



DOKUMENTOWANIE ZASOBÓW EKSPLOATACYJNYCH UJEĆ WÓD LECZNICZYCH

PORADNIK
METODYCZNY



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

DOKUMENTOWANIE ZASOBÓW EKSPLOATACYJNYCH UJĘĆ WÓD LECZNICZYCH

**PORADNIK
METODYCZNY**



**Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2022**

Redakcja naukowa:

Andrzej SADURSKI

Autorzy:

Jakub SOKOŁOWSKI¹, Agnieszka FELTER¹, Barbara KIEŁCZAWA², Arkadiusz KRAWIEC³,
Elżbieta LIBER-MAKOWSKA², Bogusław PORWISZ⁴, Andrzej SADURSKI^{1,3}, Lesław SKRZYPCZYK¹,
Małgorzata SOSNOWSKA¹, Jadwiga STOŻEK¹, Lech ŚMIETAŃSKI¹, Maciej WALCZAK³

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy

² Politechnika Wrocławska

³ Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

⁴ „Muszynianka” Sp. z o.o., Zakład Górniczy „Muszynianka”

Współpraca:

Ewa FILIPPOVITS, Izabella GRYSZKIEWICZ, Agnieszka WRZOSEK

Konsultacja naukowa:

Wojciech CIĘŻKOWSKI

Akceptował do druku dnia 07.06.2022 r.

Dyrektor Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego
Mateusz DAMRAT

© Copyright by Ministerstwo Klimatu i Środowiska
Warszawa 2022

ISBN 978-83-67197-62-5

Redakcja, skład i opracowanie typograficzne:

Łukasz BORKOWSKI, Agnieszka BYLINIAK, Ewelina LEŚNIAK, Monika MASIAK, Paweł ZAWADA

Layout:

na podstawie projektu Moniki CYRKLEWICZ

Projekt okładki:

Monika CYRKLEWICZ

Adres redakcji:

Dział Wydawnictw

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; tel. 48 22 459 2480

Nadkład: 200 egz.

Druk i oprawa: ZAPOL Sobczyk spółka komandytowa, al. Piastów 42, 71-062 Szczecin

SPIS TREŚCI

Wstęp	7
CZĘŚĆ I – PODSTAWY TEORETYCZNE	
1. Zagadnienia ogólne – <i>Jakub Sokołowski, Lesław Skrzypczyk</i>	9
1.1. Cel Poradnika – <i>Jakub Sokołowski</i>	9
1.2. Przegląd dotychczasowych badań i działań związanych z dokumentowaniem wód leczniczych – <i>Jakub Sokołowski, Lesław Skrzypczyk</i>	10
2. Kryteria kwalifikowania wód podziemnych do leczniczych – <i>Jakub Sokołowski</i>	16
3. Źłoza wód leczniczych – <i>Jakub Sokołowski, Arkadiusz Krawiec, Lesław Skrzypczyk, Małgorzata Sosnowska, Jadwiga Stożek</i>	21
3.1. Współwystępowanie wód leczniczych i zwykłych wód podziemnych oraz wód powierzchniowych – <i>Jakub Sokołowski</i>	21
3.2. Klasyfikacja złóż wód leczniczych – <i>Jakub Sokołowski</i>	24
3.3. Poglądy na genezę wód leczniczych – <i>Arkadiusz Krawiec</i>	27
3.4. Występowanie złóż wód leczniczych – <i>Jakub Sokołowski, Małgorzata Sosnowska, Jadwiga Stożek</i>	30
3.4.1. Regionalizacja hydrogeologiczna kraju	30
3.4.2. Warunki występowania wód leczniczych	30
3.5. Kopaliny towarzyszące – <i>Małgorzata Sosnowska</i>	40
3.6. Zasoby i wykorzystanie wód leczniczych – <i>Jakub Sokołowski, Lesław Skrzypczyk</i>	41
3.6.1. Zasoby dyspozycyjne wód leczniczych	42
3.6.2. Zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych	44
3.6.3. Wykorzystanie wód leczniczych	44
4. Zagrożenia i ochrona wód leczniczych – <i>Barbara Kietczawa, Bogusław Porwisz, Andrzej Sadurski</i>	48
4.1. Zagrożenia ilościowe	49
4.2. Zagrożenia jakościowe	53
4.3. Ochrona wód leczniczych	54

CZĘŚĆ II – METODYKA BADAŃ I DOKUMENTOWANIA

5. Projekt robót geologicznych – <i>Jakub Sokołowski, Bogusław Porwisz</i>	59
5.1. Treść i układ projektu robót geologicznych	59
5.2. Wskazania dotyczące sporządzania projektów robót geologicznych	65
6. Zakres i zasady prowadzenia badań terenowych – <i>Bogusław Porwisz, Jakub Sokołowski</i>	74
6.1. Badania i pomiary terenowe	74
6.1.1. Badania i pomiary w trakcie wiercenia	74
6.1.2. Pobieranie próbek skał	76
6.1.3. Badania i pomiary w czasie pompowania	77
6.2. Pobór próbek wód i gazów oraz ich badania laboratoryjne	80
7. Dokumentacja hydrogeologiczna – rodzaje i wymagana zawartość – <i>Jakub Sokołowski, Bogusław Porwisz</i>	83
7.1. Treść i układ dokumentacji hydrogeologicznej	83
7.2. Dodatek do dokumentacji hydrogeologicznej	89
7.3. Inna dokumentacja geologiczna	90
8. Metody oceny zasobów eksploatacyjnych – <i>Jakub Sokołowski, Elżbieta Liber-Makowska, Bogusław Porwisz, Lech Śmiateński</i>	98
8.1. Metody oparte na wynikach próbnych pompowań pomiarowych – <i>Jakub Sokołowski, Bogusław Porwisz, Lech Śmiateński</i>	101
8.1.1. Metody modelowania matematycznego	116
8.1.2. Metody analityczne	126
8.2. Inne metody ustalania zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych – <i>Elżbieta Liber-Makowska, Bogusław Porwisz, Jakub Sokołowski</i>	138
8.2.1. Ujęcia eksploatowane za pomocą pompowania	138
8.2.2. Źródła i otwory wiercnicze eksploatowane samowypływem	142
8.2.3. Ujęcia eksploatowane samoczynnie	149
9. Wyznaczanie zasięgów oddziaływania, obszarów zasobowych oraz obszarów zasilania ujęć – <i>Bogusław Porwisz, Jakub Sokołowski</i>	151
9.1. Zasięg oddziaływania ujęcia – <i>Jakub Sokołowski, Bogusław Porwisz</i>	151
9.2. Obszar zasobowy i obszar zasilania ujęcia – <i>Bogusław Porwisz, Jakub Sokołowski</i>	152
9.2.1. Obszar zasobowy ujęcia	152
9.2.2. Obszar zasilania ujęcia	154
9.2.3. Przykłady wyznaczania obszarów zasobowych i obszarów zasilania ujęcia	155

