręba, 5 - Świeradów Zdrój, 6 - Czerniawa Zdrój, czeskie: 7 - Velká Úpa, 8 - Mladkov; f - wody siarczkowe: 1 - Przerzeczyn Zdrój, 2 - Opolnica, 3 - Opolno Zdrój (z), czeskie: 4 - Fořt

Fig. 2. Appearance of mineralized waters against the background of geological feature of West Sudetes after J. Oberca [1955]: a - borders of geological units, bGSo - Sowie Mountains block, fSrKa - metamorphic zone of Kaczawskie Mountains, mt(E/SE)Kr - metamorphics of east and south-east Karkonosze Mountains, mtGóI - metamorphics of Izerskie Mountains and granitoid of Zawidów, mtGByGO - metamorphics of Bystrzyckie and Orlickie Mountains, mtKł - metamorphics of Kłodzko, mtSnKrkGBiaGZŁ - metamorphics of Śnieżnik and Krowiarek, Bialskie and Złote Mountains, mwgKł-Zł - Kłodzko-Złoty Stok intrusion, mwgKr - granitoid intrusion of Karkonosze Mountains, mwgKw - granitoid block of Kudowa, mwgNH - granitoid block of Novy Hradek, r(g)NyKł - graben of the upper Nysa Kłodzka River, sKw - syncline of Kudowa, sn(N)S - north Sudetic basin, sn(sr)S - intrasudetic basin, stBa - Bardo structure, stS - Świebodzice structure; b - some important faults: dSg - dislocation of Struga, gŁuS - main fault of Sudetes, nRz - thrust fault of Ramzova, nPc-H - thrust fault of Pořiči-Hronov, u(S)b - border fault of Sudetes, uPt-Gz - Strážna-Gorzanów fault; c - acidulous springs (no. 1-23 according to tab. 3, z - disappeared): 1 - Polanica Zdrój, 2 - Szalejów Górny, 3 - Stary Wielisław Dolny, 4 - Gorzanów, 5 - Bystrzyca Kłodzka, 6 - Długopole Zdrój and Długopole Dolne, 7 - Nowa Bystrzyca, 8 - Szczawina, 9 - Nowa Łomnica, 10 - Bobrowniki Stare, 11 - Duszniki Zdrój, 12 - Kudowa Zdrój, 13 - Jeleniów, 14 - Zdrojowisko, 15 - Jedlina Zdrój, Thorez mine: 16 - east field, level +50, 17 - central field, level -350; 18 - Szczawno Zdrój, 19 - Bogaczowice Stare, 20 - Rochowice Stare, 21 - Świeradów Zdrój, 22 - Czerniawa Zdrój, 23 - Pogranicze; other acidulous springs: Victoria mine, 24 - level +70, 25 - transport drift, level +50; 26 Stary Zdrój (z), 27 - Piaskowa Góra (z), 28 - north district of Szczawno (z), 29 - spring in Czyżynka valley (z), Czech acidulous springs: 30 - Běloves, 31 - Hronov, 32 - Trstice, 33 - Batňovice, 34 - Nové Město pod Smrkem, 35 - Lázně Libverda, 36 - Vratislavice; d - Polish thermal waters: 1 - Łądek Zdrój, 2 - Cieplice Śl. Zdrój, 3 - Turów, Czech thermal waters: 4 - Janské Lázně, 5 - Velké Losiny; e - Polish radioactive waters: 1 - Śnieżnik, 2 - Kowary, 3 - Sosnowka, 4 - Szklarska Poręba, 5 - Świeradów Zdrój, 6 - Czerniawa Zdrój, Czech radioactive waters: 7 - Velká Úpa, 8 - Mladkov; f - Polish sulfide waters: 1 - Przerzeczyn Zdrój, 2 - Opolnica, 3 - Opolno Zdrój (z), Czech sulfide waters: 4 - Fořt

[126] przyjęto podział na mniejsze jednostki hydrogeologiczne. Autor ten podzielił cokół sudecki na podregiony (systemy wodonośne) mieszczące się na ogół w zasięgu zlewni bilansowych. Znaczne różnice hydrostrukturalne i pojemnościowe wewnątrz podregionów były podstawą dalszego podziału na strefy hydrogeologiczne (podsystemy). Podział ten, najbardziej szczegółowy z obejmujących Sudety<sup>3</sup>, przedstawiono w prawej części tab. 2, zaznaczając jednocześnie rodzaje wód zmineralizowanych występujących w różnych strefach. Poszczególne jednostki hydrogeologiczne uporządkowano odpowiednim jednostkom tektonicznym zamieszczonym w lewej części tabeli.

Wspomniano już o decydującej roli tektoniki w tworzeniu się złóż wód zmineralizowanych w masywie czeskim. Skala rysunku 2, na którym przedstawiono ich rozmieszczenie w Sudetach, uniemożliwia zaznaczenie wszystkich, nieraz podrzędnych linii uskoku, na których występują wpływy poszczególnych wód; uwaga ta dotyczy także rys. 1.

---

<sup>3</sup> W trakcie opracowywania redakcyjnego niniejszej pracy ukazał się artykuł autorstwa J. Malinowskiego, T. Bocheńskiej i S. Kowalskiego pt.: "Geologiczno-strukturalne i geomorfologiczne podstawy podziału hydrogeologicznego obszaru sudeckiego" (Acta Univ. Wratisl. No 1004, Prace Geologiczno-Mineralogiczne XII, 1988), w którym przedstawiono najpełniejszy jak dotąd podział hydrogeologiczny Sudetów. Podział ten wyodrębnia jednostki wyższego rzędu, w obrębie których występują jednostki niższego rzędu z różnowiekowymi piętrami lub poziomami wodonośnymi. Za podstawę podziału przyjęto również podział geologiczno-strukturalny Sudetów J. Oberca [155].

### 3. WODY LECZNICZE SUDETÓW W ŚWIETLE DOTYCHCZASOWYCH BADAŃ I POGLĄDÓW

Jak już wspomniano, z wyjątkiem monograficznych opracowań szczaw Kotliny Kłodzkiej i Gór Bystrzyckich [70], wód termalnych [24] i częściowo wszystkich wód termalnych [54], większość publikacji dotyczących sudeckich wód termalnych ma charakter przyczynków lub ogólnych omówień. Istnieją natomiast opracowania w formie dokumentacji hydrogeologicznych poszczególnych źródeł wód, powstałe głównie w latach sześćdziesiątych i pierwszej połowie lat siedemdziesiątych w Biurze Projektów i Usług Technicznych Branży Uzdrawiskowej "Balneoprojekt" (był P.P. Obsługa Techniczna Uzdrawisk). Ich autorem jest głównie J.Fistek, a także S.Iwanowski, D.Starzyńska, Z.Szarszewska i in. Niektóre z tych opracowań opierały się na materiałach przygotowanych przez J.Dowgiałkę, J.Gierwielanica, A. Madeyskiego, G.Scherautza, H.Teisseyra i in. Obszerny materiał badawczy można znaleźć również w poszczególnych uzdrawiskowych zakładach górniczych.

Na początku lat pięćdziesiątych M.Dominikiewicz [47] przedstawił dokładną inwentaryzację stanu powojennego wód sudeckich. Szerzej ówczesny stan wiedzy o genezie tych wód i ich krążeniu podała J.Teisseyre [192], która w następnej pracy [193] poszerzyła go o dorobek badaczy polskich. Kolejne omówienia J.Dowgiałki [50], [56], J.Dowgiałki i in. [64], J.Fistka [71]-[73], J.Gierwielanica [97], J.Gierwielanica i in. [98] Z.Pazdry [160] uwzględniają coraz nowsze dane. Ogólne informacje o omawianych wodach z uwzględnieniem ich wykorzystania znaleźć można w pracy I.Potockiego [167].

Krótkie opisy poszczególnych źródeł wód leczniczych oraz prowadzonych prac zawarte zostały w przewodnikach Zjazdów Polskiego Towarzystwa Geologicznego: XXX z 1967 r., XL z 1967 r., XLVII z 1975 r. i LVIII z 1987 r. Krótką charakterystykę wód poszczególnych uzdrawisk przedstawiono także w materiałach konferencji Międzynarodowej Asocjacji Hydrogeologów "Hydrogeochemistry of mineralized waters", która odbyła się w 1978 r. w Cieplicach Śląskich Źródłu.

Większość uzyskanych do 1975 r. wyników analiz fizykochemicznych prawie wszystkich eksploatowanych wód sudeckich została opublikowana w formie zbiorów [3], [4], [47], [100], [188]. Zestawienia składów chemicznych można także znaleźć w pracach [50], [70], [71]. Analizy te były wykonywane w laboratorium BPIUTBU "Balneoprojekt".

W pracy [162] A.Pilich i in. podali kompletny opis techniczny wszystkich ujęć, a prowadzone badania stacjonarne wód scharakteryzowali J.Dowgiałko i J.Kulikowska [61].



W opracowaniu niniejszym, z nielicznymi wyjątkami, pominięto dorobek autorów niemieckich, których wyniki badań wód sudeckich mają już w większości charakter historyczny. Nie można natomiast pominąć opracowań autorów czeskich. Monograficzne prace O.Franko i M.Kolařovej [89], O.Hyniego [109], J.Jetela i L.Rybařovej [114], G.Kačury [115], R.Květa i G.Kačury [131] a także V.Zýki [202] zawierają kompletne dane dotyczące wód leczniczych czeskiej części Sudetów.

Na obszarze polskiej części Sudetów występują trzy podstawowe rodzaje wód leczniczych:

- szczawy,
- wody termalne,
- wody radocenne,

tworzące nieraz mieszaniny. Najliczniejsze z nich - szczawy, zgrupowane są w trzech rejonach: w centralnej i zachodniej części ziemi kłodzkiej, wzdłuż północno-wschodniego obrzeżenia niecki śródsudeckiej oraz w Górach Izerskich. Rejon pierwszy i trzeci mają przedłużenia w CSSR. Wody termalne wypływają w Cieplicach Śl. Zdroju i Łądku Zdroju, a ostatnio stwierdzono wystąpienie takich wód w kopalni Turów. Wody radocenne spotyka się dość często, głównie w obrębie skał krystalicznych.

### 3.1. Szczawy

Na obszarze Ziemi Kłodzkiej szczawy wypływają w obrębie trzech jednostek geologicznych z charakterystycznym dla każdej z nich typem wód.

Szczawy rowu Nysy i południowo-wschodniego krańca niecki śródsudeckiej wypływają ze skał osadowych górnej kredy, głównie z silnie spękanych piaskowców. Z pięciu znanych miejsc ich wystąpienia (tab. 3) tylko wody Polanicy Zdroju i Gorzanowa uznane zostały za lecznicze. Wszystkie one charakteryzują się typem  $\text{HCO}_3\text{-Ca-(Na)}$ .

Wody P o l a n i c y Z d r o j u wypływają obecnie z 4 odwierców o głębokościach od 10 do 269 m oraz z dwóch źródeł. Obszar ich zasilania już F.Frech [90] widział w Górach Stołowych, wiążąc wypływy na powierzchnię z miejscem krzyżowania się uskoku. Pogląd ten rozszerzył J. Fistek [70], widząc obszary alimentacji, po pierwsze, w obrębie wychodni piaskowców środkowo-turońskich w: a) Górach Stołowych, w rejonie Szczytnej oraz pomiędzy Polanicą, Wolanami i Batorowem, b) Górach Bystrzyckich, po drugie, w strefach uskoku u podnóża Gór Bystrzyckich i Stołowych. Na podstawie oznaczeń zawartości tlenu-18 J.Dowgiałko [53] określa przybliżoną wysokość obszaru zasilania na ok. 700 m n.p.m. Szczawy Polanicy są związane z tzw. dolnym horyzontem wodonośnym (wg no-

Ogólna charakterystyka wód leczniczych (zmineralizowanych) polskich Sudetów zachodnich

Nr	Miejscowość i wysokość wypływu m n.p.m.	Liczba ujęć i ich głębokość m	Litologia i wiek skał	Suma wydajności		Charakterystyka wody					Skład gazowy % obj.	Wykrywanie	Wpływanie kontrolowane	Źródła materiałów archiwalnych <sup>4</sup> , ważniejsza literatura
						Mineralizacja g/dm <sup>3</sup>	Typ wody <sup>2</sup>	Składniki swoiste <sup>3</sup>		Temperatura °C				
								stałe	gazowe					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Szczawy														
1	Polanica Zdrój 363-37 <sup>a</sup>	6 0-269	piaskowce i margle górnej kredy	10,6	915,84	0,9-2,7	HCO <sub>3</sub> -Ca	(Fe do 38)	CO <sub>2</sub> 535-2750 (H <sub>2</sub> S 0-2,2)	9,4-15	CO <sub>2</sub> 86,2 N <sub>2</sub> 12,0 CH <sub>4</sub> 1,0	+	+	UZG, [55], [142]
2	Szalejów Górny ok. 335	1 źródło		0,1	8,64	1,3-1,8	HCO <sub>3</sub> -Ca-Na		CO <sub>2</sub> 600-1500	6-10		-	-	[70], [142]
3	Stary Wieliszew Dolny 301-307	4 0-268		5,6	483,84	1,6-2,4	HCO <sub>3</sub> -Ca-Na		CO <sub>2</sub> 1000-2500	7,8-14,4		+	+	[70], [75], [142]
4	Gorzanów 215-325	7 25-280		54,5	4708,8	0,4-1,8	HCO <sub>3</sub> -Ca-(Na)		CO <sub>2</sub> 300-1000	10-16		+		[70], [142]
5	Bystrzyca Kłodzka ok. 330	1 źródło		0,5	43,2				CO <sub>2</sub> 600	8				[70]
6	Długopole Zdrój 365	3 źródła	łupki łyzczykowe i paragnejsy protezoiczne	0,7	57	0,9-1,5	HCO <sub>3</sub> -Ca-Mg-(NH)	Fe 4-55	CO <sub>2</sub> 1300-2630 (Rn 25,9-92,5)	10-13		+	+	UZG, [142]
7	Nowa Bystrzyca 325	1 źródło		0,17	146,9	1,1	HCO <sub>3</sub> -Ca-Mg	Fe 46	CO <sub>2</sub> 800-2200	8,5-11,5		-	+	[70], [142]
8	Szczawina 580	2 0-33		0,2	17,3	0,5-0,7	HCO <sub>3</sub> -Ca-Mg	Fe 8-19	CO <sub>2</sub> 2100-2800	7-8		+	+	UZG, [142]
9	Nowa Łomnica 600	2 źródła		0,04	3,5	1,2	HCO <sub>3</sub> -Ca-Mg	Fe 24	CO <sub>2</sub> 1600-2600	6-8,6		-	+	[39], [70]
10	Bobrowniki Stare 512	2 źródła		0,2	17,3	0,2-0,9	HCO <sub>3</sub> -Ca-Mg	Fe 8-35	CO <sub>2</sub> 900-2500	4-9		-	+	UZG, [70], [142]
11	Duszniki Zdrój 524-545	7 14-162		10,2	881,3	0,2-2,4 1,2-2,7	HCO <sub>3</sub> -Ca-Mg HCO <sub>3</sub> -Ca-Na-(Mg)	Fe 1,8-22 Mn 0,4-1,8	CO <sub>2</sub> 1150-2800 Rn ns-151,7	10,5-17,8	CO <sub>2</sub> 99,95	+	+	UZG, [55], [142]
12	Kudowa Zdrój 360	6 0-211	4,2	362,9	1,3-6,0	HCO <sub>3</sub> -Na-Ca	Fe 0,3-22 As 0,4-5 (B. 3-10)	CO <sub>2</sub> 1500-2300 Rn ns-180,2 H <sub>2</sub> S ns-4,5	8-15,5		+	+	UZG, [142]	
13	Jeleniów 393	2 źr. i 96	3,2	276,5	1,1-2,5	HCO <sub>3</sub> -Na-Ca	Fe 5,2-10 As 0,3-2	CO <sub>2</sub> 1700-2780 Rn 37-155,4	11,2-12,5		+	-		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
14	Zdrojowisko	1 1244	piaskowiec, górny karbon			19,2	$\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$	J 3,8 Fe 43	$\text{CO}_2$ 1480	13,6		-		[71], [142]
15	Jedlina Zdrój 481-550	2 292-365	warstwy białokamieńskie, wałbrzyskie, górny karbon + porfiry	1,6	135,8	0,6-2,1	$\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg-Na}$	Fe 8-39	$\text{CO}_2$ 2200-2440	11,3-11,5		-	-	[74], [142]
16	Kamieński kopalnia "Thorez" 11 W	strefa poz. +50	porfir w warstwach wałbrzyskich, g. karbon	0,5	43,2	1,4-2,8	$\text{HCO}_3\text{-Ca-Na-Mg}$	F 0,7-3,5 Fe 0,2-24,7 Mn 0,14-2,5	$\text{CO}_2$ 1190-2300 Rn 37-107,3	13-16		-	+	KWK "Thorez" [142]
17	Wałbrzych kopalnia "Thorez" pole centralne	strefa poz. -350	warstwy wałbrzyskie, górny karbon	wycieki		1,2-2,4	$\text{HCO}_3\text{-Ca-Na-Mg}$	F ns-3,2 Fe 3-18	$\text{CO}_2$ 1380-1420	23-27		-	+	
18	Szczawno Zdrój 402-410	10 0-175	zlepienie piaskowce, d. karbon	0,2	14,9	0,9-4,7	$\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$ $\text{HCO}_3\text{-Na}$		$\text{CO}_2$ 820-2500 Rn 11,1-303,4	8-15	$\text{CO}_2$ 97,6 $\text{N}_2$ 1,2 $\text{CH}_4$ 0,1	+	-	UZG, [55], [142]
19	Stare Bogaczowice ok. 360	10 źródła	szarogłazy, zlepienie, d. karbon	0,08	7,2	0,6-2,7	$\text{HCO}_3\text{-Na-Ca-Mg}$	Mn 0,9-4,5	$\text{CO}_2$ 350-1320 Rn ns-92,5	8-10		+	+	GS, [142]
20	Stare Rochowice 355-358	5 26-82	żupki sercytowe, wapienie, fylity, kambr-sylur	0,2	17,3	2,0-6,7	$\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na-Ca}$		$\text{CO}_2$ 61-2260	8,5-15		-	+	[69], [142]
21	Świeradów Zdrój 468-528	8 0-360	gnejsy, proterozoik	0,6	5,2	0,2-2,2	$\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$	Fe 3-45,2 F ns-2,4	$\text{CO}_2$ 1500-3100 Rn 3,7-962	6-13,5		+	+	
22	Czarnawa Zdrój 508	2 91-197	żupki żyzczykowe, proterozoik	0,6	5,2	0,9-3,3	$\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$	F 0,8-1,5	$\text{CO}_2$ 1000-3500 Rn 44,4-233,1	9,5-13,7		+	+	UZG, [142]
23	Pograniczne Górze 487-500	6 0-50	gnejsy, proterozoik	0,7	5,8	0,2-1,0	$\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ $\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$	Fe 4-17 F ns-1 Si 20-104	$\text{CO}_2$ 300-2700 Rn 25,9-229,4	5-11		-	-	

## Wody termalne

1	Ludek Zdrój 446-468	7 0-700	gnejsy, proterozoik	10,8	933,1	0,16-0,27	$\text{HCO}_3\text{-F-Na}$	F 8-13	Rn 111-1369 $\text{H}_2\text{S}$ 0,4-3,57	20-45	$\text{N}_2$ 90-95,5 $\text{CO}_2$ 1,5-8 Ar 1,6-22 $\text{CH}_4$ 0,02-0,3	+	-	UZG, [24], [142]
---	---------------------	------------	---------------------	------	-------	-----------	----------------------------	--------	--	-------	--	---	---	------------------

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	Cieplice Śląskie Zdrój 337-341	8 0-750	granity, karbon	2,8	245	0,61-0,69	SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> -Na	F 7-13 Si 81-109		18-68	№ 65, 2-92, 1 CO <sub>2</sub> 0-32, 9 Ar 0-2, 24 CH <sub>4</sub> 0-0, 18	+	-	UZG, [54], [142]
3	Kopalnia "Turów" chodnik IXp	strefa	ity trze ciorzędowe, do pływ z granitów	15	1300	3,6-4,2	HCO <sub>3</sub> -Na	F 14,5		25-26		-	+	KWB "Turów" [41], [189]

Wody radoczyste

1	Śnieżnik 850	strefa	gnejsy, proterozoik	0,5-0,7	43-60	0,08	HCO <sub>3</sub> -Ca-Na		Rn 518-2963,7	5,7-7		-	+	[19], [21]
2	Kowary 478-725	6 źr.	granit, karbon	8,5	737	0,08-0,25	(SO <sub>4</sub> )-(HCO <sub>3</sub> )- Ca-(Na)-(Mg)		Rn 225,7-543,9	6,5-9		-	+	[142]
3	Sosnowka 710-740	2 źr.		0,75	64,8	0,11-0,12	SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> -Ca- -Na-(Mg)		Rn 40,7-310,8	4-7		-	+	[142]
4	Szklarska Poręba 370-642	26 źr.		3	258	0,04-0,1	(SO <sub>4</sub> )-(HCO <sub>3</sub> )- (Cl)-(Na)-(Ca)		Rn 236,8-1776			-	+	[142]
5	Świeradów Zdrój 573-613	8 źr.	gnejsy, leuko-granity	1,2	103,5	0,05-0,1	SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> -Ca- -Na-(Mg)		Rn 203,5-1783,4	4,2-13		+	+	UZG, [142]
6	Uzernia-wa Zdrój 615	2 źr.	0,17	14,4	0,05-0,09	SO <sub>4</sub> -Cl-Ca- -Na-(Mg)		Rn 481-1739	4,5-11		-	+		

Wody siarczkowe

1	Przerze-czyn Zdrój 235-239	3 6,1-67	sjeno-gnejsy, prekambr	0,8	67,2	0,38-0,98	HCO <sub>3</sub> -Ca-Mg		H <sub>2</sub> S 0,3-1,7 Rn 33,3-173,9	7,5-12,3		+	-	UZG, [142]
2	Opolnica 258	1 6	lupki, szarogłazy, dewon, karbon	0,14	12,5	0,72-0,76	HCO <sub>3</sub> -Na	F 3-4	H <sub>2</sub> S 1,5	10,7		+	-	GS, [142]
3	Opolno Zdrój 250	6 7-40	węgle brunatne, trzecio-rzęd			0,1-0,23	SO <sub>4</sub> -(HCO <sub>3</sub> )- -(Fe)-(Na)	Fe 12,2- 25,4 Mn 0,8- 1,2	(S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 5,2-11)	8,2-14		zanikły		[47]

- 1 - wszystkich, nie tylko eksploatowanych,
- 2 - jony w ilości powyżej 20% mwał; w nawiasach jony występujące nie we wszystkich ujęciach lub pojawiające się okresowo,
- 3 - As, B, Si - zawartość arsenu, boru i krzemu odpowiednio w postaci HAsO<sub>4</sub>, HBO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>; Rn w Bq/dm<sup>3</sup>,
- 4 - UZG - Uzdrawiskowy Zakład Górniczy odpowiedniego P.P. Uzdrawiska; GS - Gminna Spółdzielnia; KWK - kopalnia węgla kamiennego; KWB - kopalnia węgla brunatnego.

menklatury S.Kowalskiego [124]) w obrębie górnokredowego kompleksu wodonośnego tworzącego tu płytką synklinę wychyloną w kierunku SE; zdaje się to świadczyć o dopływie wód od strony NW. Wypływy wód na powierzchnię następują na krzyżowaniu się dwóch dużych uskoków: głównego uskoku Gór Stożowych o przebiegu NW-SE oraz prostopadłego do niego uskoku Polanica-Wolany [70], [124], [197]. Potwierdza to interpretacja zdjęć satelitarnych [6], [7], znacznie ostatnio uszczegółowiona [48].

W niektórych ujęciach obserwuje się nieznaczne wahania właściwości wód uzależnione od warunków meteorologicznych [61], [70], [143]. Pojawiające się w ujęciach wody są mieszaniną wód głębokiego krążenia z wodami płytszymi [40]. Wynikający z tego problem ich zagrożenia omówili J.Kulikowska [143] oraz W.Ciężkowski i M.Sadowska [38].

Szczawy Szalejowa Górnego i Starego Wielisławia Dolnego zasilane są również wodami z obrębu wspomnianego wyżej synklinalnego obniżenia, stanowiącego tu strefę przejściową pomiędzy niecką śródsudecką a rowem Nysy. Kolektorami wód są tu również piaskowce oraz szczelinowate i spękane mułowce. W rejonie S t a r e g o W i e l i s ł a w i a D o l n e g o są one stromo nachylone i intensywnie spękane, co ułatwia rozprzestrzenianie się  $CO_2$ , który w dolinie Bystrzycy Dusznickiej przejawia się wypływami szczaw i ekshalacjami [75]. Identyczny skład tych wód z wodami polanickimi oraz wspólne ich położenie na jednym dużym fotolinieamencie [6], [7], [48] zdaje się świadczyć o ścisłych związkach genetycznych. W S z a l e j o w i e G ó r n y m szczawy wypływają w osadach na brzegu przepływającego tu potoku. Wody te dopływają ze spękanych margli w miejscu przecinania się uskoku o kierunku NW-SE, biegnącego doliną potoku, z niewielkim uskokiem poprzecznym [70].

Szczawy Gorzanowa i Bystrzycy Kłodzkiej grupują się w pobliżu większych nieciągłości poprzecznych rowu Nysy. Przez G o r z a n ó w przechodzi zrab podłoża gnejsowego utworzony przez uskoki potężnej strefy dyslokacyjnej Duszniki-Corzanów. Notowane są tu znaczne wydajności wód (do  $36 \text{ m}^3/\text{h}$  z ujęcia). Za obszary zasilania szczaw gorzanowskich J.Fistek [70] uważa wschodnie i zachodnie brzeżne partie rowu Nysy oraz strefy zaburzeń wewnątrz rowu. Na skrzyżowaniu uskoków znajdowało się również nie istniejące już źródło w B y s t r z y c y K ł o d z k i e j. Ostatnio (1985 r.) w D ł u g o p o l u D o l n y m nawiercono szczawę zawierającą jod i brom; składniki te według J.Fistka i in. [86] świadczą o obecności wód reliktowych w ujętej wodzie.

Szczawy metamorfiku Gór Bystrzyckich występują wzdłuż wydłużonej strefy stanowiącej wschodnią, północno-wschodnią i północną krawędź tych gór. Wypływają w obrębie paragnejsów i łupków łyszczykowych. Charakteryzują się składem chemicznym typu  $HCO_3-Ca-Mg$ , jedynie na obszarze Dusznik Zdroju współwystępują wody typu  $HCO_3-Ca-Na-(Mg)$ . Z sześciu wy-

stąpięń szczaw, omówionych szeroko przez J.Fistka [70], tzn. w Długopolu Zdroju, Dusznikach Zdroju, Szczawinie, Bobrownikach Starych, Nowej Łomnicy i Nowej Bystrzycy, wody czterech pierwszych uznane zostały za lecznicze. Trzy ostatnie stanowią prymitywnie ujęte wypływy.

Wypływy Dusznik Zdroju i Bobrownik Starych mają miejsce w pobliżu krzyżowania się z uskokiemi poprzecznymi dużej strefy dyslokacyjnej o znaczeniu regionalnym przebiegającej od Gorzanowa do Hronova. Strefa ta, zaliczona przez A.Soleckiego [176] do planetarnych stref spekań o kierunku WNW-ESE (w omawianym rejonie nazywana brzeżnym uskokiem dusznickim), oddziela metamorfik Gór Bystrzyckich od górnokredowych osadów Gór Stożowych. Wzdłuż uskoku poprzecznego ("źródłowego") Dusznik grupują się wypływy szczaw i suche ekshalacje wolnego dwutlenku węgla. Nieco na północ od nich osady czwartorzędowe rzeki Bystrzycy Dusznickiej osiągnęły miąższość 50 m, co świadczy o ruchach neotektonicznych w tym rejonie [73]. Za obszar zasilania szczaw dusznickich J.Fistek [70] uważa strefę uskokuową Podgórze - Zieloniec w Górach Orlickich, na południe od uzdrowiska.

W sąsiedztwie tak zwanej fleksury wschodniej krawędzi Równi Łomnickiej wypływają szczawy Nowej Łomnicy, Szczawiny, Nowej Bystrzycy i Długopola Zdroju, w miejscach przecięcia jej przez uskoki poprzeczne, nazwane nawet w przypadku Szczawiny i Długopola Zdroju uskokiemi źródłowymi [77]. Zaznacza się wyraźny wpływ warunków zewnętrznych na szczawy obu ostatnich miejscowości. W przypadku Długopola Zdroju wody ujęte są w sztolni na kontakcie osadów Nysy Kłodzkiej z łupkami łyszczkowymi podłoża. Ponieważ było to powodem częstych awarii ujęć, przeprowadzono dwukrotną rekonstrukcję obudowy sztolni [79], zapewniając prawidłową eksploatację wody i dwutlenku węgla. W Nowej Łomnicy znajdują się dwa ujęcia szczaw o zbliżonym składzie chemicznym [39], nie zaś jeden podany w pracy [70].

Wszystkie szczawy Gór Bystrzyckich charakteryzują się dużą zawartością wolnego CO<sub>2</sub> i jonu Fe<sup>2+</sup>. W Dusznikach dodatkowo zwraca uwagę duża wydajność szczaw oraz podwyższona ich temperatura. Temperatura wód osiąga obecnie niecałe 18 °C. Wartość maksymalną 21,4 °C stwierdzono w 1910 r. po odwierceniu otworu obecnej Pieniawy Chopina [90]. Według J.Dowgiałły [54],[59] i in. zachodzi tu możliwość uzyskania szczaw termalnych. Dokładne badania terenowe J.Fistka i Z.Szarszewskiej w 1979 r. [142], nie przyniosły praktycznie nowych informacji w tym zakresie. Wiadoczną jest natomiast zgodność wystąpięń szczaw z przebiegiem fctolineamentów [6],[7],[48].

Wszystkim znanym szczawom Gór Bystrzyckich towarzyszą niekontrolowane ("dzikie") wypływy zgazowanych wód obserwowane w potokach, rzekach lub w formie osobnych wycieków.

Wystąpienia szczaw w synklinie Kudowy znane są z Kudowy Zdroju i Jeleniowa oraz sąsiedniego obszaru Czech. Wody z obszaru Polski omówiono w publikacjach [78], [83]. Szczawy pojawiają się tu w obrębie i na obrzeżach jednostki zwanej synkliną Kudowy. Na metamorficznych łupkach i fyllitach leżą (generalnie) osady karbonu i permu, niezbyt miąższe, oraz górnej kredy, tworząc synklinalne obniżenie nachylone ku północnemu zachodowi. Obniżenie to obramiają karbońskie granitoidy: od północy granitoidy Kudowy a od południa granitoidy Novego Hradka [94]. Uważa się, że zasadniczy proces formowania się szczaw zachodzi w obrębie krystalicznego podłoża (obecność sodu, potasu i arsenu), a na końcowy skład mają też wpływ skały osadowe (obecność wapnia) [78]. Naturalne wypływy mają miejsce na krzyżowaniu się uskoków podłużnych synkliny z uskokami poprzecznymi [78], [152], co potwierdzają zdjęcia satelitarne [6], [48].

Wiele nowych danych oraz nowe ujęcia szczaw uzyskano ostatnio (1975-82) w trakcie prac zmierzających do określenia ewentualnego wpływu eksploatacji zwykłych wód podziemnych w niecce Polic (na terenie CSSR) na szczawy Kudowy; ich wyniki zostały częściowo opublikowane [83]. Potencjalne zagrożenie wynika tutaj z generalnego, zgodnego z nachyleniem synkliny, kierunku odpływu wód podziemnych ku zachodowi. W jednym z otworów (P-5 w Jeleniowie) uzyskano wody o temperaturze 20,5 °C, co wg J. Dowgiałły, J. Fistka i in. [59], [78], [83] zdaje się również świadczyć o możliwości uzyskania szczaw termalnych.

Po drugiej stronie granicy szczawy znane są z uzdrowiska Běloves oraz miejscowości Hronov i Třtice. Przejawy takich wód napotkano również w Českéj Čermnej, Nachodzie i przy przejściu granicznym w Kudowie-Słone. Oprócz wód Bělovsi, ujmowanych w piaskowcach, wapieniach i mułowcach permu oraz fyllitach, wszystkie zgazowane wody synkliny Kudowy występują w obrębie skał górnokredowych. Za obszar zasilania szczaw Bělovsi Myslil i in. [152] uważają grzbiet dobrošovski (fyllity Novego Města oraz granitoidy Novego Hradka) położony na południe od uzdrowiska. Na podstawie wyników zdjęcia gazowego ci sami autorzy stwierdzają, iż doprowadzenie gazu ku powierzchni następuje nie całymi liniami uskoków, lecz bardzo ograniczonymi ich fragmentami. Charakterystykę szczaw czeskiej części tego obszaru zawierają również opracowania [89] i [114].

Szczawy tej jednostki charakteryzują się typem  $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$  lub  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$ .

Drugim rejonem występowania szczaw w Sudetach jest wydłużony pas o przebiegu NW-SE i długości około 45 km, zgodny z północno-wschodnim obrzeżeniem niecki śródsudeckiej. Wszystkie wody charakteryzują się tu niskimi wydajnościami.

W środkowej części tego pasa, w okolicach Wałbrzycha, szczawy wpływają wzdłuż dyslokacji Strugi, stanowiącej tektoniczną granicę pomię-



dzy niecką a gnejsowym blokiem sowiogórskim. Zgazowane wody spotykamy tu w J e d l i n i e Z d r o j u , k o p a l n i a c h w a ł b r z y s k i c h , S z c z a w n i e Z d r o j u i S t a r y c h B o g a c z o w i c a c h , a zanikłe już wypływy znajdowały się również w Jedlinie, w Starym Zdroju, Piaskowej Górze oraz dolinie Czyżynki. W literaturze polskiej na znaczącą rolę dyslokacji Strugi w formowaniu się szczaw zwracała uwagę J. Teisseyre [192], [193].

Południowo-wschodnią część pasa wystąpień szczaw zamykają wody ujęte odwiertem W-3 w Zdrojowisku. W części północno-zachodniej zaś, na przedłużeniu dyslokacji Strugi szczawy pojawiają się w Starych Rochowicach. Za lecznicze uznano tylko wody Szczawna Zdroju i Jedliny Zdroju.

Krażenie i wypływy omawianych wód w okolicach Wałbrzycha mają miejsce w pociętych uskokami i spękanych skałach osadowych karbonu dolnego (Szczawno Zdrój, Stare Bogaczowice) i górnego, w którym wyraźne są związki występowania tych wód z intruzjami porfirów (kopalnie, Jedlina Zdrój). Wypływy obserwuje się zarówno na powierzchni, jak i na znacznych głębokościach sięgających około 800 m poniżej poziomu terenu (poz. -350, nr 17 w tab. 3). Wody charakteryzują się typem wodorowęglanowym z trzema kationami ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  i  $\text{Na}^+$ ) w ilości powyżej 20% mwał, tylko w przypadku Szczawna z dwoma ( $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{Na}^+$ ). W uzdrowisku tym szczawy wypływają z ławic szarogłazów lub na ich kontakcie z wkładkami ciemnych złupkowanych mułowców. Drogi krążenia szczaw wiąże się (np. [85]) bezpośrednio z dużym uskokiem o kierunku NE-SW, biegnącym przez centrum miejscowości doliną potoku Szczawnik.

Wody stwierdzone w piaskowcach górnego karbonu w Zdrojowisku charakteryzują się bardzo wysoką (na warunki sudeckie) mineralizacją i odmiennym typem  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$  oraz zawierają jod i brom (J. Fistek, D. Starzyńska 1973 [142]; [71]). Podwyższoną mineralizację oraz rzadko spotykany typ mają również szczawy Starych Rochowic; wody typu  $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na-Ca}$  (glauberskiego) wypływają już w obrębie skał strefy kaczawskiej. Ich występowanie wiąże się z kontaktem osadów czerwonego spągowca z utworami staropaleozoicznymi Gór Kaczawskich wzdłuż uskoku Starych Rochowic [69], [191].

Wszędzie tam, gdzie prowadzone były wieloletnie obserwacje wpływów, widoczny jest wpływ warunków zewnętrznych na wody (Szczawno, Bogaczowice, kopalnia "Thorez"). Najlepiej rozpoznane są szczawy Szczawna Zdroju wpływające na linii uskoku potoku Szczawnik w 42 ujęciach zgrupowanych w 9 źródła [82], [84], [85], [111]. Charakteryzują się one bardzo niską wydajnością, której uzależnienie od warunków meteorologicznych, podobnie jak i innych parametrów, zostało opracowane ilościowo (A. Pilich 1982 [143] i in.). Płytkie ujęcia wód są powodem przedostawania

się do nich zanieczyszczeń (J.Kulikowska 1983 [143]; [104], [105] i in.) oraz częstych skażeń bakteriologicznych.

Trzeci rejon występowania szczaw w Sudetach znajduje się w obrębie metamorfiku izerskiego.

Szczawy wypływają tu w bezpośrednim sąsiedztwie lub w obrębie pasma łupków łyszczykowych przebiegających przez prawie cały metamorfik. Miejsca wypływów na terenie Świeradowa Zdroju i Czerniawy Zdroju różni autorzy wiążą z krzyżowaniem się dużej strefy uskokuwej (o kierunku NW-SE) z uskokami poprzecznymi ([67], [80], [85] i in.). Strefą tą, nazwaną linią źródeł [110], szczawy Świeradowa wypływają w obrębie gnejsów. Tektoniczne uwarunkowania wypływów wód potwierdzają również ostatnie interpretacje zdjęć satelitarnych [5], [7], [103], [151]. O ile kształtowanie się składu chemicznego szczaw izerskich (typ  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ ) można wiązać głównie z pasmem łupków, o tyle obszar zasilania należy widzieć po jego stronie południowej w obrębie gnejsów [27]. Wskutek mieszania się szczaw z płytkimi, słabo zmineralizowanymi wodami o wysokiej radoczynności w ujęciach otrzymuje się rzadko spotykane szczawy radoczymne.

Analogicznym typem oraz warunkami występowania charakteryzują się nieco mniej zmineralizowane szczawy po czeskiej stronie granicy, wypływające w Łaźniach Libverda oraz koło Novego Města pod Smikem [89], [115] i in.).

Położenie wypływów w Górach Izerskich dotkniętych klęską ekologiczną odbija się również na jakości tych wód (patrz rozdz. 6).

Kończąc omawianie szczaw, należy wspomnieć o nowym ujęciu takich wód "Odra-5/I" w Grabinie koło Niemodlina na bloku przedsudeckim. Otworem głębokości 545 m pod osadami kredy w obrębie gnejsów ujęto wydajną ( $200 \text{ m}^3/\text{h}$ ) szczawę typu  $\text{HCO}_3\text{-Na-Mg}$  o mineralizacji  $10 \text{ g}/\text{dm}^3$ , zawartości dwutlenku węgla  $1200 \text{ mg}/\text{dm}^3$  (przy wykładniku gazowym ok. 2) i temperaturze  $31,4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Szerzej wody te omówiono w pracach [108] i [149].

### 3.1.1. Pochodzenie dwutlenku węgla szczaw sudeckich

Szczawy masywu czeskiego pod względem występowania należą do prowincji środkowoeuropejskiej, która ciągnie się od Francji przez łańcuchy górskie Eifel, Rhön, Harz, Smrčiny, wzdłuż Rudaw do północnych Czech i dalej przez Sudety, północne Morawy na Śląsk [89]. Geneza dwutlenku węgla była przedmiotem dyskusji już od końca XIX w. Podsumowanie tych dyskusji można znaleźć w pracach [70], [192]. Obecnie powszechnie przyjmuje się jego juwenilne pochodzenie, związane z ostatnimi przejawami trzeciorzędowego magmatyzmu. Pogląd taki potwierdzają badania składu izotopowego węgla w dwutlenku węgla i w jonie wodorowęglanowym, jednak

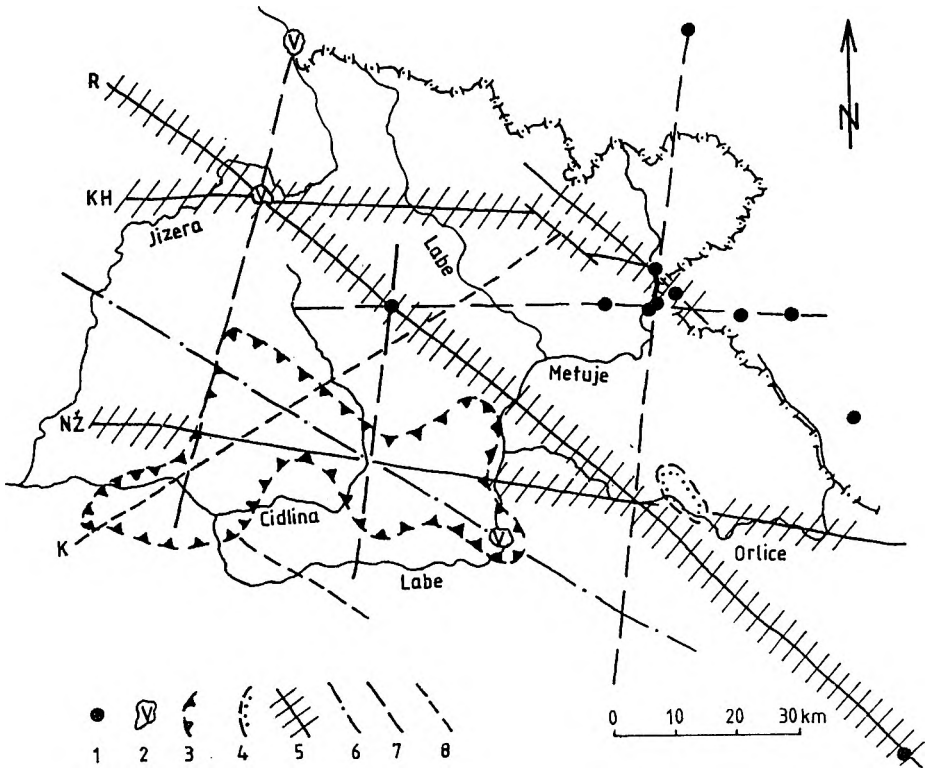
niższe wartości  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  otrzymane w szczawach związanych ze skałami karbońskimi niecki śródsudeckiej wydają się wskazywać na wpływ złóż węgli kamiennych na wzbogacenie  $\text{CO}_2$  w lekki izotop węgla [55], [138]. Według J. Dowgiałły [55] brak równowagi izotopowej między  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  i  $\delta^{13}\text{C}_{\text{HCO}_3}$  w większości badanych wód świadczy o nierównomiernym dopływie tego gazu z głębszych partii litosfery. Ostatnio M. Kotarba [123] na podstawie wyników kompleksowych badań izotopowych wydzielił trzy podstawowe typy genetyczne gazów w skałach karbonu niecki wałbrzyskiej: gazy termokatalityczne, związane z geochemicznym stadium procesu uwęglenia, współczesne gazy biogeniczne i gazy endogeniczne. Dwutlenek węgla występujący w znacznych koncentracjach w serii węglonośnej jest pochodzenia endogenicznego. Wydzielone typy gazów mieszały się i mieszają między sobą do dzisiaj w skomplikowanych warunkach geologicznych niecki wałbrzyskiej.

Według J. Jetela i L. Rybařovej [114] dwutlenek węgla w północno-wschodniej części masywu czeskiego jest doprowadzany brzeżnymi uskokami ryftu łabskiego o przebiegu NW-SE. Jednym z nich jest strefa nasunięcia Pořiči-Hronov (rys. 3), a kierunek taki ma również prezentowana już dyslokacja Strugi. Znaczną rolę wymienił autorzy przypisują także głębokiemu uskokowi Kozakov-Hronov. Przedłużeniem nasunięcia Pořiči-Hronov jest strefa dyslokacyjna Duszniki-Gorzanów, która wg J. Fístka [70] jest główną linią doprowadzającą dwutlenek węgla na Ziemi Kłodzkiej (rys. 4).

Naturalny dwutlenek węgla z poszczególnych zbadanych ujęć charakteryzuje się bardzo dużą czystością (86,21-99,95% obj. [55], [89] i in., kolumna 11 w tab. 3), istnieją więc możliwości jego szerszego wykorzystania gospodarczego. Według obliczeń autora sumaryczna ilość gazu wydobywającego się na powierzchnię w pierwszym z charakteryzowanych rejonów (Ziemia Kłodzka) wynosi około 2000 kg/h, tj. około 4000 m<sup>3</sup>/h [39].

### 3.2. Wody termalne

Wody termalne tworzą pojedyncze izolowane złoża w różnych częściach Sudetów. Po polskiej stronie wypływają one w Łądku Zdroju, Cieplicach Śl. Zdroju (w obu tych miejscowościach uznane za lecznicze), a ostatnio ich występowanie stwierdzono w kopalni węgla brunatnego Turów (tab. 3). Po stronie czeskiej znane są również trzy wystąpienia. Pod względem składu gazowego wszystkie je można zaliczyć - według klasyfikacji stosowanej w innych krajach (ZSRR, CSRR i in.) - do azotowych wód termalnych. Wody te były przedmiotem większego opracowania J. Dowgiałły [54]. Przedstawił on warunki występowania wód termalnych od strony ich składu chemicznego, gazowego i izotopowego, a także zasobów. Hydrogeo-

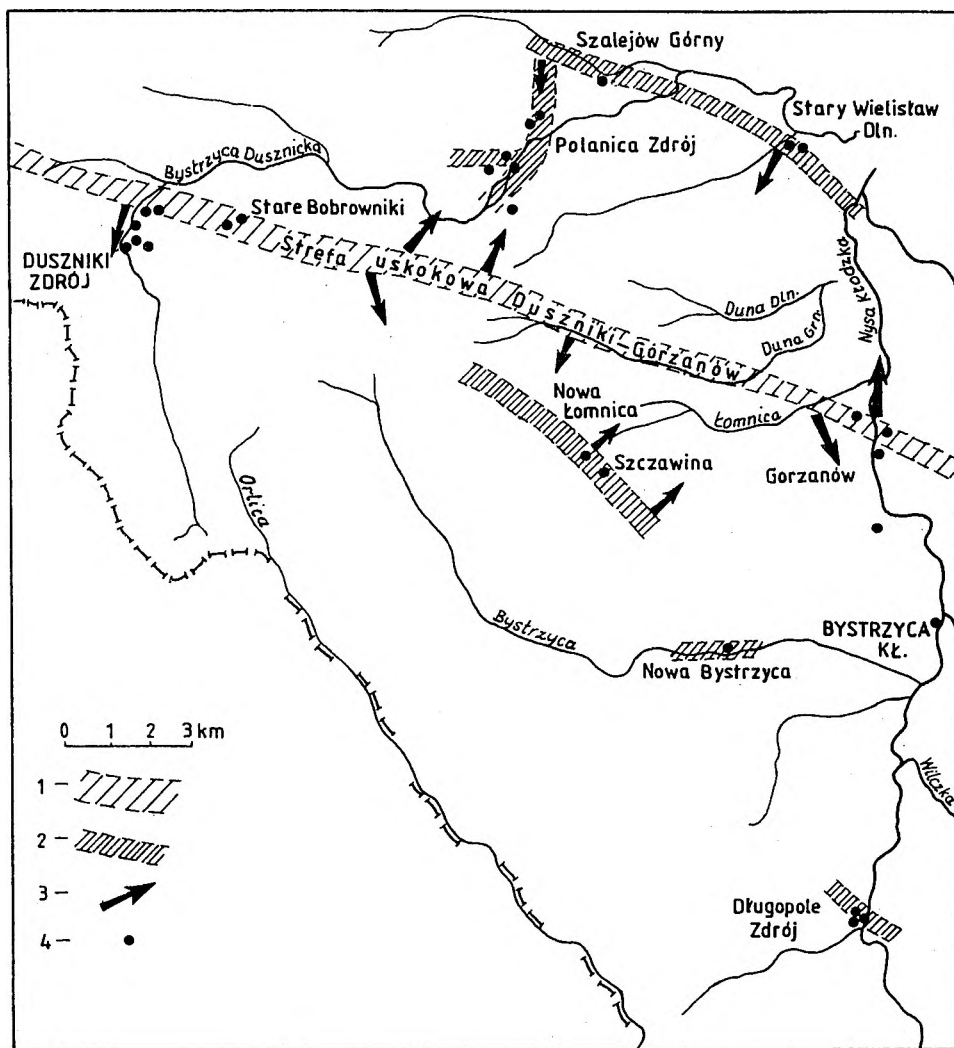


Rys. 3. Zależności między tektoniką a wpływami niektórych typów wód zmineralizowanych Czech wschodnich (wg J. Jetela i L. Rybařovej [114]): 1 - wypływy szczaw, 2 - neowulkanity, 3 - granica čidlinsko-łabskiego złoża szczaw w zbiorniku cenomańskim, 4 - granice rychnovskiego złoża wód siarczanowo-fluorkowych w zbiorniku cenomańskim, 5 - główne uskoki w podłożu kredy czeskiej, 6 - centralny złom ryftu łabskiego, 7 - prawdopodobne uskoki o kierunku NNE-SSW, 9 - inne ważniejsze uskoki: R - rovenský, KH - Kozakov-Hronov, NŽ - Neratovice-Žamberk, K - Klatovský

Fig. 3. Relations between tectonics and discharges of some types of mineralized waters in East Bohemia (after J. Jetel and L. Rybařova [114]): 1 - discharges of acidulous springs, 2 - neovolcanites, 3 - boundary of Čidlina-Elbe acidulous springs in the Cenomanien basin, 4 - boundaries of Rychnov sulfate-fluoride acidulous springs in the Cenomanien basin, 5 - main faults in basement rocks of the Czech Cretaceous, 6 - central block of the Elbe rift, 7 - probable faults in NNE-SSW direction, 9 - other important faults: R - fault of Rovensko, KH - fault of Kozakov-Hronov, NŽ - fault of Neratovice-Žamberk, K - fault of Klatovy

logię wód samego Łądka Zdroju ze szczególnym uwzględnieniem ich hydrogeochemii przedstawił autor w pracy [24]. Natomiast wybrane problemy hydrogeochemii wód Cieplic i Łądka zawarte są w pracach P. Leśniaka [136] i [137].

Wody termalne Łądka Zdroju wypływają w obrębie gnejsów metamorfiku Gór Złotych [96], a ich krążenie w obrębie tych skał o-



Rys. 4. Szkic rozmieszczenia źródeł szczaw i stref przypuszczalnego doprowadzenia CO<sub>2</sub> z głębokiego podłoża do obszaru Kotliny Kłodzkiej i Gór Bystrzyckich (wg J.Fistka [70]): 1 - główna strefa doprowadzenia CO<sub>2</sub>, 2 - drugorzędne strefy doprowadzenia CO<sub>2</sub>, 3 - przypuszczalne kierunki rozprowadzania i migracji CO<sub>2</sub>, 4 - wypływy szczaw

Fig. 4. Distribution of acidulous springs and zones of probable CO<sub>2</sub> supplying from deep bedrock to the area of Kłodzko Valley and Bystrzyckie Mountains (after J.Fistek [70]): 1 - main zone of CO<sub>2</sub> supplying, 2 - secondary zones of CO<sub>2</sub> supplying, 3 - probable directions of CO<sub>2</sub> distribution and migration, 4 - discharges of acidulous springs

kreśla wyjątkowo niską mineralizację (ok. 200 mg/dm<sup>3</sup>) i charakterystyczny skład (F, Rn, H<sub>2</sub>S). Za obszar zasilania autor przyjmuje Góry Złote i Bialskie na południe i południowy-wschód od uzdrowiska [24], [95]. Naturalne wypływy mają temperaturę ok. 30 °C. Nowo wykonany odwiert ujął wodę o temperaturze 45 °C, lecz wpłynął niekorzystnie na warunki hydrogeologiczne całego złoża [28], [29]. Skład izotopowy tlenu i wodoru wód ląddeckich wskazuje na ich infiltracyjne pochodzenie [53]. Czas przepływu podziemnego określano na od kilku do 20 tys. lat [24], [63].

Na południowy wschód od Łądka, już w obrębie Sudetów wschodnich, wody termalne wypływają w Wielkich Łosinach (12-36,2 °C) w warunkach geologicznych i o składzie zbliżonym do ląddeckich oraz w Bludovie (24-25 °C) w obrębie granodiorytów [131], [170] i in.

W C i e p l i c a c h Ś l. Z d r o j u ujęte są wody o temperaturze sięgającej 60 °C (maksimum 68 °C). Wypływy naturalne mają miejsce w obrębie granitu karkonoskiego przykrytego kilku, kilkunastometrową warstwą osadów czwartorzędowych [84], [85] i in. W świetle badań izotopowych można je uważać za wody pochodzenia infiltracyjnego, co jest zgodne z wcześniejszymi poglądami. Ich wiek określono na końcowe stadium ostatniego zlodowacenia [42], [63]. Zasadniczą rolę w ich tworzeniu przyznaje się strefom uskoku o przebiegu SW-NE lub SSW-NNE i poprzecznym do nich [49], [150] i in. Na temat położenia obszarów zasilania istnieją rozbieżne poglądy: za strefy infiltracji przyjmuje się Góry Izerskie na zachodzie [81], północne stoki Karkonoszy na południu [54] i Góry Kaczawskie na północy [34].

Według J. Dowgiałły zarówno w Łądku, jak i w Cieplicach można uzyskać wody o jeszcze wyższej temperaturze [57], [58]. Również w przypadku obu miejscowości obserwuje się silną korelację pomiędzy parametrami poszczególnych ujęć i niewielkie ich zmiany w czasie ([28], [62], A. Pilich 1981 i 1983 [143]). Wody wypływając na powierzchnię tworzą anomalie geotermiczne i geochemiczne.

Na południe od Cieplic, po czeskiej stronie Karkonoszy, ze skał metamorficznej okrywy granitu wypływają słabo zmineralizowane wody Jańskich Łaźni (26,5-27,5 °C) [114] i in.

W jednym z chodników odwadniających kopalni węgla brunatnego T u r ó w w rejonie tzw. uskoku głównego w styczniu 1981 r. nastąpił nagły dopływ wód termalnych (25-26 °C) z granitowego podłoża niecki żytańskiej. Typ wody podobny jest do innych wód termalnych krystaliniku masywu czeskiego. Zwraca ona jednak uwagę wysoką mineralizacją, najwyższą w kraju zawartością fluoru (14,5 mg/dm<sup>3</sup>), obecnością dwutlenku węgla (160-200 mg/dm<sup>3</sup>), bardzo niską zawartością krzemionki (3,44 mg/dm<sup>3</sup>) oraz znaczną wydajnością. Skład izotopowy wskazuje na infiltracyjne pochodzenie wód, a brak <sup>14</sup>C pozwala szacować ich wiek na kilkadziesiąt tysięcy lat [41], [189].

### 3.2.1. Problematyka hydrogeotermiczna Sudetów

Według dotychczasowych badań obszar krystaliniku sudeckiego znajduje się w obrębie izolacji 50-70 mW/m<sup>2</sup> strumienia ciepłego przy średniej dla masywu czeskiego wynoszącej 68,1 ±12,3 mW/m<sup>2</sup> [16] i in. Na terenie Sudetów polskich dysponujemy wynikiem tylko jednego oznaczenia strumienia ciepłego, w Łądku Zdroju, gdzie wyniósł on 71,2 mW/m<sup>2</sup> [54], [140]. Przekracza więc nieznacznie cztery inne wartości otrzymane na terenie Czech w strefie nasunięcia Poříčí-Hronov i wynoszące 58,7-67 mW/m<sup>2</sup> [16], a wszystkie nie odbiegają znacząco od wartości średniej dla masywu. Z tego powodu mapy geoizoterm na głębokościach 1000 m nie znaczą stref anomalnych w Sudetach ([89], [140] i in.).

Wszystkie wyniki badań stabilnych izotopów tlenu i wodoru wskazują, iż znane wody termalne Sudetów są pochodzenia infiltracyjnego, a więc ich temperatura może odzwierciedlać głębokość krążenia. Jeżeli za gradient geotermiczny przyjmie się około 2,5 °C/100 m [140], to wszystkie stwierdzone temperatury wód nie wskazują na głębsze krążenie niż 2500-3000 m. Po uwzględnieniu dodatkowego wydzielania ciepła radiogenicznego w skałach granitowych Karkonoszy i gnejsowych metamorfiku śnieżnickiego, co bierze pod uwagę Dowgiałło [54], [59], głębokości te byłyby mniejsze. Przy szczelinowym charakterze przepływu podziemnego wód, gdy ich złoża związane są z dużymi, a więc i głębokimi strefami dyslokacyjnymi, wielkości te nie są niemożliwe do przyjęcia.

Tak więc, przeciętne wykazane badaniami warunki geotermiczne regionu sudeckiego zapewniają według autora osiągnięcie przez wody temperatur stwierdzanych w ujęciach.

Ostatnio Dowgiałło wysunął przypuszczenie o osiągnięciu przez wody w dolnych partiach systemów wodonośnych znacznie wyższych temperatur niż obserwowane na wypływie. Wykorzystując hydrogeotermometrię chemiczną i izotopową określił on prawdopodobne temperatury maksymalne od 30 (Wielkie Łosiny) do 110 °C (Cieplice) w przypadku wód termalnych i od 40 (Długopole, Nowa Łomnica) do 70 °C (Duszniki) w przypadku szczaw [57] [58]; te schłodzone w drodze ku wypływowi wody nazwał "wodami kryptotermalnymi". W rozważaniach tych uwagę zwraca fakt, iż wykorzystane przez tego autora zależności zaczerpnięte z literatury sporządzone były głównie dla wód nie zawierających CO<sub>2</sub>. Wprowadzenie specjalnych poprawek uwzględniających obecność tego gazu spowodowało znaczne obniżenie przewidywanych temperatur - maksymalnie do 31 °C [58]. Ten i inne problemy są tematem szerszej dyskusji na łamach Przeglądu Geologicznego [60], [201].



### 3.3. Wody raduczynne

Wody raduczynne, a ściślej radonowe, to znaczy zawierające izotop radonu-222 w ilości ponad  $74 \text{ Bq/dm}^3$ , występują w Sudetach często, zwłaszcza w masywach krystalicznych. Niewielka liczba zinwentaryzowanych wystąpień wynika wyłącznie z braku oznaczeń tego radioaktywnego gazu w poszczególnych ujęciach wód zwykłych bądź niejawności tych wyników (świadczą o tym rezultaty zawarte w [144], a także [142] i in.). Wiele wód wykorzystywanych gospodarczo zawiera więcej radonu niż wody raduczynne uznane za lecznicze. Radioaktywne właściwości wód stwierdzone zostały w Łądku w 1904 r., w Świeradowie w 1907 r. (źródła Raduczynne w 1933 r.). Do 1945 r. oznaczenia takie wykonywane były sporadycznie; w okresie powojennym badania te rozpoczęła M. Szmytówna [185]-[187] i in. Według klasyfikacji Z. Pazdry [160] wody sudeckie zaliczyć można do średnio ( $74-370 \text{ Bq/dm}^3$ ) i silnie ( $370-3700 \text{ Bq/dm}^3$ ) raduczynnych (tab. 4).

Najwyższą zawartość radonu w wodach podziemnych Polski stwierdzono w jednym z wypływów w sztolni na północno-wschodnich zboczach Ś n i e ż n i k a - wynosiła ona prawie  $3000 \text{ Bq/dm}^3$  [19], [21]. Wody te wypływają

T a b e l a 4

Najwyższe stwierdzone zawartości radonu w wodach  
zmineralizowanych Sudetów polskich  
(Wg [4], [21], [24], [99], [142], [162], [187])

Miejscowość	Ujęcie	Rok	$^{222}\text{Rn}$	
			nCi/dm <sup>3</sup>	Bq/dm <sup>3</sup>
Śnieżnik	wypływ w sztolni	1969	80,1	2964
Świeradów Zdrój	Raduczynne 4	1963	78,2	2893
Szklarska Poręba	nr 18	1965	47,9	1772
Czerniawa Zdrój	Raduczynne 1	1971	47	1739
Łądek Zdrój	wypływ w źr. Jerzy	1977	41,7	1543
Kudowa Zdrój	Marchlewski	1955	20,8	770
Kowary	nr 26	1974	14,7	544
Sosnówka	Magdalena	1963	8,4	311
Szczawno Zdrój	Marta	1949	7,6	281
Jedlina Zdrój	J-300	1966	6,6	244
Przerzeczyn Zdrój	nr IX	1975	5,0	185
Cieplice Śl. Zdrój	Sobieski	1971, 72	4,4	163
Duszniki Zdrój	B-3	1971	4,1	152
Długopole Zdrój	Renata	1975	2,5	92
Bogaczowice Stare	Anna	1968	2,5	92

w obrębie gnejsów zawierających niewielkie wkładki łupków łyszczykowych. Sztolnią przecięto szereg dyslokacji naśladujących przebieg pobliskiej dużej linii, zwanej nasunięciem Kletna, z którym związane jest m.in. wyeksploatowane złożo uranu w Kletnie. Podwyższone zawartości radonu stwierdza się także w wodach wypływających z wyrobisk tej nieczynnej kopalni [17], [33].

Wody radoczynne Świeradowa Zdroju i Czerniawy Zdroju rozdzielić można na wody płytkie, o najwyższej radoczynności ( $460-2890 \text{ Bq/dm}^3$ ) i bardzo niskiej mineralizacji ( $0,05-0,1 \text{ g/dm}^3$ ) oraz wody głębsze, stwierdzone odwiertami na głębokościach kilkuset metrów. Ich mineralizacja sięga już  $0,3 \text{ g/dm}^3$ , a zawartość radonu jest niższa ( $240-1180 \text{ Bq/dm}^3$ ) [27], [142]. Podwyższoną zawartość radonu w wodach pierwszej grupy wiąże się z występującymi tu leukogranitami, a wypływy na powierzchnię z krzyżowaniem się uskoków ([67], [110], [192] i in.). Wody te przepływają silnie spękanymi strefami o kierunku zbliżonym do północnego, których obecność oprócz kartowania wykazały również badania geofizyczne [85], [173] oraz dane teledetekcyjne [103], [151]. Słabo zmineralizowane wody radoczynne mieszają się na obszarze obu miejscowości ze szczawami, tworząc szczawy radoczynne.

Wody termalne Łądką Zdroju charakteryzują się w źródłach również podwyższoną radoczynnością - do ok.  $1500 \text{ Bq/dm}^3$ , choć na większych głębokościach zawartość radonu w wodach wynosi do  $185 \text{ Bq/dm}^3$ . Eksploatowane wody uzyskują ten gaz dzięki mieszanii się ze szczelinowymi wodami zwykłymi o wyższej radoczynności dopływającymi od strony południowej lub południowo-zachodniej [24]. W Łądku i okolicy zawartość Rn w wodach podziemnych wskazuje dużą zbieżność z przebiegiem dyslokacji, a ilości tego gazu często przekraczają jego zawartości w źródłach wód termalnych; anomalie radonowe na terenie uzdrowiska potwierdzone zostały także zdjęciem gamma [18].

Za wody lecznicze uznane zostały dotąd niewykorzystywane wody Szklarskiej Poręby, Sosnowki i Kowar, a także Cieplic (żr. Sobieski), wszystkie w obrębie granitowego masywu karkonoskiego ([68], [142], [158], [159], [166] i in.). Stwierdzono tu kilkadziesiąt źródeł, najczęściej szczelinowych, o zawartości radonu sięgającej  $1770 \text{ Bq/dm}^3$ . Ich radoczynność związana jest z ogólną podwyższoną radioaktywnością całego masywu granitowego, na co wskazują wyniki badań Jelińskiego [112], choć wydaje się, iż większe znaczenie mają tu liczne lecz nieprzemysłowe przejawy hydrotermalnej mineralizacji uranowej, często związanej z żyłami aplitowymi [1].

Zawartości radonu w pozostałych wodach zmineralizowanych (tab. 4) są znacznie niższe.

Po stronie czeskiej zinwentaryzowano tylko dwa wystąpienia wód radonowych: w Mladkovie (ortognejsy Gór Orlickich, 100-1000 Bq/dm<sup>3</sup>) oraz w Velkej Úpie (łupki, fylity i gnejsy południowo-wschodniego metamorfiku Karkonoszy, 2880 Bq/dm<sup>3</sup> ([89], [114], [179] i in.).

### 3.3.1. Geneza radoczynności wód sudeckich

Obecność radonu w wodach podziemnych o charakterze szczelinowym, a więc typowym dla zmineralizowanych wód sudeckich, uzależniona jest według autora od kilku czynników [18]. Są to:

1. Zawartość w skałach pierwiastków radioaktywnych. W większości masywów krystalicznych Sudetów ich zawartość odpowiada wartościom spotykanym w innych masywach granitoidowych i metamorficznych świata. Wyraźnie wyższymi ilościami odznaczają się natomiast granity karkonoskie (śr. 12,7 g/t [112]) i gnejsy śnieżnickie (11 g/t [168]).

2. Wartość współczynnika emanacji skał. Jest ona trudna do określenia i w sferach silnie spękanych (np. w strefach uskokowych) może sięgać 100%. T.Kasela i M.Kazimierczak [116] dla stref tektonicznych krystaliniku sudeckiego współczynnik ten oceniają na 20-40%. Zwiększa się on w strefie szczelinowatości wietrzeniowej, tzn. do głębokości kilkudziesięciu metrów. Podwyższona wartość tego współczynnika nawet przy przeciętnej zawartości pierwiastków radioaktywnych w skałach może być przyczyną powstania anomalii radonowych (np. Łądek Zdrój, Świeradów Zdrój, Czerniawa Zdrój).

3. Czas kontaktu wody ze skałą. Więcej radonu uzyska woda będąca w dłuższym kontakcie ze skałą słabo radioaktywną niż szybko przepływająca przez ośrodek bardzo aktywny. O dłuższym czasie przebywania omawianych wód w skałach świadczą wyniki badań izotopowych (patrz podrozdz. 5.5).

4. Obecność osadów ilastych i gliniastych. W przypadku pokrycia nimi powierzchni skał powstają pod tymi szczelnymi, ekranującymi warstwami anomalie radonowe (np. Kudowa Zdrój). Gdy natomiast wypełniają strefy tektoniczne (glinki tektoniczne, np. [182]) dzięki sorpcji składników radioaktywnych z krążących wód, powodują również powstanie wyraźnych anomalii (np. Łądek Zdrój). Oba te rodzaje anomalii mają więc charakter wtórny.

Generalnie w Sudetach najwyższą radoczynnością charakteryzują się wody ultrasłódkie reagujące żywo wydajnością, temperaturą i mineralizacją na warunki zewnętrzne. Można zauważyć, że obecność radonu nie jest związana z żadnym typem chemicznym wody oraz to, iż zawartość w wodach tego radioaktywnego, szlachetnego gazu zmniejsza się wraz ze zwiększaniem się mineralizacji wód oraz głębokości ich występowania.

### 3.4. Inne wody

W Sudetach występują również inne wody, które spełniają kryteria pozwalające uznać je za lecznicze. W zestawieniu (tab. 3) uwzględniono tylko wody siarczkowe, których wystąpienia znane są z trzech miejsc.

Siarczkowe, radoczynne wody **P r z e r z e c z y n a Z d r o j u** uznano za lecznicze i wykorzystuje się je w niewielkim uzdrowisku. Choć miejscowość ta położona jest poza zrębem sudeckim, to tworzenie się tych wód w obrębie skał krystalicznych wschodniej osłony bloku sowiogórskiego uzasadnia ich uwzględnienie. Ujęte w **O p o l n i c y** (struktura bardzka) słabo zmineralizowane wody siarczkowe, fluorkowe wykorzystywane są w celach rozlewniczych.

Rozwój eksploatacji węgla brunatnego w rejonie Bogatyni spowodował zanik istniejących jeszcze po 1945 r. słabo zmineralizowanych wód siarczkowych, żelazistych, manganowych **O p o l n a Z d r o j u**. Charakterystykę tych wód eksploatowanych bezpośrednio z warstw węgla podał Dominikiewicz [47]. Stanowiły one ewenement w tym rejonie, nie wykazując żadnego podobieństwa z wodami bariery studni kopalni Turów ani z wodami termalnymi tej kopalni [41].

## 4. HYDROGEOCHEMIA WÓD LECZNICZYCH

### 4.1. Lokalne tło hydrogeochemiczne

Określenie tła hydrogeochemicznego Sudetów jest zadaniem bardzo złożonym i stanowi przedmiot prac kilku zespołów (np. [129]). Rezultatem tych prac ma być charakterystyka tła w obrębie jednostek geologicznych, a więc tzw. tła regionalnego<sup>4</sup>. Tak więc dotyczyć ono będzie wód podziemnych zasilających poszczególne złoża wód leczniczych w obszarach ich infiltracji.

W swych strefach wypływu (drenażu) uformowane wody lecznicze dzięki specyficznym właściwościom i składowi wyraźnie odróżniają się od wód otoczenia. W tym przypadku ważna jest więc charakterystyka wód podziemnych rejonu pojawienia się na powierzchni wód leczniczych, a więc tzw. tła lokalnego. Konieczność ich poznania wynika z faktu, że to właśnie one, wody tła, mieszając się z dążącymi ku wypływowi wodami zmineralizowanymi nadają ostateczny skład wodom ujmowanym z poszczególnych ujęć. Narażone na zanieczyszczenia zwykle, płytkie wody tła stanowią tym samym zagrożenie dla eksploatowanych wód leczniczych. Dzięki pracom geologiczno-poszukiwawczym prowadzonym na terenie uzdrowisk w celu uzyskania dodatkowych zasobów wód leczniczych dość dokładnie poznano warunki hydrogeologiczne poszczególnych miejscowości.

W tabeli 5 na podstawie materiałów archiwalnych [142] przedstawiono w formie skróconej typy chemiczne wód, które stanowią lokalne tło hydrogeochemiczne różnych wód leczniczych. Uwagę zwracają pewne prawidłowości.

W przypadku wód masywów krystalicznych można wydzielić:

- wody płytkiego krążenia (do ok. 30 m), głównie w strefie szczelinowatości wietrzeniowej, z wyraźną przewagą jonów  $\text{SO}_4^{2-}$  wśród anionów i  $\text{Ca}^{2+}$  wśród kationów (Cieplice, Łądek, Świeradów, Czerniawa, Szklarska Poręba),
- wody nieco głębszego lub dłuższego przepływu, z przewagą jonu  $\text{HCO}_3^-$  wśród anionów (Świeradów, Cieplice, Łądek).

Wody pierwszej grupy można zaliczyć według podziału Z.Pazdry [160] do wód gruntowych, drugiej zaś nawet do wgłębnych.

---

<sup>4</sup> - Nomenklaturę dotyczącą tła i anomalii hydrogeochemicznych przyjęto za A.Macioszczykową ([139] i in.). W pracy nie rozpatrywano poszczególnych elementów hydrochemicznych składających się razem na tło ogólne, lecz ze względu na wyraźne zróżnicowanie chemizmu wód zwykłych i leczniczych w celu ich opisu operowano typem hydrochemicznym.

Skład chemiczny zwykłych wód podziemnych poszczególnych miejscowości stanowiących współczesne tło lokalne dla różnych wód leczniczych (opracowano na podstawie [142])

Miejscowość i okres badań	Liczba analiz	Mineralizacja g/dm <sup>3</sup>	Charakterystyka składu chemicznego	Zawartość składników swobodnych <sup>1</sup>
Świeradów Zdrój od 1974 r.	73	0,05-0,1	wody źródeł radoczących SO <sub>4</sub> <sup>25-77</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>15-59</sup> Ca <sup>21-56</sup> Na <sup>24-35</sup> Mg <sup>12-32</sup>	Rn 203,5-1783,4 CO <sub>2</sub> ns
			głębokość dziesiątek metrów HCO <sub>3</sub> <sup>53-76</sup> SO <sub>4</sub> <sup>8-28</sup> Na <sup>31-68</sup> Ca <sup>26-52</sup>	Rn 266,4-1620,6 F 0,4-5,6 CO <sub>2</sub> ns
			głębokość setek metrów HCO <sub>3</sub> <sup>60-91</sup> Ca <sup>28-48</sup> Mg <sup>15-36</sup> Na <sup>19-28</sup>	Rn 55,5-925 F 1,5-2,5 CO <sub>2</sub> ns
1962-67 1 1970-74	14	0,1-0,4		
1970-74	13	0,2		
Czerniawa Zdrój od 1963	26	0,05-0,09	SO <sub>4</sub> <sup>33-78</sup> Cl <sup>12-45</sup> Ca <sup>39-65</sup> Na <sup>17-40</sup> Mg <sup>13-34</sup>	Rn 481-1739 CO <sub>2</sub> ns
Cieplice Śl. Zdrój 1969-71	14	0,14-0,76	zwierciadło swobodne SO <sub>4</sub> <sup>31-76</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>12-44</sup> Cl <sup>7-28</sup> Ca <sup>26-69</sup> Mg <sup>15-32</sup> Na <sup>11-28</sup>	F 0,05-2 Si 16,2-41,6 Rn 37-510,6
			zwierciadło napięte HCO <sub>3</sub> <sup>43-78</sup> SO <sub>4</sub> <sup>11-40</sup> Cl <sup>9-36</sup> Ca <sup>39-63</sup> Na <sup>11-44</sup> Mg <sup>0-31</sup>	F 0,2-2,4 Si 10,4-67,6 Rn 0-630,9
Szklarska Poręba 1965	26	0,04-0,11	SO <sub>4</sub> <sup>35-63</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>21-35</sup> Cl <sup>20-31</sup> Na <sup>46-69</sup> Ca <sup>28-41</sup> lub Ca <sup>44-52</sup> Na <sup>31-44</sup> (M <sub>sr</sub> ≈ 0,06) (M <sub>sr</sub> ≈ 0,08)	Rn 81,4-1768,6
Łądek Zdrój 1972	31	0,1-1,35	strefa szczelinowatości wietrzeniowej SO <sub>4</sub> <sup>32-94</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>7-43</sup> Cl <sup>2-29</sup> Ca <sup>18-74</sup> Na <sup>13-63</sup> Mg <sup>1-25</sup>	Rn 55,5-495,8 F 0,1-2,4
			szczeliny skał niezwięzniętych HCO <sub>3</sub> <sup>43-68</sup> SO <sub>4</sub> <sup>20-38</sup> Cl <sup>6-13</sup> Ca <sup>25-46</sup> Na <sup>21-45</sup> Mg <sup>2-17</sup>	Rn 88,8-347,8 F 0,1-0,4
Przerzeczyn Zdrój od 1975	72	0,32-0,57	HCO <sub>3</sub> <sup>67-96</sup> Mg <sup>45-53</sup> Ca <sup>32-42</sup>	Rn 11,1-136,9 H <sub>2</sub> S ns
Szczawnio Zdrój 1975	45	0,3-0,5	HCO <sub>3</sub> <sup>51-91</sup> SO <sub>4</sub> <sup>5-31</sup> Ca <sup>29-74</sup> Mg <sup>17-52</sup>	Rn 6,66-388,5 CO <sub>2</sub> ns
Kudowa Zdrój i Jeleniów od 1973	21	0,3-0,8	HCO <sub>3</sub> <sup>50-96</sup> Ca <sup>39-65</sup> Mg <sup>8-28</sup>	CO <sub>2</sub> ns-193 Rn 61-249,7 Fe 0,1-12,5 As ns-3,8 B ns-2,35

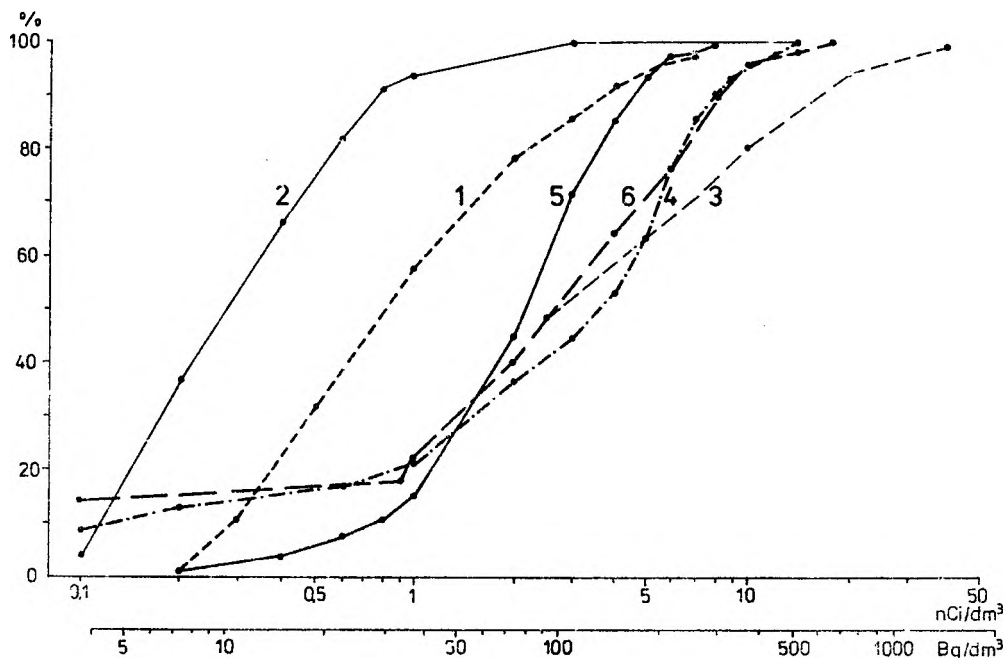
<sup>1</sup> - charakterystycznych dla miejscowych wód leczniczych; oznaczenia i jednostki wg tab. 3

Zawartość radonu w zwykłych wodach podziemnych różnych jednostek geologicznych Sudetów (na podstawie prac Z.Głowackiego, A.Kaczmarka, L.Kaczmarka, T.Kaseli i in. [144], uzupełnionych [37], [142] i in.)

Obszar badań	Lata	Powierzchnia (w km <sup>2</sup> )	Liczba ozna- czeń	Wartość		Procentowy udział ana- liz o war- tościach w zakresie tła
				tła	max	
				(w Bq/dm <sup>3</sup> )		
metamorfik Śnieżnika (okolice Łądką Zdroju)	1966 i 1980	120	654	0-92,5	259	82
metamorfik Gór Bystrzyc- kich i Orlic- kich (okolice Duszniak, Bo- brownik Sta- rych, Nowej Łomnicy, Szczawiny, Nowej By- strzycy)	1964	140	310	0-29,6	521,7	91
metamorfik Gór Izerskich (okolice Świeradowa i Czeraniawy)	1961	22	360	?-740	ponad 1480	94
granit karko- noski: okolice Kowar okolice So- snówki, Cieplice Śl. Zdrój	1965 1963 1969- 1971	15 52,4 7,5	47 465 50	37-296 37-296 33,3-296	654,9 569,8 666	70 82 68

Szczelinowe wody krążące w obrębie skał osadowych charakteryzują się jednostajnym składem z przewagą jonów  $\text{HCO}_3^-$  wśród anionów oraz  $\text{Ca}^{2+}$  nad  $\text{Mg}^{2+}$  wśród kationów (Kudowa, Szczawno). Skład ten jest podobny do określonego przez J.Jetela [115] tła hydrogeochemicznego całej czeskiej niziny kredowej.

Słabo zmineralizowane wody radocenne należą do wód starowiących tła, zwłaszcza w masywach krystalicznych, a spośród innych wód wyróżniają się tylko zawartością radonu; można tu więc określić tzw. tło cząstkowe - w tym przypadku radonowe. Dzięki archiwalnym wynikom badań radio- czynności zwykłych wód podziemnych na znacznych obszarach Sudetów można

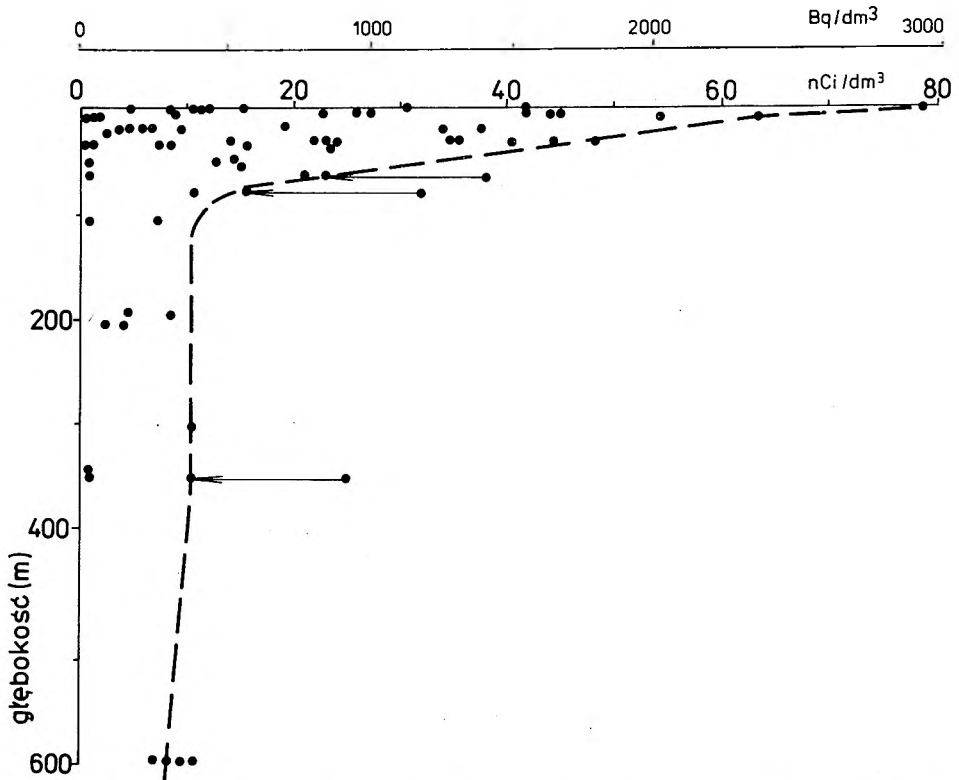


Rys. 5. Diagramy kumulacyjne zawartości radonu w zwykłych wodach podziemnych Sudetów (p. tab. 6): 1 - metamorfik Śnieżnika, 2 - metamorfik Gór Bystrzyckich i Orlickich, 3 - metamorfik Gór Izerskich; granit karkonoski, 4 - okolice Kowar, 5 - okolice Sosnówki, 6 - Cieplice Śl. Zdrój  
 Fig. 5. Cumulative diagrams of radon content in shallow Sudeten underground waters (see tab. 6): 1 - metamorphics of Śnieżnik, 2 - metamorphics of Bystrzyckie and Orlickie Mountains, 3 - metamorphics of Izer-skie Mountains; granite of Karkonosze Mountains, 4 - surrounding of Kowary, 5 - surrounding of Sosnówka, 6 - Cieplice Śl. Zdrój

określić takie tżo dla różnych jednostek (tab. 6 i rys. 5). Dane te świadczą o dużym zróżnicowaniu wartości tża radonowego w różnych jednostkach geologicznych oraz zgodności wyników w obrębie granitu karkonoskiego.

Wody o najwyższej radocyzności napotyka się na niedużych głębokościach. Na rysunku 5 wykresalnie przedstawiono ilość radonu w ujęciach Świeradowskich stwierdzoną na różnych głębokościach. Z wykresu wynika, że najwyższe zawartości radonu obniżają się do głębokości 70-80 m. wynikają one z podwyższonych wartości współczynnika emanacji skał w obrębie strefy szczelinowatości wietrzeniowej. Poniżej, do głębokości 600 m, maksymalne zawartości Rn nie przekraczają ok. 400 Bq. Punkty znajdujące się po prawej stronie przerywanej linii granicznej wyznaczone w trakcie próbnym pompowań przy najwyższych depresjach, w obrębie powstającego podczas leja depresji zwiększyła się możliwość uwolnienia się radonu ze skał przy zmniejszonym ciśnieniu lub doszło do wciągnięcia wód silnie radocyznych z wyższych poziomów.





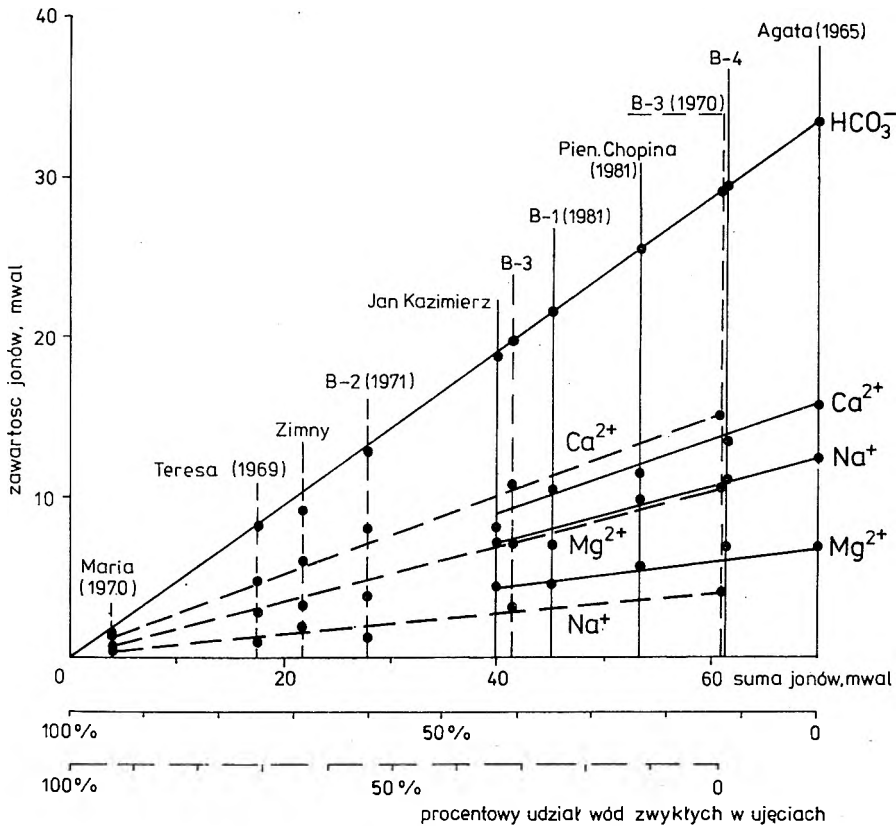
Rys. 6. Zawartość radonu w wodach podziemnych Świeradowa Zdroju na różnych głębokościach ich ujęcia; linia przerywana łączy najwyższe zawartości tego gazu stwierdzone na danych głębokościach  
 Fig. 6. Radon content in underground waters at their different depths in Świeradów Zdrój; dotted line joins the points at which the highest values of radon contents at given depths were stated

Podobnie jest w Łądku Zdroju. W źródłach stwierdzono radon w ilości do  $1540 \text{ Bq/dm}^3$ , podczas gdy na głębokościach 600–700 m jego ilość wynosi tylko  $15\text{--}180 \text{ Bq/dm}^3$  [24].

W zakończeniu należy zauważyć, że przedstawione wody zwykle tworzące lokalne tło hydrogeochemiczne mają bardzo małą mineralizację, wskutek czego większość z nich można zaliczyć do wód słodkich i ultrasłodkich (wg podziału Z. Pazdry [160]). Mineralizacja tych wód jest 5–10 razy mniejsza od wpływających w ich obrębie wód zmineralizowanych.

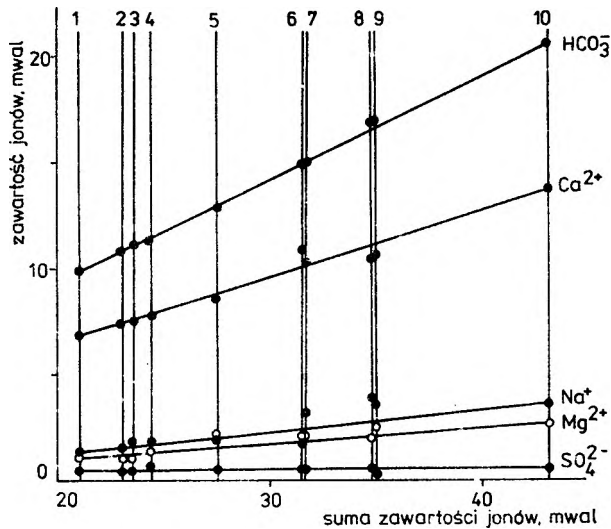
4.2. Zróżnicowanie składu chemicznego wód leczniczych w ujęciach  
jako efekt mieszania się z wodami zwykłymi

Wody lecznicze w każdej z miejscowości wypływają najczęściej w kilku ujęciach. Skład wód z poszczególnych ujęć wskazuje na pewne zróżnicowanie mineralizacji, natomiast typ wody pozostaje taki sam. Autor wysunął koncepcję, iż w ujęciach tych wypływają mieszaniny w różnych proporcjach wód leczniczych, uformowanych na dużych głębokościach oraz wód zwykłych, otaczających drogi przepływu tych pierwszych. Pogląd ten został udokumentowany przez autora w odniesieniu do wód termalnych Łącka Zdroju [22], w wypadku zaś innych uzdrowisk był zasygnalizowany w pracach [27], [40]. Do rozwiązania tego zagadnienia posłużono się metodą podaną przez Ogilviego (np. w [139]). Opiera się ona na stwierdzeniu, że



Rys. 7. Wykres Ogilviego obrazujący mieszanie się szczaw Dusznik Zdroju i Bobrownik Starych, z wodami zwykłymi, rok 1987: linie ciągłe - wody typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$ , linie przerywane - typ  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$

Fig. 7. Ogilvi diagram showing a mixing of acidulous springs from Duszniki Zdroju and Bobrowniki Stare with shallow waters in 1987: solid line - waters of  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$  type, broken line - waters of  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  type



Rys. 8. Zmienność rozcieńczenia wody ze źródła Józef I w Polanicy Zdroju w latach 1846-1987; lata wybrane: 1 - 1943, 2 - 1945, 3 - 1955, 4 - 1967, 5 - 1975, 6 - 1949, 7 - 1986, 8 - 1846, 9 - 1909, 10 - 1888  
 Fig. 8. Dilution variability of water from the Józef I spring in Polanica Zdrój during the period of 1846-1987; chosen years: 1 - 1943, 2 - 1945, 3 - 1955, 4 - 1967, 5 - 1975, 6 - 1949, 7 - 1986, 8 - 1846, 9 - 1909, 10 - 1888

jeżeli skład chemiczny danej wody powstaje w rezultacie mieszania się dwóch wód o różnej mineralizacji, to zależność między mineralizacją wody nowo powstającej a zawartością w niej każdego z jonów ma charakter liniowy. Jeżeli na osi odciętych zaznaczy się ogólną mineralizację w mwał, a na osi rzędnych zawartość poszczególnych jonów w mwał, to punkty oznaczające zawartość określonego jonu w wodach mieszających się i w wodzie powstałej w wyniku ich mieszania w różnych proporcjach powinny ułożyć się wzdłuż prostej lub blisko niej. Istniejące odchylenia punktów od prostej mogą być spowodowane zróżnicowaniem chemizmu wód rozcieńczających, dopływających z różnych kierunków, a także wynikać z niejednoczesnego wykonania analiz we wszystkich ujęciach.

Ilustracją tej metody jest wykres na rys. 7, na którym przedstawiono skład chemiczny obu typów szczaw wypływających w Dusznikach Zdroju i sąsiednich Bobrownikach Starzych. W poszczególnych ujęciach pojawiają się wody będące rezultatem mieszania się bardzo słabo zmineralizowanych wód (o mineralizacji kilku mwał/dm<sup>3</sup>) ze szczawami o najwyższej mineralizacji (60-70 mwał/dm<sup>3</sup>; ujęcia R-3 i Agata). Proces ten można określić ilościowo umieszczając pod wykresem skalę procentową. Założenie, że w danej miejscowości wody o najwyższej stwierdzonej mineralizacji odpowiadają składem wodom uformowanym w złożu nie zawierającym żadnych domieszek in-

nych wód ("czystym" wodom leczniczym) nie zawsze jest precyzyjne. Mimo to wnioski otrzymane z takiego wykresu uwidoczniają znaczny udział wód zwykłych w ujęciach, który w kwietniu 1987 r. wynosił w Dusznikach:

dla wód typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$

- ok. 12% w ujęciu B-4,
- ok. 24% w ujęciu Pieniawa Chopina,
- ok. 43% w ujęciu Jan Kazimierz,

oraz dla wód typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$

- ok. 31% w ujęciu B-3,
- ok. 63% w ujęciu Zimny.

Omawiany wykres wskazuje na prawidłowości dotyczące pewnego określonego stanu charakterystycznego dla chwili wykonania analiz. Proporcje mieszania się są jednak zmienne w czasie, co przykładowo zobrazowano na wykresie z rys. 8, prezentującym ujęcie o 140-letnim okresie badań. Uwzględniając takie zmienności, w tabeli 7 przedstawiono zbiorczo udział wód zwykłych w ujęciach sudeckich wód leczniczych. Jak widać, udział ten, określony tylko na podstawie danych chemicznych, jest nieraz znaczny. W przypadku wód termalnych, z powodu ich niskiej i zbliżonej mineralizacji, trudno mówić o zależnościach ilościowych, można natomiast uszeregować ujęcia (generalnie) o mineralizacji od najwyższej do najniższej:

Ciepllice Śl. Zdrój<sup>1</sup>:

C-2

- Nr 6 - Basenowe Męskie,
- Nr 5 - Basenowe Damskie,
- Nr 4 - Nowe,
- Nr 3 - Wacław,
- Nr 1 - Marysienka

Lądek Zdrój:

I-2

- Wojciech,
- Chrobry,
- Skłodowska-Curie,
- Dąbrówka,
- Jerzy,
- Stare.

Udział domieszek wód współczesnych w ujęciach Wacław i Marysienka w Cieplicach został wykazany też badaniami izotopowymi tryt,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ . Wyniósł on odpowiednio w roku 1972 ok. 50 i ok. 20%, a w roku 1983 ok. 35 i 0% [42], [54].

Reasumując możemy stwierdzić, iż w rejon poszczególnych miejscowości dopływają wcześniej uformowane wody zmineralizowane (lecznicze). Dążąc ku wypływowi na powierzchnię mieszają się one z płytszymi wodami zwykłymi lokalnego tła. W ujęciach pojawiają się więc mieszaniny obu tych wód w różnych, zmiennych w czasie proporcjach.

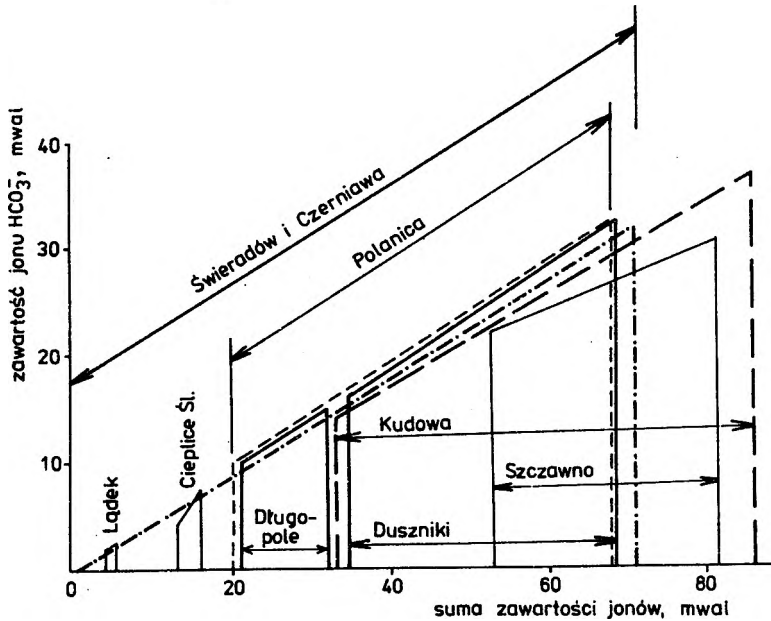
Na rysunku 9 zestawiono razem kontury pól utworzonych przez wykresy mieszania się wód leczniczych poszczególnych uzdrowisk sudeckich. W przypadku szczaw widoczna jest (z wyjątkiem wód Szczawna) podobna zależność. Nie uwzględniono źródła Sobieski, którego woda należy do odmiennego typu.