10. Rola wskaźników hydrogeochemicznych oraz badań izotopowych i bakteriologicznych w dokumentowaniu zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych – <i>Arkadiusz Krawiec, Andrzej Sadurski, Maciej Walczak</i>	160
10.1. Wskaźniki hydrogeochemiczne – <i>Arkadiusz Krawiec</i>	160
10.2. Badania izotopów i gazów szlachetnych – <i>Arkadiusz Krawiec, Andrzej Sadurski</i>	160
10.3. Badania mikrobiologiczne – <i>Arkadiusz Krawiec, Maciej Walczak</i>	167
11. Wyznaczanie obszaru górniczego i terenu górniczego dla złóż wód leczniczych – <i>Jakub Sokołowski</i>	170
12. Zmiany wartości parametrów fizyczno-chemicznych wód leczniczych i ich prognozowanie – <i>Agnieszka Felter, Andrzej Sadurski, Jakub Sokołowski</i>	178
12.1. Dopuszczalne wahania parametrów fizyczno-chemicznych wód leczniczych – <i>Agnieszka Felter</i>	180
12.2. Prognoza stabilności właściwości fizyczno-chemicznych wód leczniczych – <i>Agnieszka Felter</i>	183
12.3. Modelowanie geochemiczne (specjacyjne) – <i>Andrzej Sadurski, Jakub Sokołowski</i>	185
13. Ocena zagrożenia złóż wód leczniczych – <i>Barbara Kielczawa, Bogusław Porwisz</i>	188
14. Wniosek zasobowy – <i>Bogusław Porwisz, Jakub Sokołowski</i>	195
15. Przykłady oceny zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych – <i>Jakub Sokołowski, Elżbieta Liber-Makowska, Bogusław Porwisz</i>	199
Podsumowanie	221
Spis literatury i wykorzystanych materiałów	225

DODATKI

DODATEK I. Przegląd wybranych aktów prawnych i norm dotyczących dokumentowania zasobów ujęć wód leczniczych – <i>Jakub Sokołowski</i>	243
DODATEK II. Zestawienie najczęściej stosowanych wzorów przy określaniu zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych	253
DODATEK III. Wykonywanie ujęć wód leczniczych – <i>Jakub Sokołowski, Bogusław Porwisz</i>	263
DODATEK IV. Zbiorcze zestawienie wyników wiercenia (wzór)	293
DODATEK V. Karta informacyjna dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia wód leczniczych (wzór)	297
DODATEK VI. Wskazania dotyczące racjonalnej eksploatacji ujęć – <i>Bogusław Porwisz, Jakub Sokołowski</i>	301

WSTĘP

Termin wody lecznicze przyjęto w Poradniku zgodnie z definicją podaną w ustawie Prawo geologiczne i górnicze (PGiG) (Dz.U. 2021 poz. 1420, j.t.). Oznacza on wody podziemne niezanieczyszczone pod względem chemicznym i mikrobiologicznym, charakteryzujące się naturalną zmiennością cech fizycznych i chemicznych, spełniające określone ustawą wymagania w zakresie zawartości składników leczniczych.

Wody lecznicze mają różną genezę i dynamikę, odmiennie uformowany skład chemiczny, różny czas kontaktu z ośrodkiem skalnym, zróżnicowane warunki zasilania wodami infiltracyjnymi oraz zróżnicowaną więź hydrauliczną z wodami powierzchniowymi (Ciężkowski, 2007). Biorąc pod uwagę wymienione właściwości wód leczniczych, odmienne w każdym przypadku ich występowania, i różne ośrodki wodonośne (porowe, szczelinowe, szczelinowo-porowe i szczelinowo-krasowe), w których one występują, nie można opracować uniwersalnego schematu dokumentowania ich zasobów, a jedynie zasady, które powinny zostać uwzględnione w dokumentacji hydrogeologicznej. Podstawowym założeniem w ustalaniu zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych jest określenie stopnia odnawialności zasobów, rozpoznanie dróg krążenia wód podziemnych (warunków dopływu wód do ujęcia) oraz ocena współoddziaływania dokumentowanego ujęcia z innymi ujęciami, pozwalające zapewnić stałość składu chemicznego i cech fizycznych tych wód, w tym także stężenia zawartych w nich gazów oraz maksymalną, bezpieczną wydajność ujęć. Należy pamiętać, że wody z części złóż, zwłaszcza

na obszarach górskich, są pozyskiwane nie tylko z otworów wiertniczych, lecz także ze źródeł lub ujęć wykonanych techniką górniczą, co dodatkowo umożliwia zestandaryzowanie wytycznych do oceny wielkości zasobów eksploatacyjnych. W dokumentowaniu zasobów ujęć wód leczniczych konieczne jest uwzględnienie oddziaływania na nie: ujęć wód zwykłych (także wpływu wydobywania wód leczniczych na zasoby zwykłych wód podziemnych), innych ujęć wód leczniczych, odwodnień wyrobisk górniczych zarówno podziemnych, jak i powierzchniowych, urbanizacji terenów uzdrowiskowych, a także zmian klimatu w odniesieniu do płytko występujących wód leczniczych. Są to istotne zagrożenia dla zasobów wód leczniczych.

Autorzy pragną złożyć serdeczne podziękowania prof. dr. hab. inż. Wojciechowi Ciężkowskiemu za wkład pracy i czas poświęcony na konsultację naukową Poradnika oraz autorom koreferatów: prof. dr. hab. inż. Andrzejowi Szczepańskiemu i dr. hab. Włodzimierzowi Humnickiemu za cenne uwagi i istotne wskazania merytoryczne, które przyczyniły się do powstania ostatecznej wersji publikacji. Podziękowania należą się także pracownikom Departamentu Geologii i Koncesji Geologicznych (DGiKG) ówczesnego Ministerstwa Środowiska, z inicjatywy których ten Poradnik powstał. Szczególnie dziękujemy geologom wojewódzkim i uzdrowiskowym, a także ich współpracownikom, za udostępnienie materiałów niepublikowanych oraz konstruktywne dyskusje.

Andrzej Sadurski, Jakub Sokołowski

Część I

Podstawy teoretyczne

1. ZAGADNIENIA OGÓLNE

Jakub Sokołowski, Lesław Skrzypczyk

Poradnik powstał na zlecenie Ministerstwa Środowiska w ramach umowy numer 181/2018/Wn-07/FG-sm-dn/D z dnia 10 sierpnia 2018 r. pod nazwą *Zadania państwa wykonywane przez państwową służbę geologiczną w zakresie rozpoznania budowy geologicznej kraju dla ustalenia zasobów złóż kopalin i odnowienia bazy surowcowej realizowane od 2017 roku* (pgg art. 162, ust. 1, pkt 1), podzadanie *Program oceny stanu jakości i zasobów wód podziemnych zaliczonych do kopalin w celu ich ochrony i racjonalnego wykorzystania z uwzględnieniem zasad dokumentowania* i został sfinansowany ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW).