T a b e l a 7

## Procentowy udział wód zwykłych w ujęciach wód leczniczych

Miejscowość	Ujęcie	Okres badań	Liczba analiz	Mineralizacja wody		Procentowy udział wód zwykłych w ujęciach	
				max mg/dm <sup>3</sup>	min	w całym okresie badań	w ostatnich pięciu latach
1	2	3	4	5	6	7	8
Polanica Zdrój	P-300	1966-82	23	2739	2341	0-13	35 (1986 r.) 39-40 52-67 66-71
	Żelaziste	1966-86	3	2197	1584	18-42	
	Wielka Pieniawa	1905-87	32	1986	1568	28-43	
	Pieniawa Józefa I	1908-86	30	1445	915	48-67	
	Pieniawa Józefa II	1975-87	13	952	807	66-71	
Długopole Zdrój	Emilia	1883-87	30	1407	776	0-45	0-45
	Renata	1940-87	29	1370	967	2-30	7-18
	Kazimierz	1859-87	26	1347	749	3-47	3-34
Szczawina	S-1	1981	7	2124	668	0-76	68-71
	Studzienne	1937-87	21	533	380	68-75	
Duszniki Zdrój	typ HCO <sub>3</sub> -Ca-Na-(Mg)						
	Agata	1949-75	16	2957	1891	0-36	8-13 23-25 41-43 32-40 60 (1986 r.)
	B-4	1971-87	20	2807	2455	3-17	
	Pieniawa Chopina	1947-87	29	2270	2001	23-32	
	Jan Kazimierz	1947-87	28	1709	1150	41-60	
	typ HCO <sub>3</sub> -Ca-Mg						
	B-3	1970-87	25	2160	1465	12-40	
Zimny	1955-87	11	1109	891	55-65		

1	2	3	4	5	6	7	8
Kudowa Zdrój	K-200	1968-87	28	3534	3397	0-4	0-4
	Nr 2 (Moniuszko)	1966-87	36	3562	3153	0-14	0-5
	Śniadecki	1887-1973	23	3197	2848	12-22	
	Górne	1850-1972	10	2809	2274	22-36	
	Nr 3 (Marchlewski)	1966-87	33	1987	1132	41-68	41-48
Jeleniów	J-150	1969-87	33	1497	869	0-42	0-25
Szczawno Zdrój	typ HCO <sub>3</sub> -Na-Ca Mieszko	1881-1987	26	4308	2728	0-38	21-38
	typ HCO <sub>3</sub> -Na Nr 6		7	4740	4028	0-16	
	Młynarz	1941-87	26	2743	1770	42-62	41-54
	Marta	1941-87	26	2820	2049	40-58	48-58
	Dąbrówka	1940-87	26	2830	1073	40-77	49-60
Świeradów Zdrój	2P	1972	3	2245	1829	0-20	
	Zofia	1944-75	15	1115	851	53-64	
	1a	1975-87	16	865	619	62-73	72-73
	3a	1974-87	9	1450	135	37-90	
	Górne 1	1969-87	19	471	195	81-92	89-92
	Górne 2	1969-87	19	450	153	81-94	92-94
Czerniawa Zdrój	Nr 4	1972-87	21	3378	2615	0-25	11-25
	Jan	1928-84	23	2943	494	11-89	81-89



Rys. 9. Zakresy mieszania się wód leczniczych poszczególnych uzdrowisk sudeckich

Fig. 9. Mixing ranges of medicinal waters in particular Sudeten health resorts

ność pomiędzy zawartością jonu  $\text{HCO}_3^-$  (górne linie ograniczające) a mineralizacją. Najwyższą mineralizację osiągają wypływające w obrębie skał osadowych szczawy Kudowy i Szczawna. Największe zróżnicowanie w wielkości mineralizacji wód z różnych ujęć jednej miejscowości widoczne jest w przypadku szczawów Świeradowa i Czerniawy, nieco mniejsze Polanicy. Na uwagę zasługuje mała mineralizacja i słabe rozcieńczanie wód termalnych Łądka i Cieplic.

#### 4.3. Formowanie się niektórych wód zmineralizowanych w ujęciu regionalnym

Wody powstające w zbliżonych warunkach geologicznych - decydującą rolę odgrywa tu litologia skał i ewentualnie obecność dwutlenku węgla - charakteryzują się zbliżonym składem chemicznym. Tak więc w danej jednostce geologicznej może znajdować się wiele źródeł tego samego typu. Ilustracją tego mogą być szczawy rowu górnej Nysy Kłodzkiej i Gór Stołowych, formujące się w obrębie osadów górnej kredy.

Wody o najwyższej mineralizacji ze źródeł Polanicy Zdroju, Starego Wielisławia Dolnego, Szalejowa Górnego i Gorzanowa, pomimo że wyraźnie

zróznicowane, mają taki sam podstawowy skład jonowy (w % mwał) (rys. 10a i 11). Ponieważ zostały ujęte za pomocą odwiertów w dolnych ogniwach serii osadowej i ich skład nie ulega zmianie w trakcie próbnych eksploatacji w poszczególnych miejscowościach, jest bardzo prawdopodobne, iż w każdej z tych miejscowości mamy do czynienia z wodami na różnym etapie rozwoju (wzrostu) ich mineralizacji. Rozwój ten oraz rozcieńczanie wód z poszczególnych złóż zbiorczo zilustrowano na rys. 11. Niewielkie odchylenia w zawartości różnych jonów w wodach tych miejscowości wynikają zapewne z lokalnej zmienności litologicznej osadów.

W obrębie skał wypełniających rów Nysy napotyka się także szczawy zupełnie odmienne. Ostatnio J. Fistek i in. [86] poinformowali o szczawie nawierconej w Długopolu Dolnym (otwór 6R) a zawierającej jony jodkowe ( $0,2 \text{ mg/dm}^3$ ) i bromkowe ( $1,5 \text{ mg/dm}^3$ ) i stwierdzili, iż ich obecność wskazuje na udział wód reliktowych w formowaniu się chemizmu tych szczaw.

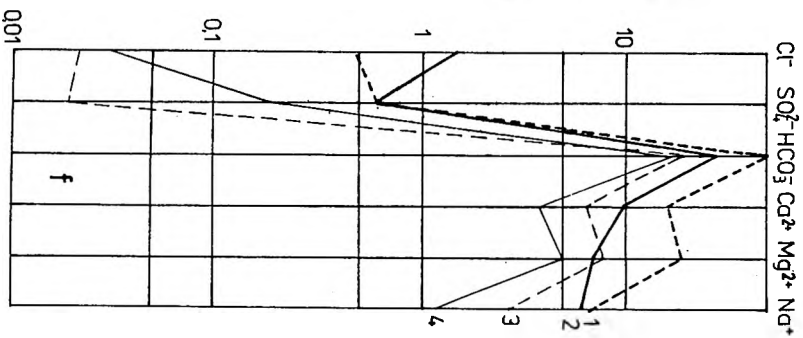
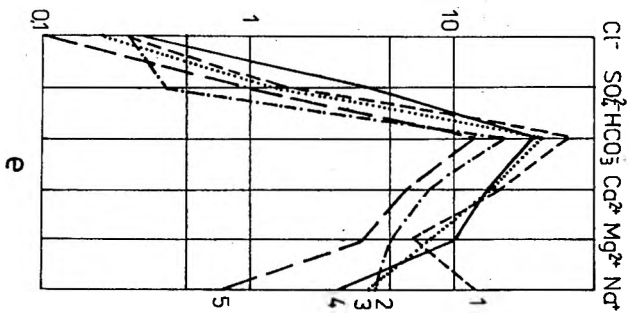
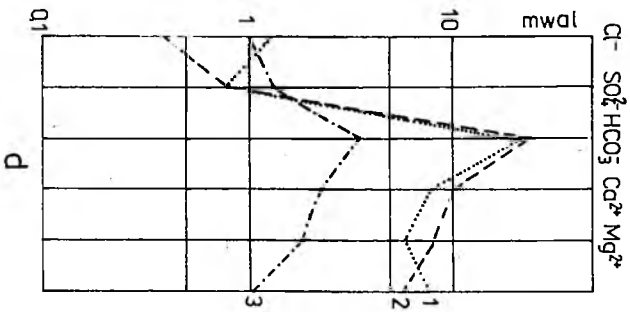
Nie jest to zjawisko odosobnione. Już na początku wieku podobne wody ujęto w Gorzanowie (odwiert Weberquelle, obecnie Nr 1 "Złota Kaczka"). Nie wykonano wówczas oznaczeń jonów  $\text{J}^-$  i  $\text{Br}^-$ , lecz podstawowy skład jonowy typu  $\text{HCO}_3\text{-(Cl)-Na}$  jest bardzo zbliżony do składu wód z otworu 6R; uwagę zwraca bardzo wysoka obecność jonu chlorkowego (rys. 10a). Wody te wskazują na istnienie stref wyjątkowo powolnej wymiany wód, rodzaju "kieszeni" w obrębie skał kredowych. Ponieważ obecnie eksploatowana woda z otworu Złota Kaczka ma już zupełnie inny typ chemiczny, wskazuje to, że udostępnienie otworem złoża spowodowało uruchomienie nowych systemów szczelinowych, a ten dodatkowy znaczny przepływ wód "wymył" zachowane tu wody reliktowe. Podobna sytuacja może wystąpić w przypadku rozpoczęcia eksploatacji w otworze 6R.

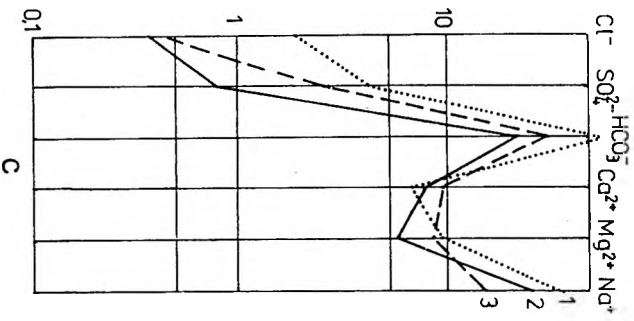
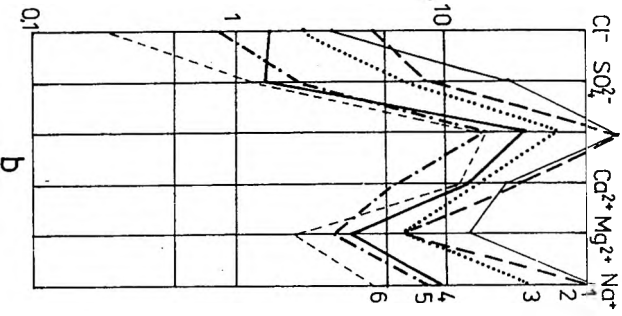
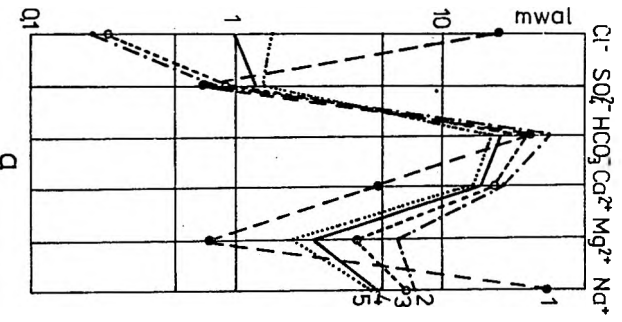
Ten odmienny typ wód znany jest z cenomańskich piaskowców czeskiej niecki kredowej. Wody ujęte w Poděbradach (gdzie wykorzystywane są do celów leczniczych) i w ich okolicy należą do typu  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$ , mają mineralizację  $2\text{-}5 \text{ g/dm}^3$  i zaliczone zostały przez J. Jetela [113] do dolnej części górnej strefy hydrogeochemicznej w obrębie niecki czeskiej. Prędkość ich przepływu wspomniany autor określa na kilka metrów na rok.

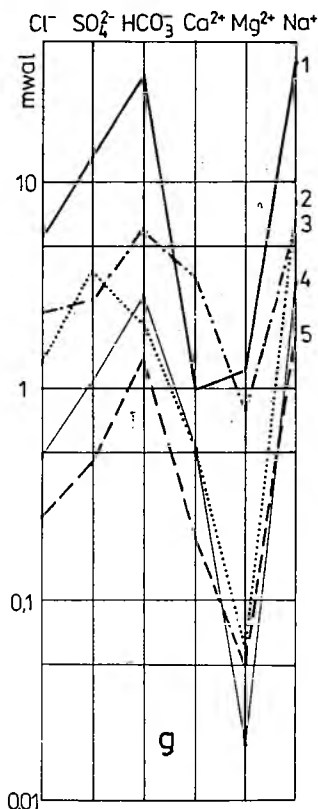
Obecność skał krystalicznych (granity, fyllity) w podłożu utworów kredowych obniżenia Kudowy oraz ich udział w formowaniu się tutejszych szczaw ma odbicie również w ich składzie jonowym (rys. 10b). Wśród kationów przewagę ma jon sodowy nad wapniowym; wyjątek stanowią wody Hronova i Třtic, gdzie przewaga ta nie występuje, gdyż krążenie ich zachodzi w obrębie samych skał osadowych. Należy zwrócić uwagę na zawartość jonu siarczanowego, którego udział wśród anionów wzrasta wraz ze wzrostem mineralizacji wód.

Z bardziej skomplikowaną sytuacją mamy do czynienia wśród szczaw okolic Wałbrzycha. Wyraźną zbieżność swego składu jonowego wskazują wo-





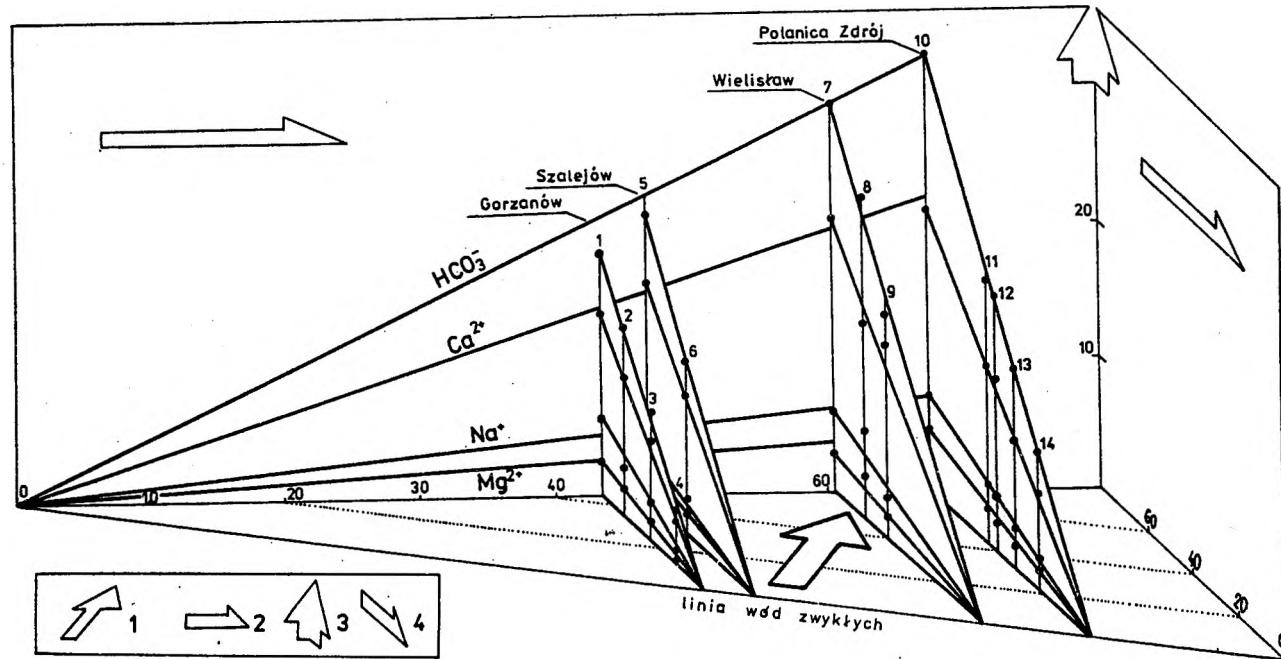




Rys. 10. Podstawowy skład jonowy wód c najwyższej mineralizacji z poszczególnych źródeł: a - szczawy rowu Nysy i Gór Stożowych: 1 - Gorzanów, Weberquelle (początek wieku), 2 - Polanica Zdrój, P-300 (1968), 3 - Stary Wielisław Dolny, Nr 3 (1977), 4 - Szalejów Górny (1958), 5 - Gorzanów, Nr 5 (1970); b - szczawy obniżenia Kudowy: 1 - Běloves, Hedva (1942), 2 - Kudowa Zdrój, P-6 (III 1983), 3 - Kudowa Zdrój, K-200 (1972), 6 - Trčice (1974); c - szczawy Szczawna Zdroju i Starych Bogaczowic: Szczawno Zdrój: 1 - Nr 6 (1976), 2 - Mieszko (1987), Stare Bogaczowice, Anna (1968); d - szczawy Jedliny Zdroju i okolic: 1 - kopalnia Thorez, 11W (1978), Jedlina Zdrój: 2 - J-600 (1969), 3 - J-300 (1965, początek pompowania); e - szczawy metamorfiku Gór Bystrzyckich i Orlickich: typ  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$ : 1 - Duszniki Zdrój, Agata (1965), typ  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ : 2 - Długopole Zdrój, Emilia (1987), 3 - Duszniki Zdrój, B-3 (1970), 4 - Szczawina, S-1 (1981), 5 - Bobrowniki Stare, Teresa (1968); f - szczawy metamorfiku Gór Izerskich: 1 - Czerniawa Zdrój, Nr 4 (1972), 2 - Świeradów Zdrój, 2P (1972), 3 - Lázně Libverda, S-1 (1954), 4 - Nové Město pod Smrkem (1972); g - wody termalne: 1 - kopalnia Turów, chodnik IX p (1982), Cieplice Śl. Zdrój: 2 - C-2 (1987), 3 - Sobieski (1963), 4 - Velké Losiny, Eliška (1974), 5 - Łádek Zdrój, L-2 (1987)

Fig. 10. Basic ion composition of waters characterized by the highest degree of mineralization in particular deposits: a - acidulous springs of the Nysa graben and Stożowe Mountains: 1 - Gorzanów, Weberquelle (beginning of the century), 2 - Polanica Zdrój, P-300

(1968), 3 - Stary Wielisław Dolny, No. 3 (1977), 4 - Szalejów Górny (1958), 5 - Gorzanów, No. 5 (1970); b - acidulous springs of the Kudowa syncline: 1 - Běloves, Hedva (1942), 2 - Kudowa Zdrój, P-6 (III 1983), 3 - Kudowa Zdrój, K-200 (1972), 6 - Trčice (1974); c - acidulous springs in Szczawno Zdrój and Bogaczowice Stare, Szczawno Zdrój: 1 - No. 6 (1976), 2 - Mieszko (1987), Stare Bogaczowice, Anna (1968); d - acidulous springs in Jedlina Zdrój and in the surroundings: 1 - Thorez mine, 11W (1978), Jedlina Zdrój: 2 - J-600 (1969), 3 - J-300 (1965, beginning of pumping); e - acidulous springs in metamorphics in Bystrzyckie and Orlickie Mountains,  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$  type: 1 - Duszniki Zdrój, Agata spring (1965),  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  type: 2 - Długopole Zdrój, Emilia spring (1987), 3 - Duszniki Zdrój, B-3 spring (1979), 4 - Szczawina, S-1 spring (1981), 5 - Bobrowniki Stare, Teresa spring (1968); f - acidulous waters of metamorphics of Izerskie Mountains: 1 - Czerniawa Zdrój, spring No. 4 (1972), 2 - Świeradów Zdrój, 2P spring (1972), 3 - Lázně Libverda, S-1 (1954), 4 - Nové Město pod Smrkem (1972); g - thermal waters: 1 - Turów mine, mine road IX p (1982), Cieplice Śl. Zdrój: 2 - C-2 spring (1987), 3 - Sobieski spring (1963), 4 - Velké Losiny, Eliška spring (1974), 5 - Łádek Zdrój, L-2 spring (1987)



Rys. 11. Rozwój mineralizacji oraz rozcieńczenie szczaw rowu Nysy i Gór Stożowych: 1 - mineralizacja wód, 2 - rozwój mineralizacji szczaw, 3 - zawartość poszczególnych jonów, 4 - rozcieńczenie szczaw (wszystkie wartości w  $\text{mval/dm}^3$ ); analizy wód (ujęcie i rok): Gorzanów: 1 - Nr 5a, 1981, 2 - Nr 6, 1987, 3 - Nr 3, 1977, 4 - Nr 1 (Złota Kaczka), 1977; Szalejów Górny: 5 - 1958, 6 - 1977; Stary Wielisław Dolny: 7 - nr 3, 1977, 8 - nr 4, 1987, 9 - nr 3, 1982; Polanica Zdrój: 10 - P-300, 1968, 11 - Żelaziste, 1986, 12 - Wielka Pieniawa, 1986, 13 - Pieniawa Józefa I, 1985, 14 - Pieniawa Józefa II, 1986

Fig. 11. Mineralization and dilution of acidulous springs in the Nysa graben and Stożowe Mountains: 1 - mineralization of waters, 2 - evolution of acidulous spring mineralization, 3 - content of particular ions, 4 - dilution of acidulous springs (all the values in  $\text{mval/dm}^3$ ); water analyses (intake and the year): Gorzanów: 1 - No. 5a, 1981, 2 - No. 6, 1987, 3 - No. 3, 1977, 4 - No. 1 (Złota Kaczka), 1977; Szalejów Górny: 5 - 1958, 6 - 1977; Stary Wielisław Dolny: 7 - No. 3, 1977, 8 - No. 4, 1987, 9 - No. 3, 1982; Polanica Zdrój: 10 - P-300, 1968, 11 - Żelaziste, 1986, 12 - Wielka Pieniawa, 1986, 13 - Pieniawa Józefa I, 1985, 14 - Pieniawa Józefa II, 1986

dy Szczawna Zdroju i Starych Bogaczowic formujące się w osadach kulmu (rys. 10c). Szczawy występujące w kopalniach węgla kamiennego oraz w Jedlinie Zdroju można natomiast podzielić na dwie grupy:

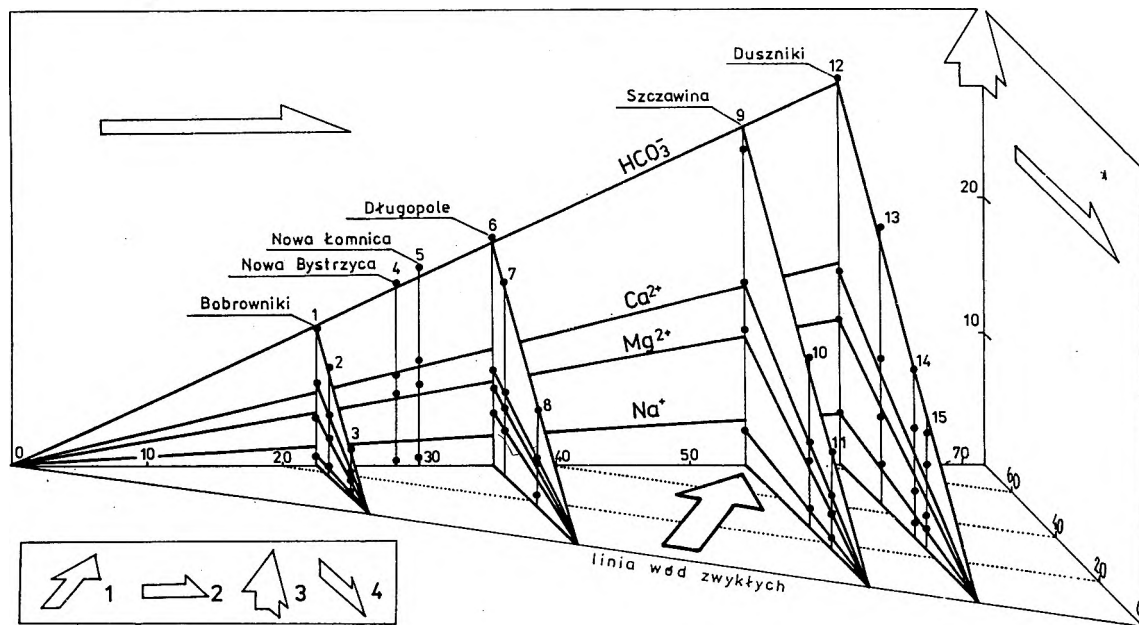
- typ  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg-Na}$ , którym charakteryzują się wody kopalni Thorez (11 W), kopalni Victoria (poz. -50) oraz otworów J-300 (początek pompowania) i J-600 w Jedlinie; wszystkie one wypływają z porfirów bądź na kontakcie z nimi (rys. 10d),

- typ  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca=Na-Mg}$ , który mają wody kopalni Thorez (poz. -350), kopalni Victoria (poz. -50, tzw. analiza nr 9) oraz z otworu J-300 (koniec pompowania), a który charakterystyczny jest dla wód zrobień kopalnianych, często zawierających azotany.

Pojawiające się w 6 złożach szczawy typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  metamorfiku Gór Bystrzyckich mają jednakowy skład jonowy. Ich tworzenie się w obrębie paragnejsów i łupków łyszczykowych ma odzwiedlenie w przewodzie jonu magnezowego nad sodowym wśród kationów (rys. 10e). Wody poszczególnych wystąpień również ulegają rozcieńczeniu, co przedstawiono na kolejnym zbiorczym wykresie (rys. 12). Nie można mieć jednak pewności, czy analizy nr 1, 4-6, 9 i 12 z tego rysunku przedstawiają składy wód o najwyższej mineralizacji w danym złożu. Wątpliwości takie uzasadnia fakt, iż tworzące się w podobnych warunkach geologicznych szczawy Gór Izerskich osiągnęły znacznie wyższą mineralizację niż stwierdzona w wodzie o najwyższej mineralizacji Gór Bystrzyckich (otwór B-3 w Dusznikach), zawierającej dodatkową znaczną ilość trytu, a także sytuacja zaistniała w Szczawinie. Eksploatowane tu było (i jest nadal) ujęcie szczawy o stałej mineralizacji, ok. 0,5 g/dm<sup>3</sup>. W wykonanym w 1981 r. otworze S-1 [142] w trakcie próbnego pompowania uzyskano wodę o mineralizacji aż 4-krotnie wyższej, tak więc istniejący dotąd układ, mimo że ustalony od lat, dostarcza wodę znacznie rozcieńczoną.

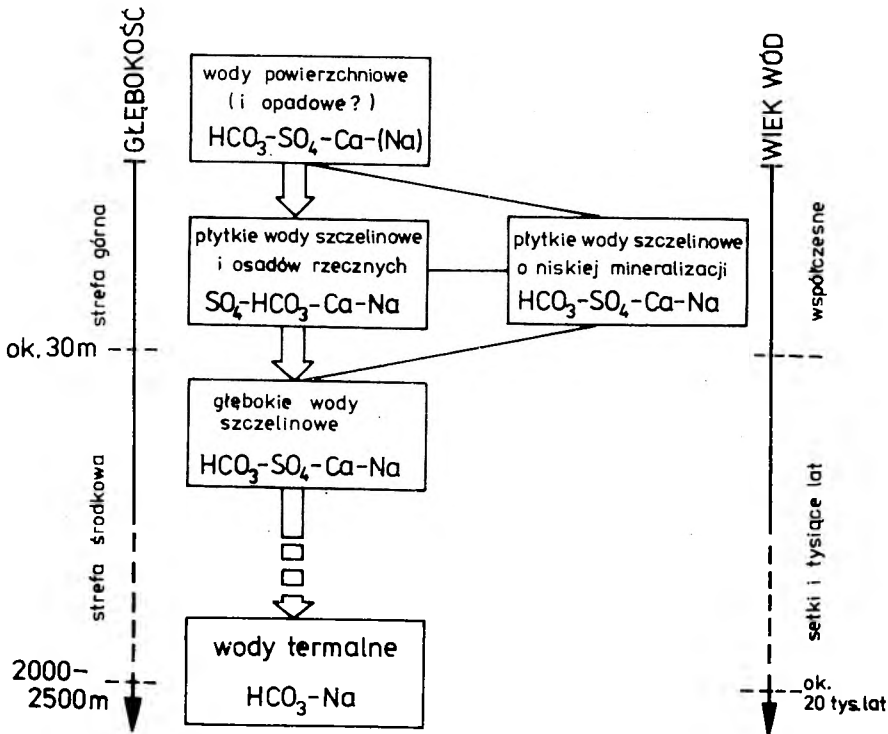
Podobnym typem charakteryzują się szczawy metamorfiku Gór Izerskich, gdzie rola serii łupkowej, miejscami bardzo wzbogaconej w biotyt, wyraźnie odzwierciedla się wzrostem ilości jonu magnezowego (rys. 10f). W wodach Świeradowa, mających swe wypływy w obrębie gnejsów, zauważalna jest mniejsza ilość jonu  $\text{Mg}^{2+}$ .

Szczawy Gór Bystrzyckich i Gór Izerskich mają swoje analogi w innych rejonach masywu czeskiego. Pierwszym odpowiadają wody Kralovej Studánki (paragnejsy metamorfiku Hrubego Jesenika w Sudetach wschodnich) oraz wody Mariańskich Łaźni (Antoníčkov) i okolicznych miejscowości (Lázně Kynžvart, Poustka i in.), drugim zaś szczawy ze źródła Rudolf (stary) również w Mariańskich Łaźniach oraz w Dolnim Kramolinie, wszystkie w paragnejsach i amfibolitach Slavkovskiego Lasu.



Rys. 12. Rozwój mineralizacji (?) oraz rozcieńczenie szczaw typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  Gór Bystrzyckich: 1 - mineralizacja wód, 2 - rozwój mineralizacji (?) szczaw, 3 - zawartość poszczególnych jonów, 4 - rozcieńczenie szczaw (wszystkie wartości w  $\text{mval/dm}^3$ ); analizy wód (ujęcie i rok): Bobrowniki Stare: 1 - Teresa, 1968, 2 - Teresa, 1969, 3 - Maria, 1966; Nowa Bystrzyca: 4 - 1958; Nowa Łomnica: 5 - 1958; Długopole Zdrój: 6 - Emilia, 1987, 7 - Renata, 1986, 8 - Kazimierz, 1987; Szczawina: 9 - S-1, 1981, 10 - S-1, 1983, 11 - Studzienne, 1985; Duszniki Zdrój: 12 - B-3, 1970, 13 - B-3, 1987, 14 - B-2, 1971, 15 - Zimne, 1987

Fig. 12. Evolution of mineralization (?) and dilution of acidulous springs of  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  type in Bystrzyckie Mountains: 1 - mineralization of waters, 2 - evolution of mineralization (?) of acidulous springs, 3 - contents of particular ions, 4 - dilution of acidulous springs (all the values in  $\text{mval/dm}^3$ ); water analyses (intake and the year): Bobrowniki Stare: 1 - Teresa, 1968, 2 - Teresa, 1969, 3 - Maria, 1966; Nowa Bystrzyca: 4 - 1958; Nowa Łomnica: 5 - 1958; Długopole Zdrój: 6 - Emilia, 1987, 7 - Renata, 1986, 8 - Kazimierz, 1987; Szczawina: 9 - S-1, 1981, 10 - S-1, 1983, 11 - Studzienne, 1985; Duszniki Zdrój: 12 - B-3, 1970, 13 - B-3, 1987, 14 - B-2, 1971, 15 - Zimne, 1987

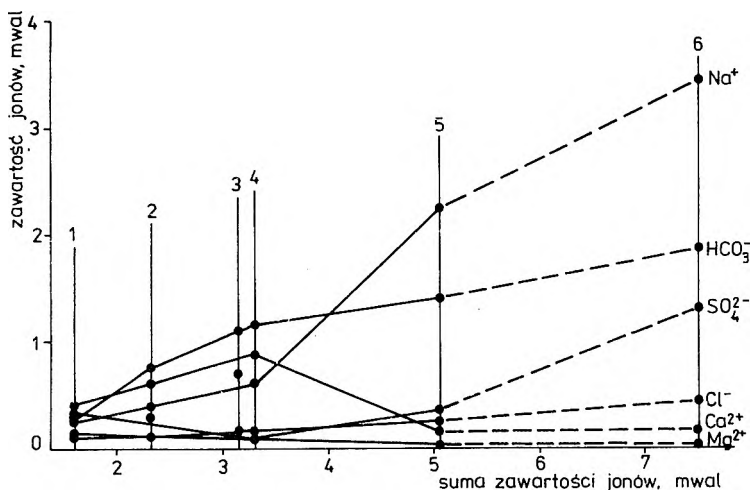


Rys. 13. Schemat pionowej strefowości hydrogeochemicznej w obrębie gnejsów metamorfiku śnieżnickiego (wg [26])  
 Fig. 13. Altitudinal hydrogeochemical zonation within gneisses of the Śnieżnik metamorphics (according to [26])

W przypadku wód termalnych ewolucję składu chemicznego można określić dla wód krążących w skałach metamorfiku śnieżnickiego. Pionowa strefowość w obrębie gnejsów odbiega całkowicie od strefowości w obrębie zbiorników zbudowanych ze skał osadowych. Wyniki wierceń na terenie Łądka Zdroju pozwalają na przedstawienie odpowiedniego schematu (rys. 13), według którego następuje tworzenie się słabo zmineralizowanych miejscowych wód termalnych typu HCO<sub>3</sub>-F-Na. W podobny sposób (rys. 14) powstają wody Wielkich Łosin w obrębie gnejsów sąsiedniego metamorfiku Hrubego Jesenika.

Podobnym typem (rys. 10g) charakteryzują się także wody termalne wpływające w kopalni Turów, a także wody z ujęcia Sobieski w Cieplicach (oba wystąpienia w obrębie granitów). W masywie czeskim podobne wody spotyka się również w Teplicach (porfiry).

Zupełnie odmienny typ (przewaga jonu SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> wód anionów) mają wody termalne Cieplic Śl. Zdroju (granity, otwór C-2 na rys. 9g). Ich skład jonowy jest nietypowy dla wód termalnych wpływających w obrębie skał



Rys. 14. Zmiana składu chemicznego wód w obrębie gnejsów (wg [26]); wyniki analiz chemicznych wód zwykłych Łądek Zdroju: 1 - ze źródła Jadwiga, z różnych głębokości odwiertu L-1, 2 - 80 m, 3 - 480 m, 4 - 600 m; wód termalnych: 5 - z odwiertu L-2 w Łądku, 6 - ze źródła Eliška w Velkých Losinach

Fig. 14. Changes in chemical composition of waters within gneisses (according to [26]); results of chemical analysis of both shallow waters from Łądek Zdroj: 1 - Jadwiga spring at different depths of L-1 well, 2 - 80 m, 3 - 480 m, 4 - 600 m, and thermal waters: 5 - L-2 well in Łądek, 6 - Eliška spring in Velké Losiny

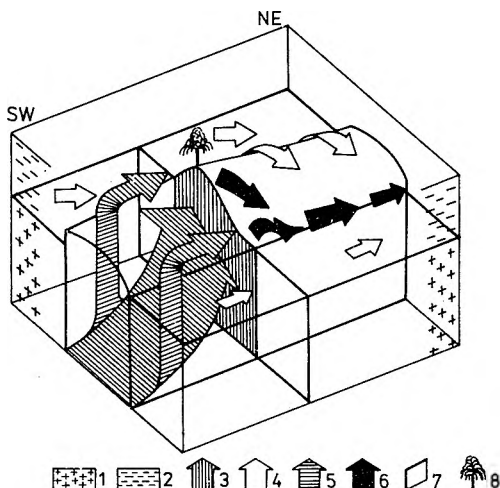
krystalicznych. W dostępnej literaturze - przy założeniu nieobecności składników juvenilnych - nie napotkano wód podobnego typu hydrochemicznego w zbliżonych do cieplickich warunkach geologicznych. Dalsze badania, zwłaszcza izotopowe, powinny wyjaśnić ich genezę.

#### 4.4. Anomalie hydrogeochemiczne

Pojawieniu się w wypływach na powierzchni głębokich wód o specyficznym składzie często towarzyszy powstanie naturalnych, epigenetycznych anomalii hydrogeochemicznych w obrębie jednolitego tła wód zwykłych. Anomalie te charakteryzują się pewną strefowością (zarówno poziomą jak i pionową) typów: od wód zmineralizowanych, przez typy pośrednie do typu wód tła. Rozpoznanie ich było możliwe dzięki licznym wierceniom wykonanym w niektórych miejscowościach uzdrowiskowych.

Ogólnie można stwierdzić, że wody lecznicze charakteryzują się skupionym wpływem ku powierzchni, co powoduje, że powstające anomalie nie mają dużych rozmiarów, ograniczają się do terenów uzdrowiskowych. Bardzo wyraźne anomalie towarzyszą wypływom wód termalnych Łądek Zdroju i





Rys. 15. Schemat tworzenia się anomalii hydrogeochemicznej Cieplic Śl. Zdroju (wg [36]): 1 - granit, 2 - utwory czwartorzędowe, 3 - wody termalne typu  $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na}$ , 4 - wody zwykłe typu  $\text{SO}_4\text{-(HCO}_3\text{)-(Cl)-Ca-(Mg)-(Na)}$  lub  $\text{HCO}_3\text{-(SO}_4\text{)-(Cl)-Ca-(Na)-(Mg)}$ , 5 - wody głębszego krążenia typu  $\text{HCO}_3\text{-(SO}_4\text{)-Na-Ca}$ , 6 - wody mieszane typu  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-(Cl)-Na-(Ca)}$ , 7 - strefy uskokowe, 8 - źródła wód termalnych

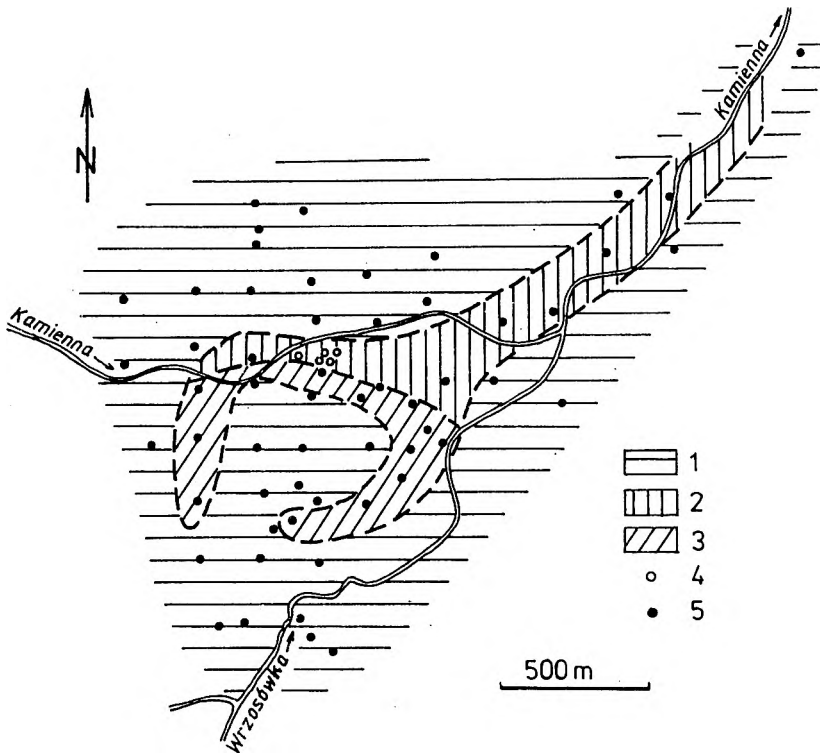
Fig. 15. Scheme of formation of hydrogeochemical anomaly of Cieplice Śl. (according to [36]): 1 - granite, 2 Quaternary deposits, 3 - thermal waters of  $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na}$  type, 4 - shallow waters of  $\text{SO}_4\text{-(HCO}_3\text{)-(Cl)-Ca-(Mg)-(Na)}$  or  $\text{HCO}_3\text{-(SO}_4\text{)-(Cl)-Ca-(Na)-(Mg)}$  type, 5 - deeply circulating waters of  $\text{HCO}_3\text{-(SO}_4\text{)-Na-Ca}$  type, 6 - mixed waters of  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-(Cl)-Na-(Ca)}$  type, 7 - zones of faults, 8 - springs of thermal waters

Cieplic Śl. Zdroju. Mniej ostrą tworzą szczawy Świeradowa. Prace wiertnicze w Szczawnie Zdroju wykazały natomiast, iż wypływy szczaw ograniczają się tylko do czynnych ujęć (na 15 wykonanych otworów tylko w 2 stwierdzono przejawy szczaw).

1. Cieplice Śląskie Zdrój. Istniejącą tu anomalię przedstawiono w pracy [36]. Skład płytkich wód zwykłych stanowiących tło hydrochemiczne tego obszaru (tab. 5) należy do typów  $\text{SO}_4\text{-(HCO}_3\text{)-(Cl)-Ca-(Mg)-(Na)}$  względnie  $\text{HCO}_3\text{-(SO}_4\text{)-(Cl)-Ca-(Na)-(Mg)}$ . W obrębie wód tła znajdują się trzy inne typy:

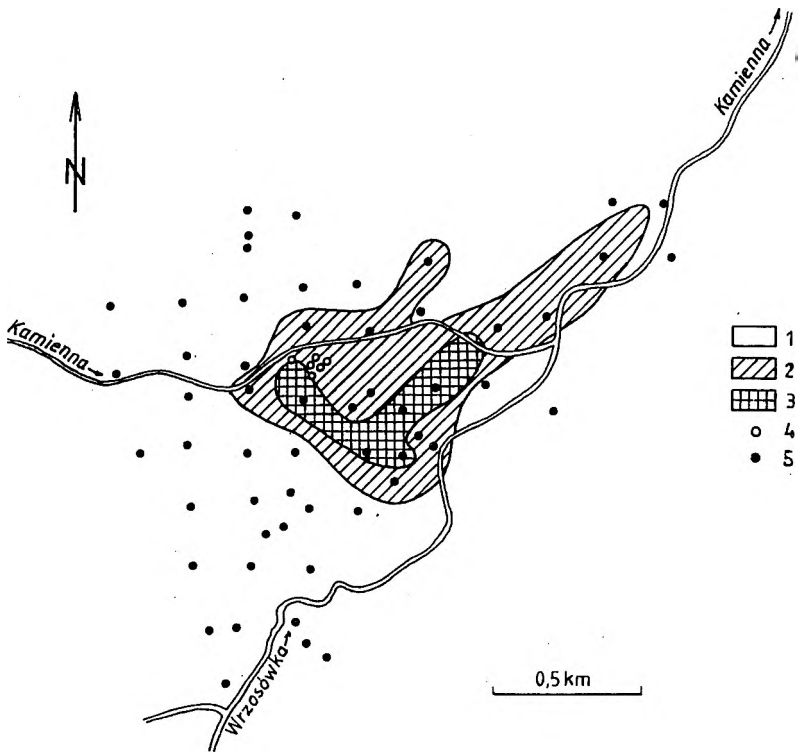
- |  |  |
|--|--|
| $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na}$           | - wody termalne,                                       |
| $\text{HCO}_3\text{-(SO}_4\text{)-Na-Ca}$      | - do których należą m.in. wody ze źródła Sobieski oraz |
| $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-(Cl)-Na-(Ca)}$ | - powstałe wskutek mieszania się dwu poprzednich.      |

Jak zatem wygląda mechanizm powstawania anomalii? Wody termalne o dalekim i głębokim krążeniu wypływają ku powierzchni strefą uskokową, a ściślej jej częścią w obrębie granitowego zrębu, tworząc linię źródłową,



Rys. 16. Mapa hydrochemiczna obszaru Cieplice Śl. Zdroju (wg [36]); typy wód: 1 -  $\text{SO}_4\text{-(HCO}_3\text{)-(Cl)-Ca-(Mg)}$  oraz  $\text{HCO}_3\text{-(SO}_4\text{)-(Cl)-Ca-Na-(Mg)}$ , 2 -  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-(Cl)-Na-(Ca)}$ , 3 -  $\text{HCO}_3\text{-(SO}_4\text{)-Na-Ca}$ , 4 -  $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na}$  (źródła wód termalnych oprócz źródła Sobieski); 5 - otwory wiertnicze  
 Fig. 16. Hydrochemical map of Cieplice Śl. Zdrój (according to [36]): water types: 1 -  $\text{SO}_4\text{-(HCO}_3\text{)-(Cl)-Ca-(Mg)}$  and  $\text{HCO}_3\text{-(SO}_4\text{)-(Cl)-Ca-Na-(Mg)}$ , 2 -  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-(Cl)-Na-(Ca)}$ , 3 -  $\text{HCO}_3\text{-(SO}_4\text{)-Na-Ca}$ , 4 -  $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na}$  (springs of thermal waters excluding the Sobieski spring); 5 - wells

która jest przykryta osadami czwartorzędowymi (rys. 15). Wpływy na powierzchnię mają miejsce tam, gdzie miąższość osadów jest najmniejsza. Wypływające ze strefy uskoku wody termalne spływając ku północnemu-wschodowi po granitowym grzbiecie mieszają się z wodami typu  $\text{HCO}_3\text{-(SO}_4\text{)-Na-Ca}$ , które należą także do wód głębszego krążenia, dopływają do Cieplic od strony południowo-zachodniej i od tej też strony ograniczają wody termalne. Mieszając się ze sobą tworzą kolejny typ  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-(Cl)-Na-(Ca)}$ ; wody tego typu spływają ku północnemu-wschodowi południowym zboczem zrębu, tworząc ograniczony strumień. Tu są spychane przez napływające od zachodu wody zwykłe, a do ich rozprzestrzenienia się ku wschodowi nie dopuszczają również zwykłe wody płynące od południowo-zachodu.

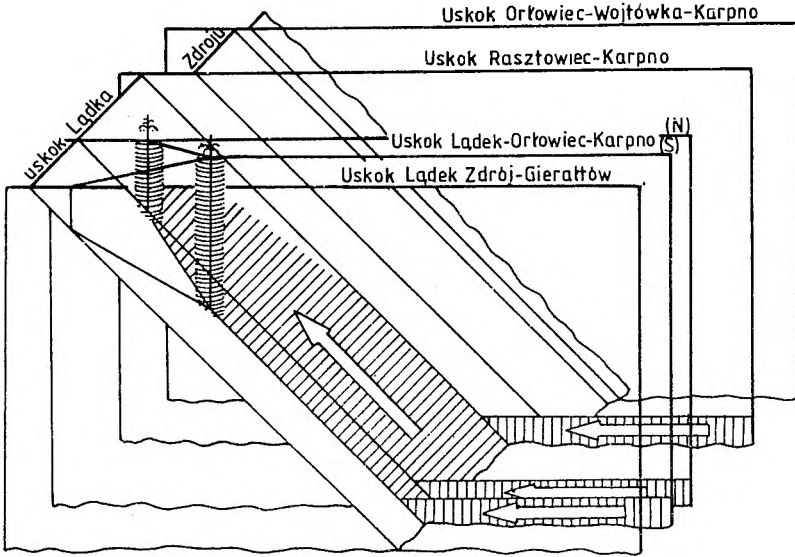


Rys. 17. Mapka koncentracji sodu w wodach zwykłych Ciepliec Śl. Zdroju (wg [36]); obszary występowania wód zawierających jon  $\text{Na}^+$  w ilości (w  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ): 1 - 0-50, 2 - 50-100, 3 - > 100, 4 - źródła wód termalnych, 5 - otwory wiertnicze

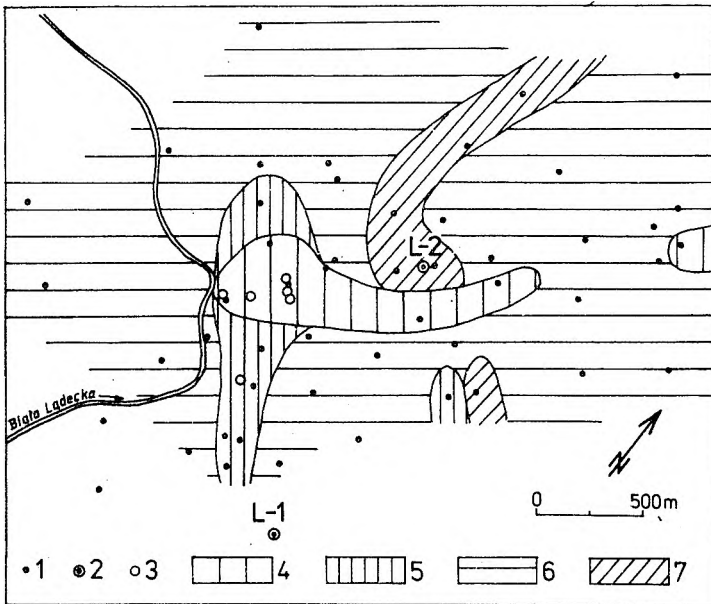
Fig. 17. Map of sodium concentration in shallow waters in Cieplice Śl. Zdrój (according to [36]); areas on which waters containing different concentrations of  $\text{Na}^+$  ion (in  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) occur: 1 - 0-50, 2 - 50-100, 3 - >100, 4 - springs of thermal waters, 5 - wells

Z tego też powodu w miarę przepływu ku północnemu-wschodowi wody omawianego typu zmniejszają swoją mineralizację mieszając się z wodami zwykłymi. Opisane tu procesy powodują istnienie pewnej strefowości typów chemicznych wód (rys. 16) i wynikającej z niej anomalii zawartości w wodach sodu (rys. 17), wodorowęglanów, fluoru itp.