Poradnik podzielono na dwie części. W pierwszej z nich, zawierającej podstawy teoretyczne, omówiono m.in. historię dotychczasowych badań i działań związanych z dokumentowaniem wód leczniczych, scharakteryzowano warunki występowania wód leczniczych, przedstawiono poglądy na genezę poszczególnych rodzajów wód oraz poruszono kwestie związane ze współwystępowaniem wód leczniczych i zwykłych wód podziemnych, ochroną wód leczniczych, a także omówiono stan udokumentowania zasobów i stopień ich wykorzystania. W drugiej, metodycznej części Poradnika, zawarto zarówno ogólne wytyczne dotyczące sporządzania projektów robót geologicznych, prowadzenia badań oraz zakresu i zasad ich dokumentowania w odniesie-

niu do aktualnie obowiązującego stanu prawnego, jak i szczegółowe zalecenia płynące z doświadczeń hydrogeologów zajmujących się tematyką wód leczniczych. W tej części zobrazowano podejście do dokumentowania zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych w różnych warunkach geologicznych, uwzględniając występowanie wód o różnych właściwościach fizyczno-chemicznych i różnej genezie, a także przedstawiono metody oceny zagrożenia złóż wód leczniczych. Na końcu Poradnika zamieszczono dodatki, w których szerzej omówiono wybrane zagadnienia sygnalizowane w zasadniczej części opracowania. W dodatkach dołączono również wzory karty informacyjnej dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia wód leczniczych, zbiorczego zestawienia wyników wiercenia oraz licznych protokołów sporządzanych podczas wykonywania lub likwidacji ujęć wód leczniczych.

1.1. CEL PORADNIKA

Jakub Sokołowski

Głównym celem niniejszego Poradnika było zebranie, przeanalizowanie i usystematyzowanie aktualnego stanu wiedzy o dokumentowaniu zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych oraz sformułowanie zaleceń metodycznych pomocnych przy dokumentowaniu tych zasobów, tak aby zapewnić

ich racjonalne wykorzystanie i ochronę. Informacje dotyczące tytułowego zagadnienia w ograniczonym zakresie zostały przedstawione w innych publikacjach książkowych (Paczyński, 2002; Ciężkowski, 2002, 2007; Ciężkowski, Kapuściński, 2011), dotyczących m.in. wyznaczania granic obszarów i terenów górniczych dla złóż wód leczniczych, określania naturalnych wahań właściwości wód leczniczych, szacowania ich zasobów dyspozycyjnych, czy ich współwystępowania z wodami zwykłymi, a także dokumentowania endogenicznego dwutlenku węgla jako kopaliny współwystępującej z wodami leczniczymi. Dotychczas nie opracowano poradnika metodycznego, który w szerokim zakresie poruszałby aspekty zarówno formalno-prawne, środowiskowe, złożowe, jak i metodyczne, związane bezpośrednio z dokumentowaniem zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych, choć doświadczenia krajowe w tej dziedzinie są bogate. Publikacje dotyczące ustalania zasobów eksploatacyjnych ujęć wód podziemnych obejmują wyłącznie wody zwykłe (Dąbrowski i in., 2004; Dąbrowski, Przybyłek, 2005, 2012) i nie uwzględniają specyfiki wód zmineralizowanych i swoistych.

Znaczna część dokumentacji hydrogeologicznych ustalających zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych powstała w latach 70. XX w. Wyniki pomiarów stacjonarnych i innych badań prowadzonych przez kilkadziesiąt lat w udokumentowanych ujęciach, postęp w nauce i technice, wykonanie nowych ujęć w obrębie już udokumentowanych złóż, a także zmiany przepisów prawnych sprawiają, że w części przypadków jest wskazane sporządzenie nowych dokumentacji, w czym – w zamierzeniu autorów – niniejszy Poradnik mógłby pomóc. Autorzy wyrażają nadzieję, że opracowany Poradnik będzie przydatny nie tylko dla hydrogeologów zajmujących się tematyką wód leczniczych, sporządzających projekty robót geologicznych, dokumentacje hydrogeologiczne i projekty zagospodarowania złóż, ale również w szeroko pojętym zagospodarowaniu przestrzennym i gospodarce wodnej. Poradnik może okazać się pomocny także przy rozstrzyganiu wszelkiego rodzaju sporów i arbitrażu, będąc ważnym narzędziem dla organów administracji geologicznej i nadzoru górniczego w ocenie sporządzanych opracowań.

Jest to niezwykle istotne w świetle przeniesienia właściwości związanych z zatwierdzaniem dokumentacji hydrogeologicznych ustalających zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych ze szczebla centralnego na szczebel wojewódzki i pozbawienia w ten sposób właściwego organu administracji geologicznej merytorycznego wsparcia działającej przy ministrze właściwym do spraw środowiska Komisji Dokumentacji Hydrogeologicznych (KDH). Poradnik może też stać się cennym i rzetelnym źródłem wiedzy dla inwestorów finansujących roboty i prace geologiczne, zmierzające do eksploatacji ujęć wód leczniczych lub prowadzących już wydobywanie oraz dla pracowników zakładów górniczych. W Poradniku położono duży nacisk na obowiązek racjonalnego gospodarowania wodami leczniczymi. Wynika to nie tylko z dyrektywy Unii Europejskiej (UE) numer 2000/60/WE, zwanej Ramową Dyrektywą Wodną (RDW), lecz także z ustawy Prawo wodne (PW) (Dz.U. 2021 poz. 2233, j.t.), w której implementowano ponad dwadzieścia dyrektyw UE dotyczących wód, ich ochrony i wykorzystania, oraz ustawy Prawo ochrony środowiska (POŚ) (Dz.U. 2021 poz. 1973, j.t.).

1.2. PRZEGLĄD DOTYCHCZASOWYCH BADAŃ I DZIAŁAŃ ZWIĄZANYCH Z DOKUMENTOWANIEM WÓD LECZNICZYCH

Jakub Sokołowski, Lesław Skrzypczyk

Początku współczesnych badań dotyczących zasobów wód leczniczych należy doszukiwać się w połowie lat 50. XX w., kiedy to zwrócono szczególną uwagę na ochronę źródeł i ujęć tych nietypowych wód. Zasygnalizowano wówczas m.in. konieczność wykonywania regularnych badań wód źródłanych oraz przedstawiono ich zakres (Damsé, 1956, 1961). W kolejnych latach zaproponowano utworzenie trzech stref ochronnych dla płytko występujących wód leczniczych oraz dwóch dla złóż położonych głębiej (Fistek, Dowgiałło, 1962). Na początku lat 70. XX w. dostrzeżono potrzebę objęcia ujęć wód leczniczych badaniami stacjonarnymi (Dowgiałło, Kulikowska, 1972), a pod koniec tej dekady po raz pierwszy opisano w literaturze zjawisko współoddziaływania (mieszania się) wód