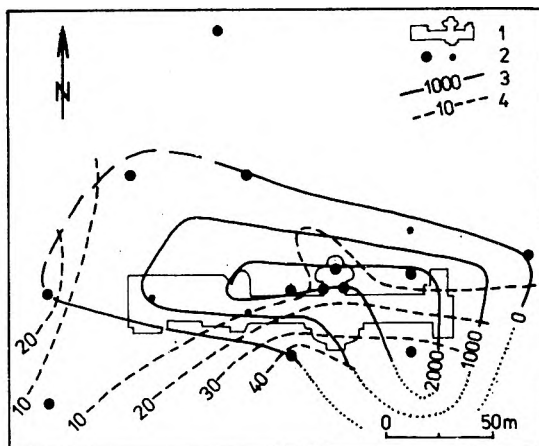
2. Wody termalne wypływające w Łądku Zdroju mają również skoncentrowany dopływ z większych głębokości (rys. 18). Stwierdzono tu pewne następstwo typów wód zarówno w rozprzestrzenianiu poziomym (rys. 19), jak i pionowym. Strefowość typów w porządku ku powierzchni lub od źródeł na zewnątrz można przedstawić następująco:  $\text{HCO}_3\text{-F-Na}$ ;  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$ ;



Rys. 18. Schemat dróg przepływu wód termalnych wypływających na terenie Łądko Zdroju (wg [24])  
 Fig. 18. Scheme of flow of thermal waters effusing in Łądek Zdrój (according to [24])



Rys. 19. Mapa hydrochemiczna obszaru Łądek Zdrój (wg [24]), otwory wiertnicze: 1 - płytkie, 2 - głębokie; typy wód: 3 -  $\text{HCO}_3\text{-F-Na}$  (wody termalne), 4 -  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$ , 5 -  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na-Ca}$ , 6 -  $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca-Na}$ , 7 -  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Na}$   
 Fig. 19. Hydrochemical map of Łądek Zdrój (according to [24]), 1 - shallow wells, 2 - deep wells; water types: 3 -  $\text{HCO}_3\text{-F-Na}$  (thermal waters), 4 -  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$ , 5 -  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na-Ca}$ , 6 -  $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca-Na}$ , 7 -  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Na}$



Rys. 20. Rozkład zawartości dwutlenku węgla oraz radonu w wodach ujęć centrum Świeradowa Zdroju: 1 - obrys Domu Zdrojowego, 2 - źródła i otwory wiertnicze oraz źródła nie wykorzystywane; izoliny zawartości: 3 -  $\text{CO}_2$  ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ), 4 - Rn ( $\text{nCi}/\text{dm}^3$ )

Fig. 20. Distribution of carbon dioxide and radon concentrations in intake water in the Świeradów Zdrój centre: 1 - contour of spring house, 2 - springs, wells and not utilized springs, 3 - isoline of  $\text{CO}_2$  content ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ), 4 - isoline of Rn content ( $\text{nCi}/\text{dm}^3$ )

$\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na-Ca}$ ;  $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-(Cl)-Ca-Na-(Mg)}$ . Pierwszym z typów charakteryzują się tujejsze wody termalne, ostatnim zaś wody tła. Istnienie dwu środkowych typów jest rezultatem mieszania się wód typu pierwszego i ostatniego. Szerzej anomalia ta scharakteryzowana została w pracach [22], [24].

3. Z ciekawą sytuacją mamy do czynienia w przypadku szczaw Świeradowa Zdroju. Wody typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  wypływając w ujęciach różnią się tylko wartością mineralizacji wynikającą z rozcieńczenia wodami bardzo słabo zmineralizowanymi - nie ma tu więc zróżnicowania typów. Na terenie uzdrowiska istnieją natomiast skomplikowane zależności hydrauliczne pomiędzy różnymi ujęciami, a w trakcie prowadzenia pompowań w ujęciach wierconych pojawiają się różne wody - szczawy lub słabo zmineralizowane wody radoczynne. Świadczy to o istnieniu w obrębie gnejsów przenikających się szczelinowych systemów prowadzących różne wody. Interesujących informacji dostarczają natomiast rozkłady zawartości dwutlenku węgla oraz radonu w ujęciach rejonu Domu Zdrojowego (rys. 20). Rozkład dwutlenku węgla wskazuje na skupiony jego dopływ z podłoża, rozkład zaś radonu świadczy o dopływie silnie radoczynnych wód w rejon głównych ujęć tego uzdrowiska od południa, zgodnie z nachyleniem zbocza.

## 5. SKŁAD IZOTOPOWY

Początek badań izotopowych sudeckich wód leczniczych sięga przełomu lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych, a rozpoczął je J. Dowgiałko. Pierwsze oznaczenia dotyczyły trwałych izotopów tlenu i wodoru wód Łądka, Cieplic, Polanicy i potwierdziły przypuszczenia o ich infiltracyjnym pochodzeniu [53]. W badaniach następnych, z 1972 r. [63], Dowgiałko określił zawartość w wodach termalnych trytu oraz radiowęgla, wskazując na ich znaczny wiek (w większości przypadków kilkanaście tysięcy lat). Od 1983 r. badania takie podjął autor.

### 5.1. Skład izotopowy zwykłych wód podziemnych jako tło dla wód leczniczych

#### 5.1.1. Stabilne izotopy tlenu i wodoru

Znaczniki, jakimi są stabilne (trwałe) izotopy tlenu i wodoru należące do tzw. znaczników środowiskowych, zaliczyć można do grupy najbardziej zachowawczych stosowanych w hydrogeologii. W badaniach tych wykorzystuje się fakt, iż tlen i wodór mają po trzy naturalne izotopy:  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$  oraz  $^1\text{H}$  (prot),  $^2\text{H}$  (deuter, D) i  $^3\text{H}$  (tryt, T), z których tylko tryt nie jest stabilny. Izotopy te tworzą cztery podstawowe postaci wody:  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{17}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  i  $\text{HD}^{16}\text{O}$ , które w wodzie morskiej mają się do siebie odpowiednio jak 10<sup>6</sup>:2000:420:316. Skład taki przyjęty został jako skład wody wzorcowej, tzw. średniej wody oceanicznej SMOW (Standard Mean Ocean Waters). Zawartość izotopów stabilnych w dowolnych wodach przedstawia się w postaci delty ( $\delta$ ) i wyraża w promilach. Symbolem  $\delta$  określa się względne odchylenie zawartości cięższego izotopu w próbce od jego zawartości w SMOW i definiuje się jako (w ‰):

$$\delta = \frac{\alpha_{\text{próbki}} - \alpha_{\text{wzorca}}}{\alpha_{\text{wzorca}}} \cdot 1000$$

gdzie:

- $\alpha_{\text{próbki}}$  - stosunek zawartości izotopów ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ , D/H) w próbce,
- $\alpha_{\text{wzorca}}$  - stosunek zawartości tych izotopów we wzorcu SMOW.

Ten rodzaj badań przedstawił w literaturze polskiej J. Dowgiałko [52] i ostatnio szerzej A. Zuber [199], natomiast w zakresie samego cy-

klu atmosferycznego K. Różański [171]. Podstawową pracą w tym zakresie jest monografia pod redakcją J.R. Gata i R. Gonfiantiniego [178].

Wody znajdujące się w różnych stadiach cyklu hydrologicznego (ocean - para wodna - opady atmosferyczne - wody powierzchniowe - wody podziemne - spływ do oceanu) charakteryzują się zróżnicowanym składem izotopowym. Główną przyczyną tego zróżnicowania jest frakcjonowanie izotopów przy przejściach fazowych w procesie parowania i kondensacji pary wodnej. W opadach rozdział ten zależy głównie od temperatury i ogólnie mówiąc średni skład izotopowy opadów można skorelować ze średnią roczną temperaturą powietrza na powierzchni ziemi w danym punkcie, a więc pośrednio i z wysokością nad poziomem morza. Zależność pomiędzy tymi ostatecznymi parametrami (wysokością  $H$  w m n.p.m. i temperaturą  $T$  w  $^{\circ}\text{C}$ ) jest w Sudetach prawie liniowa:  $T = -0,00558 H + 9,21591$  ( $r = 0,99$ ,  $n = 22$ , obliczone na podstawie danych zaczerpniętych z [132], [194], [195]).

Korelacyjną zależność między  $\delta D$  i  $\delta^{18}\text{O}$  dla światowych opadów atmosferycznych sporządzoną na podstawie licznych danych opisano równaniem (w ‰)

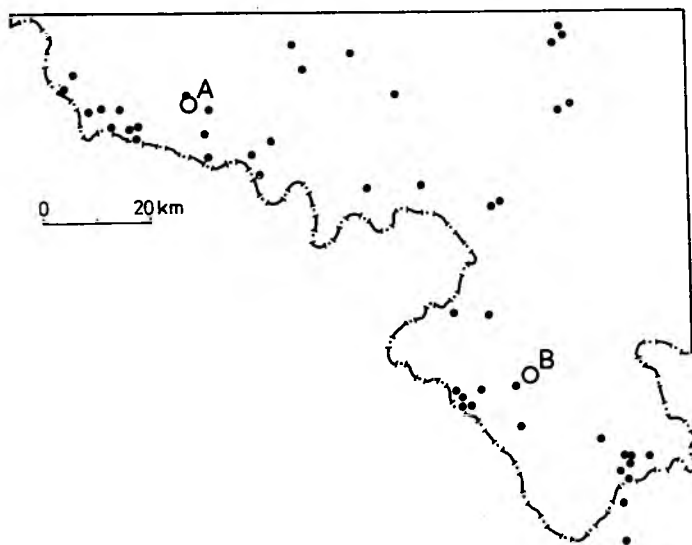
$$\delta D = 8 \delta^{18}\text{O} + 10.$$

Linie tę, tzw. światową linię wód opadowych (WMWL - World Meteoric Water Line) od nazwiska autora nazywa się prostą Craiga.

Fundamentowe znaczenie w badaniach hydrogeologicznych ma stwierdzenie, że podziemne wody pochodzenia infiltracyjnego mają w klimacie umiarkowanym i wilgotnym skład izotopowy zbliżony do średnich rocznych składów izotopowych opadów danego miejsca ([178] i in.). W opadach wartości  $\delta D$  i  $\delta^{18}\text{O}$  ulegają w ciągu roku wahaniom sezonowym z minimum w okresie zimowym i maksimum w lecie. W wodach podziemnych wahania te ulegają zazwyczaj znacznemu wytłumieniu i najczęściej po dwóch latach praktycznie są niezauważalne.

Wyciąganie wniosków z oznaczeń izotopowych wykonanych w wodach sudeckich opierało się dotychczas wyłącznie na pewnych zależnościach ogólnoswiatowych (np. porównywanie z globalną linią wód opadowych) lub sporządzonych dla konkretnych obszarów (np. stosowanie zależności pomiędzy zawartością izotopów a temperaturą miejscowości sporządzonych przez Dansgaard a prawdziwych wyłącznie dla obszarów brzegów oceanicznych) [53]. Badania prowadzone przy współudziale autora w ramach Centralnego Programu Badań Podstawowych nr 04.10 [128] umożliwiły określenie składu izotopowego płytkich wód podziemnych Sudetów. Oprócz uzyskania wielu informacji o znaczeniu praktycznym stwierdzono również lokalne - dotyczące tylko obszaru sudeckiego - zależności o charakterze podstawowym.

Wszystkie analizy izotopowe, których wyniki zamieszczono w niniejszej pracy, wykonało laboratorium Międzyresortowego Instytutu Fizyki i Techniki Jądrowej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.



Rys. 21. Punkty poboru zwykłych wód podziemnych do badań izotopowych, punkty średnie ważone dla: A - Karkonoszy (rejonu Sudetów zachodnich), B - Ziemi Kłodzkiej; objaśnienie w tekście

Fig. 21. Sampling points of shallow underground waters subjected to isotopic analysis, weighted mean points for: A - Karkonosze Mountains (region of West Sudeten Mountains), B - district of Kłodzko; explanations in text

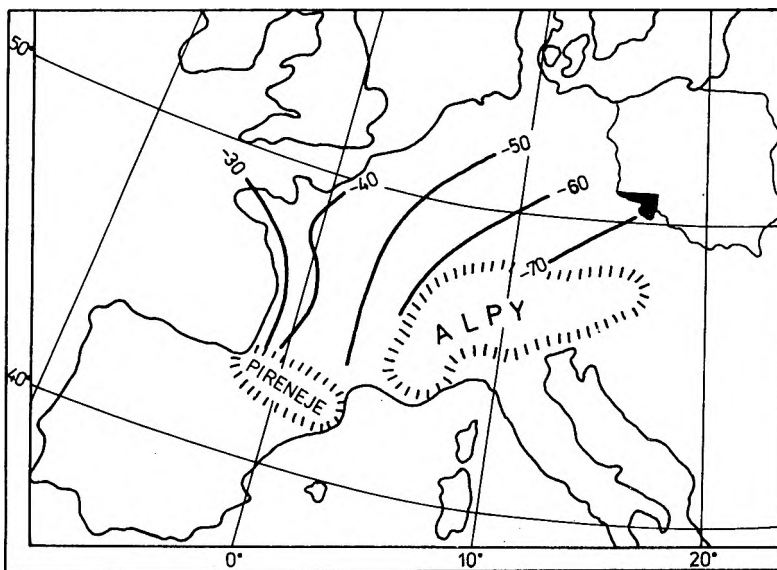
Opróbowaniem objęto ponad 40 punktów (studnie i źródła) z obszaru całych Sudetów oraz rejonu Ślęży i Mietkowa (rys. 21). Wybrano punkty usytuowane przeważnie w szczytowych partiach wzniesień, co miało na celu określenie zmienności składu izotopowego wód w zależności od wysokości n.p.m. ich infiltracji. Średnie wysokości obszarów zasilania szacowano na podstawie morfologii terenu (analiza map i wizja lokalna), a precyzyjność tego szacowania wynosi ok. 50 m. Prawie równomiernie pod względem wysokościowym opróbowano przedział wysokości 180-1400 m n.p.m. W obliczeniach uwzględniono dwie serie wyników, jedną z lipca 1986 r. i drugą wykonaną z przesunięciem półrocznym, ze stycznia 1987 r. Skrajnie trudne warunki zimowe uniemożliwiły jednak na pełne powtórzenie opróbowania letniego. W dalszych obliczeniach (przedstawionych poniżej) uwzględniono również niepublikowane dane autora oraz dane z publikacji [42], [102].

Kilka wyników z pierwszej serii opróbowania, dotyczących wód krasowych, zamieszczono w pracy [35].



### 5.1.1.1. Efekt kontynentalny

Już wstępne zapoznanie się z wynikami oznaczeń wskazuje na zubożenie w ciężkie izotopy wód z obszaru ziemi kłodzkiej względem wód z obszaru Sudetów zachodnich. Ponieważ miejsca opróbowań znajdują się wzdłuż prawie całych Sudetów (skrajne punkty Stóg Izerski i Śnieżnik oddalone są o 132 km), a kierunek tej rozciągłości jest zgodny z przebiegiem europejskiej tendencji efektu kontynentalnego (rys. 22), więc w dalszych



Rys. 22. Izolinie wartości  $\delta D$  w opadach atmosferycznych Europy zachodniej (wg [1771]) oraz obszar badań z rys. 21  
 Fig. 22. Isolines of  $\delta D$  values in precipitations in West Europe (according to [1771]) and area presented in fig. 21

rozważaniach należało uwzględnić ten efekt. Efekt kontynentalny obrazuje tendencję do zmniejszania się stężeń D i  $^{18}O$  w opadach przy posuwaniu się od wybrzeży w głąb kontynentów.

Ponieważ próby pobierano na różnych wysokościach, wytypowano po 12 punktów z dwu wyraźnie odległych obszarów tak, by ich średnie wysokości obszarów zasilania były zbliżone. W obu przypadkach wyniosły one ok. 845 m n.p.m. Wyznaczono również środek ciężkości obu obszarów opróbowań, które wypadły odpowiednio w Sobieszowie (obszar Karkonoszy) i w Polanicy Zdroju (Ziemia Kłodzka, punkty A i B na rys. 21) w odległości 82 km od siebie. Ponieważ różnice pomiędzy średnimi zawartościami izotopów ciężkich obu obszarów wyniosły dla  $\delta^{18}O$   $-0,26\text{‰}$ , a dla  $\delta D$   $-2,32\text{‰}$ , zatem efekt kontynentalny określić można:

dla  $\delta^{18}\text{O}$  na  $-0,32^{\circ}/\text{oo}/100 \text{ km}$

oraz

dla  $\delta\text{D}$  na  $-2,83^{\circ}/\text{oo}/100 \text{ km}$ .

Średnie wartości dla Europy wynoszą odpowiednio  $-0,35 \pm 0,05^{\circ}/\text{oo}$  i  $-2,5 \pm 0,5^{\circ}/\text{oo}$  na 100 km [177]. Ostatnio Róžański [171] efekt ten w skali europejskiej dla deuteru określił na  $-1,3^{\circ}/\text{oo}/100 \text{ km}$  dla okresu letniego i  $-3,3^{\circ}/\text{oo}/100 \text{ km}$  dla zimowego, średnio na  $-2,3^{\circ}/\text{oo}/100 \text{ km}$ .

#### 5.1.1.2. Zależność $\delta\text{D}$ - $\delta^{18}\text{O}$

Wyniki pomiarów przy uwzględnieniu danych archiwalnych pozwoliły na określenie zależności  $\delta\text{D}$  -  $\delta^{18}\text{O}$  dla zwykłych wód podziemnych Sude-tów. Równania opisujące te zależności przedstawiają się następująco:

- dla wszystkich otrzymanych wyników (bez poprawek)

$$\delta\text{D} = (5,282 \pm 0,238)\delta^{18}\text{O} - (15,832 \pm 2,5); \text{ }^{\circ}/\text{oo}; n = 76; r = 0,93,$$

oraz po uwzględnieniu efektu kontynentalnego

- dla Ziemi Kłodzkiej (rys. 23)

$$\delta\text{D} = (5,296 \pm 0,254)\delta^{18}\text{O} - (16,128 \pm 2,692); \text{ }^{\circ}/\text{oo}; n = 76; r = 0,93,$$

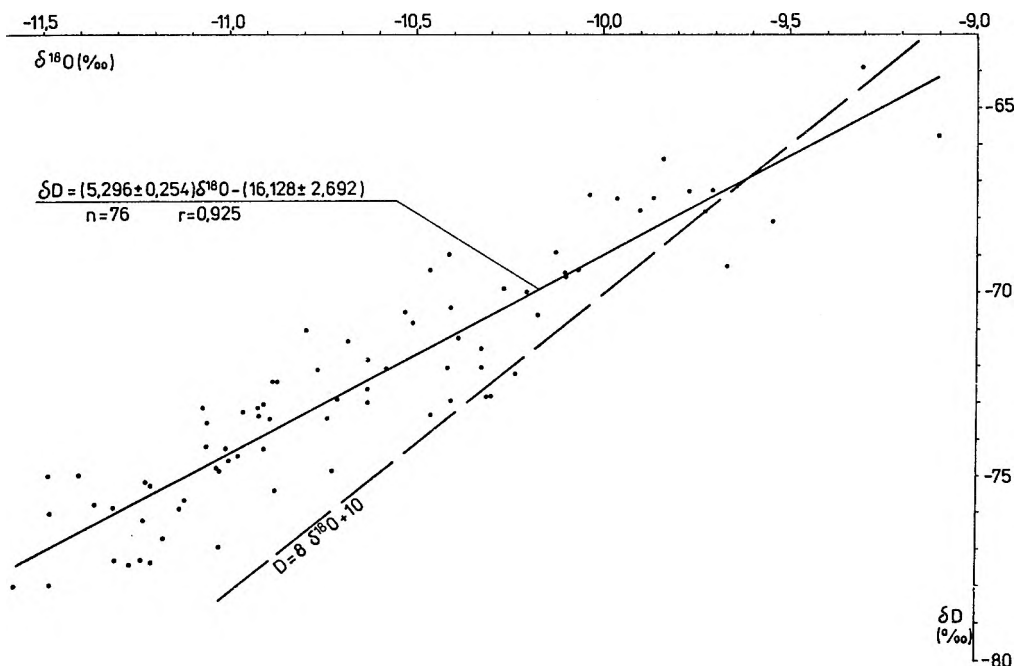
- dla rejonu Karkonoszy

$$\delta\text{D} = (5,173 \pm 0,247)\delta^{18}\text{O} - (16,362 \pm 2,558); \text{ }^{\circ}/\text{oo}; n = 76; r = 0,93.$$

Wszystkie te linie w zakresie otrzymywanych wyników leżą powyżej światowej linii opadów. Fakt taki stwierdzili jednocześnie także K.Róžański i M.Duliński w Tatrach [172] oraz W.Duliński i in. w okolicy Kry-nicy [65]. Przesunięcie takie względem linii światowej mogłyby stworzyć południowe cyrkulacje atmosferyczne, niosące parę wodną znad Morza Śródziemnego. Opady wschodniej części tego akwenu mają skład opisywany równaniem  $\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 22$  [154], a więc linią położoną wysoko nad linią światową. Jednakże, jak wynika z literatury, w Polsce powietrze zwrotnikowe stanowi tylko 2% mas powietrza w skali rocznej [14] i nie może ono powodować opisanego zjawiska. K.Róžański i M.Duliński [172] tłumaczą przesunięcie to zwiększonymi wartościami tzw. parametru  $d$  ( $d$ -excess), co potwierdzają także obliczenia autora wykonane dla wód sudeckich; wykracza to jednak poza zakres niniejszej pracy.

#### 5.1.1.3. Efekt wysokościowy

Zmienność składu izotopowego opadów atmosferycznych w zależności od temperatury kondensacji pary wodnej - a więc i pośrednio od wysokości n.p.m. - może być wykorzystana m.in. do określenia wysokości obszarów infiltracji wód opadowych. Aby wykluczyć wpływ sezonowych zmian za-



Rys. 23. Zależność  $\delta D - \delta^{18}O$  w płytkich zwykłych wodach podziemnych Sudetów - linia sudecka (przeliczona na obszar Ziemi Kłodzkiej)

Fig. 23.  $\delta D$  versus  $\delta^{18}O$  in shallow underground waters of Sudeten - line of Sudeten (recalculated for the district of Kłodzko)

wartości ciężkich izotopów tlenu i wodoru w wodach, przy określeniu efektu wysokościowego uwzględniono tylko miejsca opróbowane dwukrotnie (lipiec 1986 i styczeń 1987 r.). Otrzymano następujące równania (rys. 24)

- dla Ziemi Kłodzkiej

$$H = -(595,595 \pm 80,079) \delta^{18}O - (5520,06 \pm 843,018); m; n = 21; \\ r = -0,86,$$

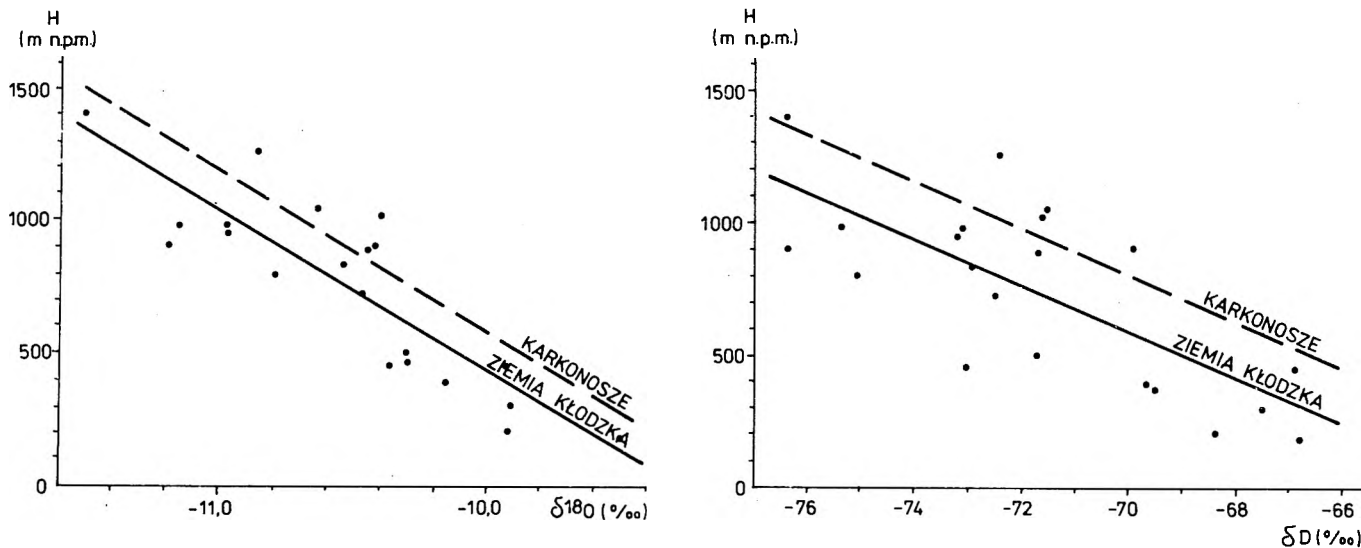
$$H = -(85,777 \pm 18,61) \delta D - (5405,64 \pm 1335,12); m; n = 21; \\ r = -0,75,$$

- dla rejonu Karkonoszy

$$H = -(601,821 \pm 80,15) \delta^{18}O - (5436,22 \pm 823,883); m; n = 21; \\ r = -0,86,$$

$$H = -(88,313 \pm 19,212) \delta D - (5383,93 \pm 1333,99); m; n = 21; \\ r = -0,73.$$

Wartości współczynników korelacji są niezbyt wysokie, zrozumiałe jest zatem, że funkcje otrzymane z przekształceń powyższych równań różnią się od obliczonych funkcji  $\delta^{18}O = f(H)$  oraz  $\delta D = f(H)$  (wynika to



Rys. 24. Zmienność  $\delta^{18}\text{O}$  oraz  $\delta\text{D}$  w zwykłych wodach podziemnych Sudetów z wysokością nad poziomem morza; punkty przeliczono na obszar Ziemi Kłodzkiej poprzez uwzględnienie poprawki na efekt kontynentalny, linia przerywana oznacza odpowiednią zależność dla obszaru Sudetów zachodnich  
 Fig. 24.  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta\text{D}$  variations in shallow underground waters of Sudeten depending on height above sea level; points are recalculated for the district of Kłodzko due to taking into account a correction for West Sudeten

z istnienia tzw. nożyc korelacyjnych). Ponieważ te ostatnie funkcje dają wyniki całkowicie odbiegające od rzeczywistości, dalej rozpatrywano tylko zależności  $H = f(\delta^{18}O)$  oraz  $H = f(D)$ .

W wartościach bezwzględnych efekt wysokościowy wynosi w Sudetach (jest on prawie jednakowy w obu rejonach):

$$\frac{\Delta \delta^{18}O}{\Delta H} = -0,17^{\circ}/\text{oo}/100 \text{ m} \quad \text{oraz} \quad \frac{\Delta \delta D}{\Delta H} = -1,15^{\circ}/\text{oo}/100 \text{ m}.$$

Rezultaty te są zbliżone do najniższych wartości tego efektu spotykanych w wodach podziemnych świata i wynoszących odpowiednio od  $-0,15^{\circ}/\text{oo}$  do  $-0,5^{\circ}/\text{oo}/100 \text{ m}$  oraz od  $-1^{\circ}/\text{oo}$  do  $-4^{\circ}/\text{oo}/100 \text{ m}$  [178]. Dla Tatr wartości te określono ostatnio na  $-0,24$  oraz  $-1,4^{\circ}/\text{oo}/100 \text{ m}$  [172].

### 5.1.2. Tryt

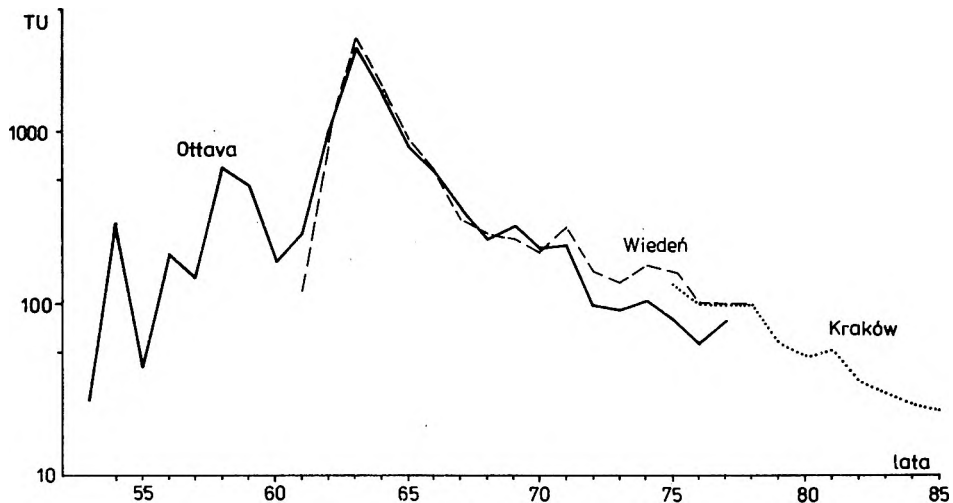
W badaniach trytowych wykorzystuje się fakt, że oprócz dwóch stabilnych izotopów wodoru ma również izotop promieniotwórczy tryt ( ${}^3_1\text{H}$ , T), będący jednym z najrzadszych naturalnych izotopów Ziemi. W wodzie obecność trytu stwierdzono dopiero w 1951 r., a dla oznaczenia jego stężeń przyjęto tzw. jednostkę trytową (TU - Tritium Unit) określającą taką wartość trytu, w której 1 atom tego izotopu przypada na  $10^{18}$  atomów  ${}^1_1\text{H}$  (protu). Okres połowicznego rozpadu trytu wynosi ok. 12,4 lat, co w praktyce umożliwia datowanie wieku wód z dokładnością do ok. 50 lat.

W kraju metodę trytową szerzej przedstawili (wraz z odpowiednią literaturą) J.Krotowicz [125], A.Polański [165] i ostatnio A.Zuber [199].

Tryt powstaje w górnych warstwach atmosfery pod wpływem działania promieniowania kosmicznego na gazy w górnej części atmosfery. Wchodząc z kolei w skład wody (HTO) opadów atmosferycznych bierze udział w formowaniu składu izotopowego hydrosfery. Do 1952 r. jego stężenie w wodach opadowych wynosiło 5-10 TU. Sytuacja zmieniła się bardzo od listopada 1952 r., kiedy to przeprowadzono pierwszy wybuch termojądrowy. Wybuchy takie (w latach 1952-1959 oraz 1961-1962) spowodowały wzrost zawartości trytu w opadach miejscami do kilku tysięcy TU. Od tego czasu następuje powolny spadek jego zawartości w opadach i wynosi ona obecnie ok. 20 TU (średnia roczna, rys. 25).

Należy wspomnieć również o wahaniami zawartości trytu w opadach w ciągu roku. Sezonowe wahania, związane ze zmienną wymianą mas powietrza stratosfery i troposfery, przejawiają się maksimum wiosenno-letnim oraz minimum jesienno-zimowym; notowane obecnie zawartości sięgają odpowiednio około czterdziestu oraz kilkunast TU (J.Grabczak - informacja ustna).

Podczas infiltracji urywa się kontakt wód z trytem obecnym w atmosferze i stężenie tego izotopu w wodach podziemnych wynika już tylko z



Rys. 25. Średnie roczne zawartości trytu w opadach atmosferycznych Ottawy, Wiednia i Krakowa (wg [172], [180])  
 Fig. 25. Mean annual contents of tritium in precipitations in Ottawa, Vienna and Cracow (according to [172] and [180])

jego rozpadu radioaktywnego. W większości wód podziemnych wahania sezonowe ulegają tłumieniu, podobnie jak wahania izotopów stabilnych tlenu i wodoru, a po ok. 2 latach najczęściej już się ich nie obserwuje.

Przy krótkotrwałych obserwacjach trytu w wodach podziemnych przeprowadzić można jedynie jakościową interpretację wyników, która i tak znacznie poszerza nasze wiadomości o danych wodach. A.Zuber [199] przedstawia kilka przypadków stężeń trytu stwierdzanych w wodach podziemnych:

1. Stężenie trytu jest niższe niż stężenia w obecnych opadach; istnieją tu dwie możliwości:

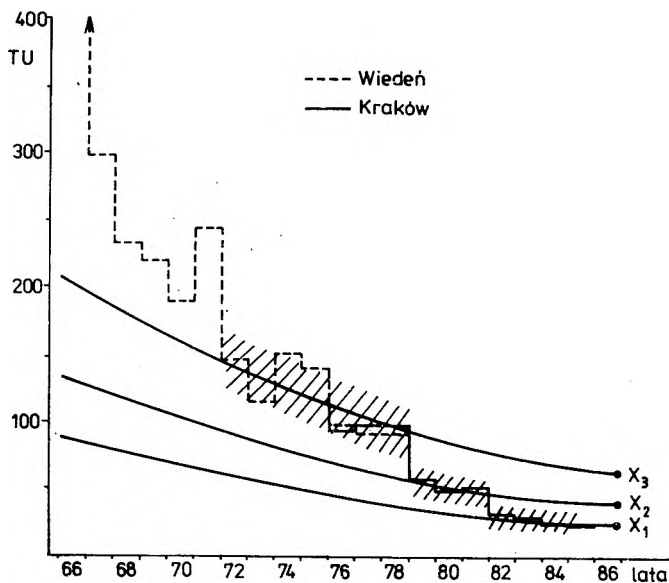
- a) średni czas przepływu wody wynosi kilkadziesiąt lat lub więcej,
- b) badana woda jest mieszaniną starszej wody beztrytowej oraz młodszej zawierającej tryt i mieszanie zachodzi w stałych proporcjach.

2. Stężenie trytu zbliżone jest do jego zawartości w opadach. Mamy tu też dwie możliwości:

- a) woda pochodzi z opadów obecnej infiltracji,
- b) średni czas przepływu wody wynosi kilka dziesiątek lat, stężenie trytu w czasie wówczas wolno narasta lub maleje.

3. Stężenie trytu jest znacznie wyższe od stężeń trytu w opadach. Świadczy to o infiltracji wód w okresie znacznych stężeń tego izotopu w opadach, a więc z lat 1963-75.

4. Stężenie trytu ulega znacznym wahaniom w krótkich okresach. Najbardziej prawdopodobne jest tu mieszanie się starej wody bez trytu i lokalnie infiltrującej wody o dużej jego zawartości.



Rys. 26. Średnie roczne zawartości trytu w opadach atmosferycznych Wiednia i Krakowa (wg [172] i [180]) oraz średnie zawartości trytu (punkty  $x_1$ ,  $x_2$  i  $x_3$ ) w różnych grupach zwykłych wód podziemnych Sudetów (lata 1986 i 87) wraz z odpowiadającymi im krzywymi rozpadu radioaktywnego; zakreskowano zakresy zgodności krzywych rozpadu trytu z linią zawartości trytu w opadach; zakresy te określają przybliżony wiek wód w poszczególnych grupach

Fig. 26. Mean annual contents of tritium in precipitations in Vienna and Cracow (according to [172] and [180]) and mean contents of tritium (points of  $x_1$ ,  $x_2$  and  $x_3$ ) in different shallow underground waters in Sudeten (the period of 1986-1987) and the respective curves of radioactive decay; ranges of conformities of tritium decay curves to line of tritium contents in precipitations are hatched; these ranges determine approximate ages of particular waters

Wody podziemne Sudetów (zwykle i lecznicze) zawierają tryt w ilościach odpowiadających trzem pierwszym możliwościom.

W roku 1985 autor wykonał oznaczenia trytu w dwu źródłach wód zwykłych (Polanica i Duszniki) żywo reagujących na warunki atmosferyczne. Stwierdzona w nich obecność trytu w stężeniu ok. 56 TU, czyli dwukrotnie wyższa od zawartości w opadach, świadczy o ich znacznym czasie przepływu podziemnego. W latach 1986 i 1987 oznaczenia wykonano w wodach zwykłych aż w 47 punktach, łącznie z badaniami izotopów stabilnych [128]. Uzyskano interesujące rezultaty (rys. 26) przy trójmodalnym rozkładzie uzyskanych wyników:

Tabela 8 8

Stabilne izotopy tlenu i wodoru, wartości przesunięcia tlenowego ( $\alpha$ ) oraz wysokości obszarów zasilania określone na podstawie oznaczeń izotopowych ( $H(^{18}O)$  i  $H(D)$ ) szczaw sudeckich

Nr wg tab. 3	Lp. uję- cia	Miejscowość i ujęcie	Data pobrania prób	Wyniki pomiarów		Efekt kon- tynentalny		$\delta^{18}O_{ZK}$	a	$\frac{\delta^{18}O_p}{\delta D_p}$	$\frac{H(^{18}O)}{H(D)}$	
				$\delta^{18}O$	$\delta D$	1	$\frac{d\delta^{18}O}{d\delta D}$	$\delta D_{ZK}$				
				‰		km	‰				m n.p.m.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	1	Polanica Zdrój P-300	11.86	-10,45	-68						$\frac{-10,07}{-68}$	$\frac{480}{430}$
	2	Wielka Pieniawa	18.07.86 20.01.87	-10,4 -10,45	-69 -70	0	$\frac{0}{0}$	$\frac{-10,40}{-69,25}$	$a_1$ -0,38			
	3	Pieniawa Józefa II	18.07.86 20.01.87	-10,3 -10,35	-70 -70,5							
2	4	Szalejów Górny	20.01.87	-9,85	-68,5							
3	5	Stary Wielisław Górny Nr 4	20.01.87	-10,2	-68,5							
4	6	Gorzanów Nr 1 (Złota Kaczka)	13.11.87	-10,2	-70,0							
	7	Nr 2	21.01.87 13.11.87	-10,15 -10,15	-67,5 -71,5	10	$\frac{0,03}{0,28}$	$\frac{-10,14}{-69,39}$	-0,04	$\frac{-10,08}{-69,22}$	$\frac{480}{530}$	
	8	Nr 6	21.01.87 13.11.87	-9,65 -9,75	-67,5 -71,5		---	---	---	---	---	
6	9	Długopole Zdrój Renata	19.08.86	-9,9	-70							
	10	Emilia	19.08.86	-10,0	-70							
	11	Kazimierz	19.08.86	-10,0	-70							



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	12	Nowa Bystrzyca [102]	05.79	-10,1	-69,5	5	0,02 0,14				
8	13	Szczawina źr. Studzienne	18.07.86 21.01.87	-11,0 -10,85	-72 -73			-10,95 -72,36	a <sub>2</sub> -0,34	-10,56 -72,36	770 800
9	14	Nowa Łomnica, (niższe)	21.01.87	-10,85	-71,5						
10	15	Bobrowniki Stare, Maria	21.01.87	-10,25	-72						
11	16	Duszniki Zdrój B-4	18.07.86 20.01.87	-11,0 -10,95	-71 -72	10	-0,03 -0,28	-10,85 -71,71	a <sub>3</sub> -0,36	-10,64 -71,78	820 750
	17	Pieniawa Chopina	18.07.86 20.01.87	-10,6 -10,75	-71 -70,5						
	18	Jan Kazimierz	18.07.86 20.01.87	-10,7 -10,95	-72 -73						
	19	B-3	18.07.86 20.01.87	-10,7 -10,8	-71 -72						
12	21	Kudowa Zdrój P-6	13.11.87	-10,35 -10,45	-69,5 -69,5	15	-0,05 -0,42	-10,30 -69,66	a <sub>4</sub> -0,15	-10,30 -69,92	620 590
		K-200	18.07.86 20.01.87	-10,3 -10,25	-69 -69						
		Nr 2 (Moniuszko)	18.07.86 20.01.87	-10,1 -10,2	-69 -68,5						
		Nr 3 (Marchlewski)	18.07.86 20.01.87	-10,1 -10,25	-69 -70,5						
13		Jeleniów, J-150	18.07.86 20.01.87	-10,0 -10,1	-68 -67			-10,10 -67,92	a <sub>5</sub> -0,33	-9,77 -67,92	300 420
15 16	26- 28	Wałbrzych, kopalnia "Thorez", 3 próby [102]	09.81	-10±0,2	-70±1,5						

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
19	29	Szczawno Zdrój Dąbrówka	16.07.86 27.01.87	-10,0 -10,0	-68 -67	40	$\frac{-0,13}{-1,1}$	$\frac{-10,3}{-69,8}$	a6 -0,17	$\frac{-9,96}{-68,6}$	410 480
	30	Mieszko	16.07.86 27.01.87	-10,3 -10,4	-71 -69					$\frac{-10,31}{-71,1}$	620 690
20	31	Bogaczowice Stare, Anna	27.01.87	-10,25	-69,5	50	$\frac{-0,16}{-1,4}$	$\frac{-10,41}{-70,9}$	-0,08	$\frac{-10,33}{-70,9}$	630 680
21	32	Rochowice Stare, Bolko II	12.11.87	-10,3	-69,5						
22	33	Świeradów Zdrój 2P	09.05.86 21.01.87 12.11.87	-9,5 -10,4 -10,25	-65 -69 -66,5	110	$\frac{-0,35}{-3,1}$	$\frac{-10,49}{-70,2}$	a7 -0,29	$\frac{-10,34}{-70,6}$	640 650
	34	1a	17.07.86 28.01.87	-10,1 -10,45	-68 -67					$\frac{-10,57}{-70,4}$	a8 -0,33
23	35	Czerniawa Zdrój Nr 4	17.07.86 28.01.87	-10,1 -10,35	-66 -68,5						

53,6% zbadanych wód charakteryzuje się zawartością trytu t bliżoną do jego stężeń w opadach. Stałość zawartości izotopów stabilnych oraz trytu w opróbowaniu letnim i zimowym wskazuje jednak, że są to wody co najmniej dwuletnie, prawdopodobnie infiltrujące w latach 1982-84. Zawartość trytu wynosi w nich 16,8-35 TU przy średniej  $x_1 = 26,7$  TU.

19,6% stanowią wody zasilane w latach 1979-81; zawierają tryt w ilości 35,6-46,9 TU przy średniej  $x_2 = 40,1$  TU.

26,8% to wody zasilane w latach 1972-78; tryt obecny jest w nich w ilości 48,2-105 TU przy średniej  $x_3 = 62,4$  TU.

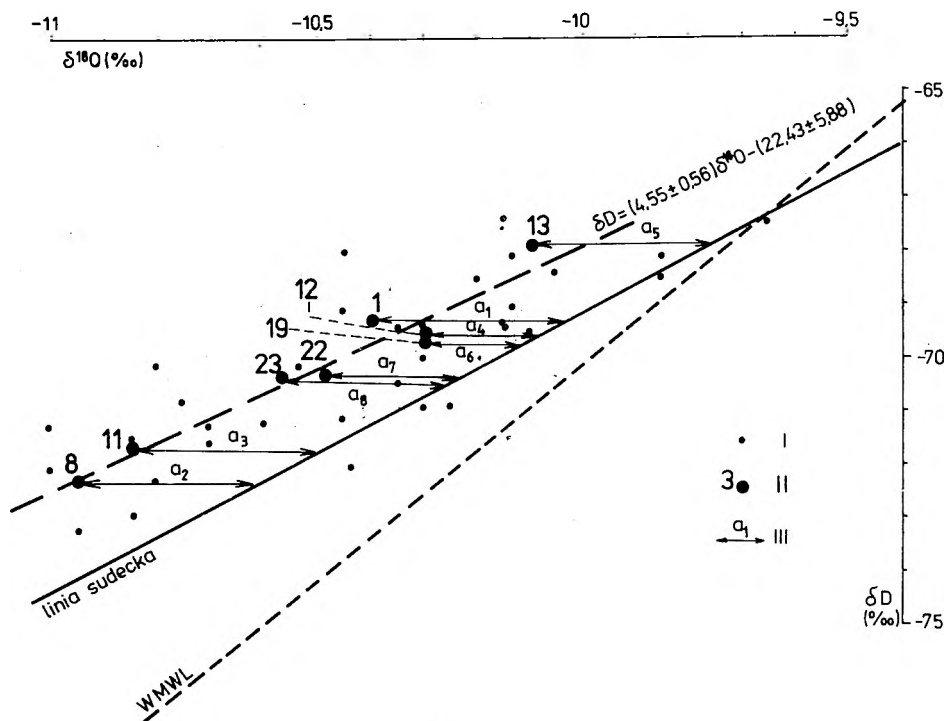
Podany tu wiek określano w sposób najprostszy. Przyjęcie jakiegokolwiek modelu uwzględniającego zjawisko dyspersji znacznika wydłuża - nieraz znacznie - ten czas. Z tego zestawienia można wnioskować, że wody zwykle, mieszające się z leczniczymi, choć bezpośrednio nie badane, nie są wodami natychmiast infiltrującymi z powierzchni, a czas ich przepływu podziemnego wynosi co najmniej kilka lat.

## 5.2. Skład stabilnych izotopów tlenu i wodoru w wodach leczniczych

### 5.2.1. Szczawy, przesunięcie tlenowe

Badania zawartości stabilnych izotopów tlenu i wodoru szczaw wykonano w latach 1984, 1986 i 1987. Objęły one 66 oznaczeń. Niestety, 17 z nich (z 1984 r. częściowo opublikowanych [43]) w świetle późniejszych wyników oraz obliczeń wskazuje, że uzyskane tu wartości były zbyt niskie. W dalszych rozważaniach uwzględnia się więc tylko pozostałe rezultaty (tab. 8). Istnieją również 4 publikowane oznaczenia izotopów trwałych w szczawach Nowej Bystrzycy i kopalni wałbrzyskich [102] oraz nie uwzględnione w tab. 8 dwa oznaczenia z 1969 r. dotyczące tylko  $\delta^{18}\text{O}$  w szczawach Polanicy Zdroju (Wielka Pieniawa  $-9,8^{\circ}/\text{oo}$  i Józef  $-10,2^{\circ}/\text{oo}$ ) [53].

Na wykresie  $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$  (rys. 27) punkty obrazujące skład izotopowy szczaw sudeckich znajdują się powyżej światowej linii opadów, a także (z nielicznymi wyjątkami) ponad linią sudecką, a więc charakteryzującą wody zasilające poszczególne złoża. Położenie takie wynika z przesunięcia  $\delta^{18}\text{O}$  w stronę wartości bardziej ujemnych spowodowanego wymianą izotopową pomiędzy tlenem juwenilnego dwutlenku węgla a tlenem wód szczaw. Dopiero znajomość takiego przesunięcia tleno- w e g o umożliwia pełną interpretację rezultatów badań izotopów trwałych w szczawach. Istnienie podobnego przesunięcia zaobserwowali również (tylko jakościowo) Ferrara i in. [66] w szczawach Toskanii, a ostatnio Zuber [200] w szczawach chlorkowych Krynicy (tzw. zuberach).



Rys. 27. Stabilne izotopy tlenu w szczawach sudeckich (wg tab. 8): I - wyniki poszczególnych oznaczeń, II - średnie składy izotopowe szczaw różnych miejscowości, III - wartości przesunięcia tlenowego (wartości  $a$  i numeracja miejscowości wg tab. 8)

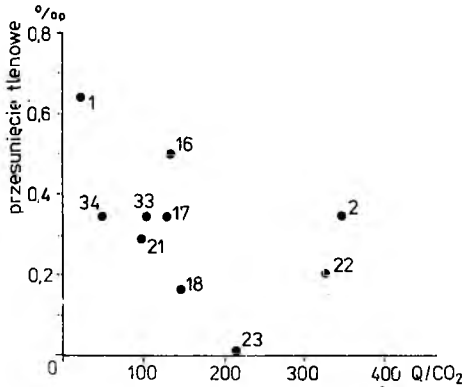
Fig. 27. Stable isotopes of oxygen in Sudetes acidulous springs (according to tab. 8): I - results of particular determinations, II - mean isotope contents in acidulous springs from different localities, III - values of oxygen shift (" $a$ " values and numbers of localities according to tab. 8)

W celu ilościowego określenia omawianego przesunięcia w szczawach sudeckich obliczono średnie wartości  $\delta^{18}\text{O}$  oraz  $\delta\text{D}$  ze średnich wszystkich ujęć danej miejscowości. Po uwzględnieniu efektu kontynentalnego (kolumna 7 i 8 tab. 8) otrzymane wartości sprowadzono do obszaru Ziemi Kłodzkiej i umieszczono w kolumnie 9 tab. 8. Punkty uzyskane z uśrednienia danych ze wszystkich ujęć poszczególnych miejscowości na wykresie (rys. 27) układają się wzdłuż linii, a charakteryzującą je prostą można opisać równaniem (w ‰):

$$\delta\text{D} = (4,55 \pm 0,56) \delta^{18}\text{O} - (22,43 \pm 5,88); r = 0,96$$

przy

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{sr}} = -10,48\text{‰} \quad \text{i} \quad \delta\text{D}_{\text{sr}} = -70,17\text{‰}.$$



Rys. 28. Zależność przesunięcia tlenowego od stosunku wydajności ujęć  $Q$  ( $\text{dm}^3/\text{h}$ ) do ilości wydzielającego się z nich  $\text{CO}_2$  (wolnego i rozpuszczonego,  $\text{kg}/\text{h}$ ) w szczawach (numeracja ujęć wg tab. 8)

Fig. 28. Dependence of oxygen shift upon the ratio of intake discharge  $Q$  ( $\text{dm}^3/\text{h}$ ) to the quantity of  $\text{CO}_2$  evolved (free and diluted,  $\text{kg}/\text{h}$ ) in acidulous springs (numbers of intakes according to tab. 8)

nięcia tlenowego ( $-0,04$  i  $-0,08$ ) wynikające z małych zawartości dwutlenku węgla w wodach powodują, że skład izotopowy wód pozostaje zbliżony do zależności sudeckiej.

Wielkość przesunięcia tlenowego zależy między innymi od ilości  $\text{CO}_2$  i wody współwystępujących w szczawach. Istnienie takiej zależności potwierdza wykres na rys. 28 sporządzony dla ujęć, w których w przeszłości prowadzono badania złożowe. Ogólnie wraz ze zmniejszaniem się stosunku wydajności wody  $Q$  do ilości dwutlenku węgla zwiększa się wielkość przesunięcia tlenowego w ujęciach.

Interesujące są wyniki uzyskane dla szczaw dusznickich (nr 16, 17 i 18 na wykresie). Stosunek  $Q/\text{CO}_2$  w wodach typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$  jest tu stały, a więc gaz w jednakowym stopniu przesyca wody z trzech różnych ujęć. Ujęcia te różnią się jednak wyraźnie przesunięciem tlenowym i to dokładnie odwrotnie proporcjonalnie do udziału w nich wód zwykłych. Ponieważ równowaga izotopowa pomiędzy dwutlenkiem węgla i wodą ustala się w ciągu kilku godzin [178], świadczy to o mieszaniu się uformowanych szczaw z rozcieńczającymi je wodami zwykłymi tuż przed wypływem na powierzchnię.

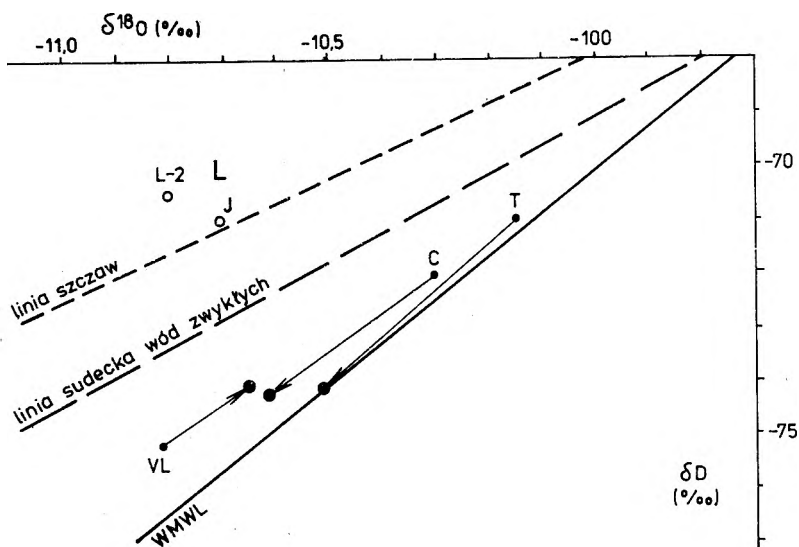
Dla tak określonego  $\delta D_{\text{H}_2\text{O}}$  różnica pomiędzy wartością  $\delta^{18}\text{O}$  leżącą na sudeckiej linii  $\delta D$ - $\delta^{18}\text{O}$  wód zwykłych a  $\delta^{18}\text{O}_{\text{śr}}$  wynosi

$$\Delta\delta^{18}\text{O} = -0,29\text{‰}.$$

Jest to więc średnie w skali Sudeków przesunięcie w składzie izotopowym tlenu wód spowodowane wymianą izotopową pomiędzy tlenem juwenilnego dwutlenku węgla doprowadzonego z głębi ziemi a tlenem wody szczaw. W przypadku poszczególnych miejscowości przesunięcie to jest nieco inne (wartości a w kolumnie 10 tab. 8). W obliczeniach nie uwzględniono rezultatów otrzymanych w przypadku szczaw Gorzanowa i Starych Bogaczowic. Niskie wartości przesunięcia

## 5.2.2. Wody termalne

Rezultaty badań izotopów stabilnych w wodach termalnych były w większości już publikowane [41],[42],[53],[54],[175] (tab. 9). W dalszych rozważaniach nie uwzględniono jednak danych z początku lat siedemdziesiątych, ponieważ były one uzyskane w okresie, gdy w niektórych laboratoriach izotopowych nie otrzymywano tak dużych dokładności, jakie uzyskuje się obecnie (p. [42]).



Rys. 29. Stabilne izotopy tlenu i wodoru w wodach termalnych Sudetów (wg tab. 9): L - Łądek Zdrój, ujęcie L-2 i Jerzy (J), C - Cieplice Śl. Zdrój (średnia), T - Turów, VL - Velké Losiny

Fig. 29. Stable isotopes of oxygen and hydrogen in Sudetes thermal waters (according to tab. 9): L - Łądek Zdrój, L-2 and Jerzy (J) intakes, C - Cieplice Śl. Zdrój (mean); T - Turów, VL - Velké Losiny

Nie publikowano 2 par oznaczeń w próbach pobranych 22.01.87 z ujęć L-2 i Jerzy w Łądku Zdroju. Wartości  $\delta^{18}\text{O}$  oraz  $\delta\text{D}$  wynoszą odpowiednio  $-10,8$  i  $-10,7$ ‰ oraz  $-70,5$  i  $-71$ ‰. Wskazują one, iż skład izotopowy wód łądeckich jest zgodny z linią sudeckich szczyw (!, rys. 29). Przypuszczeniu, że w swej historii przepływu podziemnego wody te mogły mieć kontakt z juwenilnym dwutlenkiem węgla, co w związku z ich znacznym wiekiem (p. V.5) nie jest niemożliwe, przeczy jednak zbyt mała mineralizacja tych wód. Problem ten wymaga rozwiązania.

Pozostałe wody termalne Sudetów, a więc wody Cieplic Śl. Zdroju (oprócz ujęcia Sobieski), Turowa a także Wielkich Łosin, położone są natomiast w granicach dokładności oznaczeń wzdłuż światowej linii opadów (rys. 29). Spójrzmy, co się stanie, gdy uwzględnimy w każdym z przypad-

## Wyniki badań izotopowych sudeckich wód termalnych

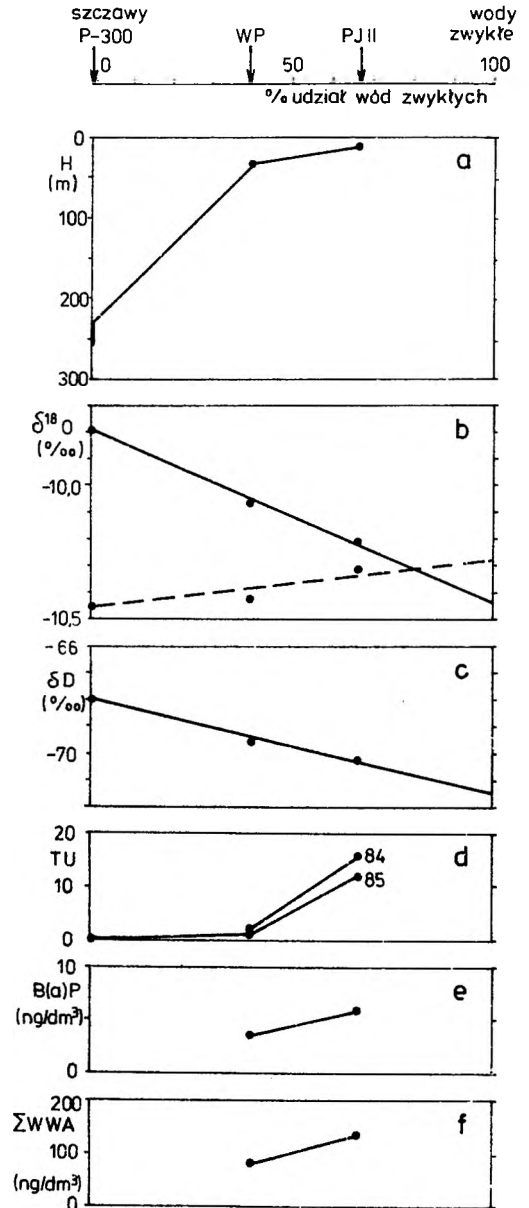
Nr	Miejscowość i ujęcie	Data pobrania prób	$\delta^{18}O^{1)}$	$\delta D^{2)}$	Tryt	$^{14}C^*$	
			‰			TU	pcm
1	Lądek Zdrój					[63]	
	L-2	28.03.85 22.01.87	-10,8	-70,5	$0,7 \pm 1,5$	1972	
	2 Chrobry	28.03.85			$0,0 \pm 1,0$	$16,5 \pm 5$	12-17
	3 Jerzy	28.03.85 22.01.87	-10,7	-71	$1,2 \pm 1,0$	$32 \pm 7$	6-10
4	Wojciech	28.03.85			$1,6 \pm 1,5$	$24 \pm 8$	8-14
Cieplice Śl. Zdrój [42]							
5	Nr 1 Marysienka	3.11.83	-10,4	-72	$0,3 \pm 1,5$	$7,0 \pm 1,0$	
6	Nr 2 Sobieski	3.11.83	-9,8	-68,5	$51,2 \pm 1,5$	$101 \pm 1,0$	
7	Nr 3 Wacław	3.11.83	-10,25	-71	$15,5 \pm 1,5$	$53,7 \pm 1,0$	
8	Nr 4 Nowe	3.11.83	-10,35	-72	$1,7 \pm 1,5$	$8,6 \pm 1,0$	
9	Nr 5 Basenowe Damskie	3.11.83	-10,35	-72	$1,6 \pm 1,5$	$2,4 \pm 1,0$	
10	Nr 6 Basenowe Męskie	3.11.83	-10,35	-73	$2,1 \pm 1,5$	$4,5 \pm 1,0$	
11	C-1	3.11.83	-10,3	-72	$0,0 \pm 1,5$	$3,3 \pm 1,0$	
12	C-2	3.11.83	-10,3	-71	$1,3 \pm 1,5$	$1,1 \pm 1,0$	
13	Turów [41] chodnik IXp	3.11.83	-10,1	-71	$0,9 \pm 1,5$	$0,8 \pm 1,0$	
Vělké Losiny							
	BJ-11 [54]	72	-10,81	-75,2			
	BVJ-211 [175]	11-12. 12.80				1,21	34

1)  $1 \sigma = \pm 0,1^{\circ}/\text{‰}$ , 2)  $1 \sigma = \pm 1^{\circ}/\text{‰}$

ków poprawkę na efekt kontynentalny i sprowadzimy ich wartości do obszaru Ziemi Kłodzkiej - wspólnego poziomu odniesienia. Wszystkie te wody (wyniki z wód cieplickich uśredniono) charakteryzują się wówczas prawie takim samym składem izotopowym o wartościach  $\delta^{18}O \sim -10,6^{\circ}/\text{‰}$  i  $\delta D \sim -74^{\circ}/\text{‰}$ . Zbieżność ta wskazuje, iż wypływające w Cieplicach, Turowie a też w Wielkich Łosinach wody termalne były zasilane w zbliżonych warunkach klimatycznych, różnych jednak od warunków panujących obecnie. Potwierdza to wyniki oznaczeń radiowęglą datujące ich infiltrację na okres zlodowań.

5.3. Mieszanie się wód leczniczych z wodami zwykłymi  
w świetle badań izotopowych

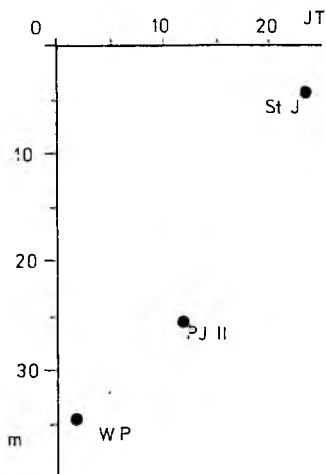
Wykazany w poprzednim rozdziale (p. 4.2) proces mieszania się uformowanych wód leczniczych z wodami zwykłymi ma potwierdzenie również w zróżnicowaniu składu izotopowego wód.



Rys. 30. Zróżnicowanie szczyaw z ujęć Polanicy Zdroju w świetle różnych badań z 1984 r. ujęcia: P-300, WP - Wielka Pieniawa, PJII - Pieniawa Józefa II, a - głębokości ujęć, b - wartości  $\delta^{18}O$  z pomiarów (linia przerywana) i po uwzględnieniu przesunięcia tlenowego (linia ciągła), c - wartości  $\delta D$ , d - zawartości trytu w ujęciach (lata 1984-85), e - zawartość benzo(a)pirenu, f - zawartość sumy sześciu reprezentatywnych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych

Fig. 30. Differentiation of acidulous springs at intakes in Polanica Zdrój in 1984, intakes: P-300, WP - Wielka Pieniawa, PJII - Pieniawa Józefa II, a - intake depths, b - measured  $\delta^{18}O$  values (broken line) and values obtained when oxygen shift has been taken into account (solid line), c -  $\delta D$  values, d - contents of tritium in intake water (period of 1984-1985), e - content of benzo(a)pyrene, f - summary content of six polycyclic aromatic hydrocarbons

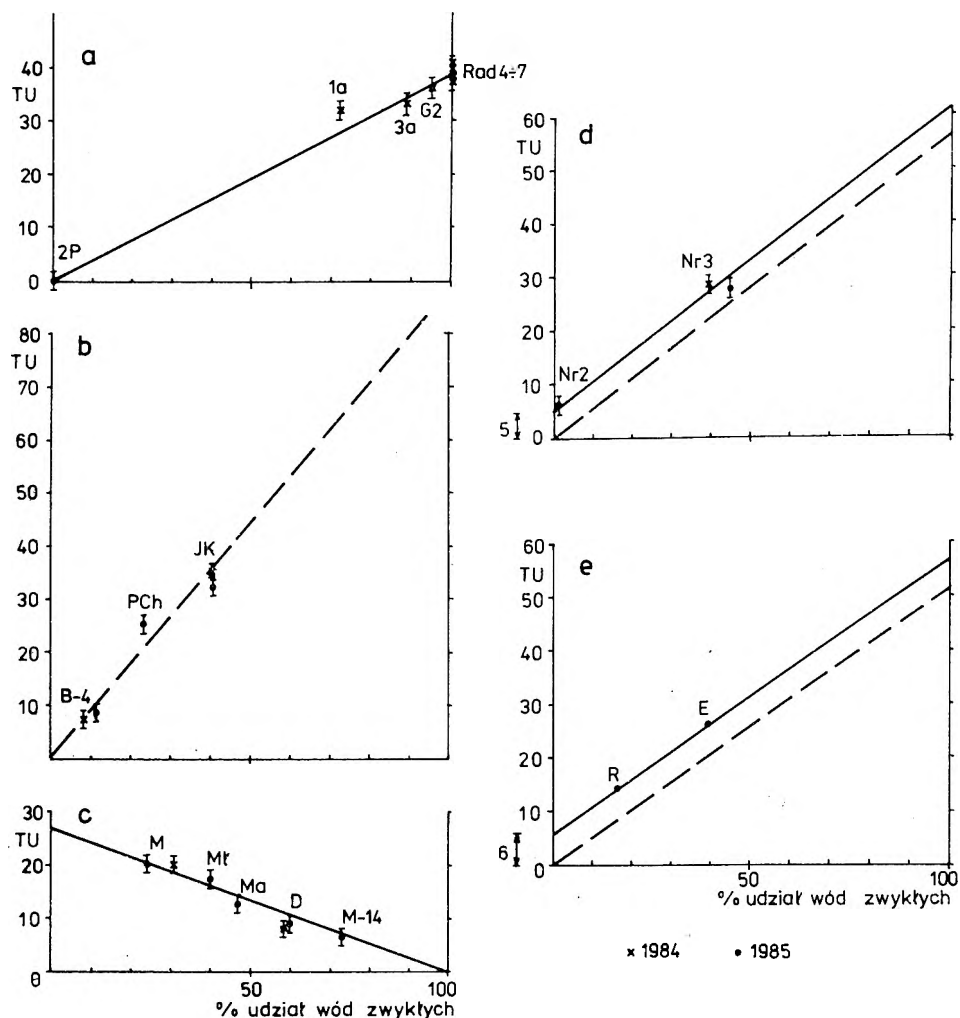




Rys. 31. Zawartość trytu w szczawach Polanicy Zdroju w zależności od głębokości ujęcia (rok 1985), ujęcia: WP - Wielka Pieniawa, PJII - Pieniawa Józefa II, StJ - Stary Józef  
 Fig. 31. Tritium contents in acidulous springs in Polanica Zdrój depending on intake depths (1985), intakes: WP - Wielka Pieniawa, PJII - Pieniawa Józefa II, StJ - Stary Józef

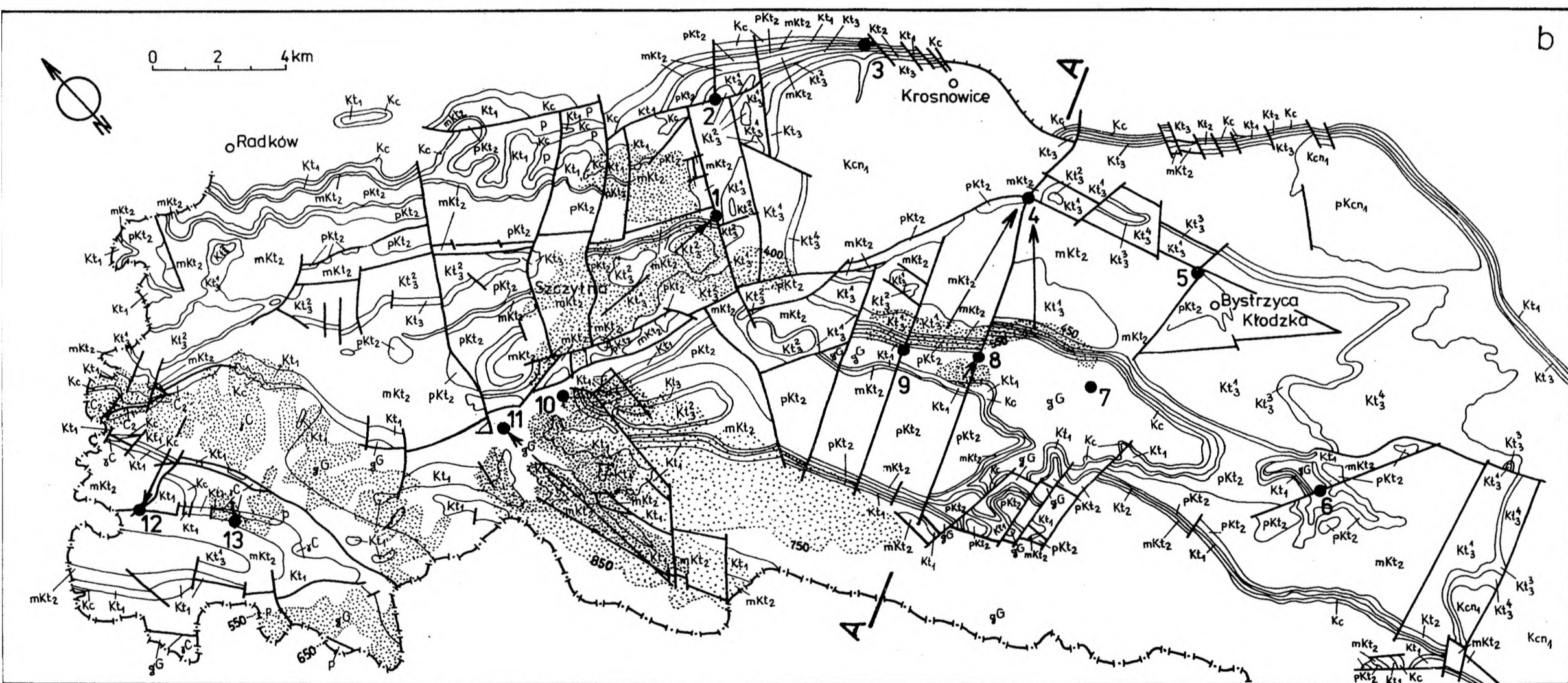
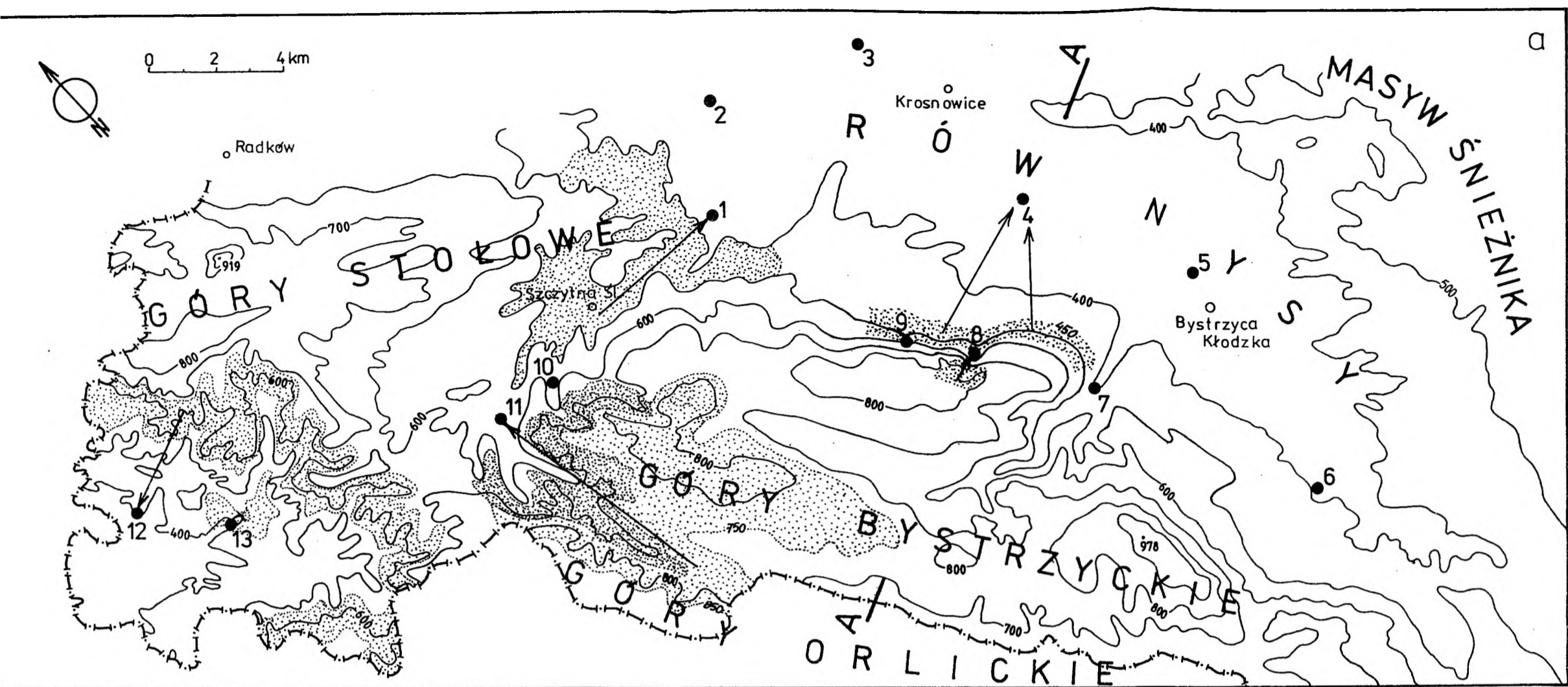
Bardzo wyraźnym przykładem kompleksowego potwierdzenia istniejących prawidłowości są szczawy Polanicy Zdroju. Wykresy przedstawione na rysunku 30 wskazują, że w miarę wzrostu głębokości ujęć zmniejsza się w nich udział wód zwykłych, czemu odpowiada spadek zawartości trytu, a także substancji skażających, jakimi bez wątplenia są wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). Należy również zauważyć, iż nieuwzględnienie zjawiska przesunięcia tlenowego całkowicie zmieniłoby obraz izotopowy wód uzyskany dzięki  $\delta^{18}\text{O}$ . Z wykresów (rys. 30c oraz poprawiony rys. 30b) wynika, iż mieszanie zachodzi pomiędzy szczawami a wodami zwykłymi o składzie znacznie bardziej ujemnym  $\delta^{18}\text{O} \sim -10,44\text{‰}$  i  $\delta\text{D} \sim -71,4\text{‰}$ . Według wykresów z rys. 24 te zwykłe wody pochodzą z wysokości około 700 m n.p.m., co wskazuje na mieszanie się szczaw z wodami infiltrującymi z Bystrzycy Dusznickiej, rzeki zasilanej w Górach Bystrzyckich, Orlickich i Stożowych. Określone tu składy obu mieszających się wód leżą na sudeckiej linii  $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ . Coraz mniejsza ilość trytu w miarę zwiększania się głębokości ujęć (rys. 31) świadczy o tym, że mieszanie następuje na niedużych głębokościach rzędu najwyżej kilkudziesięciu metrów.

W innych miejscowościach zróżnicowanie izotopów trwałych nie jest tak wyraźne, co wynika z niejednoczesnego pobierania prób do analiz izotopowych i chemicznych oraz ze zbyt małych różnic w składzie izotopowym mieszających się wód (często w granicach dokładności oznaczeń), czego przyczyną jest fakt, że wysokości obszarów zasilania obu rodzajów mieszających się wód są do siebie zbliżone. Wyraźniejszy obraz uzyskuje się z badań trytowych. Na rysunku 32 zestawiono zależności pomiędzy zawartością trytu w eksploatowanych wodach leczniczych a procentową zawartością wód zwykłych w ujęciach. Świeradowie mieszanie zachodzi pomię-



Rys. 32. Stężenia trytu w wodach leczniczych różnych uzdrowisk (wg tab. 11) w zależności od procentowego udziału w nich domieszek wód zwykłych: a - Świeradów Zdrój, b - Duszniki Zdrój, ujęcia: PCh - Pieniawa Chopina JK - Jan Kazimierz, c - Szczawno Zdrój, ujęcia: M - Mieszko, Mł - Młynarz, Ma - Marta, D - Dąbrówka, M-14 - Mieszko-14, d - Kudowa Zdrój, e - Długopole Zdrój, ujęcia: R - Renata, E - Emilia

Fig. 32. Tritium concentrations in medicinal waters (tab. 11) depending on per cent share of shallow water admixtures: a - Świeradów Zdrój, b - Duszniki Zdrój, intakes: PCh - Pieniawa Chopina, JK - Jan Kazimierz, c - Szczawno Zdrój, intakes: M - Mieszko, Mł - Młynarz, Ma - Marta, D - Dąbrówka, M-14 - Mieszko-14, d - Kudowa Zdrój, e - Długopole Zdrój, intakes: R - Renata, E - Emilia



Rys. 33. Określone izotopowo obszary zasilania różnych wód leczniczych Ziemi Kłodzkiej (tab. 8) na tle hipsometrii (a) oraz budowy geologicznej tego obszaru wg [169] (b); oszacowane obszary zasilania wypływów najbliższych miejscowości zakropkowano; miejscowości (wg tab. 3): 1 - Polanica Zdrój, 2 - Szalejów Górny, 3 - Stary Wielisław Dolny, 4 - Gorzanów, 5 - Bystrzyca Kłodzka, 6 - Długopole Zdrój, 7 - Nowa Bystrzyca, 8 - Szczawina, 9 - Nowa Łomnica, 10 - Bobrowniki Stare, 11 - Duszniki Zdrój (obszar zakropkowany gęsto dla wód typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ , obszar zakropkowany rzadziej dla wód typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na-Mg}$ ), 12 - Kudowa Zdrój, 13 - Jeleniów; proterozoik gG - gnejsy, łupki metamorficzne; karbon górny: C<sub>2</sub> - zlepienie, piaskowce, łupki, gC - granitoidy kudowskie i nowohradzkie; perm nie rozdzielony: P - zlepienie, piaskowce, łowce; trias dolny: T - piaskowce; kreda górna: K - cenoman nie rozdzielony, K<sub>c</sub> - zlepienie, piaskowce; turon dolny: Kt<sub>1</sub> - zlepienie, mułowce, margle; turon środkowy: Kt<sub>2</sub> - piaskowce, margle, nie rozdzielone, pKt<sub>2</sub> - piaskowce, mKt<sub>2</sub> - margle; turon górny: Kt<sub>3</sub> - margle, łowce, Kt<sub>3</sub><sup>1</sup> - margle poziomu Inoceramus glatziae, Kt<sub>3</sub><sup>2</sup> - piaskowce, Kt<sub>3</sub><sup>3</sup> - łowce inoceramowe, Kt<sub>3</sub><sup>4</sup> - margle poziomu Inoceramus schloenbachi; koniak dolny: Kcn<sub>1</sub> - piaskowce, mułowce, łowce, pKcn<sub>1</sub> - piaskowce idzikowskie; koniak górny: Kcn<sub>2</sub> - piaskowce, mułowce, łowce, pKcn<sub>2</sub> - piaskowce z Boboszowa

Fig. 33. Isotopically determined areas of supply of various medicinal waters of the district of Kłodzko against the background of both hypsometry (a) and geological feature of the area according to [169] (b); estimated areas of discharge supply in the nearest health resorts are dotted; health resorts (according to tab. 3): 1 - Polanica Zdrój, 2 - Szalejów Górny, 3 - Stary Wielisław Dolny 4 - Gorzanów, 5 - Bystrzyca Kłodzka, 6 - Długopole Zdrój, 7 - Nowa Bystrzyca, 8 - Szczawina, 9 - Nowa Łomnica, 10 - Bobrowniki Stare, 11 - Duszniki Zdrój (densely dotted area concerns the waters of  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  type, while sparsely dotted area, the waters of  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na-Mg}$  type), 12 - Kudowa Zdrój, 13 - Jeleniów; Proterozoic: gG - gneisses, metamorphic schists; Upper Carboniferous: C<sub>2</sub> - conglomerates, sandstones, shales, gC - granitoids of Kudowa and Nowy Hrad; Permian (undiv.): P - conglomerates, sandstones, claystones; Lower Triassic: T - sandstones; Upper Carboniferous: K - Cenomanien (undiv.), K<sub>c</sub> - conglomerates, sandstones; Lower Turonian: Kt<sub>1</sub> - conglomerates, mudstones, marls; Middle Turonian: Kt<sub>2</sub> - sandstones, marls, not separated, pKt<sub>2</sub> - sandstones, mKt<sub>2</sub> - marls; Upper Turonian: Kt<sub>3</sub> - marls, claystones, Kt<sub>3</sub><sup>1</sup> - marls of Inoceramus glatziae level (zone) Kt<sub>3</sub><sup>2</sup> - sandstones, Kt<sub>3</sub><sup>3</sup> - Inoceramus claystones, Kt<sub>3</sub><sup>4</sup> - marls of Inoceramus schoenbachi level; Lower Coniacian: Kcn<sub>1</sub> - sandstones, mudstones, claystones, pKcn<sub>1</sub> - sandstones of Idzików; Upper Coniacian: Kcn<sub>2</sub> - sandstones, mudstones, claystones, pKcn<sub>2</sub> - sandstones of Boboszów

dzy szczawami reprezentowanymi przez wody ujęte otworem 2P a wodami odpowiadającymi wodom z ujęć Radoczynne 4-7 (rys. 32a) zawierającymi w okresie badań tryt w stężeniu śr. 39,2 TU. Położenie punktów na kolejnym wykresie (rys. 32b) wskazuje, iż szczawy dusznickie są rozcieńczane wodami zwykłymi zawierającymi tryt w stężeniach 80-90 TU.

Zupełnie zaskakująca sytuacja występuje w Szczawnie Zdroju (rys. 32c). Szczawy o mineralizacji ponad 3,5 g/dm<sup>3</sup> zawierają około 25 TU, a więc ilość odpowiadającą obecnym opadom, w mieszających się zaś z nimi wodach zwykłych tryt nie występuje. Wody szczaw, zasilane z przepływającego tu potoku Szczawnik lub w sąsiedztwie Szczawna (o czym jest mowa w następnym punkcie), muszą więc uzyskiwać względnie szybko swą wysoką mineralizację i następnie mieszać się z wodami słabo zmineralizowanymi zasilanymi przed 1954 r.

W dwóch uzdrowiskach uzyskane rezultaty wskazują, iż można określić zawartość trytu w szczawach przed ich rozcieńczeniem. Dotyczy to Kuldowy Zdroju, gdzie "czyste" szczawy zawierają - jak to wynika z rys. 32d - tryt w stężeniu ok. 5 TU, oraz Długopola Zdroju. W miejscowości tej eksploatuje się trzy ujęcia znajdujące się w sztolni zalanej wodą. Oznaczenia z marca 1985 r. wskazały, iż szczawy w złożu powinny zawierać tryt w stężeniu ok. 6 TU (rys. 32e). Podczas rekonstrukcji sztolni w połowie 1986 r. wyeliminowano zapewne dopływy wód zwykłych, jako że dwa najbardziej interesujące nas ujęcia zawierały już w sierpniu 1986 r. tryt w stężeniach 6,2 i 6,8 TU, a więc zgodnych z przewidywaniami.

Ogólnie z rysunku 32 wynika, iż rozcieńczające szczawy wody zwykle zawierają tryt w stężeniach wielu dziesiątek (40-90) jednostek trytowych (oprócz Szczawna), kilkakrotnie przekraczając obecne roczne wartości średnie w opadach. Stężenia takie wskazują na co najmniej kilkunastoletni przepływ podziemny tych wód.

W przypadku wód termalnych zbyt małe zróżnicowanie zawartości poszczególnych izotopów wynikające z niewielkich domieszek wód zwykłych powoduje, że uzyskiwany obraz mieszania się różnych rodzajów wód jest niewyraźny. Jedyne w Cieplicach Śl. Zdroju wskaźnikiem udziału wód zwykłych w ujęciach wód termalnych mogą być wartości  $\delta^{13}\text{C}$ , co zaprezentowano w pracy [42].

#### 5.4. Obszary zasilania wód leczniczych

Sporządzenie zależności, opisujących zmianę  $\delta^{18}\text{O}$  oraz  $\delta\text{D}$  zwykłych wód podziemnych wraz ze zmianą wysokości nad poziomem morza (p. 5.1.1.3, rys. 24), umożliwia uściślenie położenia obszarów zasilania poszczególnych złóż wód leczniczych poprzez określenie ich wysokości n.p.m.

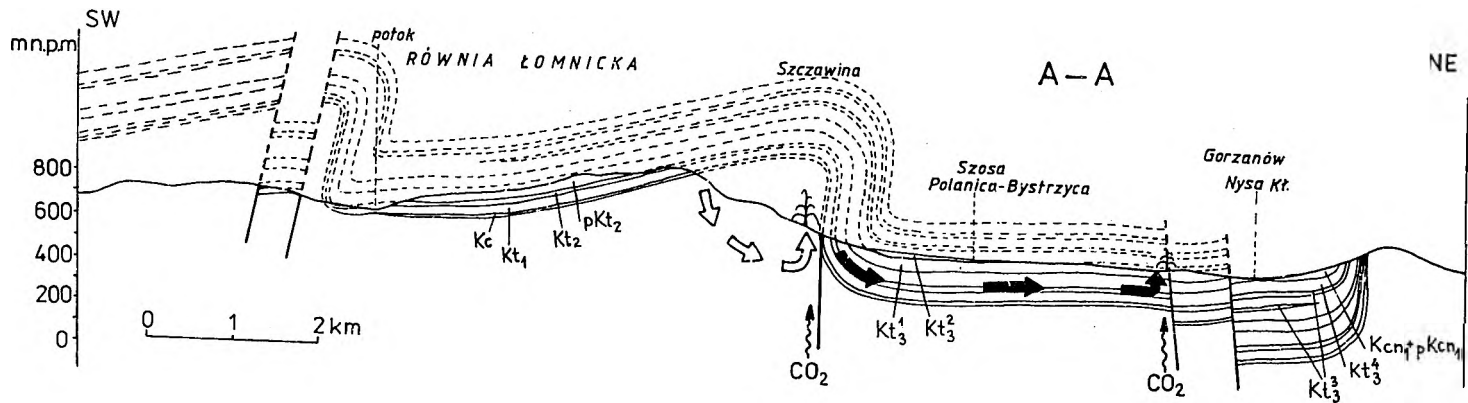
1. Szczawy. W przypadku tych wód skorzystanie z podanych zależności możliwe jest dodatkowo dzięki ilościowemu określeniu przesunięcia tlenowego. W kolumnie 11 tabeli 8 zestawiono wartości  $\delta^{18}\text{O}$  oraz  $\delta\text{D}$  wód najmniej zmieszanych w każdej z miejscowości, w których uwzględniono poprawkę na efekt kontynentalny oraz poprawkę na przesunięcie tlenowe. Na podstawie tych wartości można już oszacować wysokość infiltracji danych wód osobno dla obu izotopów. Obie otrzymane wysokości, umieszczone w kolumnie 12 tabeli 8, w każdym z przypadków wykazują dużą zgodność. Różnica pomiędzy nimi wynosi 10-70 m, a wyjątkowo tylko ponad 100 m (Jeleniów, pojedyncze ujęcie).

Mając na uwadze te zgodności można przyjąć, że obszarem zasilania szczaw polanickich jest rejon Szczytnej Śl. oraz południowo-wschodnie stoki Gór Stożowych (rys. 33). Obszar ten, określony na podstawie badań izotopowych, jest zgodny generalnie z poglądami J.Fistka [70]; należy jednak zaznaczyć, iż tylko fragmentami pokrywa się on z wychodniami piaskowców środkowoturzańskich. W świetle badań S.Kowalskiego [124] infiltracja zachodzić może także w obrębie innych skał. Zakres wysokości 430-480 m n.p.m. jest wyraźnie niższy od proponowanej przez J.Dowgiałkę (700 m n.p.m.) [53]. Wartości  $\delta\text{D}$  szczaw Szalejowa Górnego i Starego Wielisławia Dolnego zbliżone do tych wartości szczaw polanickich zdają się świadczyć o ich zasilaniu z podobnych wysokości. Mała liczba oznaczeń uniemożliwia jednak wyciągnięcie wiążących wniosków.

Zgodne z sugestiami J.Fistka [70] są również wnioski autora uzyskane z badań szczaw Gorzanowa. Wody ujęte w otworach nr 1 i nr 2 są zasilane na wysokości ok. 500 m n.p.m., a więc dokładnie w strefach wychodni warstw tworzących fleksurę Łomnickiej Równi (rys. 33 i 34) w zachodniej części rowu Nysy. Słaba wodonośność skał oraz brak dyslokacji poprzecznych po stronie wschodniej rowu [86] pozwalają wyeliminować ten obszar jako strefę zasilania. Próby z otworu nr 6 (tab. 8) wskazują na nadmiar ciężkiego izotopu tlenu w wodzie w porównaniu z innymi wodami sudeckimi; wymaga to wyjaśnienia.

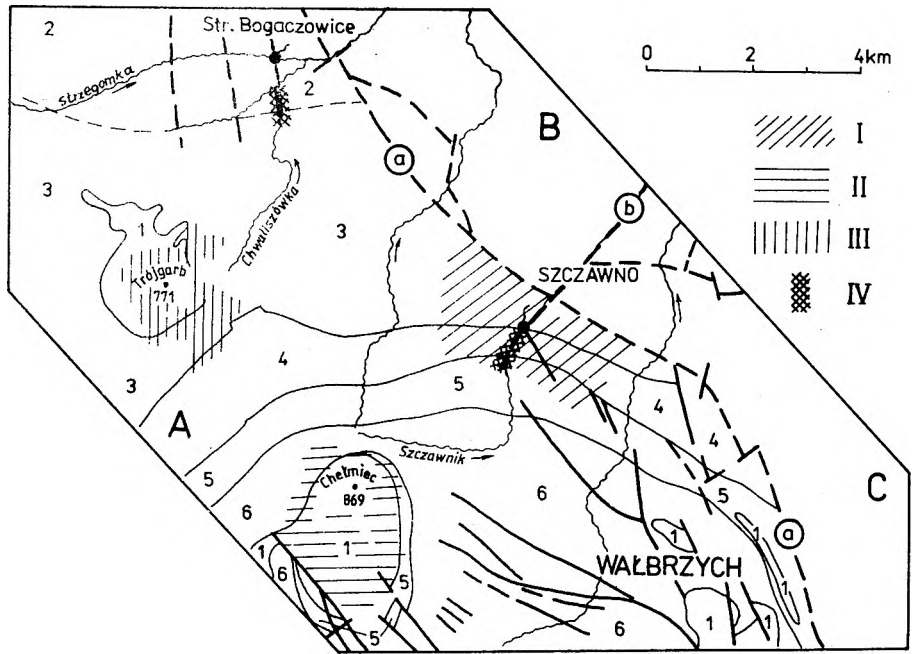
Morfologia oraz warunki geologiczne w rejonie Szczawiny wskazują, iż tutejsze wody mogą być zasilane tylko przy wschodniej krawędzi Łomnickiej Równi, w obrębie skał metamorficznych, na wysokości ok. 800 m n.p.m. Wysokość uzyskana za pomocą  $\delta^{18}\text{O}$  oraz  $\delta\text{D}$  wynosi odpowiednio 770 i 800 m n.p.m., zgodność jest więc pełna.

Szczawy Dusznik Zdroju i Bobrownik Starych są zasilane w Górach Bystrzyckich i Orlickich [70]. Obecne badania uściślają wysokość infiltracji na 650-750-850 m n.p.m. W dużej części jest to obszar zbudowany ze skał metamorficznych nie przykrytych osadami kredy. Rolę stref gromadzących i prowadzących wodę spełniają tu zapewne strefy uskrokowe przebiegające doliną Bystrzycy Dusznickiej.



Rys. 34. Zasilanie wodami infiltracyjnymi oraz juvenilnym dwutlenkiem węgla ujęć Szczawiny oraz Gorzanowa (przekrój geologiczny wg [169], oznaczenie i przebieg linii przekroju wg rys. 33)

Fig. 34. Supplying of water intakes in Szczawina and Gorzanów with infiltration waters and juvenile CO<sub>2</sub> (geological section according to [169], for explanations and run of cross-section see fig. 33)



Rys. 35. Określone izotopowo obszary zasilania szczaw Szczawna Zdroju i Starych Bogaczowice (tab. 8) na tle budowy geologicznej północno-wschodniej części niecki śródsudeckiej (wg [107], [190]); obszary zasilania: szczaw Szczawna Zdroju: I - typ  $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$ , II - typ  $\text{HCO}_3\text{-Na}$ ; III - Starych Bogaczowice; IV - przypuszczalne rejony infiltracji wód potoków Szczawnik i Chwaliszówka w strefy uskokowe; A - niecka śródsudecka: 1 - riolity, 2 - kulum ze Starych Bogaczowice, 3 - kulum ze Lubomina, 4 - kulum ze Szczawna, 5 - warstwy wałbrzyjskie, 6 - warstwy żaclerskie; B - depresja Świebodzic, nie rozdzielona; C - kra sowiogórska; ważniejsze uskoki: a - Strugi, b - Szczawnika

Fig. 35. Isotopically determined areas of supply of acidulous springs in Szczawno Zdrój and Stare Bogaczowice (tab. 8) against geological feature of NE part of intersudetes basin (according to [107], [190]); areas of supply of acidulous springs: in Szczawno Zdrój: I -  $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$  type, II -  $\text{HCO}_3\text{-Na}$  type; III - areas of supply of acidulous springs in Stare Bogaczowice; IV - presumable regions of infiltration of water from the Szczawnik and Chwaliszówka streams into fault zones; A - intersudetes basin: 1 - rhyolites, 2 - Culm from Stare Bogaczowice, 3 - Culm from Lubomin, 4 - Culm from Szczawno, 5 - layers of Wałbrzych, 6 - layers of Zacler; B - not divided depression of Świebodzice; C - block of Sowie Mountains; some important faults of: a - Struga, b - Szczawnik

Określony izotopowo obszar infiltracji szczaw ujętych otworem P-6 (najbardziej zmineralizowanych) w Kudowie Zdroju prawie dokładnie pokrywa się z krystalicznym obramowaniem obniżenia Kudowy. Obszar zasilania szczaw wypływających w centrum Kudowy można więc umiejscowić w obrębie granitów na północny-wschód od uzdrowiska. Wody Jeleniowa są natomiast zasilane w bezpośrednim sąsiedztwie ujęcia.



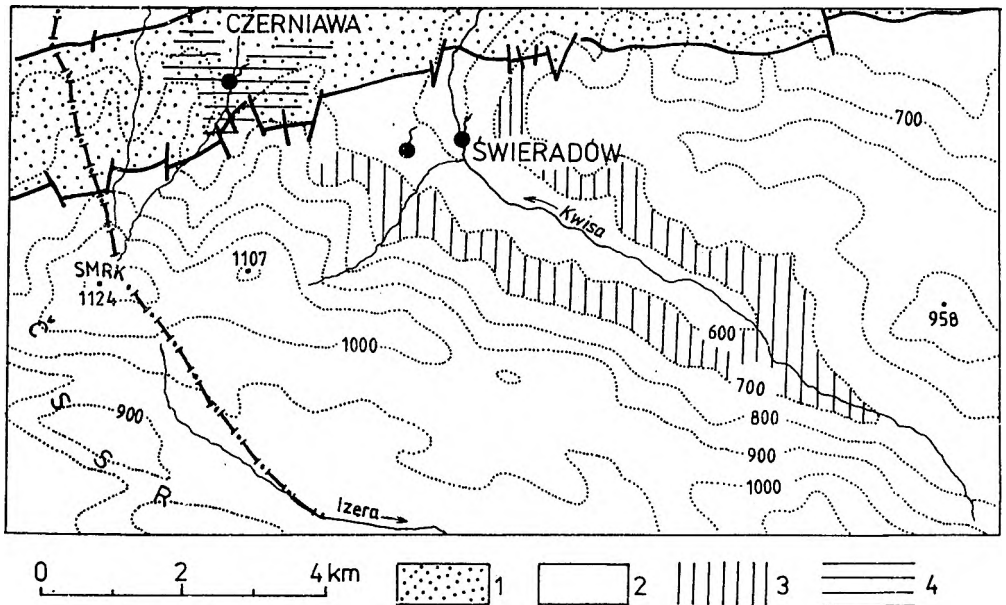
Z interesującym przypadkiem mamy do czynienia w Szczawnie Zdroju (rys. 35). Dwa wydzielone tu typy wód zasilane są odmiennie. Wody pierwszego z typów,  $\text{HCO}_3\text{-Na}$ , wypływające z ujęcia Mieszko pochodzą z wysokości 620–690 m n.p.m. Wysokością taką w najbliższej okolicy charakteryzuje się porfirowa kopuła Chełmca, u stóp której bierze początek przepływający przez centrum Szczawnia potok Szczawnik. Można więc wnioskować o zasilaniu źródła Mieszko przez wody tego potoku infiltrujące w strefę uskoku Szczawnika na południowy-zachód od centrum miejscowości. O ścisłym związku źródła z potokiem świadczą też archiwalne wyniki badań znacznikowych ( $\text{NaCl}$ ) przeprowadzonych na obszarze Szczawnia w 1968 r. [142]. Po jednym dniu od zasolenia potoku Szczawnik znacznik pojawił się w 3 z 9 ujęć źródła Mieszko oraz po pięciu dniach w 4 z 8 ujęć wód zwykłych otaczających to źródło. Wody źródła Dąbrówka o drugim typie  $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$ , charakterystycznym i dla pozostałych ujęć tej miejscowości, infiltrują na wysokości około 200 m niższej, co odpowiada najbliższemu sąsiedztwu źródła.

Brak trytu w wodzie z ujęcia Anna w Starych Bogaczowicach upoważnia do rozpatrzenia również tych wód pomimo jednorazowego opróbowania jednego ujęcia. Istniejąca tu sytuacja jest nieco podobna do przypadku wód typu Mieszko w Szczawnie. Infiltracja wód zachodzi na wysokości 630–680 m n.p.m., co odpowiada wysokościami stoków góry Trójgarb, położonej na południowy-zachód (rys. 35), spod której bierze początek potok Chwaliszówka płynący ku północy. Na długości ponad 1 km jego koryto pokrywa się z przebiegiem uskoku, w obrębie którego pojawiają się szczawy badanego ujęcia w dnice poprzecznej doliny Strzegomki. Można przypuszczać, że wody tego potoku infiltrują w strefę uskoku zasilając następnie szczawy źródła Anna. Brak trytu wskazuje na długi i być może głębszy przepływ podziemny wód możliwy przy słabej przepuszczalności tutajszych osadów dolnego karbonu i bardzo małej wydajności źródła.

W przypadku szczaw Świeradowa Zdroju i Czerniawy Zdroju uzyskane wyniki wskazują, iż średnio zasilanie odbywa się od 100 do 150 m powyżej ujęć, a więc w najbliższym sąsiedztwie tych miejscowości (rys. 36). Dane te odbiegają od wcześniejszych poglądów autora [27] o zasilaniu szczaw ierskich w szczytowych partiach Wysokiego Grzbietu a więc na wysokościach 1000–1100 m n.p.m.

2. Wody termalne. Z rezultatów przedstawionych w p. 5.2.2 wynika, że skład izotopów trwałych tlenu i wodoru prezentowanych wód termalnych nie odpowiada zależnościom sudeckim. Stosowanie więc zależności lokalnych do określenia wysokości infiltracji tych wód jest w obecnym stanie wiedzy nieuzasadnione. Tak więc określenie wysokości położenia obszarów zasilania sudeckich wód termalnych za pomocą izotopów trwałych pozostaje nadal sprawą otwartą; dotychczasowe poglądy na położenie tych obszarów przedstawiono w p. 3.2.