leczniczych i zwykłych (Ciężkowski, Szarszewska, 1978). Mniej więcej na ten okres przypada też początek zastosowania badań izotopowych w hydrogeologii wód leczniczych (Dowgiałto, 1970, 1971, 1973; Dowgiałto, Tongiorgi, 1972; Dowgiałto i in., 1973, 1974a), kontynuowanych z powodzeniem w latach kolejnych aż do dziś (Dowgiałto, Sławiński, 1978; Leśniak, 1979, 1980, 1985; Dowgiałto, 1980; Ciężkowski i in., 1985, 2003; Zuber, 1987; Zuber, Grabczak, 1991; Ciężkowski, Zuber, 1996, 1997; d'Obryn i in., 1997; Zuber, Ciężkowski, 1997, 1999; Porwisz i in., 1999; Krawiec, 1999, 2005; Dowgiałto, Nowicki, 1999; Krawiec i in., 2000; Duliński, 2001; Porowski, 2001a,b, 2004, 2006; Ciężkowski, 2002; Witczak i in., 2002; Dowgiałto, Fistek, 2003; Motyka i in., 2003). Zgromadzone przez lata wyniki oznaczeń składu izotopów trwałych i promieniotwórczych, z czasem uzupełnione o rezultaty badań gazów szlachetnych, w wielu przypadkach pozwoliły na wyjaśnienie genezy i czasu przebywania wód w systemie wodonośnym oraz na identyfikację procesów hydrogeochemicznych, którym podlegają wody w ośrodku skalnym. W kontekście dokumentowania zasobów uzyskiwane wyniki były wykorzystywane m.in. do prób określenia obszarów zasilania złóż wód pochodzenia infiltracyjnego (Zuber, 1986; Duliński i in., 1987; Zuber i in., 1995, 1999; Ciężkowski i in., 1996), kierunków i prędkości przepływu wód podziemnych (Ciężkowski, 1990; Ciężkowski i in., 1996), a także do opisanie zjawiska mieszania się wód o różnym składzie chemicznym (Zuber, Grabczak, 1985; Zuber i in., 1997; Oszczypko, Zuber, 2002; Rajchel i in., 2004).

Nie wszystkie przypuszczenia i hipotezy udało się dotychczas wyjaśnić, lecz wprowadzenie metod modelowania matematycznego (Kapuściński, 1997; Witczak i in., 2002; Koślacz i in., 2014; Dendys, 2018; Gągulski i in., 2018) i hydrogeochemicznego (Wiktorowicz, 2004; Czop i in., 2014) opisujących transport masy i energii, daje nadzieję na kolejny krok w rozpoznaniu warunków występowania wód leczniczych, ich genezy, zasobów i wrażliwości na zanieczyszczenia, a zwłaszcza relacji między ich dynamiką

a chemizmem oraz związków ze zwykłymi wodami podziemnymi.

Metody dokumentowania zasobów

Pierwsze szczegółowe wytyczne dotyczące dokumentowania wód podziemnych, w tym wód leczniczych, pojawiły się w 1965 r. wraz z opublikowaniem instrukcji Centralnego Urzędu Geologii (CUG). Określono w niej zakres badań i kategorie rozpoznania oraz sposób ustalania poszczególnych rodzajów zasobów. Instrukcja, po aktualizacjach, obowiązywała do 1994 r. i była podstawą opracowania wielu dokumentacji ujęć wód leczniczych, podobnie jak wydana w międzyczasie broszura przedstawiająca metodykę badań wód leczniczych w otworach wiertniczych i źródłach (Kucharski, Sokołowski, 1981). Dorobek wynikający z wielu lat doświadczeń kilku pokoleń hydrogeologów pozwolił w latach późniejszych na zebranie i usystematyzowanie stanu wiedzy dotyczącej tych wód w formie licznych poradników metodycznych, będących zarazem kodeksem dobrych praktyk. Nie sposób pominąć w tym miejscu roli byłego Zjednoczenia „Uzdrowiska Polskie” i obecnego DGiKG Ministerstwa Klimatu i Środowiska oraz KDh, które wychodziły, i wychodzą nadal, z inicjatywą opracowania wielu poradników o charakterze metodycznym (Dowgiałto, 2005). Wiodącą rolę w przygotowaniu wytycznych metodycznych odegrał zespół pracowników Politechniki Wrocławskiej, kierowany przez prof. Wojciecha Ciężkowskiego. Z ważniejszych pozycji dotyczących dokumentowania wód leczniczych wydanych staraniem Ministerstwa Środowiska należy wymienić m.in. poradnik metodyczny poruszający zagadnienie ilościowego opracowania obserwowanych wahań parametrów wód leczniczych oraz określenia ich dopuszczalnych zakresów (Ciężkowski i in., 2007), zasad dokumentowania zasobów w warunkach współdziałania wód leczniczych i zwykłych (Ciężkowski, 2007), czy poradnik mający na celu ujednolicenie metod wyznaczania obszarów i terenów górniczych dla złóż wód podziemnych zaliczonych do kopalni (Ciężkowski, Kapuściński, 2011).

Kalendarium ważniejszych publikacji
poradnikowych dotyczących wód leczniczych



1981 r.
Metodyka badań wód leczniczych w otworach wiertniczych i źródłach
(M. Kucharski, A. Sokołowski;
Wydaw. Geol., Warszawa).

W opracowaniu przedstawiono wskazówki metodyczne dotyczące wykonywania i oprobrowania ujęć wód leczniczych. Na podstawie analizy materiałów archiwalnych oraz badań i doświadczeń autorów, uzupełnionych studium literatury fachowej, przepisów, norm i odpowiednich instrukcji wskazano główne różnice pomiędzy dokumentowaniem wód leczniczych a zwykłych wód podziemnych.



1997 r.
Zasady i metodyka dokumentowania zasobów wód termalnych i energii geotermalnej oraz sposoby odprowadzania wód zużytych. Poradnik metodyczny
(J. Kapuściński i in.; Min. Ochr.
Śr., Zas. Nat. i Leśn., Warszawa).

W poradniku zaprezentowano stan wiedzy na temat występowania wód termalnych, ich właściwości, a także właściwości skał, w których one występują. Zamieszczono również podstawowe informacje o rodzajach systemów ciepłowniczych. Mimo że poradnik dotyczy wód termalnych, przytacza się go z uwagi na zawarty w nim opis zasad i metodyki dokumentowania zasobów eksploatacyjnych ujęć, ze szczególnym uwzględnieniem zasad obliczania parametrów skał zbiornikowych i parametrów hydraulicznych otworów.



2002 r.
Występowanie, dokumentowanie i eksploatacja endogenicznego dwutlenku węgla w Polsce. Poradnik metodyczny
(W. Ciężkowski; Wr. Tow. Nauk.,
Wrocław).

W poradniku uporządkowano dotychczasowe oraz określono nowe zasady dokumentowania zasobów eksploatacyjnych dwutlenku węgla. Główny nacisk położono na dokumentowanie CO₂ w ujęciach wód leczniczych. Praca zawiera ponadto podsumowanie dotychczasowych badań i stanowi niejako kompendium wiedzy o endogenicznym dwutlenku węgla w Polsce.



2002 r.
Ocena zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych i potencjalnie leczniczych. Poradnik metodyczny
(B. Paczyński; Państw. Inst. Geol.,
Warszawa).