Rys. 36. Określone izotopowo obszary zasilania szczaw izerskich (tab. 8) na tle budowy geologicznej zachodniej części Gór Izerskich (wg [184]): 1 - łupki krystaliczne Pasma Kamienieckiego, 2 - gnejsy i leukogranity; obszary zasilania szczaw: 3 - Świeradów Zdrój, 4 - Czerniawa Zdrój  
 Fig. 36. Isotopically determined areas of supply of acidulous springs in Izerskie Mountains (tab. 8) against geological feature of west part of Izerskie Mountains (according to [184]): 1 - crystalline schists of the belt of Kamienieckie Mountains, 2 - gneisses and leucogranites; areas of supply of acidulous springs in: 3 - Świeradów Zdrój, 4 - Czerniawa Zdrój

3. Wody radoczynne. Wody radoczynne należące do wód płytszego krążenia nie mają zbyt rozległych systemów krążenia. Niektóre ze źródeł takich wód obserwowane były w ramach CPBP nr O4.10 [128] jako punkty repereowe badań izotopowych do wyznaczenia efektu wysokościowego. Wszystkie rezultaty (bez żadnych poprawek) zestawiono w tab. 10, w której podano również średnie wartości wysokości obszarów zasilania oszacowane na podstawie hipsometrii terenu.

Przedstawione powyżej rozważania oparte są na wynikach badań izotopowych, które uściślają położenie obszarów zasilania poszczególnych źródeł wód. Dokładniejsza lokalizacja takich obszarów wymaga pełnej analizy hydrogeologicznej pojedynczych źródeł, włącznie z zagadnieniami ich zasobów. Wychodzi to poza zakres niniejszej pracy.

T a b e l a 10

Stabilne izotopy tlenu i wodoru niektórych wód radoczych Sudetów  
(część wyników pochodzi z pracy [128])

Nr wg tab. 3	Miejscowość	Ujęcie	Data pobrania prób	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta\text{D}$	$H_w$	$H_{\text{sr}}$	$H_{\text{max}}$
				‰				
2	Kowary	Nr 26	17.07.86	-10,3	-69	575	700	820
			29.01.87	-10,3	-67			
		Nr 45 (sztolnia)	17.07.86	-11,1	-74	725	1100	1260
3	Sosnówka	Anna	17.07.86	-10,1	-70	710	740	784
			29.01.87	-10,4	-71			
5	Świeradów Zdrój	Radoczyne 4	17.07.86	-10,4	-72	575	800	1107
			28.01.87	-10,55	-72,5; -72			
	Przerze- czyn Zdrój	nr IX	22.01.87	-9,55	-66,5	230	250- 300	
		nr VIII	12.03.87	-9,45	-66,5			

$H_w$  - wysokość wypływu;  $H_{\text{sr}}$  - średnia oszacowana wysokość obszaru zasilania;  $H_{\text{max}}$  - najwyższe wzniesienie w okolicy.

### 5.5. Wiek wód

Podstawowe typy sudeckich wód leczniczych należą do różnych grup pod względem wieku, a więc czasu, jaki upłynął od ich infiltracji do chwili wypływu na powierzchnię.

Najmłodsze są wody r a d o c z y n n e. Wszystkie wody badane zawierają tryt w ilościach 26,7-44,5 TU (wyjątkowo 72,0 TU, tab. 11), a więc spotykanych w wodach zwykłych tła. Można stwierdzić, iż są to wody współczesnej infiltracji, która nastąpiła po 1954 r., tzn. po rozpoczęciu prób z bronią jądrową.

Wodami starszymi są s z c z a w y, w których co prawda stwierdzono obecność trytu (tab. 11), lecz uwzględnienie zjawiska mieszania się z wodami zwykłymi (p. tab. 7) wskazuje, iż szczawy niez mieszane najczęściej trytu nie zawierają. W pięciu miejscowościach stwierdzono szczawy beztrytowe lub zawierające tryt w granicach dokładności oznaczeń (Polanica, Stary Wielisław, Kudowa, Stare Bogaczowice i Świeradów), w szóstej zaś otrzymane rezultaty wskazują na brak w nich trytu (Duszniki, rys. 32b). W pozostałych miejscowościach (oprócz Szczawna) wody najbardziej zmineralizowane mają ten izotop w stężeniach kilku jednostek trytowych. Dalsze badania powinny wykazać, czy są to zawartości będące skutkiem tylko rozpadu radioaktywnego zawartego w nich trytu, czy też nie-

T a b e l a 11

## Tryt w szczawach i wodach radocząnych (TU)

Nr wg tab.3	Miejscowość	Ujęcie	Dane z literatury	1984	1985	1986	1987
1	2	3	4	5	6	7	8
S z c z a w y							
1	Polanica Zdrój	P-300 Wielka Pieniawa Pieniawa Józefa II Stary Józef		28.09 1,9±1,5 28.09 15,8±1,5	6.11 0,0±1,5 6.11 0,7±1,5 6.11 12,7±1,5 6.11 23,4±1,5		
2	Szalejów Górny						21.01 8,6±1,0
3	Stary Wielisław Dolny	Nr 4					21.01 0,0±1,0
4	Gorzanów	Nr 1 (Złota Koczka) Nr 2 Nr 6					13.11 26,6±1,3 21.01 6,5±1,0 21.01 1,8±1,0
6	Długopole Zdrój	Emilia Renata Kazimierz		28.09 17,7±1,5 28.09 16,6±1,5	03 26,2±1,5 03 14,4±1,5	19.08 15,6±1,0 19.08 6,2±1,0 19.08 6,8±1,0	
7	Nowa Bystrzyca		05.79 10-16 [102]				
8	Szczawina	Studzienne		28.09 20,4±1,5			
9	Nowa Łomnica	(niższe)					21.01 3,1±1,0
10	Bobrowniki Stare	Maria					21.01 6,7±1,0
11	Duszniki Zdrój	B-4 Pieniawa Chopina Jan Kazimierz ----- B-3	1985 9 [58]	28.09 7,7±1,5 28.09 35,1±1,8	6.11 8,5±1,5 24,9±1,5 32,3±1,6 16,4±1,5		
12	Kudowa Zdrój	P-6 K-200 Nr 2 (Moniuszko) Nr 3 (Marchlewski)		28.09 0,0±1,5 28.09 28,8±1,6	6.11 0,5±1,5 6.11 6,2±1,5 6.11 27,7±1,5		13.11 0,0±1,0

1	2	3	4	5	6	7	8
13	Jeleniów	J-150			6.11 5,1±1,5		
15 16	Wałbrzych	Thorez, 3 próby	09.81 56-74 [102]				
18	Szczawno Zdrój	Mieszko ----- Młynarz Marta Dąbrówka Mieszko-14		5.10 19,9±1,5  5.10 7,7±1,5	20.06 19,9±1,5  20.06 17,8±1,5 20.06 12,5±1,5 20.06 8,8±1,5 20.06 6,5±1,5		
19	Bogaczowice Stare	Anna					17.01 0,7±1,0
20	Rochowice Stare	Bolko II					12.11 5,3±1,0
21	Świeradów Zdrój	2P Zofia 1a 3a Górne 2	5.10.72 12±5 [142] 1985 6 [58]	3.10 0,0±1,5 3.10 9,5±1,5 3.10 31,8±1,8 3.10 32,4±1,8 3.10 35,7±1,9	10.06 5,7±1,5 10.06 29,0±1,5 10.06 31,3±1,6 10.06 29,4±1,5		
22	Czerniawa Zdrój	Nr 4 Jan	1985 8 [58]	3.10 1,8±1,5 3.10 56,0±1,5			12.11 4,2±1,0
W o d y r a d c z y n n e							
2	Kowary	Nr 26 Nr 45 (sztolnia)				17.07 72,0±3,5 17.07 40,3±1,9	
3	Sosnowka	Św. Anny				17.07 44,5±2,0	29.01 44,4±2,0
5	Świeradów Zdrój	Radoczynne 4 Radoczynne 5 Radoczynne 6 Radoczynne 7 Sankta Maria		3.10 38,5±2,0 3.10 40,3±2,1 3.10 37,6±2,0 3.10 40,6±2,0 3.10 26,8±1,6	10.06 29,5±1,5  10.06 30,7±1,5 10.06 26,7±1,5		28.01 28,7±1,3
6	Czerniawa Zdrój	Nr 1		3.10 35,6±1,8	10.06 31,0±1,5		
W o d y s i a r c z k o w e							
1	Przerzeczyn Zdrój	Nr IX					22.01 0,2±1,0

znacznych domieszek wód obecnej infiltracji. Osobno potraktować należy szczawy Kudowy i Długopola, w których (jak wykazano w p. 5.3) tryt w wodach niezmiyszanych powinien występować w stężeniach odpowiednio 5 i 6 TU; również one wymagają dalszych badań.

Ogólnie więc wody niezmiyszanych szczaw nie zawierają trytu, pochodzą więc sprzed 1954 r., a skład ich izotopów stabilnych jest zgodny z obecnie obserwowanym w zwykłych wodach podziemnych. Szczawy sudeckie można więc określić (wg nomenklatury A. Zubera [199]) jako wody holocen-skie. Niestety, obecność juwenilnego dwutlenku węgla uniemożliwia wykonanie w nich oznaczeń  $^{14}\text{C}$ .

Najstarszymi wodami są wody t e r m a l n e, których wiek można szacować na podstawie wyników badań radiowęgla. W metodzie  $^{14}\text{C}$  wykorzystuje się fakt, iż ten radioaktywny izotop węgla z okresem półrozpadu 5730 lat jest obecny w wodach w węglu jonów  $\text{HCO}_3^-$  i  $\text{CO}_3^{2-}$  oraz w  $\text{CO}_{2\text{org}}$ . Mierzone stężenia  $^{14}\text{C}$  wyraża się w procentach węgla współczesnego (pmc - percent of modern carbon), tzn. obecnego w roślinach w 1850 r. (tzw. standard NBS). Metodą tą można datować wody pochodzące najwcześniej sprzed ok. 35 tysięcy lat. Szerzej przedstawiono ją w pracach [165], [199] i in.

Pierwsze (z 1972 r.) oznaczenia radiowęgla w wodach termalnych Łądka Źródła (tab. 9) i Cieplic Śl. Źródła przedstawili J. Dowgiałło i in. [63]. Autor i in. badania takie powtórzyli w 1983 r. w wodach cieplickich (tab. 9), uzyskując wyniki zbliżone do rezultatów sprzed 11 lat. Z 1983 r. pochodzą również oznaczenia izotopowe wód Turowa przedstawione przez autora i T. Sztuka [41].

Stężenie  $^{14}\text{C}$  w wodach Łądka Źródła wskazuje, iż wiek ich można określić na kilka-kilkanaście tysięcy lat. Skład izotopowy stabilnych izotopów tlenu i wodoru, zbliżony do linii sudeckiej  $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ , sugeruje jednak, że ich infiltracja następowała w warunkach zbliżonych do obecnych. Można więc zakładać, że wody łądeckie pochodzą z początku holo-cenu (ok. 10 tys. lat). Wartość ta uzyskana dzięki nowym danym, jest o połowę mniejsza od proponowanej przez autora w pracy [24].

Pozostałe wody termalne Cieplic Śl. Źródła (oprócz wód z ujęć Sobieski i Wacław), Turowa i Wielkich Łosin charakteryzują się brakiem trytu oraz małymi stężeniami  $^{14}\text{C}$  (od 0,8 do 8,6 pmc), co pozwala datować czas ich infiltracji na kilka dziesiątek tysięcy lat temu. Wiek taki oraz składy izotopów trwałych tlenu i wodoru wskazujące na zasilanie w odmiennych warunkach klimatycznych wskazują, że zasilanie tych wód następowało w okresie ostatniego glacjału.

Dalsze badania izotopowe wód leczniczych, dotyczące przede wszystkim zawartości trytu, umożliwią ilościowe określenie czasu przepływu podziemnego części z nich, na co pozwalają stosowane obecnie modele matematyczne (np. [141], [198] i in.).

## 6. ZAGROŻENIA WÓD LECZNICZYCH

Literatura dotycząca zagrożenia wód leczniczych staje się coraz obszerniejsza. Ma ona jednak najczęściej charakter przyczynkowy. Ochrony wód leczniczych dotyczą ogólne prawidłowości ochrony wód podziemnych przedstawione np. w [156], w której to pracy zawarty jest również rozdział pt.: "Ochrona mineralnych wód leczniczych". Problemy ochrony scharakteryzowano w nim głównie na przykładach wód Czechosłowacji. Wiele informacji na omawiany temat można też znaleźć w pracach [109], [161] i in.

Ogólnie wyróżnić można dwa rodzaje zagrożeń wód podziemnych:

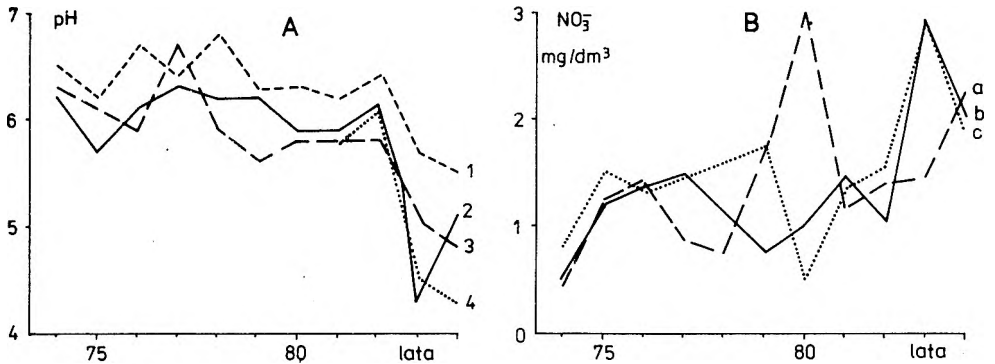
- ilościowe (zasobowe) - spowodowane przez czynniki naturalne albo przez procesy i czynniki sztuczne, związane z działalnością człowieka,
- jakościowe - związane z pogorszeniem jakości wód pod względem biologicznym, fizycznym i chemicznym.

W przypadku leczniczych wód sudeckich mamy do czynienia z zagrożeniami obu tych typów - ilościowymi, spowodowanymi przez czynniki sztuczne, oraz jakościowymi. W tych drugich nie spotykamy się ani z degradacją fizyczną ani z biologiczną (bakteryjną), pomijając niewielkie przekroczenia miana coli wynikające ze sposobu eksploatacji (baseny, np. ujęcie Wojciech w Łądku) bądź wskutek znacznych opadów (Dąbrówka w Szczawnie). Zupełnie nowym problemem jest natomiast pojawienie się w wodach zanieczyszczeń chemicznych.

Problem ogólnej degradacji środowiska naturalnego w kraju jest powszechnie znany. Dotyczy to również Sudetów, w których na leśnych obszarach Gór Izerskich, Karkonoszy i Masywu Śnieżnika ogłoszono stan klęski ekologicznej. Niekorzystne zmiany obserwuje się już w ciekach powierzchniowych [88], [196], jeziorach [87] i płytkich wodach ultraszłodkich [45], [46], [127] (rys. 37). Problem zagrożenia jakościowego wód podziemnych stanowi obecnie przedmiot prac wielu zespołów badawczych. Na przykład autorzy pracy [129] (w tym i autor) podali typy i strukturę poligonów doświadczalnych oraz zakres prac prowadzonych przez nich na terenie Dolnego Śląska w ramach Centralnego Programu Badań Podstawowych nr 04.10.

Niestety, niekorzystne zmiany obserwuje się już także w wodach leczniczych. Podstawową rolę odgrywają tu fatalne warunki środowiskowe na obszarach samych miejscowości uzdrowiskowych ([146], [147] i in.). Z innych przyczyn zagrożenia wód sudeckich wymienić należy:

- szczelinowy charakter większości skał wodonośnych, niekiedy bardzo spękanych,



Rys. 37. Zmienność średnich rocznych wartości pH i zawartości azotanów w wodach ujętych do celów komunalnych w rejonie Karkonoszy (wg [45]): A - pH w ujęciach Szklarskiej Poręby: 1 - Biała Dolina (52 pomiary), 2 - Wysoki Kamień (54), 3 - Kamieńczyk (55), 4 - Jakuszyce (9); B - zawartość azotanów w ujęciach: a - Przesieka (49), b - Kowary Górne (38), c - Wojków (36)

Fig. 37. Variabilities of mean annual values of pH and nitrate contents at intake of waters for municipal purposes in the region of Karkonosze Mountains (according to [45]): A - pH of water at water intake in Szklarska Poręba: 1 - Biała Dolina (52 measurements), 2 - Wysoki Kamień (54 measurements), 3 - Kamieńczyk (55 measurements), 4 - Jakuszyce (9 measurements); B - nitrate contents in intake waters of: a - Przesieka (49 measurements), b - Kowary Górne (38 measurements), c - Wojków (36 measurements)

- cienką warstwę zwietrzelin i gleby przykrywającą skały,
- wysokie opady,
- skażenie środowiska, przy czym oprócz nieprawidłowej gospodarki na terenie samych uzdrowisk znaczenie mają skażenia atmosfery o charakterze regionalnym i ponadregionalnym,
- degradację lasów i in.

Przechodząc do omówienia niekorzystnych zmian pochodzenia antropogenicznego w wodach leczniczych, należy zaznaczyć, iż obecne w nich niektóre składniki naturalne w ogólnym pojęciu uważane są za wskaźniki zanieczyszczeń. Zaliczyć do nich można umieszczone w tab. 12:

składniki podrzędne i mikroskładniki	- F, Fe, As,
składniki promieniotwórcze	- Rn,
gazy	- CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S.

Z tabeli wynika, że dopuszczalne normy dla wód pitnych w przypadku żelaza i arsenu przekraczane są nawet setki razy. Metale ciężkie w wodach leczniczych występują najczęściej w śladowych ilościach i ich zawartość nie przekracza norm.

T a b e l a 12

Minimalne i maksymalne ilości wybranych składników w wodach leczniczych  
uzdrowisk sudeckich

Nr wg tab. 3	Miejscowość	F <sup>-</sup>	Fe <sup>2+</sup>	HSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	Rn
		mg/dm <sup>3</sup>					
1	Polanica Zdrój	ns	2,0-38		535-2752	ns - 2,2	śl - 29,6
6	Długopole Zdrój	0,15-0,25	3,8-55		1300-2628		25,9-92,5
11	Duszniki Zdrój	ns - 0,42	1,8-22	ns - 1,0	1150-2800	ns - 4,42	ns - 151,7
12	Kudowa Zdrój + Jeleniów	0,2-07	0,3-22	śl - 5,0	1500-2780	ns - 4,5	ns - 155,4
18	Szczawno Zdrój	ns	0,42-6,2		820-2500		11,1-303,4
21	Świeradów Zdrój	ns - 2,4	0,03-45,2		1500-3100 <sup>1</sup>		3,7-1783,4
22	Czerniawa Zdrój	0,8-1,5	ns - 53,2		1000-3500 <sup>1</sup>		44,7-1739
1	Lądek Zdrój	8-13	śl - 0,9			0,4-3,57	111-1369
2	Cieplice Śl. Zdrój	1,8-13	śl - 0,5			ns - 1,19	1,85-162,8
Dopuszczalne zawartości w wodzie pitnej wg:							
norm polskich		1,50	0,5	0,05		(0,05)	
norm WHO [101]		1,50	0,3	0,05			0,1

<sup>1</sup> nie występuje w słabo zmineralizowanych wodach radoczynnych.



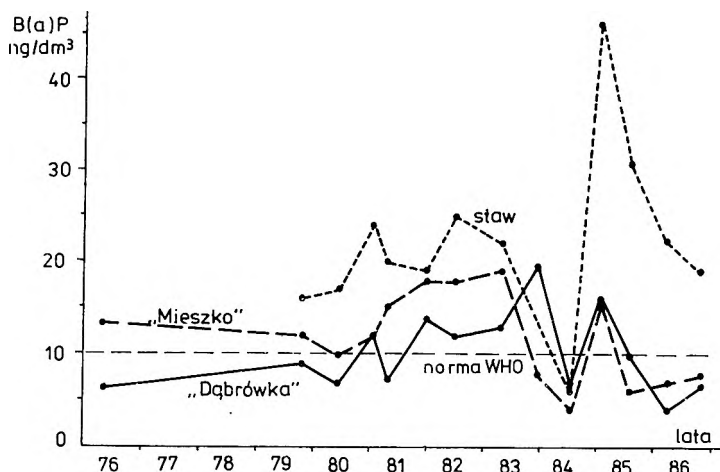
### 6.1. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) jako przykład zagrożeń jakościowych

Spośród wielu zanieczyszczeń środowiska naturalnego na szczególną uwagę zasługują węglowodory. W tej grupie związków szczególne znaczenie mają wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne; niektóre z nich wykazują działanie kancerogenne, teratogenne i mutagenne. W przyrodzie WWA naturalnego pochodzenia występują w znikomych ilościach, natomiast w ilościach anomalnych powstają podczas procesów związanych z działalnością człowieka, w wyniku spalania substancji organicznych (np [2]). Zwiększone ilości WWA stwierdza się w okolicach elektrowni, koksowni, kotłowni, zakładów petrochemicznych, tras komunikacyjnych i in. Szczególnie duże ich zawartości w porównaniu z innymi ośrodkami przemysłowymi świata stwierdza się w aerozolu atmosferycznym w Worku Żytawskim ([122], elektrownie pracujące na węglu brunatnym w Polsce, NRD i CSSR).

Emisja i przenikanie różnego rodzaju zanieczyszczeń przemysłowych, gospodarczych i bytowych zawierających WWA powoduje ich nagromadzenie również w środowisku wodnym [153]. WWA są szczególnie niepożądane w wodach przeznaczonych do picia, gdyż nie ulegają degradacji. Spośród ponad 800 substancji stwierdzonych w wodach węglowodory te należą do grupy najbardziej toksycznych. J. Borneff i H. Kunte [15] pierwsi prowadzili wieloletnie badania nad występowaniem WWA w środowisku wodnym i przyjęli, że zawartość sześciu reprezentatywnych związków z tej grupy w wodach podziemnych wynosiła około  $50 \text{ ng/dm}^3$ . W wodach uzdatnianych związki te występowały w ilości około  $100 \text{ ng/dm}^3$ , natomiast ich zawartość powyżej  $200 \text{ ng/dm}^3$  świadczyła o zanieczyszczeniu wód. Na podstawie tych badań Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) w 1971 r. ustaliła dopuszczalne stężenie sześciu wybranych WWA w wodach przeznaczonych do picia na  $200 \text{ ng/dm}^3$ . Należą do nich następujące związki:

3,4-benzopiren	B(a)P	- silnie aktywny
3,4-benzofluoranten	B(b)F	- średnio aktywny
2,3-fenylopiren	IP	- mało aktywny
11,12-benzofluoranten	B(k)F	- nieaktywny
1,12-benzoperylen	B(ghi)P	- nieaktywny
fluoranten	Fl	- nieaktywny

Radzieckie ustawodawstwo sanitarne [183] przyjmuje jedynie zawartość B(a)P w stężeniu granicznym  $5 \text{ ng/dm}^3$ . W zalecanych obecnie standardach międzynarodowych [101] dla wód pitnych ustala się dopuszczalną zawartość również tylko B(a)P w stężeniu granicznym  $10 \text{ ng/dm}^3$ . W polskich normach (PN-80/C-04544-01) została ujęta tylko metodyka oznaczeń WWA.



Rys. 38. Zawartość B(a)P w latach 1976-86 w wodach leczniczych z dwóch ujęć oraz w wodzie powierzchniowej (staw) Szczawna Zdroju (wg [104], uzupełnione)

Fig. 38. Benzo(a)pyrene content in medicinal waters in two intakes and in surface water (pond) in Szczawno Zdrój (supplemented data according to [104]) in the period of 1976-1986

W latach 1976-79 J. Grochmalicka-Mikołajczyk i in. [106] zbadali zawartość tych związków w wodach leczniczych 12 ujęć 9 uzdrowisk krajowych. Wykazano też, że zanieczyszczenie środowiska naturalnego przez przemysł wałbrzyski wpływa na zwiększenie zawartości WWA w wodach leczniczych Szczawna Zdroju [104], [105]. Na rysunku 38 przedstawiono przykładowo zmiany w czasie zawartości B(a)P w dwóch ujęciach oraz wody powierzchniowej (staw) tego uzdrowiska. Najwyższe stężenia B(a)P obserwuje się w wodzie powierzchniowej, niższe w wodzie z ujęcia Mieszko, zasilanej zapewne z przepływającego tu potoku (p. 5.4), a najniższe w ujęciu Dąbrówka. Większość otrzymanych wyników świadczy o przekroczeniu normy WHO. Na konieczność oznaczeń m.in. WWA w wodach leczniczych zwrócili uwagę również Fresenius i Schneider [91].

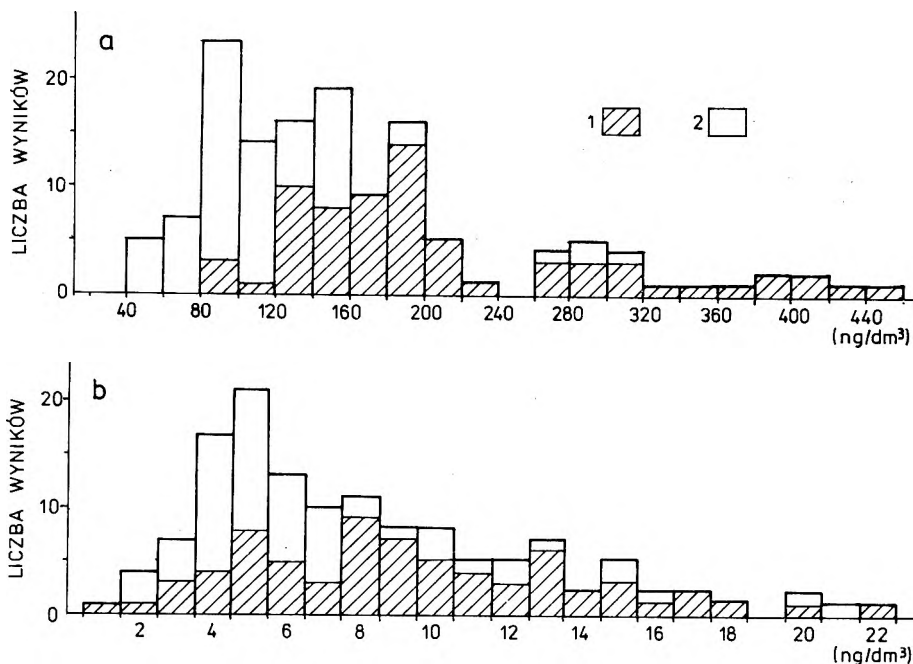
Wykazana w poprzednich rozdziałach obecność wód zwykłych w ujęciach wód leczniczych wskazuje na możliwość przedostawania się WWA do źródeł takich wód. Świadomość tego oraz ostre normy sanitarne wobec wód leczniczych skłoniły autora do kompleksowego potraktowania WWA w wodach leczniczych Sudetów. Ponieważ badania wykonane w 1983 r. przez autora i in. wykazały obecność tych związków [44], od 1984 r. poszerzono je i we współpracy z Katedrą i Zakładem Chemii Nieorganicznej i Analitycznej Akademii Medycznej w Poznaniu wykonano wszystkie oznaczenia [8], [10].

Dotychczasowe wyniki zebrano syntetycznie w tabeli 13. Uwzględnione w niej dane pochodzą z okresu od 24.09.83 r. do 17.03.86 r. i obejmują 133 analizy wykonane w 48 ujęciach. W celach porównawczych wykona-

T a b e l a 13

Zawartość sumy sześciu reprezentatywnych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych oraz B(a)P w wodach leczniczych, zwykłych wodach podziemnych i wodach powierzchniowych Sudetów, wg [11]

Rodzaj wód	Liczba analiz	Zawartość $\Sigma$ WWA				Zawartość B(a)P			
		min	śr.	max	$\sigma$	min	śr.	max	$\sigma$
		ng/dm <sup>3</sup>							
Wody powierzchniowe	22	220	454,5	1172	234,3	5	29,4	80	20,9
Zwykłe wody podziemne	18	90	148,9	292	47,6	5	9,33	17	3,4
Wody lecznicze: Świeradów i Czerniawa	69	92	210,4	444	88,6	2	9,3	22	4,4
pozostałe miejscowości	64	52	114,5	319	55,5	1	6,3	21	3,9



Rys. 39. Rozkład częstości wyników oznaczeń sumy sześciu WWA (a) oraz benzo(a)pirenu (b) w wodach podziemnych Sudetów (wg [11]): 1 - Świeradów Zdrój i Czerniawa Zdrój, 2 - pozostałe miejscowości  
 Fig. 39. Frequency distribution of results of sum determination of six PAHs (a) and benzo(a)pyrene (b) in underground waters in Sudeten (according to [11]): 1 - Świeradów Zdrój and Czerniawa Zdrój, 2 - the other localities

no również 18 analiz zwykłych wód podziemnych (wybrane punkty spośród przedstawionych na rys. 21) oraz 22 analizy wód powierzchniowych (potoki w Świeradowie i Jakuszycach oraz stawy w Świeradowie i Szczawnie [11].

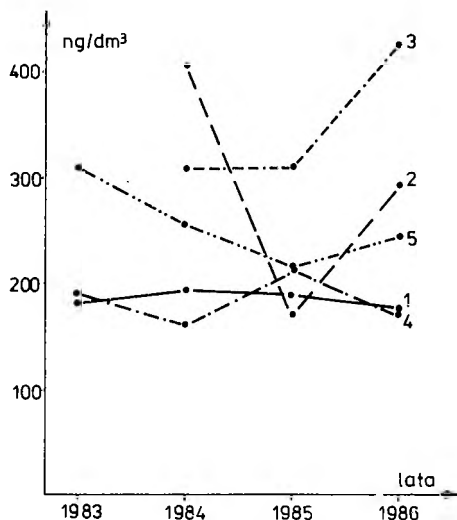
Najwyższymi zawartościami WWA charakteryzują się wody powierzchniowe, w których normy WHO są znacznie przekroczone. Jest to fakt godny podkreślenia, jako że badane potoki znajdują się w szczytowych partiach gór nie narażonych na bezpośrednie oddziaływanie lokalnych źródeł skażenia (np. kotłownię w Świeradowie). Poniżej normy mieszczą się średnie zawartości sumy WWA i B(a)P w zwykłych wodach podziemnych. Ponieważ prezentowane badania w kraju należą do pierwszych o takim zasięgu, przeto wymienione dane można przyjąć za wstępne wartości współczesnego tła WWA w zwykłych wodach podziemnych Sudetów.

Nieco niższe od nich są średnie zawartości WWA w wodach leczniczych z wyjątkiem wód Świeradowa i Czerniawy (rys. 39). W tych ostatnich miejscowościach średnie ilości sumy WWA przekraczają normę, ilość B(a)P jest

WWA zidentyfikowane w wodach Świeradowa i Czerniawy w 1985 r., wg [12]

Miejscowość	Ujęcie	Analizowane związki												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Świeradów	2P	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
	Radoczynne Nr 4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Czerniawa	Nr 4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
	Jan	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Świeradów	Woda powierzchniowa (staw)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

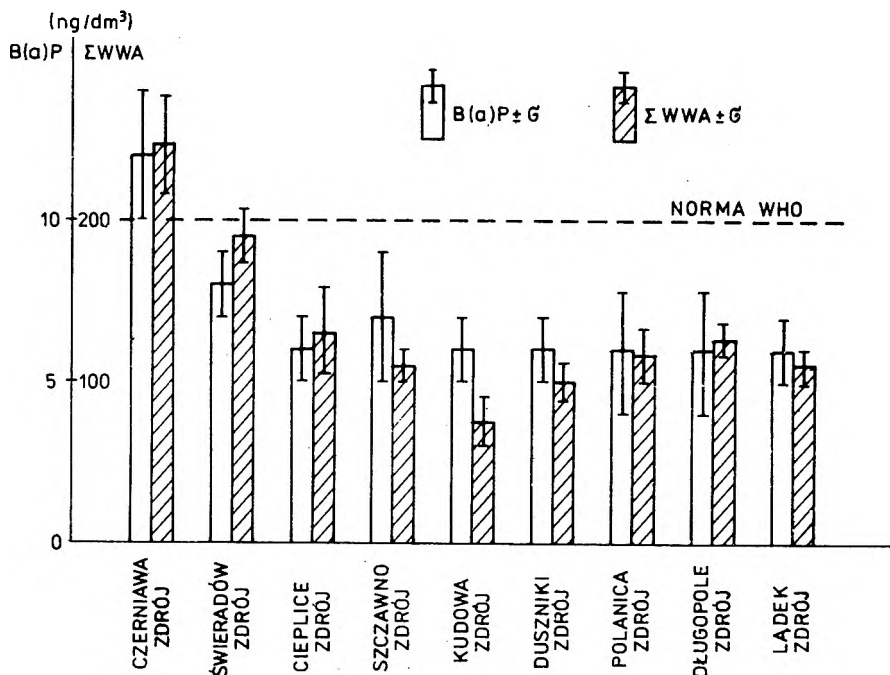
1 - antracen, 2 - benzo(a)antracen, 3 - benzo(b)fluoranten, 4 - benzo(i)-fluoranten, 5 - benzo(k)fluoranten, 6 - benzo(a)piren, 7 - benzo(g,h,i)perylene, 8 - fluoranten, 9 - indeno(1,2,3,c,d)piren, 10 - coronen, 11 - dibenzo(a,h)antracen, 12 - piren, 13 - perylen



Rys. 40. Wartości sumy sześciu WWA w wybranych wodach Świeradowa Zdroju i Czerniawy Zdroju (wg [12]): Świeradów: 1 - 2P, 2 - Radoczynne 4, 3 - staw; Czerniawa: 4 - Nr 4, 5 - Jan

Fig. 40. Values of the sum of six PAHs in chosen waters in Świeradów Zdrój and Czerniawa Zdrój (according to [12]): Świeradów: 1 - 2P, 2 - radioactive, 3 - pond; Czerniawa: 4 - No. 4, 5 - Jan

zaś do niej zbliżona. W pojedynczych przypadkach zawartości te przekraczają dwukrotnie normy światowe [12], [30]. Ten stan utrzymuje się w czasie (rys. 40) [12], [104]. Ze względu na szczególnie niekorzystną sytuację ekologiczną w Górach Izerskich wykonano jakościową identyfikację występujących w wodach węglowodorów. Stwierdzono występowanie 13 związków tej grupy (tab. 14), przy czym wszystkie je znaleziono w wodzie powierzchniowej oraz płytkiej podziemnej (Radoczynne 4), natomiast w pozo-



Rys. 41. Średnie zawartości sumy sześciu WWA oraz B(a)P w wodach leczniczych uzdrowisk sudeckich (lata 1983-86, wg [8])  
 Fig. 41. Mean contents of the sum of six PAHs and benzo(a)pyrene in medicinal waters of the Sudeten health resort in the period of 1983-1986 (according to [8])

stałych ujęciach liczba ich wynosiła 10-11; nie zawierały one związków o największych masach molowych, a więc o utrudnionej migracji w głębsze podłoże [12].

Na rysunku 41 zestawiono średnie zawartości węglowodorów ze wszystkich ujęć w poszczególnych uzdrowiskach uszeregowanych z zachodu na wschód. Wyraźnie widoczne jest zmniejszenie się zawartości prezentowanych związków w kierunku wschodnim. Kierunek taki zgodny jest z kierunkiem atmosferycznego transportu zanieczyszczeń o charakterze transgranicznym, które wiązać można z zespołem elektrowni w NRD (Hirschfelde, Hagenwerder), w CSSR (rejon Mostu) a także polskiej elektrowni Turów - wszystkich bazujących na węglu brunatnym.

Na rysunku tym przedstawiono średnią zawartość WWA w poszczególnych uzdrowiskach. Obserwuje się jednak zróżnicowanie ilości węglowodorów w różnych ujęciach wód leczniczych tej samej miejscowości. Powinna się zatem uwidoczniać analogia między zawartością trytu w wodach, obecnością w nich domieszek wód zwykłych, a zawartością węglowodorów. W tabeli 15 zestawiono odpowiednie dane. W przypadku wód Polanicy (rys. 30),

Rezultaty analiz WWA, zawartości trytu i procentowy udział wód zwykłych w wybranych ujęciach wód leczniczych Sudetów; wyniki z 1984 r. (wg [9])

Nr	Miejsco- wość	Ujęcia	Zawartość trytu (TU)	Procentowy udział wód zwykłych	Zawartość WWA (ng/dm <sup>3</sup> )						
					B(a)P	F1	B(ghi)P	IP	B(b)F	B(k)F	Suma
1	Polanica Zdrój	Wielka Pie- niawa Józef II	1,9±1,5	40	5	43	9	17	8		82
			15,8±1,5	70	10	113	19	17	11	14	184
2	Długopole	Renata Emilia	16,6±1,5	13	11	50	15	9	15	8	108
			17,7±1,5	14	4	42	18	14	23	16	116 <sup>3</sup>
3	Szczawina	Studzienne	20,4±1,5	43	12	73	14	9	5	7	120
4	Duszniki	B-4 Jan Kazi- mierz	7,7±1,5	8	8	53	16	9	5	9	100
			35,1±1,8	41	5	35	10	6			56
5	Kudowa	K-200 Marchlewski	0,0±1,5	2	5	35	18	12	8	9	87
			28,8±1,6	41	5	31	6	5	0	5	52 <sup>3</sup>
6	Szczawno	Mieszko Dąbrówka	19,9±1,5	30	4	22	14	11	4	3	58
			7,7±1,5	48	7	45	10	9	11	11	93
7	Świeradów	2P Radoczyne 4	0,0±1,5	0	12	84	31	25	10	20	182
			38,5±2,0	100	13	221	51	57	15	48	405
8	Czerniawa	Nr 4 Jan	1,8±1,5	11	4	75	18	12	10	10	129
			56,0±3,0	87	9	131	15	27	29	9	220
9	Lądek	Chrobry Jerzy	4±3 <sup>1</sup>	-	4	52	10	7	8	7	88 <sup>3</sup>
			3±3 <sup>1</sup>	-	5	38	13	9	5	8	78
10	Cieplice	C-2 Sobieski	1,3±1,5 <sup>2</sup>	0	6	45	9	6	8	10	84
			51,6±1,5 <sup>2</sup>	100	12	200	13	12	14	15	271

<sup>1</sup> - 1972 [63], <sup>2</sup> - 1983 [42], <sup>3</sup> - 1985

Długopola, Świeradowa i Czerniawy oraz Łądka i Cieplic zgodność taka jest widoczna [9].

Ogólnie można stwierdzić, że wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne wyraźnie wskazują już na przenikanie antropogenicznych zanieczyszczeń do ujęć sudeckich wód leczniczych. Zbyt słaba jeszcze znajomość geochemii i hydrochemii tych związków uniemożliwia jednak korelację ich ilości np. z procentowym udziałem wód zwykłych w eksploatowanych ujęciach.

#### 6.1.1. Inne zanieczyszczenia

Niepokojąca jest również obecność w wodach leczniczych niektórych form nieorganicznych związków azotowych, spośród których stwierdzono amoniak (jon amonowy  $\text{NH}_4^+$ ), azotyny ( $\text{NO}_2^-$ ) i azotany ( $\text{NO}_3^-$ ). W wodach przechodzenie jednej formy azotu w inną następuje w wyniku udziału bakterii w procesach hydrolitycznego rozkładu, amonifikacji, nitryfikacji i denitryfikacji związków azotowych, przy czym należy zaznaczyć, że w warunkach beztlenowych redukcja  $\text{NO}_2^-$  oraz  $\text{NO}_3^-$  do  $\text{NH}_4^+$  (denitryfikacja) w wodach podziemnych może zachodzić pod wpływem siarkowodoru, pirytu i innych związków redukujących.

W ostatnich latach w kraju pojawiło się wiele artykułów o nieorganicznych związkach azotowych w wodach podziemnych, np. [13], [163], [164] i in. Wydano również cztery publikacje dotyczące ich obecności w wodach leczniczych: T. Latour i A. Górnioka [134], autora [31] oraz niepublikowane opracowania J. Kulikowskiej (1982, 1983 [143]) dotyczące wód Polanicy i Szczawna.

Wyniki dotychczasowych oznaczeń związków azotowych w wodach z ujęć uzdrowisk sudeckich przedstawiono zbiorczo w tabeli 16. W zestawieniu zawartości poszczególnych form podano ilości minimalne i maksymalne stwierdzone w ujęciach danej miejscowości. Maksymalne ilości azotynów stwierdzono wyłącznie w roku 1980 i 1981.

Amoniak w wodach sudeckich jest oznaczany od początku wieku. Najczęściej występuje w niewielkich ilościach do  $2 \text{ ng/dm}^3$ . Ponieważ w większości ujęć występuje on regularnie, można założyć jego naturalne pochodzenie. Przymuszczalnie przedostaje się on z gleby, wód infiltracyjnych oraz w wyniku procesów redukcji  $\text{NO}_2^-$  i  $\text{NO}_3^-$  w warunkach beztlenowych, jeśli woda przeszła je w trakcie przepływu.

Od połowy lat siedemdziesiątych pojawiła się w wodach druga forma azotu - azotany. Ich obecność świadczy o zakończonym procesie utleniania związków azotowych wskazując na odleglejsze w czasie zanieczyszczenia. Ponieważ przyczyną ich pojawienia się w wodach leczniczych są bez wątpienia udziały pewnych domieszek wód zwykłych, przedstawiony pogląd



Zbiorcze zestawienie zawartości minimalnych i maksymalnych poszczególnych form azotu nieorganicznego w wodach leczniczych Sudetów (wg [31])

Nr wg tab. 3	Miejscowość	Zawartość, mg/dm <sup>3</sup>		
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1	Polanica Zdrój	ns - 1,92	ns - 7,5	ns - 1,0
6	Długopole Zdrój	ns - 1,24	ns - 1,8	ns - 0,8
8	Szczawina	ns - 0,76	ns - 1,5	ns - 1,4
11	Duszniki Zdrój	ns - 1,1	ns - 8,0	ns - 0,6
12	Kudowa Zdrój	ns - 3,2	ns - 0,3	ns - 1,2
18	Szczawno Zdrój	ns - 1,88	ns - 25,8	ns - 1,0
21	Świeradów Zdrój	ns - 0,86 (7,6)	ns - 2,9	ns - 8,2
22	Czerniawa Zdrój	ns - 2,16	ns - 0,3	ns - 0,4
1	Lądek Zdrój	ns - 1,24	ns - 1,6	ns - 1,2
2	Cieplice Śl. Zdrój	ns - 1,0	ns - 7,6	ns - 3,2

Analizy wykonywano w laboratorium BP "Balneoprojekt" od połowy lat sześćdziesiątych do 1987 r.

pokrywa się z rezultatami otrzymanymi np. z badań trytowych. W wodach leczniczych Sudetów azotany występują w stężeniach najczęściej nie przekraczających 3 mg/dm<sup>3</sup>. W warunkach tlenowych azotany są trwałe, a za ich dodatkowe znaczące źródło powszechnie uważa się nawozy sztuczne, ścieki oraz odpady, gdyż jony NO<sub>3</sub><sup>-</sup> jako najbardziej ruchliwa forma azotu bardzo łatwo są wymywane z gleby do wód podziemnych.

Należy jednak zapytać o pochodzenie podwyższonych zawartości NO<sub>3</sub><sup>-</sup> w wysoko położonych ujęciach Świeradowa Zdroju, Czerniawy Zdroju czy też Szczawiny. Wydaje się, że mogą być tu brane pod uwagę opady atmosferyczne, w których azot pochodzi z zanieczyszczeń powietrza tlenkami azotu (NO<sub>x</sub>). W przypadku Świeradowa i Czerniawy, tereny położone powyżej uzdrowisk narażone są na opady zanieczyszczeń niesionych z kierunku zachodniego lub południowo-zachodniego z pracujących tam elektrowni - analogicznie jak w przypadku węglowodorów aromatycznych. Wzrost zawartości jonu NO<sub>3</sub><sup>-</sup> w zwykłych wodach podziemnych poszczególnych miejscowości wynika z notorycznego przekraczania dopuszczalnych stężeń NO<sub>x</sub> w powietrzu rejonów większości uzdrowisk [146], [147] oraz obecności miejscowych ścieków z gospodarstw rolnych. Problem ten wymaga szerszych badań.

Najbardziej toksyczną formą azotu są azotyny, które w wodach nie zanieczyszczonych prawie nie występują. Powstają one wskutek utleniania amoniaku lub redukcji azotanów i są w warunkach naturalnych formą nie-

trwałą. Ich obecność w wodzie świadczy o zachodzących procesach utleniania lub redukcji. W sudeckich wodach leczniczych azotyny zaczęto regularnie oznaczać dopiero w 1978 r., ale przypatrzmy się kolejnym oznaczeniom. W całych Sudetach do 1979 r. włącznie nie stwierdzono ich obecności, natomiast w 1980 i 1981 r. pojawiły się w większości ujęć wód leczniczych. Oznaczenia te wykonywało laboratorium BP "Balneoprojekt" w Szczawnie Zdroju. Pojawienie się tej formy azotu w wodach polanickich potwierdziły również badania stacji Sanepid w Kłodzku. Najciekawszy jest fakt, że od roku 1982 azotyny w omawianych wodach prawie nie występują. Maksymalne ich zawartości stwierdzono w Szczawnie - 25,8 mg/dm<sup>3</sup> ! (Dąbrówka), Dusznikach - 8,0 mg/dm<sup>3</sup> (Pieniawa Chopina), Polanicy - 7,5 mg/dm<sup>3</sup> (Józef II); w ujęciach pozostałych miejscowości ilości azotynów sięgały 2 mg/dm<sup>3</sup>. Do przedstawionych wyżej rezultatów autor ma poważne zastrzeżenie: obecność azotynów stwierdzono również w ujęciach nie zawierających trytu (P-300 w Polanicy, K-200 w Kudowie, L-2 w Łądku, C-2 w Cieplicach). Choć ilości NO<sub>2</sub><sup>-</sup> nie były tu duże, podważają one jednak otrzymane przez laboratorium w Szczawnie bezwzględne zawartości tych związków w badanych wodach. Pomimo tego nie można mieć wątpliwości o zaistnieniu - w mniejszej jednak skali - tego niepokojącego zjawiska pojawienia się toksycznych azotynów w ujęciach wód leczniczych.

Szerzej problem pojawienia się azotynów w wodach leczniczych Szczawna i Polanicy przedstawiła w dwóch niepublikowanych opracowaniach Kulikowska [143], łącząc ich obecność ze ściekami komunalnymi, gospodarką rolną, a także wyjątkowo wysokimi opadami w latach 1979 i 1980, które mogły spowodować wymycie z gleby związków azotu i przemieszczenie ich do wód podziemnych. Jest to zgodne z poglądami autora.

Niepokojące pojawienie się związków azotowych w wodach leczniczych skłaniało do wykonania oznaczeń tych związków w zwykłych wodach podziemnych wybranego obszaru. Zwrócono uwagę na okolice Dusznik i Polanicy, w których to uzdrowiskach notowano wysokie zawartości azotynów. Oznaczenia w terenie wykonano (J.Grochmalicka-Mikołajczyk i autor) we wrześniu 1983 r. polowymi zestawami Aquaquant prod. RFN. Można stwierdzić, że w czasie badań nie zaobserwowano w wodach zachodniej części Ziemi Kłodzkiej żadnych anomalii wskazujących na regionalne skażenie wód podziemnych związkami azotu [44].

Reasumując, założyć można naturalne źródło amoniaku w wodach leczniczych. Pojawienie się natomiast w przedstawianych wodach w połowie lat siedemdziesiątych azotanów, a w latach 1980 i 81 toksycznych azotynów było skutkiem wzrostu ładunku azotu w wodach podziemnych spowodowanego stałą degradacją środowiska.

Od 1986 roku regularne badania nad zanieczyszczeniami chemicznymi wód leczniczych wybranych uzdrowisk polskich podjął Zakład Balneochemii

Instytutu Medycyny Uzdrawiskowej w Poznaniu [135]. W ich ramach wykonywane są oznaczenia C h Z T, omawianych wyżej z w i ą z k ó w a z o t o w y c h oraz f o s f o r a n ó w i m e t a l i c i ę ż k i c h ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{As}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ). Badania te wykazują, że zarówno zdecydowana większość ujęć w Szczawnie, Dusznikach i Kudowie, jak też wody powierzchniowe tych uzdrowisk, są okresowo lub systematycznie zanieczyszczane. W pełni potwierdza to prezentowane wyżej rezultaty autora.

W podsumowaniu treści całego punktu 6.1 można stwierdzić, że obecność zanieczyszczeń w wodach leczniczych (WWA, związki azotowe i in.) bezpośrednio potwierdza istnienie w badanych ujęciach domieszek wód zwykłych płytszego krążenia. Stwierdzenie to ma podstawowe znaczenie w strategii ochrony jakości sudeckich wód leczniczych. Ponieważ wody zwykle są zanieczyszczane na obszarze samych uzdrowisk, nakazem chwili jest radykalna poprawa stanu środowiska na terenach miejscowości uzdrowiskowych.