Podstawą opracowania poradnika było zwrócenie uwagi na konieczność racjonalnego gospodarowania wodami leczniczymi. W pracy uzasadniono celowość bilansowania zasobów wód leczniczych oraz, mając na względzie dotychczasowe, eksperymentalne próby szacowania zasobów dyspozycyjnych, zaproponowano ujednoliconą metodykę. Opracowano także nową klasyfikację genetyczną wód leczniczych i przedstawiono ich nową regionalizację w kraju.



2004 r.
Sporządzanie projektów zagospodarowania złóż dla wód leczniczych. Poradnik metodyczny
(W. Ciężkowski i in.; Min. Śr.,
Warszawa).

Poradnik opracowano w związku z wątpliwościami, jakie pojawiały się przy sporządzaniu projektów zagospodarowania złóż dla tak nietypowych kopalin jak wody lecznicze. Poradnik porządkuje zagadnienia związane ze stosowaniem terminów geologiczno-górnicznych, takich jak zasoby bilansowe, zasoby przemysłowe, w odniesieniu do wód leczniczych. Zaproponowane rozwiązania umożliwiły odpowiednie spojrzenie na złoża wód w kontekście ich racjonalnego zagospodarowania.



2007 r.
Dopuszczalne wahania eksploatacyjnych i fizyczno-chemicznych parametrów wód leczniczych. Zasady ustalania
 (W. Ciężkowski i in.; Oficyna Wydaw. PWr, Wrocław).

W poradniku podano sposób postępowania przy określaniu dopuszczalnych wahań parametrów wód leczniczych oraz sformułowano zalecenia ułatwiające określenie granic ich zmienności. Istotnym elementem pracy jest bogaty opis wyników obliczeń wahań eksploatacyjnych i fizyczno-chemicznych parametrów wód leczniczych.



2007 r.
Współoddziaływanie wód zwykłych i leczniczych – zasady dokumentowania, ochrony i gospodarki wodnej
 (W. Ciężkowski; Oficyna Wydaw. PWr, Wrocław).

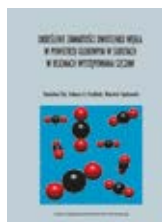
W poradniku scharakteryzowano zjawisko współoddziaływania wód zwykłych i leczniczych, wskazano na konkretnych przykładach złoż na jego znaczenie w procesie dokumentowania zasobów eksploatacyjnych ujęć oraz przedstawiono wytyczne umożliwiające jego ocenę z punktu widzenia prawidłowej gospodarki złożowej oraz ochrony zasobów wód, a także zaproponowano sposób prezentacji zagadnienia w dokumentacjach hydrogeologicznych.



2007 r.
Metody znacznikowe w badaniach hydrogeologicznych. Poradnik metodyczny
 (A. Zuber; Oficyna Wydaw. PWr, Wrocław).

Poradnik porządkuje i uaktualnia dotychczasowy stan wiedzy na temat znaczników środowiskowych, a także zwraca uwagę na praktyczne aspekty ich wykorzystania, m.in. w określaniu genezy wód,

identyfikacji procesów mieszania się wód o różnej genezie lub różnych drogach dopływu, czy określania wrażliwości na zanieczyszczenia. W poradniku przedstawiono podstawy teoretyczne oraz zasady projektowania i wykonywania badań izotopowych, a także interpretacji ich wyników.



2008 r.
Określenie zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym w Sudetach w rejonach występowania szczaw
 (S. Żak i in.; Oficyna Wydaw. PWr, Wrocław).

Praca miała charakter pionierski i dotyczyła regionalnej oceny przepływu gazowego CO₂ z powierzchni terenu do atmosfery w rejonach występowania szczaw w Sudetach. U jej podstaw leżało przekonanie, że wydobywanie szczaw może prowadzić do zmniejszenia się ilości CO₂ w górotworze. Zaproponowane w publikacji metody określania ilości CO₂ umożliwiają racjonalne wydobywanie szczaw z uwzględnieniem ochrony ich jakości i zasobów.



2011 r.
Wyznaczanie granic obszaru i terenu górniczego dla złóż wód podziemnych uznanych za kopaliny. Poradnik metodyczny
 (W. Ciężkowski, J. Kapuściński; Min. Śr., Warszawa).

W poradniku zaproponowano metodykę wyznaczania obszarów i terenów górniczych dla złóż wód leczniczych, termalnych i solanek, uwzględniającą specyfikę tych wód podziemnych jako szczególnego rodzaju kopaliny.

Informacje przydatne przy ustalaniu zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych zawierają również poradniki metodyczne opisujące zasady dokumentowania zasobów eksploatacyjnych ujęć wód zwykłych oraz wykonywania próbných pompowań (Dąbrowski i in., 2004; Dąbrowski, Przybyłek, 2005,

2012), dotyczące matematycznego modelowania procesów przepływu wód podziemnych (Dąbrowski i in., 2010), a także inne publikacje (m.in. Przylibski, 2005; Paczyński, Sadurski, 2007).

Badania analityczne

Jednym z niezwykle istotnych elementów dokumentowania zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych jest określenie właściwości fizyczno-chemicznych ujętych wód. Początków analityki wód leczniczych w Polsce należy szukać na przełomie XIX i XX w. Przedsiębiorstwo Państwowe „Polskie Uzdrawiska”, na bazie funkcjonującego prawdopodobnie od 1906 r. laboratorium analitycznego w Szczawnie-Zdroju, utworzyło w 1945 r. laboratorium, kierowane od 1949 r. przez dr. Mieczysława Dominikiewicza (Kucharski, 1995). W kolejnych latach laboratorium to wielokrotnie zmieniało nazwę i kierowników – od Zakładu Naukowo-Badawczego Naczelnej Dyrekcji Uzdrawisk, przez Zakład Balneotechniki (kierownik prof. dr Maria Szymtówna), po Zakład Techniki i Geologii Uzdrawiskowej (kierownik prof. dr inż. Andrzej Madeyski). W laboratorium pracowali wybitni hydrogeolodzy zajmujący się tematyką wód leczniczych, m.in. dr inż. Ignacy Potocki i dr Anna Jarocka, będący, obok prof. Madeyskiego, głównymi organizatorami powojennej służby uzdrawiskowej w zakresie odpowiednio, geologii, geochemii i balneotechniki. Ostatecznie, od 1955 r. laboratorium funkcjonowało w ramach resortowego Przedsiębiorstwa Państwowego „Obsługa Techniczna Uzdrawisk” (PP OTU). Podstawowymi celami działalności PP OTU były m.in.: dokumentowanie zasobów wód leczniczych, projektowanie i wykonywanie nowych ujęć tych wód, w tym prowadzenie wierceń poszukiwawczych, likwidowanie starych ujęć wód leczniczych oraz wykonywanie analiz fizyczno-chemicznych i mikrobiologicznych wód leczniczych. Obok dokumentowania surowców leczniczych PP OTU zajmowało się działalnością projektową dla szeroko rozumianej branży uzdrawiskowej. Od 1958 r. PP OTU dysponowało centralnym laboratorium w Warszawie, jednak laboratorium w Szczawnie-Zdroju nadal funkcjonowało. W 1972 r. Przedsiębiorstwo przemianowano na Biuro Projektów i Usług Technicznych Branży Uzdrawiskowej „Balneoprojekt” (BPIUTBU „Balneoprojekt”), pod którą to nazwą funkcjonowało aż do likwidacji

w 2002 r. Wyniki prac prowadzonych przez Przedsiębiorstwo, w tym wyniki analiz fizyczno-chemicznych wód leczniczych, były publikowane głównie w czasopiśmie *Problemy Uzdrawiskowe*, wydawanym przez Polskie Towarzystwo Balneologii, Bioklimatologii i Medycyny Uzdrawiskowej.

W międzyczasie powstał drugi ośrodek laboratoryjny w Poznaniu, funkcjonujący w ramach utworzonego w 1951 r. Instytutu Balneoklimatycznego, późniejszego Instytutu Medycyny Uzdrawiskowej, który wszedł ostatecznie w skład Państwowego Zakładu Higieny. Organizatorem i pierwszym kierownikiem laboratorium działającym przy Zakładzie Badania Tworzyw Uzdrawiskowych była prof. dr Maria Szymtówna. Działalność Zakładu nie ograniczała się tylko do wykonywania analiz fizyczno-chemicznych i biochemicznych wód leczniczych, lecz także prowadzono w nim prace dotyczące ochrony środowiska naturalnego uzdrawisk, a przede wszystkim rozwijano szkołę balneochemii. Laboratorium to funkcjonuje do dziś i jest prowadzone przez Zakład Tworzyw Uzdrawiskowych Narodowego Instytutu Zdrowia Publicznego – Państwowego Zakładu Higieny pod wieloletnim kierunkiem dr Teresy Latour. Obecnie Zakład prowadzi działalność naukowo-badawczą, usługowo-badawczą i konsultacyjną, a także edukacyjną. Tematyka wykonywanych badań, ocen i ekspertyz dotyczy naturalnych surowców leczniczych (wód i borowin) przydatnych do kuracji uzdrawiskowej oraz wód butelkowanych (<https://www.pzh.gov.pl/zaklady/>). Wyniki prac badawczych są prezentowane na konferencjach naukowych oraz publikowane w czasopiśmie: *Acta Balneologica* (dawniej *Balneologia Polska*), *Rocznikach PZH*, *Przeglądzie Geologicznym* oraz jako monografie.

Kolejne laboratoria specjalizujące się w badaniu wód leczniczych powstały na południu kraju. Należy zaliczyć do nich laboratoria Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu oraz Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie (AGH), a także laboratorium Ośrodka Badań i Kontroli Środowiska w Katowicach. W ciągu wieloletniej działalności laboratoria te wykonały setki analiz fizyczno-chemicznych wód podziemnych, głównie z obszaru Karpat i zapadliska przedkarpackiego. Niemal od samego początku powstania AGH, na uczelni są prowadzone

badania wód leczniczych, głównie dotyczące warunków występowania wód, ich chemizmu i genezy, składu izotopowego oraz możliwości ich wykorzystania (m.in. profesorowie: W. Duliński, A. Zuber, A. Szczepański, S. Witczak i L. Rajchel). Ponadto w Krakowie od 2003 r. działa laboratorium Towarzystwa Badania Przemian Środowiska Geosfera, specjalizujące się w badaniach składu izotopowego wód podziemnych, w tym wód leczniczych.

Podsumowując, krajowe doświadczenia w zakresie analityki wód leczniczych są bogate i mają długą historię. Od połowy lat 60. do przełomu lat 80. i 90. XX w. tzw. małe analizy wód leczniczych wykonywano praktycznie co roku dla każdego z ujęć, a analizy duże – co 5 lat. Wcześniej badania laboratoryjne prowadzono sporadycznie, a obecnie różnie, w zależności od wytycznych zapisanych w poszczególnych projektach zagospodarowania złóż i planach ruchu zakładów górniczych. Liczba wykonanych i zgromadzonych analiz w różnego rodzaju bazach danych jest znaczna, dla poszczególnych ujęć często sięga kilkudziesięciu. Uzupełnieniem pełnych analiz fizyczno-chemicznych są analizy kontrolne (wskaźnikowe) wykonywane we własnym zakresie przez zakłady górnicze. Obejmują one zwykle główne aniony i kationy, składniki swoiste oraz gazy (CO_2 , H_2S , Rn), PEW, temperaturę i wydajność ujęcia.

Działalność Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) w ciągu swojej 100-letniej historii może pochwalić się wieloma osiągnięciami z dziedziny badań wód leczniczych. Problematyka wód leczniczych była w kręgu zainteresowania Instytutu niemal od początków jego istnienia. Do najstarszych opracowań należą publikacje Rosłońskiego z lat 1924–28 z zakresu dynamiki wód podziemnych i hydrogeologii regionalnej, zawierające opisy wód leczniczych (Sadurski, Skrzypczyk, 2018). W okresie powojennym badania wód leczniczych stały się istotnym kierunkiem prac hydrogeologicznych realizowanych przez PIG-PIB. Początkowo dotyczyły one rozpoznania warunków wystę-

powania, parametrów hydraulicznych ośrodków skalnych, zasobności, właściwości chemicznych i genezy wód, zwłaszcza na obszarze Karpat, i były wykonywane przez zespół hydrogeologów Oddziału Karpackiego PIG-PIB pod kierunkiem prof. Józefa Chowańca i dr Danuty Poprawy, a wcześniej prof. prof. Andrzeja Michalika (1973) i Stanisława Sokołowskiego. Badania te prowadzono we współpracy z AGH (prof. prof.: A. S. Kleczkowski, A. Zuber i S. Witczak). Przyczyniły się one do rozpoznania genezy, systemów krążenia, czasów przepływu i odnawialności zasobów wód leczniczych prowincji karpackiej. Wcześniej powstały pionierskie opracowania kartograficzne o charakterze ogólnokrajowych lub regionalnych syntez, takie jak na przykład *Mapa hydrochemiczna wód mineralnych w skali 1:2 000 000* (Kolago i in., 1970), *Mapa wód mineralnych Polski w skali 1:1 000 000* (Kolago, 1971), *Mapa wód mineralnych Polski w skali 1:1 500 000* (Dowgiałło i in., 1974b) i *Mapa wód mineralnych w skali 1:2 000 000* (Turek, 1977). Po krótkiej przerwie, obejmującej lata 80. XX w., tematyka wód leczniczych powróciła do Instytutu za sprawą prof. Bronisława Paczyńskiego i dr. Zenobiusza Płochniewskiego – autorów pierwszej monografii dotyczącej wód leczniczych pt. *Wody mineralne i lecznicze Polski* (Paczyński, Płochniewski, 1996), która wraz z dołączoną do niej mapą w skali 1:1 000 000 na wiele lat stała się podstawowym źródłem wiedzy na temat wód leczniczych, a także poradnika metodycznego *Ocena zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych i potencjalnie leczniczych* (Paczyński, 2002). Z późniejszych dokonań Instytutu należy wymienić wydanie monografii *Hydrogeologia regionalna Polski. Tom 2. Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalniane* (Paczyński, Sadurski, 2007), a także *Mapy zagospodarowania wód podziemnych zaliczonych do kopalin w Polsce w skali 1:1 000 000* (Felter i in., 2015a, 2017, 2021), aktualizowanej corocznie w wersji cyfrowej na stronie internetowej Instytutu (<https://www.pgi.gov.pl/>). Wyniki badań hydrogeologicznych prowadzonych w PIG-PIB są publikowane głównie w takich periodykach, jak: *Geological Quarterly*, *Polish Geological Institute Special Papers*, *Biuletyn PIG*, *Prace PIG* i *Przegląd Geologiczny*.