Potrzebą naszych czasów jest objęcie szczególną ochroną również obszarów zasilania poszczególnych źródeł wód leczniczych, z których dopływ wód do strefy drenażu jest długotrwały. Ponieważ obszary takie są rozmieszczone wzdłuż całych Sudetów, ochrona ich wymaga kompleksowych działań o zasięgu regionalnym a nawet ponadregionalnym (zanieczyszczenia transgraniczne) obejmujących całe pasmo górskie Sudetów, na co zwracał autor uwagę w pracy [32].

## 6.2. Zagrożenia ilościowe

Głównymi przyczynami zubożenia zasobów wód podziemnych (np. [117], [156]) są:

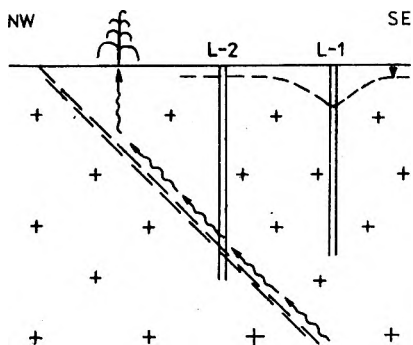
- nadmierna eksploatacja wód,
- odwodnienie górnicze i budowlane,
- zmiany użytkowania powierzchni,
- intensyfikacja drenażu wód podziemnych przez wody powierzchniowe.

W przypadku sudeckich wód leczniczych mamy do czynienia z trzema pierwszymi czynnikami. Najczęściej wynikają one z ingerencji zewnętrznych (w myśl podziału O.Hyniego [109]). Częstym skutkiem zagrożeń ilościowych jest jednoczesna degradacja jakości wód i z tego powodu problem zagrożeń ilościowych również uwzględniono w tej pracy. W tabeli 17 zestawiono i scharakteryzowano zanikłe wody o właściwościach leczniczych z obszaru Sudetów.

Zanikłe wody o właściwościach leczniczych  
(na podstawie [47], [142], [190] i in. oraz licznych poniemieckich materiałów publikowanych)

Miejscowość	Przyczyna zaniku	Liczba ujęć zanikłych	T	CO <sub>2</sub>	M	Typ chemiczny	Uwagi
			°C	g/dm <sup>3</sup>			
Bystrzyca Kł.	budowa wodospadu	strefa					tab. 3
Polanica Zdrój	nowe odwierty	5			jak obecne		tab. 3
Duszniki Zdrój	nowe odwierty	9			jak obecne		tab. 3
Jedlina Zdrój	} eksploatacja węgla kamiennego	5	6,3-8,1	+	0,30-1,12	HCO <sub>3</sub> -Ca-Na i	
Stary Zdrój		7	5,1-8,3	0,74-2,1	0,43-1,17	HCO <sub>3</sub> -Ca-Mg	
Piaskowa Góra		1	7,5	0,56	1,60	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Na	
Szczawno Zdrój	?	11		prawdopodobnie jak obecne			tab. 3
Czyżynka	?	1		+			
Stare Bogaczowice	głównie zasypane	7	3,5-10,5	0,29-1,21	0,50-1,73 <sup>1</sup>	prawdopodobnie jak obecne	tab. 3
Opolno Zdrój	eksploatacja węgla brunatnego	6					tab. 3

<sup>1</sup> - HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>



Rys. 42. Schematyczny przekrój przez uzdrowisko Łądek Zdrój (wg [29])

Fig. 42. Schematic section of health resort of Łądek Zdrój (according to [29])

### 6.2.1. Nadmierna eksploatacja wód

Najciekawszym przykładem nadmiernej eksploatacji wód w Sudetach jest sytuacja, która zaistniała w Łądku Zdroju. Do początku lat siedemdziesiątych tutejsze wody termalne eksploatowane były z sześciu źródeł naturalnych [20], [24], które dawały w sumie ponad 500 dm<sup>3</sup> wody w ciągu minuty, a ich temperatura sięgała 28 °C. Licząc się z rozwojem ciągłym uzdrowiska przewidywano, że wobec zwiększania się liczby zabiegów leczniczych wkrótce tych wód zabraknie. W związku z tym w latach 1969–1973 na terenie uzdrowiska podjęto szeroko

zakrojone prace geologiczno-poszukiwawcze, w których wyniku wykonano dwa odwierty. Odwiertem L-1 głębokości 600 m ujęto zwykłe wody szczelinowe w obrębie gnejsów, zaś odwiert L-2 głębokości 700 m stanowi obecne siódme ujęcie wód termalnych. Ujęte w nim wody miały temperaturę 45 °C i pod ciśnieniem 1 atmosfery wypływały w ilości aż 3000 dm<sup>3</sup>/min. Znaczny wypływ wód z odwiertu spowodował spadek ich ciśnienia złożowego, a tym samym zmniejszenie się wydajności pozostałych źródeł. Jednocześnie dało się zauważyć obniżenie poziomu zwierciadła wody w otworze L-1 o 2 metry. Zależności te wskazują na wyraźną więź hydrauliczną pomiędzy różnymi rodzajami wód szczelinowych [24]. Na podstawie prowadzonej od lutego 1976 r. próbnej eksploatacji (w celu zatwierdzenia zasobów w kategorii A) autor prognozował, że wydajność wszystkich ujęć w ciągu 3–4 lat ustali się i wyniesie około 750 dm<sup>3</sup>/min. Zasoby wód leczniczych w Łądku powiększyłyby się zatem o około 50% [23].

Spójrzmy tu na schematyczny przekrój przez uzdrowisko (rys. 42). Wody termalne z dużych głębokości dążą ku powierzchni strefą uskoku Łądek Zdroju (też rys. 18), lecz na powierzchnię wypływają w źródłach poza nim, wykorzystując dogodną sytuację tektoniczną. W strefie uskoku, lecz w pewnej odległości od źródeł i na większej głębokości, ujmuje je odwiert L-2. Nad drogami przepływu wód termalnych znajduje się odwiert L-1.

Wpływ w odwiercie L-2 powoduje zatem spadek ciśnienia w złożu wód termalnych, co przejawia się zmniejszeniem wydajności wód w źródłach. Wobec faktu wyraźnej więzi hydraulicznej powoduje to również obniżenie się zwierciadła zwykłych wód szczelinowych ujętych odwiertem L-1, ale

T a b e l a 18

Charakterystyczna wydajność poszczególnych źródeł  
 Łącka Zdroju w okresie awarii ( $Q_{\min}$ ) i po awarii ( $Q_{1984}$ )  
 oraz jej procentowy spadek względem średniej wydajności ( $Q_{\text{śr}}$ )  
 z lat 1955-72

Ujęcia	Wydajność	$\text{dm}^3/\text{min}$	Spadek %
Jerzy	$Q_{\text{śr}}$	292,02	
	$Q_{\min}$	200,00	32
	$Q_{1984}$	250	14
Wojciech	$Q_{\text{śr}}$	87,65	
	$Q_{\min}$	76,9	12
	$Q_{1984}$	75	14
Skłodowska-Curie	$Q_{\text{śr}}$	66,66	
	$Q_{\min}$	43,7	34
	$Q_{1984}$	50	25
Dąbrówka	$Q_{\text{śr}}$	20,28	
	$Q_{\min}$	16,77	17
	$Q_{1984}$	16,5	18

$Q_{\min}$  - wydajność minimalna, wiosna 1980 r.

$Q_{1984}$  - stabilizująca się wydajność z końca 1984 r.

nie tylko. Na wschód od Łącka, na zboczach gór Trojak (776) i Królówka (784) znajduje się około 20 studzien ujmujących płytkie wody szczelinowe dla miejskiej sieci wodociągowej. Obniżenie się zwierciadła wód podziemnych w okolicach uzdrowiska spowodowało także ogólne zmniejszenie dopływu wód do tych ujęć. Spowodowany tym niedobór wody w sieci wodociągowej pogłębiło jeszcze oddanie do użytku nowych budynków mieszkalnych. Wynikłe stąd drastyczne braki wody doprowadziły do tego, że od września 1978 r. rozpoczęto eksploatację wody z odwiertu L-1, zasilając w ten sposób sieć wodociągową. Tę nielegalną eksploatację prowadzono na obszarze górniczym wód leczniczych bez żadnych uzgodnień. Czerpanie wody w ilości 230-250  $\text{dm}^3/\text{min}$  spowodowało wyraźne zmniejszenie wydajności ujęć wód termalnych i zmianę ich jakości.

Zaszło więc sprzężenie zwrotne: spadek ciśnienia złożowego wód termalnych spowodował obniżenie się zwierciadła zwykłych wód szczelinowych, a wytworzenie lejki depresji wokół odwiertu L-1 powoduje spadek ciśnienia wód termalnych. Zamiast płynąć ku powierzchni "rozpływają" się one w głębi wykorzystując niższe ciśnienie nadległych zwykłych wód szczeli-

nowych [25], [29]. Wydajność w ujęciach najbardziej obniżyła się wiosną 1980 r. W tabeli 18 przedstawiono to zjawisko charakteryzując ilościowo spadki poszczególnych parametrów wód.

Na zaistniałą sytuację wody termalne zareagowały natychmiast pogorszeniem się składu chemicznego i właściwości fizycznych. Nieznacznie, lecz wyraźnie obniżyła się temperatura wód, zwłaszcza w ujęciach najmniej wydajnych. Znacznie zmniejszyła się zawartość radonu (do 40%) oraz fluoru (ponad 20%). Największe zmiany w podstawowym składzie jonowym uwiarydliły się natomiast dopiero w 1982 r., a więc 4 lata po rozpoczęciu i w 2 po zakończeniu eksploatacji odwiertu L-1. Od 1983 r. skład chemiczny wód termalnych wrócił do normy.

Oddanie do użytku w marcu 1981 r. nowego rurociągu, doprowadzającego do sieci wodociągowej Łądek wodę z ujęcia powierzchniowego w Stroniu Śl., definitywnie zakończyło eksploatację wody z odwiertu L-1. Wszystkie parametry wpływów wód termalnych wróciły do stanu wyjściowego.

Zbliżona sytuacja zaistniała w J e l e n i o w i e dwukrotnie: w latach 1978-79 oraz w 1983 r., kiedy to eksploatacja wód zwykłych z otworu nr 8 spowodowała obniżenie zwierciadła szczaw w pobliskich otworach P-5 i J-150, o czym wspomniano w pracy [83]. W tym drugim otworze nastąpił nawet zanik samowypływu. Niekorzystnym skutkiem tych zdarzeń było pojawienie się (obecnie już stałej) wysokiej zawartości jonu wodorarsenowego ( $1-2 \text{ mg/dm}^3$ ) w wodzie przeznaczonej do celów rozlewniczych.

Wyraźny wpływ eksploatacji odwiertów na sąsiednie ujęcia obserwuje się również w C i e p l i c a c h Śl. Z d r o j u (C-2), S z c z a w n i e (nr 6), Ś w i e r a d o w i e Z d r o j u (nr 3a) i in.

Należy zwrócić uwagę na zagadnienie głębszego ujmowania wód leczniczych odwiertami, co:

- zwiększa ich zasoby (Polanica Zdrój, Stary Wielisław Dolny, Gorzanów, Szczawina, Duszniki Zdrój, Kudowa Zdrój, Jeleniów, Jedlina Zdrój, Rochowice Stare, Świeradów Zdrój, Czerniawa Zdrój, Łądek Zdrój, Cieplice Śl. Zdrój i Przerzeczyn Zdrój),

- polepsza skład chemiczny wód i ich parametry fizyczne (miejscowości jak wyżej),

- zapobiega skażeniu bakteriologicznemu (np. Kudowa, Przerzeczyn i in.),

ale jednocześnie

- powoduje zanik istniejących płytkich ujęć tych wód, które samoczynnie wpływając na powierzchnię bardzo sugestywnie oddziałują na leczących się [111].

### 6.2.2. Odwadnianie górnicze

Odwadnianie złóż kopalin stałych również niekorzystnie odbiło się na wodach leczniczych. Eksploatacja węgla kamiennego spowodowała zanik wpływu szczaw Starego Zdroju i sąsiedniego źródła w Piaskowej Górze oraz w Jedlinie Zdroju. Skutkiem rozwoju odkrywki węgla brunatnego Turów nastąpił zanik wód Opolna Zdroju.

S t a r y Z d r ó j był od wieków średnich znaną miejscowością o bogatych tradycjach leczniczych. Rozwój górnictwa węgla kamiennego w rejonie Wałbrzycha poprzez powstawanie nowych kopalni oraz zejście z eksploatacją w obrębie warstw wałbrzyskich na większe głębokości w połowie XIX w. zagroził istniejącemu uzdrowisku. Już w 1855 r. liczone się z ujemnym wpływem kopalni Opatrzność Boża położonej na południowo-zachodnich zboczach Ptasiej Kopy, stąd w 1857 r. wykonano odwiert o głębokości 20,5 m, którym ujęto szczawy; było to siódme ujęcie tutejszych wód. Latem 1869 r. powstały nowe kopalnie Gwiazda Zaranna i Gwiazda Wieczorna na południowo-wschodnich i zachodnich zboczach góry Stróżek, wskutek działalności których w listopadzie tego roku wyraźnie obniżyło się zwierciadło wód Starego Zdroju, nie dając już samowypływu w głównych źródłach Fryderyk i Jerzy. Zapoczątkowało to koniec działalności uzdrowiskowej; lato 1878 r. było ostatnim sezonem kąpielowym ([174] i in.). Tego samego roku 1869 zanikło źródło Wilhelm w Piaskowej Górze.

Podobna była przyczyna zaniku wód J e d l i n y Z d r o j u, gdzie do początku wieku znajdowało się 6 źródeł szczaw. Eksploatacja węgla kamiennego spowodowała od 1880 r. powolny spadek zawartości dwutlenku węgla i demineralizację wód. Bez powodzenia wykonano (początek lat trzydziestych oraz lata 1936-38) dwa odwierty w celu ich głębszego ujęcia. Po 1945 r. funkcjonowały tylko dwa źródła. Obecnie zatwierdzone zasoby (5,66 m<sup>3</sup>/h, dotychczas nie wykorzystywane) obejmują wody z dwóch odwiertów - jednego starego (z lat 1936-38) głębokości 292 m, w którym szczawę uzyskuje się po długotrwałym pompowaniu oraz z drugiego, wykonanego w latach 1967-69 o głębokości 646 m [74], [142] i in.

Z przykładem obecnie następującego zaniku szczaw mamy do czynienia w wałbrzyskiej kopalni Thorez na poziomie -350 pola centralnego (pokład 678, warstwy wałbrzyskie). Początkowy wpływ w ilości około 1000 dm<sup>3</sup>/min obniżył się do ok. 200 dm<sup>3</sup>/min w 1978 r., by obecnie (1988 r.) nawet okresowo zanikać (nr 17 w tab. 3). Taka sama woda pojawiła się w latach siedemdziesiątych poniżej, w ociosie dowierzchni centralnej, na poziomie -680; obecnie wpływ jej całkowicie zanikł (materiały archiwalne KWK Thorez). Pierwszy z wpływów w latach siedemdziesiątych brany był pod uwagę z przeznaczeniem do celów rozlewniczych i produkcji sprężonego dwutlenku węgla.



Eksploracja węgla brunatnego spowodowała zanik wód O p o l n a Z d r o j u o charakterystyce przedstawionej w tab. 3. Wody te nawiercano w obrębie węgla brunatnych od 1805 r. w trakcie rozwoju kopalni. Na początku wieku istniało tu sześć ujęć, z których po 1945 r. funkcjonowały już tylko cztery [47], a ich całkowity zanik nastąpił prawdopodobnie na początku lat pięćdziesiątych.

Projektowana podziemna eksploatacja cyny w Górach Izerskich może poważnie zagrozić szczawom Ś w i e r a d o w a Z d r o j u i C z e r n i a w y Z d r o j u. Od połowy lat siedemdziesiątych prowadzi się obserwacje wód podziemnych w obrębie obniżenia K u d o w y. Zachodzi tu niebezpieczeństwo negatywnych zmian (m.in. w wodach leczniczych), które mogą nastąpić w wyniku znacznej eksploatacji wód podziemnych w sąsiedniej niecce Polic na terenie CSSR.

### 6.2.3. Zmiany użytkowania powierzchni

Zmiany zachodzące na powierzchni terenu mogą wyraźnie wpłynąć na warunki występowania wód podziemnych. Po rekonstrukcji płytkiego ujęcia szczawy w S z c z a w i n i e na przełomie lat 1964 i 1965 i zastąpieniu starej beczki dębowej ceramicznym dzwonem nastąpił wzrost wydajności źródła, który wyniósł ponad 20, sięgając nawet 40 dm<sup>3</sup>/min. W pobliżu ujęcia i w przepływającym obok potoku obserwowano wiele dzikich wypływów szczaw oraz ekshalacji dwutlenku węgla (J.Fistek [142]). Rozpoczęcie działalności rozlewni wód stożowych w budynku stojącym obok ujęcia spowodowało konieczność utwardzenia placu przed budynkiem oraz budowy wiaty magazynowej. Uszczelnienie kilkuset m<sup>2</sup> powierzchni terenu spowodowało zaburzenie istniejącego układu dynamicznego w strefie wypływu, czego skutkiem był spadek wydajności ujęcia prawie o połowę. Obecnie utrzymuje się ona w granicach 8-10 dm<sup>3</sup>/min.

Nowym, poważnym problemem związanym z zagrożeniem wód leczniczych wynikającym ze zmian użytkowania powierzchni jest d e g r a d a c j a l a s ó w sudeckich. Wymieranie lasów, które w Górach Izerskich, Karkonoszach oraz w Masywie Śnieżnika przyjęło wymiar klęski ekologicznej, rozpoczęło się na początku lat osiemdziesiątych. Wylesianie obszarów górskich, głównie poprzez zmniejszenie wielkości infiltracji opadów, doprowadza do zmian w zasilaniu wód podziemnych. Powodować to może znaczne, nawet nieodwracalne, niekorzystne zmiany w zasobach i jakości wód o właściwościach leczniczych z poszczególnych złóż<sup>5</sup>. W Sudetach, biorąc

<sup>5</sup> Rodzaje zagrożeń wód leczniczych wynikające z nieprawidłowej gospodarki leśnej na przykładzie uzdrowisk karpaccich przedstawili szerzej Andrzej Madeyski i Stanisław Węclawik w artykule pt.: "Wpływ lasów na jakość i zasoby wód mineralnych", Problemy uzdrowiskowe, nr 3-4 (209-210), 1985.

pod uwagę skalę i obszar wylesień, szczególnie zagrożone są w tym względzie szczawy Świeradowa Zdroju i Czerniawy Zdroju oraz wody radoczystne Karkonoszy.

W przypadku szczaw zagrożenie jest dwójakiego rodzaju. Po pierwsze następuje zmniejszenie się zasilania samego złoża wód. Ponieważ jednak ich przepływ podziemny trwa co najmniej kilka dziesiątek lat, wpływ taki może zostać zniwelowany w czasie. Znacznie niebezpieczniejsza jest druga możliwość - obniżenie się zwierciadła zwykłych wód podziemnych w obszarze drenażu szczaw. Niekorzystne skutki takiego zjawiska przedstawiono na przykładzie wód termalnych Łądko Zdroju w p. 6.2.1. W przypadku delikatnego układu wód zgazowanych skutki takie mogą być poważniejsze. Problematyka wpływu degradacji obszarów leśnych na złoża wód podziemnych Sudetów wymaga szerszego opracowania.

W zakończeniu tego punktu 6.2 należy zauważyć, iż przedstawione tu zagrożenia ilościowe oprócz zmniejszenia wydajności (kopalnia Thorez) lub zaniku wód (Stary Zdrój, Jedlina, Opolno) powodują także pogorszenie właściwości fizykochemicznych wód leczniczych. Niekorzystne te zmiany mogą mieć charakter okresowy (Łądek Zdrój) lub nawet trwałe (Jeleniów), a wynikają z naruszenia proporcji mieszania się wód leczniczych z różnymi wodami zwykłymi. Naruszenie tych proporcji spowodowane jest zaś zachwianiem układów hydraulicznych pomiędzy różnymi rodzajami wód podziemnych pod poszczególnymi miejscowościami. Przedstawione dane wskazują, że z niebezpieczeństwem takim mamy do czynienia w przypadku prawie wszystkich złóż wód leczniczych Sudetów.

## 7. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Sudeckie wody lecznicze są obiektem badawczym o dużym znaczeniu poznawczym i praktycznym. Powszechnie odbierana od wieków stałość ich parametrów, takich jak wydajność, temperatura, skład chemiczny, wyrobiła poczucie braku zagrożenia. W świetle jednak najnowszych badań okazuje się, że tak nie jest. Stosowanie różnorodnych badań oraz wykorzystanie nowoczesnych metod badawczych znacznie poszerza zakres wiadomości o tym specyficznym rodzaju wód podziemnych.

Różnorodność budowy geologicznej Sudetów jest przyczyną wyraźnego zróżnicowania występujących tu wód o właściwościach leczniczych. W sumie w polskiej części Sudetów za lecznicze uznano (stale lub okresowo) wody z 19 złożeń. Występują tu trzy podstawowe rodzaje wód:

- szczawy, w których występują należące do najwyższych w kraju zawartości dwutlenku węgla,
- wody termalne, których podwyższona temperatura i jednocześnie niska mineralizacja umożliwia ich energetyczne wykorzystanie,
- wody radoczynne o najwyższych w kraju stężeniach radonu w wodach podziemnych.

Wody te formując się w podobnych warunkach geologicznych (litologia skał, obecność  $\text{CO}_2$ ) mają zbliżony typ chemiczny. Przykładowo dotyczy to:

- szczaw w osadach kredowych rowu górnej Nysy ( $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$ ),
- szczaw w skałach metamorficznych Gór Bystrzyckich oraz Gór Izerkich ( $\text{HCO}_3\text{Ca-Mg}$ ),
- szczaw w osadach kulmu niecki śródsudeckiej ( $\text{HCO}_3\text{-Na-(Ca)}$ ),
- wód termalnych w skałach metamorficznych ( $\text{HCO}_3\text{-(F)-Na}$ ).

Zwykle płytkie wody podziemne na obszarze poszczególnych miejscowości uzdrowiskowych mają niską mineralizację i tworzą różne typy hydrochemiczne (tab. 5). Uformowane szczawy i wody termalne o znacznie wyższej mineralizacji, dążąc ku wypływowi na powierzchni mieszają się z tymi wodami lokalnego tła. W ujęciach pojawiają się zatem mieszaniny w różnych proporcjach. W szczawach domieszki wód zwykłych wynoszą najczęściej kilkadziesiąt, a nawet sięgają 90 procent (tab. 7). W wodach termalnych domieszki takie spotyka się tylko w niektórych ujęciach. Proces mieszania się wód różnych typów powoduje powstanie na obszarze niektórych uzdrowisk anomalii hydrogeochemicznych.

Licznych nowych informacji o badanych wodach leczniczych dostarczyły badania izotopowe wód.

S t a b i l n e i z o t o p y t l e n u i w o d o r u jednoznacznie wskazują na infiltracyjne pochodzenie wszystkich wód sudeckich. Dotychczas tego typu badania można było interpretować tylko przez porównanie otrzymanych wyników z pewnymi zależnościami światowymi. Wykonanie badań izotopowych oraz opracowanie tła izotopowego płytkich wód podziemnych Dolnego Śląska doprowadziło do uzyskania zupełnie nowych zależności lokalnych (p. 5.1.1). Oprócz rezultatów poznawczych (określenie efektu kontynentalnego, efektu wysokościowego, lokalnej zależności  $\delta D = f(\delta^{18}O)$ ) uzyskano mające praktyczne znaczenie zależności wysokościowe  $H = f(\delta D)$  oraz  $H = f(\delta^{18}O)$ . Umożliwiają one sprecyzowanie wysokości nad poziomem morza obszarów zasilania różnych rodzajów wód podziemnych. W odniesieniu do szczaw możliwe to było jednak po ilościowym określeniu stwierdzonego w nich tzw. przesunięcia tlenowego, wynikającego z wymiany izotopowej pomiędzy tlenem juwenilnego dwutlenku węgla a tlenem  $H_2O$ . Średnie przesunięcie wynosi w przypadku wszystkich szczaw sudeckich  $-0,29\text{‰}$ , w różnych złożach zaś od  $-0,19$  do  $-0,36\text{‰}$  (tab.8). W literaturze autor nie napotkał ilościowego opisu takiego zjawiska.

Dysponując zależnościami wysokościowymi oraz wartościami przesunięcia tlenowego można było określić wysokość położenia obszarów zasilania wód poszczególnych złóż szczaw (tab. 8). Otrzymane wysokości zarówno dzięki  $\delta D$ , jak i  $\delta^{18}O$  są zgodne; różnice pomiędzy nimi nie przekraczają w większości 70 m. Sprawdzianem dokładności otrzymanych rezultatów mogą być szczawy Szczawiny. Morfologia terenu oraz budowa geologiczna warunkuje położenie ich obszaru zasilania na ok. 800 m n.p.m., a uzyskane za pomocą  $\delta^{18}O$  i  $\delta D$  wysokości wynoszą odpowiednio 770 i 800 m n.p.m.

Otrzymane rezultaty wskazują, iż dotychczasowe poglądy na położenie obszarów zasilania różnych wód są w większości słuszne. Zdarzają się również nowe, zaskakujące wnioski. Przykładowo, w przypadku Szczawna Zdroju dwa różne typy tutejszych szczaw zasilane są dwoma różnymi wodami. Pierwsze z nich infiltrują na wysokości samego uzdrowiska, drugie - z przepływającego tu potoku biorącego początek na wysokości około 200 m wyżej. W przypadku Kudowy określony obszar zasilania jest w pełni zgodny z granicami krystalicznego obrzeżenia tutejszej jednostki. W odniesieniu do wód termalnych wyciąganie takich wniosków jest - jak na razie - niemożliwe. Wody Łącka charakteryzują się składem izotopowym typowym dla szczaw, natomiast wody Cieplic i Turowa zgodne są nie z prawidłowościami lokalnymi, lecz ogólnoswiatowymi. Wymaga to dalszych badań.

T r y t i r a d i o w ę g i e l. Rezultaty badań trytowych wskazują pośrednio, iż zwykłe wody podziemne, które mogą się mieszać z

wodami leczniczymi, są wodami o wieku kilku-, kilkunastu- lub ponad 20-letnimi. Stałość wyników oznaczeń zarówno izotopów stabilnych, jak i trytu sugeruje co najmniej kilkuletni ich wiek. W przypadku wód leczniczych można stwierdzić, że:

- Najmłodsze są wody radocenne, będące wodami współczesnej infiltracji. Infiltracja ich nastąpiła po 1954 r. (po rozpoczęciu prób z bronią atomową).

- Szczawy są przeważnie wodami starszymi (oprócz wód Szczawna); nie zawierają trytu, a więc pochodzą sprzed 1954 r. Skład izotopowy tlenu i wodoru, zgodny z obecnymi zależnościami sudeckimi, umożliwia ich określenie jako wód holocenicznych.

- Najstarsze są wody termalne. Rezultaty badań  $^{14}\text{C}$  oraz izotopów stabilnych wskazują, że wody Łącka infiltrowały zapewne na początku holocenu, Cieplic i Turowa zaś w okresie ostatniego zlodowacenia.

Problem stałej degradacji środowiska naturalnego dotyczy również miejscowości uzdrowiskowych, a więc miejscowości, które powinny być przedmiotem szczególnej ochrony. Wody lecznicze Sudetów narażone są zarówno na zagrożenia jakości wody, jak i zubożenia ich zasobów.

**Z a g r o ż e n i a j a k o ś c i o w e** wynikają głównie z obecności w ujęciach znacznych domieszek wód zwykłych. Uzasadniają one pojawienie się w ujęciach substancji uważanych za antropogeniczne. Niepokojące jest stwierdzenie na początku lat osiemdziesiątych obecności związków azotowych w wodach leczniczych i choć można mieć wątpliwości co do wartości bezwzględnych rezultatów oznaczeń (p. 6.1.1), to fakt ten zaistniał na pewno. Zaskakująca jest w wodach obecność wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), z których niektóre mają właściwości kancerogenne. Ponieważ rezultaty tych oznaczeń w kraju należą do pierwszych tego rodzaju, otrzymane wyniki nie miały poziomu odniesienia, nie było znane tło zawartości WWA w wodach. Z tego powodu wykonano oznaczenia, które wykazały znaczne ilości związków grupy WWA w wodach powierzchniowych i zwykłych podziemnych (tab. 13).

W wodach leczniczych stwierdzono obecność w sumie 13 związków tej grupy (tab. 14). Fakt obecności WWA uzasadniony jest dodatkowo pewnym związkiem z zawartościami trytu w wodach. W większości uzdrowisk związek taki jest wyraźny (tab. 15). Największe zawartości WWA stwierdzono w wodach leczniczych Szczawna oraz Świeradowa i Czerniawy. O ile w pierwszej z tych miejscowości ich obecność uzasadnia sąsiedztwo przemysłowego Wałbrzycha, o tyle obecność w wysoko położonych ujęciach Świeradowa i Czerniawy tłumaczyć można tylko zanieczyszczeniami transgranicznymi, pochodzącymi z elektrowni przygranicznego rejonu PRL, CSSR i NRD. Jest to więc jeszcze jeden przejaw klęski ekologicznej, która dotknęła Góry Izerskie. Niezrozumiałym w tym kontekście wydaje się pogląd T.Gar-

bulińskiego i B.Mielczarka [92],[93] o śladowym wpływie elektrowni na okolice uzdrowiska Czerniawa oraz stanowisko J.Fistka [76] podważającego wręcz wiarygodność badań WWA.

Prowadzone obecnie przez Instytut Medycyny Uzdrowskiej badania [135] wskazują na obecność również innych zanieczyszczeń (fosforany, metale ciężkie i in.) w większości z badanych ujęć Szczawna, Dusznik i Kudowy.

Wody lecznicze Sudetów narażone są także na pewne zagrożenia ilościowe, mające często niekorzystne konsekwencje jakościowe. Zagrożenia ilościowe są powodowane nadmierną eksploatacją wód podziemnych (Łądek, Jeleniów), odwodnieniem górniczym (Stary Zdrój, Jedlina, Opolno Zdrój), zmianą użytkowania powierzchni (Szczawina) i in.

Zaprezentowane w niniejszej pracy rezultaty mogą stanowić punkt wyjścia do wielu różnych prac badawczych, a także stanowić podstawę pewnych działań praktycznych. Z całości pracy nasuwają się następujące wnioski:

1. W Sudetach polskich wypływa wiele wód o właściwościach leczniczych; są one wielkim darem natury. Za lecznicze uznano formalnie wody z 19 złóż, spośród których 11 eksploatuje się w znanych miejscowościach uzdrowskich.

2. Wszystkie sudeckie wody lecznicze są pochodzenia infiltracyjnego. Po infiltracji w obszarach zasilania formują one swoje właściwości i skład chemiczny w trakcie długotrwałego przepływu podziemnego. Dążąc ku wypływowi na powierzchni najczęściej mieszają się z płytkimi zwykłymi wodami podziemnymi. Udział domieszek takich wód w ujęciach wód leczniczych jest znaczny.

3. Powszechna degradacja środowiska naturalnego odbija się już również na jakości sudeckich wód leczniczych. Obecność domieszek wód zwykłych powoduje pojawienie się w wodach leczniczych różnych substancji antropogenicznych. Stwierdzono obecność nieorganicznych związków azotowych, a także kancerogennych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych i innych zanieczyszczeń. Substancje te pochodzą z zanieczyszczeń zarówno o charakterze lokalnym, jak i regionalnym.

4. Chcąc chronić jakość wód leczniczych, należy objąć ochroną przede wszystkim zwykłe wody podziemne narażone na zanieczyszczenie. Jest to jednoznaczne z konsekwentną ochroną całego środowiska na obszarze poszczególnych miejscowości uzdrowskich zgodnie z istniejącymi już przepisami. Nowej regulacji prawnej wymaga natomiast objęcie ochroną również obszarów zasilania poszczególnych złóż wód, oddalonych od miejsc wypływu. Ze względu na położenie tych obszarów wzdłuż całego pasma górskiego Sudetów ochrona ich wymaga działań o charakterze regionalnym, a nawet ponadregionalnym.

5. Wyraźna więź hydrauliczna pomiędzy wodami leczniczymi a innymi rodzajami wód podziemnych wskazuje, że ochrona zasobów wód leczniczych wymaga zakazu jakichkolwiek ingerencji w reżim dynamiczny poszczególnych źródeł wód.

6. Wielu ważkich informacji dostarczają badania izotopowe poszczególnych składników wód leczniczych. Ich interpretacja możliwa jest dzięki opracowaniu tła izotopowego zwykłych wód podziemnych Sudetów. Badania te umożliwiły:

- sprecyzowanie wysokości położenia obszarów zasilania szczaw dzięki dodatkowemu ilościowemu określeniu tzw. przesunięcia tlenowego,
- zróżnicowanie wód pod względem wieku,
- potwierdzenie obecności domieszek wód zwykłych i in.

7. Regularne oznaczenia trytu i stabilnych izotopów tlenu i wodoru pozwolą na określenie sezonowości zasilania oraz wieku zarówno wód leczniczych, jak i mieszających się z nimi wód zwykłych. W przypadku pobierania prób do analiz izotopowych konieczne jest jednoczesne wykonanie oznaczeń wskaźnikowych, np. jonu wodorowęglanowego.

8. Konieczne jest rozpoczęcie badań monitoringowych wszystkich możliwych parametrów eksploatowanych wód leczniczych. Obecne badania dotyczą np. wydajności, temperatury lub wskaźnikowych oznaczeń niektórych składników. Zupełnie natomiast nie wykonuje się badań substancji wskazujących na zanieczyszczenia, a także badań izotopowych. Chodzi tu przecież o wody wykorzystywane w celach leczniczych.

## LITERATURA

- [1] ADAMSKI W., Genetyczno-strukturalne typy złóż uranowych w Polsce, I polsko-jugosłowiańska narada w zakresie geologii i metodyki poszukiwań złóż uranowych, Karpacz, 17-24.10.1960, s. 1-9.
- [2] ALEKSEEVA T.A., TEPLICKAJA T.A., Spektrofluorometričeskiye metody analiza aromatičeskich uglevodorov v prirodnyh i technogennyh sredach, Leningrad, Gidrometeoizdat 1981.
- [3] Analizy fizykochemiczne wód leczniczych uzdrowisk polskich wykonane w 1968 r., Probl. uzdrow., 1970, z. 1(49).
- [4] Analizy fizykochemiczne wód leczniczych, wód stołowych i borowin wykonane w 1975 r., Probl. uzdrow., 1976, z. 9/12.
- [5] BATÍK P., DORNIČ J., LYSENKO V., Mapa fotolineací a kruhových struktur, ÚUG, Praha 1982 (archiwum).
- [6] BAŻYŃSKI J., FISTEK J., GRANICZNY M., SŁAWIŃSKI A., WILCZYŃSKI M.S. Interpretacja zdjęć satelitarnych w świetle badań hydrogeologicznych południowo-zachodniej części Ziemi Kłodzkiej, Tech.Poszuk. Geol., 1981, nr 1, s. 14-16.
- [7] BAŻYŃSKI J., GRANICZNY M., OBERC J., WILCZYŃSKI M.S., Mapa fotogeologiczna Sudetów, Warszawa, WG 1986.
- [8] BĄBELEK T., Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) w wodach leczniczych Sudetów ze szczególnym uwzględnieniem szczyw Gór Izerskich, Praca doktorska, AM Poznań 1987 (maszynopis).
- [9] BĄBELEK T., CIĘŻKOWSKI W., Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) as an indicator of medicinal waters pollution in the Spas in Sudetes Mountains (SW Poland). Env.Geol.Water Sc., 1989, v. 14, No. 2, p. 93-97.
- [10] BĄBELEK T., GROCHMALICKA-MIKOŁAJCZYK J., Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) w sudeckich metodach technicznych, Sympozjum: Balneochemia wód leczniczych, Warszawa 8.11.1988, Warszawa, Wyd. PZITS 1988, s. 54-61.
- [11] BĄBELEK T., CIĘŻKOWSKI W., GROCHMALICKA-MIKOŁAJCZYK J., Rozkład zawartości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w wodach podziemnych uzdrowisk sudeckich, Konferencja: Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski, Bierutowice 17-19.09.1986. Pr.Nauk.Inst.Geotechn.PWr., nr 49, Wrocław 1986, s. 189-192.
- [12] BĄBELEK T., CIĘŻKOWSKI W., GROCHMALICKA-MIKOŁAJCZYK J., Polycyclic aromatic hydrocarbons in spa-waters of Świeradów Spa and Czerniawa Spa, International Symposium on Groundwater Monitoring and Management, Dresden 23-28.03.1987, Proc.,Complex I, Nr 2.
- [13] BOJAKOWSKA I., BUJWID H., Zanieczyszczenie wód podziemnych azotami, Tech.Poszuk.Geol., 1983, nr 3, s. 24-29.
- [14] BOŁASZEWSKA J., REUTT F., Częstość występowania poszczególnych mas powietrza w Polsce w okresie 10-ciu lat 1946-1956, Prace PIHM, 1962, z. 66, s. 16-32.
- [15] BORNEFF J., KUNTE H., Kanzerogene Substanzen in Wasser und Boden, XXVI. Routinmethode zur Bestimmung von Polizyklischen Aromaten in Wasser, Arch.Hyg., 153, 1969, s. 220-229.



- [16] ČERMAK V., Obzor eksperimentalnych dannyh o teplovym potokve v Česloslovakii, [W:] Terrestrial heat flow in Europe, Ed. Čermak V. Rybach L., Springer Verlag 1979; Moskva, Mir 1982, s. 337-347.
- [17] CIEŻKOWSKI M., Wstępne pomiary stężenia niektórych gazów i radioaktywności w Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie, Acta Univer. Vratisl. nr 311, 1978, s. 91-95.
- [18] CIEŻKOWSKI M., CIEŻKOWSKI W., Zwykłe wody radonowe Łącka Zdroju, Prz. Geol. 1981, nr 4, s. 183-184.
- [19] CIEŻKOWSKI M., CIEŻKOWSKI W., Możliwość zastosowania wód radonowych sztolni Śnieżnik do celów leczniczych, Probl. Uzdrow., 1981, z. 9/12 (167/170), s. 181-183.
- [20] CIEŻKOWSKI M., CIEŻKOWSKI W., Źródła Łącka Zdroju - historia i badania, Balneologia Polska, t. 27, 1982/83, z. 1-4, s. 5-19.
- [21] CIEŻKOWSKI M., CIEŻKOWSKI W., Wody radonowe sztolni Śnieżnik, II Ogólnopolskie Sympozjum: Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej, Łądek Zdrój 13-16.10.1982, Wrocław, Wyd. UWr. 1983, s. 295-298.
- [22] CIEŻKOWSKI W., Hydrochemical types of fissure waters from Łądek Zdrój, IAH Conference: Hydrogeochemistry of mineralized waters, Cieplice Spa 31.05-3.06.1978, Warszawa, Geol. Inst. 1979, s. 382-388.
- [23] CIEŻKOWSKI W., Die Bestimmung der perspektivischen Vorräte des Heilwassers im Fall der Vornahme von einer zusätzlichen Bohrung, XV Congres International de la Technique Hydrothermale, Cieplice Śl. Zdrój, 4-8.10.1979, Mat. Sci., p. 185-189.
- [24] CIEŻKOWSKI W., Hydrogeologia i hydrochemia wód termalnych Łącka Zdroju, Probl. Uzdrow., 1980, z. 4 (150), s. 125-193.
- [25] CIEŻKOWSKI W., Zagrożenia wód leczniczych, Przyr. Pol., 1981, nr 5, s. 13.
- [26] CIEŻKOWSKI W., Pionowa strefowość hydrochemiczna w obrębie gnejsów metamorfiku Łącka i Śnieżnika, Prz. Geol., 1981, nr 9, s. 471-473.
- [27] CIEŻKOWSKI W., Jednostka hydrogeologiczna szczaw Gór Izerskich, Kwart. Geol., t. 27, 1983, nr 3, s. 595-604.
- [28] CIEŻKOWSKI W., Wody termalne Łącka Zdroju, II Ogólnopolskie Sympozjum: Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej, Łądek Zdrój 13-16.10.1982, Wrocław, Wyd. UWr., 1983, s. 30-40.
- [29] CIEŻKOWSKI W., Die Probleme des Schutzes der Heilwasser nach dem Beispiel der Thermalwasser in Łądek Zdrój (Sudeten), XXI eme Congres International de la Technique Hydrothermale, Varna-Albena 27.09-1.10.1985, T. 1, s. 217-220.
- [30] CIEŻKOWSKI W., O zanieczyszczeniach chemicznych wód leczniczych w Sudetach, II Naukowy Zjazd Pol. Tow. Przyj. Nauk o Ziemi, Drzonków 8-10.11.1985, Zbiór referatów, cz. 2, s. 117-120.
- [31] CIEŻKOWSKI W., Anomalne wystąpienie związków azotowych w wodach leczniczych Sudetów, Sesja naukowa, Rozwój regionalnych badań hydrogeologicznych w Polsce, Warszawa, grudzień 1983, Kraków, Wyd. AGH 1986, s. 317-321.
- [32] CIEŻKOWSKI W., The ranges of Polish Sudetes Mountaines as recharge areas of curative waters, 19th Congress of the International Association of Hydrogeologists, Symposium on Ground-Water Protection Areas, Karlovy Vary 8-15.09.1986, Memoire IAH, vol. 19, 1987, part. 2, s. 128-134.
- [33] CIEŻKOWSKI W., Wybrane problemy hydrogeologii wód krasowych Masywu Śnieżnika, [W:] Jaskinia Niedźwiedzia w Kletnie, Red. A. Jahn i in., Wrocław, Ossolineum 1989, s. 180-201.

- [34] CIĘŻKOWSKI W., KOSZELA J., Nowe spojrzenie na obszar zasilania wód termalnych Cieplic Śl. Zdroju, Sympozjum: Stan rozpoznania i perspektywy wykorzystania wód termalnych, Kraków 24-25.10.1985, Warszawa-Kraków 1985, s. 18-27.
- [35] CIĘŻKOWSKI W., KRYZA J., Wykorzystanie stabilnych izotopów tlenu i wodoru oraz trytu jako naturalnych znaczników wód podziemnych na przykładzie wód krasowych Sudetów, III Symposium o krasu krkonošsko-jesenické soustavy, Cesky Dub 24-27.09.1987, Knihovna České Speleogické Společnosti, sv. 6, Praha 1987, s. 45-53.
- [36] CIĘŻKOWSKI W., MROCZKOWSKA B., Anomalia hydrogeochemiczne Cieplic Śl. Zdroju, Rocznik Pol.Tow.Geol., V. 55, 1985, nr 3-4, s. 473-484.
- [37] CIĘŻKOWSKI W., PŁOCHNIEWSKI Z., Poszukiwanie wód termalnych w rejonie Bolesławowa w Masywie Śnieżnika, II Ogólnopolskie Sympozjum: Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej, Łądek Zdrój 13-16.10.1982, Wrocław, Wyd. UWr. 1983.
- [38] CIĘŻKOWSKI W., SADOWSKA M., Stan zagrożenia wód leczniczych Polanicy Zdroju w świetle ostatnich badań, IV Polsko-Czechosłowackie Sympozjum: Ochrona i zanieczyszczenie wód podziemnych, Bierutowice 23-26.06.1987, s. 68-77.
- [39] CIĘŻKOWSKI W., SADOWSKA M., CO<sub>2</sub> in acidulous waters of the Bystrzyckie and Orlickie Mountains and their forefields - trial of quantitative approach, XXIII Congress International de Technique Hydrothermale, Karlovy Vary 30.11-3.12.1987, T. 1, s. 429-435.
- [40] CIĘŻKOWSKI W., SZARSZEWSKA Z., O zjawisku mieszania się wód leczniczych z wodami ich otoczenia na przykładzie uzdrowisk sudeckich Probl.Uzdrow., 1978, z. 6, s. 167-173.
- [41] CIĘŻKOWSKI W., SZTUK T., Wody termalne kopalni Turów, Sympozjum: Stan rozpoznania i perspektywy wykorzystania wód termalnych, Kraków 24-25.10.1985, Warszawa-Kraków 1985, s. 10-17.
- [42] CIĘŻKOWSKI W., GRABCZAK J., ZUBER A., Pochodzenie wód termalnych Cieplic Śl. Zdroju i ich eksploatacja w świetle badań izotopowych, III Ogólnopolskie Sympozjum: Aktualne problemy hydrogeologii, Kraków-Karniowice 28-30.05.1985, Kraków, Wyd. AGH, 1985, s. 68-77.
- [43] CIĘŻKOWSKI W., GRABCZAK J., ZUBER A., Wstępne wyniki badań trytu i izotopów trwałych w wodach leczniczych Sudetów, Konferencja: Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski, Bierutowice 17-19.09.1986, Pr.Nauk.Inst.Geotechn.PWr., nr 49, Wrocław 1986, s. 23-26.
- [44] CIĘŻKOWSKI W., GROCHMALICKA-MIKOŁAJCZYK J., BĄBELEK T. i in., Badanie trwałości składników toksycznych w wodach w aspekcie skażenia nimi wód leczniczych pochodzenia infiltracyjnego rejonu sudeckiego, Stan zagrożenia wód leczniczych Sudetów, Pol.Tow. Przyj.Nauk o Ziemi, Wrocław, 1983 (maszynopis).
- [45] CIĘŻKOWSKI W., KRYZA H., KRYZA J., Zmiany składu wód podziemnych pod wpływem zanieczyszczonych opadów - przebieg procesu w ultrasłodkich wodach krystaliniku Sudetów, Konferencja: Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski, Bierutowice 17-19.09.1986, Pr.Nauk.Inst.Geotechn.PWr., nr 49, Wrocław 1986, s. 193-198.
- [46] CIĘŻKOWSKI W., KRYZA H., KRYZA J., POPRAWSKI L., STAŠKO S., Wstępny model aktualnego tła hydrochemicznego strefy sudeckiej i jej przedpola, IV Polsko-Czechosłowackie Sympozjum: Ochrona i zanieczyszczenie wód podziemnych, Bierutowice 23-26.06.1987, s.78-88.
- [47] DOMINIKIEWICZ M., Wody mineralne Polski, PZWL, Warszawa 1951.

- [48] DOKTÓR S., GRANICZNY M., SADOWSKA M., Analiza danych teledetekcyjnych dla prognozowania występowania wód mineralnych i zwykłych na przykładzie obszaru pomiędzy Polanicą, Dusznikami i Kudową, Prz.Geol., 1986, nr 11, s. 580-583.
- [49] DOKTÓR S., GRANICZNY M., WIŚNIEWSKA M., Wykorzystanie badań teledetekcyjnych dla poszukiwania wód termalnych i mineralnych na przykładzie masywu granitowego Karkonoszy, Prz.Geol., 1985, nr 8, s. 454-457.
- [50] DOWGIAŁŁO J., Występowanie wód leczniczych w Polsce, [W:] Dowgiałło J., Karski A., Potocki I., Geologia surowców balneologicznych, Warszawa, WG, 1969, s. 143-212.
- [51] DOWGIAŁŁO J., Occurrence and utilization of thermal waters in Poland, U.N.Symposium on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa 1970, Geothermics, 1970, special issue 2, s. 95-98.
- [52] DOWGIAŁŁO J., Zastosowanie badań izotopów trwałych w hydrogeologii, Postępy Nauk Geol., nr 1, Warszawa, WG, 1970, s. 35-69.
- [53] DOWGIAŁŁO J., Wyniki badań składu izotopowego tlenu i wodoru w wodach podziemnych Polski Południowej, Biul.Inst.Geol., 1973, nr 277, s. 319-338.
- [54] DOWGIAŁŁO J., Wody termalne Sudetów, Acta Geol.Pol., 1976, no 4, s. 617-643.
- [55] DOWGIAŁŁO J., Pochodzenie dwutlenku węgla w szczawach Karpat i Sudetów na obszarze Polski, Biul.Inst.Geol., 1978, nr 312, s. 191-217.
- [56] DOWGIAŁŁO J., Mineral and thermal waters of the Sudetes against the geological background, IAH Conference: Hydrogeochemistry of mineralized waters, Cieplice Spa 31.05-3.06.1978, Warszawa, Geol. Inst. 1979, s. 21-27.
- [57] DOWGIAŁŁO J., Geochemiczne wskaźniki temperatury i ich zastosowanie do sudeckich wód termalnych, Sympozjum: Stan rozpoznania i perspektywy wykorzystania wód termalnych, Kraków 24-25.10.1985 Warszawa-Kraków 1985, s. 68-81.
- [58] DOWGIAŁŁO J., Zagadnienie wód "kryptotermalnych" w regionie sudeckim, Konferencja: Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski, Bierutówice 17-19.09.1986. Pr.Nauk.Inst.Geotechn. PWr., nr 49, Wrocław 1986.
- [59] DOWGIAŁŁO J., Problematyka hydrogeotermiczna regionu sudeckiego, Prz.Geol., 1987, nr 6, s. 321-327.
- [60] DOWGIAŁŁO J., Odpowiedź na "Uwagi w sprawie wód kryptotermalnych", Prz.Geol., 1987, nr 12, s. 640-641.
- [61] DOWGIAŁŁO J., KULKOWSKA J., Hydrogeologiczne badania stacjonarne ujęć wód leczniczych w uzdrowiskach polskich, Probl.Uzdrow., 1979, z. 1/61, s. 109-158.
- [62] DOWGIAŁŁO J., LEŚNIAK P.M., Niektóre wyniki hydrogeologicznych obserwacji stacjonarnych ujęć wód termalnych w Cieplicach Śl. Źródło, Biul.Geol.UW, T. 21, 1977, s. 266-275.
- [63] DOWGIAŁŁO J., FLORKOWSKI T., GRABCZAK J., Tritium and  $^{14}\text{C}$  dating of sudetic thermal waters, Bull.Acad.Pol.Sc., Ser.Sc.Terre, vol. 22, 1974, no 2, s. 101-109.
- [64] DOWGIAŁŁO J., PŁOCHNIEWSKI Z., SZPAKIEWICZ M., Mapa wód mineralnych Polski, Warszawa, WG 1974.