2. KRYTERIA KWALIFIKOWANIA WÓD PODZIEMNYCH DO LECZNICZYCH

Jakub Sokołowski

Podobnie jak podejście metodyczne przy określaniu zasobów wód leczniczych, na przestrzeni lat zmieniały się również przepisy prawne dotyczące wód leczniczych. Obecnie określenie „wody lecznicze” w różnym brzmieniu pojawia się w trzech ustawach:

- ustawie PGiG;
- ustawie o lecznictwie uzdrowiskowym, uzdrowiskach i obszarach ochrony uzdrowiskowej oraz gminach uzdrowiskowych (zwaną dalej ustawą o lecznictwie uzdrowiskowym);
- ustawie o bezpieczeństwie żywności i żywienia.

W dodatku I zamieszczonym na końcu Poradnika przedstawiono w formie kalendarium wykaz wybranych, w tym już nieobowiązujących, źródeł prawa wraz z krótką informacją o najważniejszych postanowieniach zawartych w poszczególnych aktach prawnych. Przegląd stanu prawnego jest nie tylko interesującym zapisem historii prawodawstwa lecz również pozwala zapoznać się ze stosowanym niegdyś nazewnictwem oraz kryteriami zaliczania wód podziemnych do leczniczych, co z kolei pozwala lepiej zrozumieć podejście do dokumentowania stosowane w wielu dokumentacjach ustalających zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych, zwłaszcza tych opracowanych w II połowie XX w.

W celu uniknięcia trudności interpretacyjnych przepisów z różnego zakresu kompetencji, w tym spoza dziedziny geologii, w niniejszym rozdziale omówiono zapisy zawarte we wszystkich trzech ustawach.

Ustawa Prawo geologiczne i górnicze

Poszukiwanie, rozpoznawanie i wydobywanie wód leczniczych podlega przepisom ustawy PGiG, zgodnie z którą za wodę leczniczą może być uznana woda podziemna, która pod względem chemicznym i mikrobiologicznym nie jest zanieczyszczona i cechuje się naturalną zmiennością cech fizycznych i chemicznych, za wyjątkiem wód pochodzących z odwadniania wyrobisk górniczych, o zawartości:

- rozpuszczonych składników mineralnych stałych – nie mniej niż 1000 mg/dm³, lub
- jonu żelazawego – nie mniej niż 10 mg/dm³ (wody żelaziste), lub
- jonu fluorkowego – nie mniej niż 2 mg/dm³ (wody fluorkowe), lub
- jonu jodkowego – nie mniej niż 1 mg/dm³ (wody jodkowe), lub
- siarki dwuwartościowej – nie mniej niż 1 mg/dm³ (wody siarczkowe), lub
- kwasu metakrzemowego – nie mniej niż 70 mg/dm³ (wody krzemowe), lub
- radonu – nie mniej niż 74 Bq/dm³ (wody radonowe), lub
- dwutlenku węgla niezwiązanego – nie mniej niż 250 mg/dm³, z tym że od 250 do 1000 mg/dm³ to wody kwasowęgłowe, a powyżej 1000 mg/dm³ to szczawy.

Powyższe wartości to tzw. współczynniki farmakodynamiczne, czyli uznana przez medycynę określona zawartość składników swoistych, powo-

dużą lecznicze działanie wody, przyjęta na podstawie eksperymentalnie stwierdzonego dolnego progu ich aktywności biologicznej (Dowgiałło i in., 1969; Paczyński, Płochniewski, 1996). Nie określono górnej granicy mineralizacji ogólnej i zawartości poszczególnych składników swoistych, choć wysokie stężenia niektórych z nich, na przykład radonu, są uznawane za czynnik rakotwórczy.

Warto w tym miejscu zaznaczyć, że w ustawie nie usankcjonowano pojęcia wód mineralnych dla określenia wód leczniczych o mineralizacji powyżej 1000 mg/dm³, które funkcjonuje w hydrogeologii (Dowgiałło i in., 2002) i zostało wprowadzone przepisami ustawy o lecznictwie uzdrowiskowym (tab. 2.1.).

W przypadku, gdy woda podziemna na wypływie z ujęcia ma temperaturę nie mniejszą niż 20°C, jest uznawana za termalną, a gdy charakteryzuje się zawartością rozpuszczonych składników mineralnych stałych nie mniejszą niż 35 g/dm³ jest traktowana jako solanka. Definicje te nie są spójne i mogą prowadzić do niejasności interpretacyjnych, gdyż wody lecznicze mają często zarówno temperaturę na wypływie z ujęcia wynoszącą powyżej 20°C, jak i mineralizację przekraczającą 35 g/dm³. Dlatego też przyjęto się, że o przynależności wód do danego

rodzaju decyduje cel ich wykorzystania i związana z tym opłata eksploatacyjna, a także sposób udokumentowania zasobów eksploatacyjnych ujęć. Dla złóż nieużytkowanych, niezagospodarowanych, udokumentowanych kilkadziesiąt lat temu kwalifikacja ta ma często charakter uznaniowy, bowiem w poszczególnych dokumentacjach hydrogeologicznych stosowano nieużywaną już dziś w ustawie PGiG nomenklaturę (np. wody mineralne). W literaturze (Wyrwicki, 2002; Szamałek, 2016) spotyka się postulaty zmian w podejściu do dokumentowania wód podziemnych zaliczonych do kopalin wynikające m.in. z wykorzystywania właściwości wód termalnych do celów leczniczych. Zdaniem tych autorów taką wodę leczniczą należałoby wówczas uznać za współkopalinę lub kopalinę wydobywaną samodziśnie, ewentualnie określić wydobywaną w tym przypadku wodę termalną jako kopalinę wielosuwrowcową. Przedstawiony problem jest istotny także z punktu widzenia racjonalnej gospodarki złożem, która powinna polegać m.in. na wykorzystaniu w pełni zasobów złoża, a więc wykorzystaniu wszystkich właściwości wód. Zagadnienie to jest niezwykle ciekawe i wymaga szerszej dyskusji, wykraczającej jednak poza ramy niniejszego Poradnika.