- [65] DULIŃSKI W., FLORKOWSKI T., GRABCZAK J., WĘCŁAWIK S., REŚKO D., ZUBER A., Ochrona wód mineralnych Krynicy w świetle wstępnych badań izotopowych, Konferencja: 25 lat górnictwa uzdrowiskowego, Krynica 8-10.10.1987, Kraków, Wyd. AGH 1987, s. 119-134.
- [66] FERRARA G.C., GONFIANTINI R., PANICHI C., La composizione isotopica del vapore di alcuni soffioni di Larderello e dell'acqua di alcune sorgenti e mofete della Toscana, Atti della Soc.Tosc.Sc. Nat., Ser. A, vol. 72, 1965, s. 3-21.
- [67] FISTEK J., Wody mineralne Świeradowa Zdroju, Przewodnik XL Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Zgorzelec 24-27.08.1967, Warszawa, WG 1967, s. 76-77.
- [68] FISTEK J., Wody lecznicze Szklarskiej Poręby, Ibidem, s. 78-81.
- [69] FISTEK J., Stare Rochowice koło Bolkowa, Przewodnik XLVII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Świdnica 22-24.06.1975, Warszawa, WG 1975, s. 285-288.
- [70] FISTEK J., Szczawy Kotliny Kłodzkiej i Gór Bystrzyckich, Biul.Geol. UW., t. 22, 1977, s. 61-115.
- [71] FISTEK J., Wody lecznicze i mineralne oraz peloidy, [W:] Surowce mineralne Dolnego Śląska, Wrocław, Ossolineum 1979, s. 430-442.
- [72] FISTEK J., Aktualny stan rozpoznania wód leczniczych Sudetów, II Ogólnopolskie Sympozjum: Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej, Łądek Zdrój 13-16.10.1983, Wrocław, Wyd. UWr., 1983, s. 371-381.
- [73] FISTEK J., Stan rozpoznania zasobów wód leczniczych uzdrowisk dolnośląskich, Sesja naukowa: Geologia uzdrowiskowa wczoraj - dzisiaj - jutro, Warszawa 19.05.1986, Warszawa 1986, s. 23-40.
- [74] FISTEK J., Jedlina Zdrój. Wody zmineralizowane typu szczaw, Przewodnik XLVIII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Wałbrzych 17-19.09.1987, Warszawa, WG 1987, s. 236-237.
- [75] FISTEK J., Stary Wielisław Dolny. Nowe dane o warunkach hydrogeologicznych występowania szczaw, Ibidem, s. 260-262.
- [76] FISTEK J., Uwagi na marginesie badań obecności wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w wodach leczniczych Dolnego Śląska, Sympozjum: Balneochemia wód leczniczych, Warszawa 8.11.1988, Warszawa, Wyd. PZITS 1988, s. 62-71.
- [77] FISTEK J., GIERWIELANIEC J., Mapa i Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów 1:25 000, arkusz Bastrzyca Nowa, Warszawa, WG 1961 i 1964.
- [78] FISTEK J., GIERWIELANIEC J., Problematyka hydrogeologiczna zapadliska Kudowy, II Ogólnopolskie Sympozjum: Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej, Łądek Zdrój 13-16.10.1982, Wrocław, Wyd. UWr. 1983, s. 240-261.
- [79] FISTEK J., GŁOMBIK J., Udział przedsiębiorstw górniczych w pracach hydrogeologicznych związanych z ujmowaniem źródeł wód leczniczych, Konferencja: 25 lat górnictwa uzdrowiskowego, Krynica 8-10.10.1987, Kraków, Wyd. AGH 1987, s. 101-117.
- [80] FISTEK J., TEISSEYRE J., Geneza wód mineralnych Świeradowa Zdroju, Przewodnik XL Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Zgorzelec 24-27.08.1967, Warszawa, WG 1967, s. 177-178.
- [81] FISTEK J., TEŚCIOROWSKA H., Problemy genezy wód termalnych Cieplic Śl. Zdroju, Biul.Inst.Geol., 1973, nr 264, s. 129-136.
- [82] FISTEK J., TEŚCIOROWSKA H., Szczawno Zdrój - wody lecznicze, Przewodnik XLVII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Świdnica 22-24.06.1975, Warszawa, WG 1975, s. 295-297.

- [83] FISTEK J., DOWGIAŁŁO J., BOROWIEC A., Kudowa Zdrój. Nowy punkt występowania wód termalnych w Sudetach, Przewodnik XLVIII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Wałbrzych 17-19.09.1987, Warszawa, WG 1987, s. 251-254.
- [84] FISTEK J., IWANOWSKI S., WILCZYŃSKI M., Die Fassung- und Gewinnungsmethoden der Heilwasserquellen auf dem Gebiet von Cieplice Śl. Zdrój und Szczawno Zdrój, XV Congres International de la Technique Hydrothermale, Cieplice Śl. Zdrój 4-8.10.1979, Probl. Uzdrow. 1979, z. 7/8 (141/142), s. 200-212.
- [85] FISTEK J., IWANOWSKI S., ICIEK A., JAGODZIŃSKI A., Badania geologiczne, geofizyczne i hydrogeologiczne jako przykład kompleksowego rozwiązania problemu poszukiwań wód leczniczych w uzdrowiskach sudeckich, Biul. Inform. Geofizyka, 1975, nr 1, s. 5-30.
- [86] FISTEK J., KOWALSKI S., MROCZKOWSKA B., SZAFRANEK M., Gorzanów. Niektóre wyniki badań hydrogeologicznych rowu górnej Nysy Kłodzkiej, Przewodnik XLVIII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Wałbrzych 17-19.09.1987, Warszawa, WG 1987, s. 261-265.
- [87] FOTT J., STUCHLIK E., STUCHLIKOVÁ Z., Acidification of lakes in Czechoslovakia, GEOMON, International Workshop on Geochemistry and Monitoring in Representative Basins, Extended abstracts, Prague 1987, s. 77-79.
- [88] FOTTOVÁ D., Acidification of surface waters in different environments of Bohemian Massif, Ibidem, s. 89-91.
- [89] FRANKO O., KOLAŘOVÁ M., Mapa minerálních vod ČSSR, Bratislava 1985.
- [90] FRECH F., Schlesiens Heilquellen in ihrer Beziehung zum Bau der Gebirge, Berlin 1912.
- [91] FRESSENIUS W., SCHNEIDER W., Organische Spurenstoffe in Heil- und Mineralwässern, Heilbad und Kurort, 1981, nr 33, s. 2.
- [92] GARBULIŃSKI T., MIELCZAREK B., Ocena wpływu emisji zanieczyszczeń ze źródeł dalekiego, bliskiego i lokalnego zasięgu na warunki higieniczne powietrza w uzdrowisku Czarniawa, Probl. Uzdrow., 1985, z. 3-4 (209/210), s. 103-107.
- [93] GARBULIŃSKI T., MIELCZAREK B., Obszary objęte oddziaływaniem emisji z elektrowni węglowych wielkiej mocy i różny wpływ tych emisji na zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego w wyodrębnionych jednostkach fizjograficznych tych obszarów, Konferencja: Węzłowe problemy inżynierii środowiska w Makroregionie Południowo-Zachodnim, Jelenia Góra 14-15.05.1985, NOT UWoj. Jelenia Góra 1985, s. 240-246.
- [94] GIERWIELANIEC J., Budowa geologiczna okolic Kudowy, Biul. Inst. Geol., 1965, nr 185, s. 23-90.
- [95] GIERWIELANIEC J., Łądek Zdrój i jego wody mineralne, Kwart. Geol., r. 12, 1968, z. 3, s. 680-692.
- [96] GIERWIELANIEC J., Z geologii Łądka Zdroju, Pr. Nauk. Inst. Geotechn. Pwr. nr 5, Wrocław 1970.
- [97] GIERWIELANIEC J., Wody mineralne obszaru sudeckiego, Prace Karkonoskiego Tow. Nauk., Turystyka w Sudetach II, Jelenia Góra 1977 s. 63-74.
- [98] GIERWIELANIEC J., FISTEK J., CIĘŻKOWSKI W., Wody lecznicze Dolnego Śląska w literaturze krajoznawczej, Prz. Geol., 1980, nr 11, s. 613-616.
- [99] GŁOWIAK B., ZIÓŁKOWSKI J., Radioaktywność wód Świeradowa Zdroju, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1965, nr 5, s. 166-169.

- [100] GOEBEL S., *Analizy chemiczne wód mineralnych Polski*, t. 1, Warszawa, WG 1963.
- [101] GORCHEV H.G., OZOLINS G., WHO Guidelines for Drinking-Water Quality, International Water Supply Association Congress, Zurich 6-10.09.1982.
- [102] GRABCZAK J., ZUBER A., Isotope composition of waters recharged during the Quaternary in Poland, International Isotopen-kolloquium, Freiberg 1982, Freiburger Forschungshefte, 1983, C-388, s. 93-108.
- [103] GRANICZNY M., DOKTÓR S., Wykorzystanie danych teledetekcyjnych do badań wód termalnych i mineralnych w Sudetach, Sympozjum: Stan rozpoznania i perspektywy wykorzystania wód termalnych, Kraków 24-25.10.1985, Warszawa-Kraków 1985, s. 39-50.
- [104] GROCHMALICKA-MIKOŁAJCZYK J., CIEŻKOWSKI W., BĄBELEK T., Analiza wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w wodach leczniczych Sudetów, III Ogólnopolskie Sympozjum: Aktualne problemy hydrogeologii, Kraków-Karniowice 28-30.05.1985, Kraków, Wyd. AGH 1985, s. 423-430.
- [105] GROCHMALICKA-MIKOŁAJCZYK J., LULEK J., BĄBELEK T., Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w wodach mineralnych z terenu Szczawna Zdroju, Probl.Uzdrow., 1983, z. 10-12 (192/194), s. 140-146.
- [106] GROCHMALICKA-MIKOŁAJCZYK J., OCHOCKA J.R., LULEK J., Badania nad występowaniem wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w niektórych wodach mineralnych, Referat na X Ogólnopolskim Zjeździe Balneoklimatycznym, Kołobrzeg 15-16.09.1979, Balneologia Polska (w druku).
- [107] HAJDUKIEWICZ A., OLSZEWSKI S., PORĘBSKI S., TEISSEYRE A., Mapa i Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów 1:25 000 arkusz Wałbrzych, Warszawa, WG 1984 i 1985.
- [108] HORDEJUK T., PŁOCHNIEWSKI Z., Warunki występowania i zasoby szczaw termalnych w Grabinie koło Niemodlina, Konferencja: Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski, Bierutowice 17-19.09.1986, Pr.Nauk.Inst.Geotechn. PWR. nr 49, Wrocław 1986, s. 75-79.
- [109] HYNIE O., Hydrogeologie ČSSR II, Minerální vody, Academia, Praha 1963.
- [110] IWANOWSKI S., SZARZIEWSKA Z., Świeradów Zdrój, IAH Conferece: Hydrogeochemistry of mineralized waters, Cieplice Spa 31.05.-3.06.1978, Warszawa, Geol.Inst. 1979, s. 367-370.
- [111] JASTRZĘBSKI L., MADEYSKI A., POTOCKI I., Podstawy balneotechniki, Warszawa, Arkady 1958.
- [112] JELIŃSKI A., Geochemia uranu w granitowym masywie Karkonoszy z uwzględnieniem innych masywów granitoidowych Dolnego Śląska, Biul.Inst.Geol., 1965, nr 193, s. 5-92.
- [113] JETEL J., Hydrogeologie podloží české křídové pánve, [W:] M.Mal-kovský i in., Geologie české křídové pánve a jejího podloží, Praha, Academia 1974, s. 156-190.
- [114] JETEL J., RYBÁŘOVÁ L., Minerální vody Východočeského kraje, Praha, ÚÚG, 1979.
- [115] KAČURA G., Minerální vody Severočeského kraje, ÚÚG, Praha 1980.
- [116] KASELA T., KAZIMIERCZYK M., Metodyka zdjęcia emanacyjnego, I Pol-sko-jugosłowiańska narada w zakresie geologii i metodyki poszukiwań złóż uranowych, Karpacz 17-24.10.1960, s. 30-35.

- [117] KLECZKOWSKI A., Hydrogeologia ziem wokół Polski, Warszawa, WG 1979.
- [118] KLECZKOWSKI A., KRAJEWSKI S., PACZYŃSKI B., SZCZEPAŃSKI A., Regionalizacja hydrogeologiczna Polski, Prz.Geol., 1978, nr 11, s. 635-637.
- [119] KOLAGO C., Mapa hydrogeologiczna Polski 1:1 000 000, Warszawa, WG 1970.
- [120] KOLAŘOVÁ M., Minerální vody Středočeského a Jihočeského kraje, Praha, ÚUG 1978.
- [121] KOLAŘOVÁ M., MYSLIL V., Minerální vody Zapadočeského kraje, Praha ÚUG 1979.
- [122] KORCZOWSKI J., RZEŹNICKI J., ZWOŹDZIAK J., ZWOŹDZIAK A., Charakterystyka aerozolu atmosferycznego na terenie Worka Żytauwskiego, Konferencja: Węzłowe problemy inżynierii środowiska w Makroregionie Południowo-Zachodnim, Jelenia Góra 14-15.05.1985, NCT, UWoj., Jelenia Góra 1985, s. 31-38.
- [123] KOTARBA M., Geochemiczne kryteria genezy gazów akumulowanych w serii węglonośnej górnego karbonu niecki wałbrzyskiej, Zesz.Nauk. AGH, Geologia 42, Kraków 1988.
- [124] KOWALSKI S., Wody podziemne w skałach górnokredowych Gór Stożowych, I.G., Prace hydrogeologiczne, z. 15, WG, Warszawa 1983.
- [125] KROTOWICZ J., Tryt w badaniach hydrogeologicznych, Warszawa, WG 1968.
- [126] KRYZA J., Systemy wodonośne Sudetów i obecny stan ich rozpoznania, II Ogólnopolskie Sympozjum: Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej, Łądek Zdrój 13-16.10.1982, Wrocław, Wyd. UWR. 1983, s. 4-20.
- [127] KRYZA J., POPRAWSKI L., Hydrochemical deformation at different occurrences an endangering of groundwater in Lower Silesia, SW Poland, Intern.Conf. on Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutans, Nordwijk, Netherland, 30.03-3.04.1987, Publ. of RIVM, s. 409-420.
- [128] KRYZA J., CIĘŻKOWSKI W., KRYZA H., Ustalenie okresowej zmienności tła hydrogeochemicznego na obszarach eksperymentalnych, Sprawozdanie z II etapu badań w ramach zadania: Przeobrażenie składu chemicznego ultrasłódki wód podziemnych masywu krystalicznego pod wpływem zanieczyszczonych opadów, CPEP nr 04.10.09.02. 06.08, 1987 (maszynopis).
- [129] KRYZA J., STAŠKO S., POPRAWSKI L., KRYZA H., CIĘŻKOWSKI W., Zanieczyszczenia wód podziemnych Dolnego Śląska - struktura sieci obserwacyjnej, zakres prac badawczych i ich główne cele, IV Polsko-Czechosłowackie Sympozjum: Ochrona i zanieczyszczenie wód podziemnych, Bierutowice 23-26.06.1987, s. 194-205.
- [130] KULIKOWSKA J., Rola i zadania obserwacji stacjonarnych wykonywanych w ujęciach wód leczniczych oraz interpretacja ich wyników, Probl.Uzdrow., 1987, z. 9/10 (239/240), s. 99-102.
- [131] KVĚT R., KAČURA G., Minerální vody Severomoravského kraje, ÚUG, Praha 1978.
- [132] KWIATKOWSKI J., HOŁDYS T., Klimat, [W:] Karkonosze polskie, A.Jahn (red.), Wrocław, Ossolineum 1985, s. 87-116.
- [133] LANGGUTH H.R., List of terms of hydrogeology, Intern. Assoc. of Hydrogeologists, vol. 3, Hannover, Heise 1984.
- [134] LATOUR T., GÓRNIOK A., Związki azotowe w wodach mineralnych, aspekty sanitarno-higieniczne i geologiczne, Konferencja: Problemy eksploatacji wód mineralnych, Kraków 12.12.1980, s. 41-52.

- [135] LATOUR T., JASTRZĘBSKA B. i in., Analiza występowania zanieczyszczeń chemicznych w wodach leczniczych wybranych uzdrowisk Polski południowej na podstawie rozpoznania hydrogeologicznego oraz wyników badań chemicznych i bakteriologicznych, Instytut Medycyny Uzdrawiskowej, Poznań 1987, Punkt Kontrolny nr 2 (maszynopis).
- [136] LEŚNIAK P., Some ionic equilibria of sudetic thermal waters, IAH Conference: Hydrogeochemistry of mineralized waters, Cieplice Spa 31.05-3.06.78, Warszawa, Geol.Inst. 1979, s. 389-394.
- [137] LEŚNIAK P., O interpretacji pomiaru alkaliczności w wodach termalnych Cieplic i Łącka Zdroju, Prz.Geol., 1984, nr 12, s. 651.
- [138] LIS J., HAŁAS S., Preliminary results of stable carbon isotopes studies in Sudetic and Carpathian mineral waters, 2 Arbeitstagung: Isotopes in der Natur, Leipzig 5-9.10.1979, ZFI-Mitteilungen, 29, 1979, nr 2a, s. 69-82.
- [139] MACIOSZCZYK A., Hydrogeochemia, Warszawa, WG 1978.
- [140] MAJOROWICZ J., PLEWA S., Izučenie teplovovo potoka v Polše i rešenie tektonofyzických zadač, [W:] Terrestrial heat flow in Europe, Springer 1979; Mir, Moskva 1982, s. 261-276.
- [141] MAŁOSZEWSKI P., ZUBER A., On the theory of tracer experiments in fissured rocks with a porous matrix, J.Hydrol., 79, 1985, s. 333-358.
- [142] Materiały archiwalne Biura Projektów i Usług Technicznych Branży Uzdrawiskowej "Balneoprojekt" w Warszawie.
- [143] Materiały archiwalne Zakładu Balneotechniki Instytutu Medycyny Uzdrawiskowej w Warszawie.
- [144] Materiały archiwalne Zakładów Przemysłowych R-1 w Kowarach.
- [145] MICHNIEWICZ M., MROCZKOWSKA B., WOJTKOWIAK A., Mapa hydrogeologiczna Polski 1:200 000, arkusz Jelenia Góra i Wałbrzych, Warszawa, WG 1982 i 1984.
- [146] Ministerstwo Zdrowia i Opieki Społecznej, Uzdrawiska w świetle zagrożeń ekologicznych, Probl.Uzdrow., 1982, z. 1/6 (171/176), s. 71-106.
- [147] Ministerstwo Zdrowia i Opieki Społecznej, Stan ochrony środowiska naturalnego miejscowości uzdrawiskowych - ocena i kierunki działania dla jego poprawy, Materiały dla Komisji Ochrony Zdrowia Ludności i Środowiska KC PZPR, Warszawa 1986.
- [148] MÍSAŘ Z. i in., Geologie ČSSR I, Český masiv, SPN, Praha 1983.
- [149] MORAWSKI T., SAWICKI L., Wystąpienie szczaw termalnych w Grabinie koło Niemodlina, Konferencja, Wody podziemne i geologia formacji wodonośnych Śląska Opolskiego, Materiały i Studia Opolskie, r. 26, 1984, z. 52/53, s. 235-240.
- [150] MROCZKOWSKA B., MROCZKOWSKI J., OSTAFICZUK S., Origin of the Cieplice thermal waters - an example of Landstad image analysis in hydrogeology, Bull.Pol.Acad.Sc., Earth Sc., vol. 31, 1983, nr 1-4, s. 21-25.
- [151] MROCZKOWSKI J., OSTAFICZUK S., Konfrontacja zdjęcia satelitarnego z mapą geologiczną Karkonoszy i Gór Izerskich - próba interpretacji tektoniki dysjunktywnej, Geol.Sudetica, vol. 20, 1985, nr 2, s. 121-128.
- [152] MYSLIL V., PELIKÁN V., REZNIČEK V., Hydrogeologie minerálních vod v Belovsi u Náchoda, Sbor.Geol.Ved., R.HIG 1966, nr 4, s. 145-171.



- [153] NEFF J.M., Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment, Essex Applied Sc.Publ.Ltd. 1979.
- [154] NIR A., Development of isotope methods applied to groundwater hydrology, Symposium on Isotope Techniques in the Hydrologic Cycle A.G.U., Monograph Series No 11, 109, 1967.
- [155] OBERC J., Budowa geologiczna Polski, t. IV, Tektonika, cz. 2, Sudety i obszary przyległe, Warszawa, WG 1972.
- [156] Ochrona wód podziemnych, pr. zbiorowa pod red. A.S.Kleczkowskiego Warszawa, WG 1984.
- [157] PACZYŃSKI B., Podstawy systematyki regionalnej wód podziemnych Polski, Prace hydrogeol. Inst.Geol. seria specj., Warszawa, WG 1980.
- [158] PAPIERKOWSKI J., Antroterapia czyli leczenie podziemne w sztolni radioaktywnej w Kowarach - Podgórzu i rola Kowar jako potencjalnego uzdrowiska, Probl.Uzdrow., 1969, z. 3 (45), s. 65-100.
- [159] PAPIERKOWSKI J., Wytyczne balneologiczne do organizacji lecznictwa w uzdrowiskach potencjalnych województwa wrocławskiego, Probl.Uzdrow., 1973, z. 8 (74), s. 83-162.
- [160] PAZDRO Z., Hydrogeologia ogólna, Warszawa, WG 1983.
- [161] PELIKÁN V., Ochrana podzemních vod, Praha, SNTL 1983.
- [162] PILICH A., KULIKOWSKA J., MADEYSKI A., Ujęcia wód mineralnych i słabo zmineralizowanych w Polsce, Probl.Uzdrow., 1979, z. 3/6 (137/140).
- [163] PLECZYŃSKI J., Zanieczyszczenie wód podziemnych związkami azotowymi, II Polsko-Czechosłowackie Sympozjum: Ochrona wód podziemnych przed zanieczyszczeniami naftowymi i przemysłowymi, Radków 23-26.04.1985, s. 112-120.
- [164] PŁOCHNIEWSKI Z., MACIOSZCZYKOWA A., Zagrożenie wód podziemnych związkami azotu, V Sympozjum: Problemy zagrożenia i ochrony wód podziemnych; problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej, Częstochowa 21-22.11.1983, PZITS, Częstochowa 1983, s. 95-102.
- [165] POLAŃSKI A., Izotopy w geologii, Warszawa, WG 1979.
- [166] POSMYK S., Optymalizacja parametrów pracy inhalatorium radonowego, Praca doktorska, PWr., Wrocław 1977 (maszynopis).
- [167] POTOCKI I., Wpływ geologicznego poszukiwania i dokumentowania zasobów wód mineralnych na programowanie rozbudowy sieci uzdrowisk w Polsce, Probl.Uzdrow., 1972, z. 5 (65), s. 1-127.
- [168] PRZENIOSŁO S., Geochemia uranu w aluwjach wschodniej części metamorfiku Łącka i Śnieżnika Kłodzkiego, Biul.Inst.Geol., 1970, nr 224, s. 205-281.
- [169] RADWAŃSKI S., Kreda Sudetów środkowych w świetle wyników nowych otworów wiertniczych, Biul.Inst.Geol., 1975, nr 287, s. 5-50.
- [170] REZNIČEK V., Termální vody ve Velkých Losinách, Zbiorník referátov z VIII celoštátnej hydrogeologickej konferencie: Puklinové a puklinovo-krasové vody a problémy ich ochrany, Liptov, Bratislava 1984, s. 271-277.
- [171] RÓŻAŃSKI K., Izotopy trwałego tlenu i wodoru w atmosferycznej części cyklu hydrologicznego, Zesz.Nauk. AGH, Fizyka 10, Kraków 1987.
- [172] RÓŻAŃSKI K., DULIŃSKI M., A reconnaissance isotope study of waters in the karst of the Tatra Mountains, Catena 1988, vol. 15 no 3/4, s. 289-301.

- [173] RULSKI S., Zastosowanie aparatury Turam do poszukiwania złóż rud polimetali na wybranych obiektach geologicznych w Sudetach, Biul.Inform.Geofizyka, 1975, nr 1, s. 31-42.
- [174] SEIFERT K., Schicksal und Ende des Bades Altwasser in Schlesien, Breslau 1937.
- [175] ŠILAR J., Isotopový výzkum sirmé termy ve Velkých Losinách na Moravě, Zbiorník referátov z VIII celoštátnej hydrogeologickej konferencie: Puklinové a puklinovo-krasové vody a problémy ich ochrany, Liptov, Bratislava 1984, s. 279-284.
- [176] SOLECKI A., Wody mineralne Sudetów, ich związek z tektoniką w świetle analizy obrazu Londsata i koncepcji planetarnych stref spękań, II Ogólnopolskie Sympozjum: Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej, Łądek Zdrój 13-16.10.1982, Wrocław, Wyd. UWr. 1983, s. 299-305.
- [177] SONNTAG C., KLITZSCH E., LÖHNERT E.P. et al., Paleoclimatic information from deuterium and oxygen-18 in carbon-14 dated North Saharian groundwaters, Isotope hydrology 1978, IAEA, Vienna 1979, v. 2, p. 569-581.
- [178] Stable isotope hydrology. Deuterium and Oxygen-18 in the water cycle, Ed. Gat J.R., Gonfiantini R., Vienna, IAEA 1981.
- [179] STANĚK Z., PELIKÁN V., Radioactivity of mineral waters in Moravia, IAH Conference: Hydrogeochemistry of mineralized waters, Cieplice Spa 31.05-3.06.1978, Warszawa, Geol.Inst. 1979, s. 247-262.
- [180] Statistical treatment of environmental isotope data in precipitation, Technical Reports ser. no 206, Vienna, IAEA 1981.
- [181] SVOBODA J. i in., Regionální geologie ČSSR, I, Český masiv, sv. 1, Krystalinikum, Praha, UUG 1964.
- [182] SYLWESTRZAK H., Uwagi o glinkach tektonicznych, Prz.Geol. 1971, nr 5, s. 228-230.
- [183] SZABAD L.M., ILNICKI A.P., K itogam diskusii po higieničeskomu normirovaniu kancerogennykh veščestv, Gig.Sanit. 1976, nr 9, s. 91-95.
- [184] SZALAŁAMACHA J., SZALAŁAMACHA M., Mapa i Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Sudetów 1:25 000, arkusz Świeradów Zdrój, Warszawa, WG 1984.
- [185] SZMYT M., Pomiarы radoczynności krajowych wód mineralnych, Chemia Analit., 1959, nr 1-2, s. 477-480.
- [186] SZMYTÓWNA M., Radoczynność źródeł leczniczych w Górach Izerskich i Karkonoszach, Pozn.Tow.Przyj.Nauk, Prace Kom. Farm., T. 1, 1958, z. 1/10, s. 95-105.
- [187] SZMYTÓWNA M., Radoczynność wód leczniczych w uzdrowiskach Ziemi Kłodzkiej, Pozn.Tow.Przyj.Nauk, Prace Kom. Farm., T. 1, 1958, z. 1/11, s. 109-112.
- [188] SZMYTÓWNA M. (red.), Balneochemia, PZWL, Warszawa 1970.
- [189] SZTUK T., Nagły wpływ wód w kopalni "Turów". Konferencja: Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski, Bierutowice 17-19.09.1986, Pr.Nauk.Inst.Geotechm.PWr. nr 49, Wrocław 1986. s. 343-350.
- [190] TEISSEYRE H., Mapa i Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów 1:25 000, arkusz Stare Bogaczowice, Warszawa, WG 1972 i 1973.
- [191] TEISSEYRE H., Mapa i Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów 1:25 000, arkusz Bolków, Warszawa, WG 1976 i 1977.

- [192] TRISSEYRE J., *Geologia sudeckich wód mineralnych*, Zjazd nauk.-techn.: Zagadnienia racjonalizacji gospodarki i eksploatacji złóżowej wód mineralnych w Polsce, Krynica 3-4.09.1954, Stali-nogród, SITG 1954, s. 74-96.
- [193] TRISSEYRE J., *Źródła mineralne Dolnego Śląska w świetle badań geologicznych (1945-1965)*, [W:] *Z geologii Ziemi Zachodnich*, Pr. zbior. pod red. J. Oberca, Wrocław, TRZZ 1966, s. 485-505.
- [194] WALCZAK W., *Sudety*, Warszawa, PWN 1968.
- [195] WALCZAK W., *Obszar przedsudecki*, Warszawa, PWN 1968.
- [196] WASILEWSKI M., TWAROWSKI R., *Wpływ zanieczyszczenia opadów atmosferycznych na jakość wód rejonu Karkonoszy*, IV Polsko-Czechosłowackie Sympozjum: *Ochrona i zanieczyszczenie wód podziemnych*, Bierutówice 23-26.06.1987, s. 370-381.
- [197] WÓJCIK L., *Mapa i Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Sudetów 1:25 000*, arkusz Polanica Zdrój, Warszawa, WG 1961 i 1971.
- [198] ZUBER A., *Mathematical models for the interpretation of environmental radioisotopes in groundwater system*, [W:] *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, Ed. Fritz P., Fontes J.Ch., vol. 2, part B, *The Terrestrial Environment*, Amsterdam, Elsevier 1986, s. 4-60.
- [199] ZUBER A., *Zastosowanie metod znacznikowych w zagadnieniach ochrony wód podziemnych*, Cz. 1, *Metody izotopowe*, *Sprawozdanie z badań w ramach zadania: Katalog podstawowych parametrów migracji niezbędnych przy wyznaczaniu stref ochronnych - instrukcja metodyczna*, CPEP nr 04.10.09.02.01.01. Kraków 1986 (maszynopis powiel.).
- [200] ZUBER A., *O pochodzeniu wód typu zuber*, *Konferencja: 25 lat górnictwa uzdrowiskowego*, Krynica 8-10.10.1987, Kraków, Wyd. AGH 1987, s. 37-51.
- [201] ZUBER A., CIĘŻKOWSKI W., DULIŃSKI W., GRABCZAK J., *Uwagi na temat wód "kryptotermalnych" Sudetów*, *Prz.Geol.*, 1987, nr 12, s. 636-639.
- [202] ZÝKA V., *Geochemie minerálních vod Čech*, *Sb. Geol. věd.*, Ř.TG. 1964, sv. 3, s. 45-121.

Praca wpłynęła do Redakcji 30 III 1989 r.

W wersji ostatecznej 31 VIII 1989 r.

A Study on the Hydrogeochemistry of Mineral and Thermal Waters  
in the Polish Sudety Mountains (SW Poland)

Mineral and thermal waters in the Sudety Mountains present an interesting material for research studies. The balneological traditions in this region date back as far as the first century B.C. (Szcawno Spa) and early Middle Ages (1241 - Łądek Spa, 1281 - Cieplice Spa). The variety of the geological structure of the Sudety Mountains (Tab. 2) is the cause of the distinct versification of mineral and thermal waters occurring in this area. Three basic types of such waters can be found in this region:

- waters containing the highest content of carbon dioxide in the country,
- thermal waters whose increased temperature and the simultaneous low mineralization make it possible to utilize their energetic properties,
- radioactive waters with the highest radon concentration in the ground waters of this country (up to 3000 Bq/dm<sup>3</sup>).

Shallow ground waters occurring in the area of particular health resorts exhibit low mineralization and different hydrochemical properties (Tab. 5). While forcing their way up to the surface the waters containing carbon dioxide and thermal waters mix with these local ground waters. Intakes of these mixtures indicate their different proportions. In water containing carbon dioxide the admixtures of shallow ground water come to several dozen per cent (Tab. 7). In thermal waters such admixtures are found only in some intakes. The process of mixing different types of waters causes the generation of hydrogeochemical anomalies in the area of some health resorts.

A large amount of new information on the waters being investigated has been obtained through isotope tests of particular water.

The stable isotopes of oxygen and hydrogen univocally indicate the infiltration origin of all Sudety waters. The determination of the isotopic background of shallow ground water has resulted in obtaining certain local dependencies (5.1.1). The continental effect, the local dependence  $\delta D - \delta^{18}O$  as well as altitude dependencies  $H = f(\delta D)$  and  $H = f(\delta^{18}O)$  have been determined. The latter dependencies make it possible to determine the altitudes of the recharge areas of mineral and thermal waters.

In the case of water containing carbon dioxide such studies could be made after determining the so-called origin shift resulting from isotope exchange between oxygen of juvenile CO<sub>2</sub> and oxygen of H<sub>2</sub>O. On the average this shift is 0,29‰ while in different deposits it comes to 0,19-0,36‰. The altitudes of recharge areas determined owing to  $\delta D$  and  $\delta^{18}O$  are in good agreement (Tab. 8, Fig. 27). In the majority of cases the experimental results have confirmed and specified the hitherto existing views on the location of recharge areas. In certain cases some completely surprising data have been obtained (Szcawno Spa, Bogaczowice Stare). As regards thermal waters such considerations could not be made possible since the waters occurring in Łądek Spa correspond, in terms of their isotopic composition, to water containing carbon dioxide whereas the water in Cieplice and Turów - to the worldwide rather than local dependencies (Fig. 29). This requires further research studies to be carried out.

**Tritium and radiocarbon.** Results of tritium tests indicate that shallow ground waters which mix with mineral and thermal waters are between several to over twenty years old. In the case of mineral and thermal waters the following has been found:

- of the youngest age are radioactive waters resulting from the

present-day infiltration which took place after the year 1954,

- waters containing carbon dioxide do not contain tritium and so their origin goes back to the years before 1954. The isotope composition of oxygen and hydrogen indicates that they correspond to present-day water. They can thus be defined as the Holocene waters,

- of the oldest age are thermal waters. The waters occurring in Łądek Spa were infiltrated in the early part of the Holocene Period while the waters at Cieplice and Turów underwent infiltration in the Glacial Age.

The overall degradation of the natural environment has also affected mineral and thermal waters.

Qualitative hazards result from the admixtures of shallow waters which are endangered by pollutants. It has been found that these waters display the presence of nitrogen compounds (Tab. 16) as well as cancerogenic polycyclic aromatic hydrocarbons PAH (Tab. 13, 14 and 15). The highest quantities of these compounds exceeding the WHO standards have been found in Szczawno Spa as well as in Świeradów Spa and Czerniawa Spa. Their occurrence in Szczawno has been caused by the neighbourhood of the industrial town Wałbrzych. Their presence at Świeradów and Czerniawa is another evidence of the ecological disaster in the Izerskie Mountains and has been caused by the impurities emitted from power stations located in CSR and GDR close to the border with this country, as well as, from Polish industrial plants. Other investigations indicate the increased quantities of phosphates and heavy metals contained in mineral water.

Quantitative hazards also result in deterioration of the quality of these waters. Such hazards are caused by the excessive exploitation of ground waters (Łądek Spa, Jeleniów), mine drainage (Stary Spa, Jedlina Spa, Opolno Spa), as well as, by a change of the utilization of surface areas (Szczawina).

In conclusion it has been pointed out that some definite measures should be taken to monitor the quality of mineral and thermal waters. In addition regular isotope testing may provide information which will be of essential importance for the protection of this particular type of ground water being used for medical treatment.

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ И ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД  
ПОЛЬСКИХ СУДЕТОВ (ЮГО-ЗАПАДНАЯ ПОЛЬША)

Лечебные воды в Судетах являются интересным исследовательским материалом. Бальнеологические традиции в этой местности ведут свое начало от I века до н.э. (Шавно Здруй), а в современное время относятся к раннему средневековью (1241 г. - Лёндек Здруй и 1281 г. - Теплице Здруй). Разнородность геологической структуры Судетов (табл. 2) является причиной отчетливой дифференциации выступающих здесь вод, содержащих разные специфические компоненты (табл. 3). Здесь выступают три основных вида таких вод:

- углекислые воды одного из наивысших в стране содержания  $\text{CO}_2$ ,
- термальные воды, которых повышенная температура с одновременно низкой минерализацией дает возможность их энергетического использования,
- радиоактивные воды наивысшей концентрации радона в подземных водах страны (до  $3000 \text{ Bq/dm}^3$ ).

Пресные подземные воды на территории отдельных курортов имеют низкую минерализацию и характеризуются разными гидрохимическими типами (табл. 5). Сформированные углекислые и термальные воды со значительно высшей минерализацией, стремясь к вытеканию на поверхность, смешиваются с местными водами. В водозаборах появляются смеси разных пропорций. В углекислых водах примеси пресных вод составляют чаще всего десятки процентов (табл. 7). В термальных водах такие примеси встречаются лишь в некоторых водозаборах. Процесс смешивания вод разных типов вызывает образование гидрогеохимических аномалий в районе некоторых курортов.

Многочисленные новые информации на тему исследуемых вод доставили нам изотопные исследования отдельных изотопов вод.

Изотопный состав кислорода и водорода однозначно указывает на инфильтрационное происхождение всех вод в Судетах. Определение изотопной основы неглубоких подземных вод привело к получению некоторых местных зависимостей (V.I.I.). Определили континентальный эффект, высотный эффект, местная зависимость  $\delta D - \delta^{18}\text{O}$ , а также высотные зависимости  $H = f(\delta D)$  и  $H = f(\delta^{18}\text{O})$ . Эти последние зависимости дают возможность определить высоту области питания лечебных вод.

В случае углекислых вод это было возможным после определения так называемого кислородного перемещения, вытекающего из изотопного обмена между кислородом ювенильного  $\text{CO}_2$  и кислородом  $\text{H}_2\text{O}$ . Это среднее перемещение составляет - 0,29%, в разных месторождениях - 0,19 - 0,36% (табл. 8). Высоты областей питания определены благодаря  $\delta D$  и  $\delta^{18}\text{O}$  и соответствует друг другу (табл. 8, рис. 27). В большинстве случаев результаты подтвердили и уточнили существующие до сего времени воззрения

о положении областей питания. В некоторых случаях были получены совершенно неожиданные данные (Шавно Здруй, Богачевице Старэ). В случае термальных вод таких рассуждений провести нельзя – воды Лёндка Здруй соответствуют изотопным составом углекислым водам, а воды Теплиц и Турова – всемирным зависимостям, а не местным (рис. 29). Это требует дальнейших исследований.

**Т р и т и й и р а д и о а к т и в н ы й у г л е р о д .**  
 Результаты исследований трития показывают, что пресные подземные воды, смешивающиеся с лечебными водами, являются такими, которые насчитывают более десяти, а даже двадцати лет. В случае лечебных вод можно установить, что:

- самые молодые – это радиоактивные воды, которые являются водами современной инфильтрации, наступившей после 1954 г.,

- углекислые воды не содержат трития, их происхождение можно отнести до 1954 года. Изотопный состав кислорода и водорода показывает, что они соответствуют современным водам. Итак, их можно определить как голоценовые,

- старейшими являются термальные воды. Воды Лёндка Здруй инфильтрировали в начале голоцена, воды Теплиц и Турова – в период последнего оледенения.

Общая деградация среды касается также и лечебных вод. **К а ч е с т в е н н ы е о п а с н о с т и** вытекают из примесей пресных вод, которые подвергаются загрязнению. Определяется в водах присутствие минеральных форм азота (табл. I6), а также канцерогенных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) (табл. I3, I4 и I5). Наивысшее количество этих соединений, достигающих или превышающих нормы, устанавливается в Шавне Здрую, а также в Серадове Здрую и Черняве Здрую. В Шавне это обосновывается соседством промышленного города Валбжиха. В Серадове и Черняве это еще одно явление экологического поражения в Изерских горах, вызванного трансграничным загрязнением из электростанций Чехословакии, ГДР и Польши. Другие исследования указывают на повышенное количество в лечебных водах фосфатов и тяжелых металлов.

**К о л и ч е с т в е н н ы е о п а с н о с т и** имеют часто также последствия в ухудшении качества вод. Такие опасности вызываются чрезмерной эксплуатацией подземных вод (Лёндек Здруй, Еленюв), горным водоотводом (Стары Здруй, Едлина, Опольно) и изменением землепользования (Шавина).

В заключении говорится о необходимости начала мониторинга качества лечебных вод. Также регулярные изотопные исследования могут доставить необходимые информации, имеющие основное значение в охране этого особенного вида подземных вод – вод, используемых для лечебных целей.

## Spis treści

1. Wstęp . . . . .	3
2. Wprowadzenie . . . . .	5
2.1. Wody lecznicze - pojęcia ogólne, podział . . . . .	5
2.2. Sudety jako region geologiczny i hydrogeologiczny . . . . .	7
3. Wody lecznicze Sudetów w świetle dotychczasowych badań i poglądów . . . . .	15
3.1. Szczawy . . . . .	16
3.1.1. Pochodzenie dwutlenku węgla szczaw sudeckich . . . . .	24
3.2. Wody termalne . . . . .	25
3.2.1. Problematyka hydrogeotermiczna Sudetów . . . . .	29
3.3. Wody radoczyste . . . . .	30
3.3.1. Geneza radoczystości wód sudeckich . . . . .	32
3.4. Inne wody . . . . .	33
4. Hydrogeochemia wód leczniczych . . . . .	34
4.1. Lokalne tło hydrogeochemiczne . . . . .	34
4.2. Zróżnicowanie składu chemicznego wód leczniczych w ujęciach jako efekt mieszania się z wodami zwykłymi . . . . .	39
4.3. Formowanie się niektórych wód zmineralizowanych w ujęciu regionalnym . . . . .	44
4.4. Anomalie hydrogeochemiczne . . . . .	52
5. Skład izotopowy . . . . .	58
5.1. Skład izotopowy zwykłych wód podziemnych jako tło dla wód leczniczych . . . . .	58
5.1.1. Stabilne izotopy tlenu i wodoru . . . . .	58
5.1.1.1. Efekt kontynentalny . . . . .	61
5.1.1.2. Zależność $\delta D - \delta^{18}O$ . . . . .	62
5.1.1.3. Efekt wysokościowy . . . . .	62
5.1.2. Tryt . . . . .	65
5.2. Skład stabilnych izotopów tlenu i wodoru w wodach leczniczych . . . . .	71
5.2.1. Szczawy, przesunięcie tlenowe . . . . .	71
5.2.2. Wody termalne . . . . .	74
5.3. Mieszanie się wód leczniczych z wodami zwykłymi w świetle badań izotopowych . . . . .	76
5.4. Obszary zasilania wód leczniczych . . . . .	79
5.5. Wiek wód . . . . .	85



6. Zagrożenia wód leczniczych . . . . .	89
6.1. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) jako przykład zagrożeń jakościowych . . . . .	92
6.1.1. Inne zanieczyszczenia . . . . .	99
6.2. Zagrożenia ilościowe . . . . .	102
6.2.1. Nadmierna eksploatacja wód . . . . .	104
6.2.2. Odwadnianie górnicze . . . . .	107
6.2.3. Zmiany użytkowania powierzchni . . . . .	108
7. Podsumowanie i wnioski . . . . .	110
Literatura . . . . .	115

### Contents

1. Preface . . . . .	3
2. Introduction . . . . .	5
2.1. Medicinal waters - basic ideas, classification . . . . .	5
2.2. Sudetes as geological and hydrogeological region . . . . .	7
3. Medicinal waters in Sudetes in the light of previous research and views . . . . .	15
3.1. Acidulous springs . . . . .	16
3.1.1. Origin of carbon dioxide in Sudetes acidulous springs . . . . .	24
3.2. Thermal waters . . . . .	25
3.2.1. Hydrogeothermal problems of Sudetes . . . . .	29
3.3. Radioactive waters . . . . .	30
3.3.1. Genesis of radioactivity of Sudetes waters . . . . .	32
3.4. The other waters . . . . .	33
4. Hydrogeochemistry of medicinal waters . . . . .	34
4.1. Local hydrogeochemical background . . . . .	34
4.2. Differentiation of chemical composition of medicinal waters at their intakes as a result of their mixing with shallow waters . . . . .	39
4.3. Formation of some mineralized waters relating to the region . . . . .	44
4.4. Hydrogeochemical anomalies . . . . .	52
5. Isotopic composition . . . . .	58
5.1. Isotopic composition of shallow underground waters as a background for medicinal waters . . . . .	58
5.1.1. Stable isotopes of oxygen and hydrogen . . . . .	58

5.1.1.1. Continental effect . . . . .	61
5.1.1.2. $\delta D$ versus $\delta^{18}O$ . . . . .	63
5.1.1.3. Height effect . . . . .	63
5.1.2. Tritium . . . . .	65
5.2. Composition of stable isotopes of oxygen and hydrogen in medicinal waters . . . . .	71
5.2.1. Acidulous springs, oxygen shift . . . . .	71
5.2.2. Thermal waters . . . . .	74
5.3. Mixing of medicinal waters and shallow waters in the light of isotopic tests . . . . .	76
5.4. Areas of supply of medicinal waters . . . . .	79
5.5. Age of waters . . . . .	85
6. Hazards to medicinal waters . . . . .	89
6.1. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) as an example of qualitative hazards . . . . .	92
6.1.1. The other impurities . . . . .	99
6.2. Quantitative hazards . . . . .	102
6.2.1. Excessive water exploitation . . . . .	104
6.2.2. Mine drainage . . . . .	107
6.2.3. Changes in utilization of surface . . . . .	108
7. Summary and conclusions . . . . .	110
Bibliography . . . . .	115

PRACE NAUKOWE INSTYTUTU GEOTECHNIKI  
(wydane w latach 1985—1990)

Nr 45, Konferencje nr 18, <i>Zjawiska dynamiczne w górotworze — wstrząsy, tąpnięcia, wyrzuty</i> , Wrocław 1985	125,—
Nr 46, Konferencje nr 19, <i>Śródlądowe drogi wodne i flota</i> , Wrocław 1985	200,—
Nr 47, Studia i Materiały nr 11, <i>Warunki żeglugi zestawów pchanych o dużej ładowności na śródlądowych drogach wodnych</i> , Wrocław 1985	130,—
Nr 48, Konferencje nr 20, <i>Badania doświadczalne w geotechnice górniczej</i> , Wrocław 1986	200,—
Nr 49, Konferencje nr 21, <i>Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski</i> , Wrocław 1986	270,—
Nr 50, Konferencje nr 22, <i>Problemy geodezyjne i analiza deformacji</i> , Wrocław 1986	140,—
Nr 51, Konferencje nr 23, <i>Model investigations in hydro-engineering</i> , Wrocław 1987	240,—
Nr 52, Konferencje nr 24, <i>VIII krajowa konferencja mechaniki gruntów i fundamentowania</i> , Wrocław 1987	920,—
Nr 53, Monografie nr 18, Z. Szling, <i>Mieszanki mineralno-asfaltowe w budownictwie wodnym</i> , Wrocław 1988	260,—
Nr 54, Konferencje nr 25, <i>Dobór obudów wyrobisk korytarzowych w różnych warunkach geotechnicznych</i> , Wrocław 1988	210,—
Nr 55, Konferencje nr 26, <i>Geodezja w ochronie gruntów, powierzchni i obiektów inżynierskich, XI Jesienna Szkoła Geodezji</i> , Wrocław 1988	250,—
Nr 56, Konferencje nr 27, <i>Budownictwo podziemne w Polsce</i> , Wrocław 1988	320,—
Nr 57, Konferencje nr 28, <i>VIII krajowa konferencja mechaniki gruntów i fundamentowania, Materiały pokonferencyjne</i> , Wrocław 1989	570,—
Nr 58, Konferencje nr 29, <i>Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski</i> , Wrocław 1989	2000,—
Nr 59, Konferencje nr 30, <i>Nauczanie geodezji; Geodezyjne pomiary konstrukcji inżynierskich</i> , Wrocław 1989	550,—