Tab. 2.1. Kryteria, jakim powinny odpowiadać wody lecznicze

Parametr				Wartość minimalna		Według przepisów	
				obecnie	w przeszłości	ustawy PGiG	ustawy o lecznictwie uzdrowiskowym
Mineralizacja ogólna				1000 mg/dm ³	1000 mg/dm ³	+	+
Składniki swoiste	stałe	jony	F ⁻	2 mg/dm ³	0,1 mg/dm ³	+	+
			Fe ⁺²	10 mg/dm ³	10 mg/dm ³	+	+
			I ⁻	1 mg/dm ³	1 mg/dm ³	+	+
			Br ⁻	-	5 mg/dm ³	nie dotyczy	
			As ⁺³	-	0,7 mg/dm ³	nie dotyczy	
	gazowe	składniki niezdyssocjowane	H ₂ SiO ₃	70 mg/dm ³	100 mg/dm ³	+	+
			HBO ₂	-	5 mg/dm ³	nie dotyczy	
			CO ₂	250 mg/dm ³	1000 mg/dm ³	+	+
			H ₂ S	1 mg/dm ³	1 mg/dm ³	+	+
			Rn	74 Bq/dm ³	74 Bq/dm ³	+	+
Temperatura				20°C	20°C	-	+

Ustawa o lecznictwie uzdrowiskowym,
uzdrowiskach i obszarach ochrony uzdrowiskowej
oraz gminach uzdrowiskowych
(Dz.U. 2021 poz. 1301, j.t.)

Wody lecznicze, spełniające wymogi ustawy PGiG, mogą być traktowane na mocy ustawy o lecznictwie uzdrowiskowym jako naturalny surowiec leczniczy, stosowany zarówno do zabiegów balneoterapeutycznych, jak i do butelkowania. Potwierdzeniem właściwości leczniczych takich wód jest świadectwo wydane przez jednostkę uprawnioną do tego przez ministra właściwego do spraw zdrowia, na podstawie udokumentowanych badań poświadczających te właściwości oraz wykluczających negatywne oddziaływanie na organizm ludzki, przeprowadzonych w okresie 24 miesięcy przed złożeniem wniosku. Wobec powyższego, przy poszukiwaniu i rozpoznawaniu wód leczniczych należy wziąć również pod uwagę, że ich mineralizacja lub zawartość składników swoistych, stwierdzone na etapie sporządzania dokumentacji hydrogeologicznej, nie są wyłącznymi warunkami kwalifikującymi te wody do użytkowania w lecznictwie uzdrowiskowym. Decydują o tym dopiero dodatkowe badania laboratoryjne. Przed ich wykonaniem wody mogą być określane – podobnie jak to ma miejsce w przypadku ustawy PGiG – jako potencjalnie lecznicze (Felter i in., 2017). Świadectwa potwierdzające właściwości lecznicze wód, określające ich kwalifikację balneochemiczną oraz wskazujące właściwy sposób wykorzystania w zabiegach, aktualnie mogą wydawać: Państwowy Zakład Higieny, Ośrodek Badań i Kontroli Środowiska, Główny Instytut Górnictwa i Politechnika Wrocławska. Szczegółowy zakres badań i kryteria oceny niezbędne do ustalenia właściwości leczniczych wód podziemnych określono w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 13 kwietnia 2006 r. w sprawie zakresu badań niezbędnych do ustalenia właściwości leczniczych naturalnych surowców leczniczych i właściwości leczniczych klimatu, kryteriów ich oceny oraz wzoru świadectwa potwierdzającego te właściwości (Dz.U. 2018 poz. 605, j.t.). Na podstawie składu chemicznego i właściwości fizycznych w przytoczonym powyżej rozporządzeniu wyróżniono trzy rodzaje wód o właściwościach leczniczych: wody mineralne, wody swoiste

slabo zmineralizowane i wody mineralne swoiste. Wody mineralne zawierają w 1 dm³ co najmniej 1000 mg rozpuszczonych składników. Zawartość składników rozpuszczonych dla wód swoistych słabo zmineralizowanych nie przekracza tego progu, przy czym wody te zawierają przynajmniej jeden składnik leczniczy swoisty o stężeniu co najmniej:

- 1 mg/dm³ jodków (woda jodkowa);
- 1 mg/dm³ siarczków lub innych związków siarki (II) (woda siarczkowa);
- 2 mg/dm³ fluorów (woda fluorkowa);
- 10 mg/dm³ żelaza (II) (woda żelazista);
- 70 mg/dm³ kwasu metakrzemowego (woda krzemowa);
- 1000 mg/dm³ niezwiązanego dwutlenku węgla (szczawa);
- 250–999 mg/dm³ niezwiązanego dwutlenku węgla (woda kwasowęgłowa), lub
- wykazująca na wypływie z ujęcia temperaturę co najmniej 20°C (woda termalna);
- wykazująca aktywność promieniotwórczą co najmniej 74 Bq/dm³ (woda radonowa).

Wody mineralne swoiste to wody mineralne, zawierające co najmniej jeden składnik swoisty.

Jak widać z analizy powyższych zapisów, parametry te są identyczne z określonymi w ustawie PGiG, z tą różnicą, że wody o zawartości rozpuszczonych składników stałych co najmniej 1000 mg/dm³ oficjalnie określono mianem wód mineralnych. Do cech swoistych, decydujących o właściwościach leczniczych wody, zaliczono również temperaturę wody mierzoną na wypływie z ujęcia.

Ustawa o bezpieczeństwie żywności i żywienia
(Dz.U. 2020 poz. 2021, j.t.)

Ustawa ta dotyczy wód podziemnych wykorzystywanych do butelkowania, a więc także niektórych wód leczniczych. Wprowadza ona pojęcia „naturalnej wody mineralnej” (nie mylić z definicją wody mineralnej z ustawy o lecznictwie uzdrowiskowym), „naturalnej wody źródlanej” oraz „wody stołowej”. Szczegółowe wymagania, jakim powinny odpowiadać poszczególne rodzaje wód, w tym wymagania mikrobiologiczne, maksymalne dopuszczalne stężenia naturalnych składników mineralnych, wymagania higieniczne dotyczące wydobywania wód oraz wzorcowy zakres badań i sposób przeprowadzenia

kwalifikacji rodzajowej (tab. 2.2) sformułowano w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 31 marca 2011 r. w sprawie naturalnych wód mineralnych, wód źródłanych i wód stołowych (Dz.U. 2011 nr 85 poz. 466).

Zgodnie z tym rozporządzeniem, naturalne wody mineralne w opakowaniach nie mogą zawierać składników potencjalnie toksycznych naturalnego pochodzenia (antymonu, arsenu, baru, boru, kadmu, chromu, miedzi, cyjanków, fluorków, ołowiu, manganu, rtęci, niklu, azotanów, azotynów i selenu) w stężeniach szkodliwych dla zdrowia. Ich skład chemiczny i inne właściwości powinny być stałe w ramach naturalnych wahań, co jest odniesieniem do zapisu w definicji wody leczniczej w ustawie PGiG, z tą różnicą, że zachowano tu granicę wahań na poziomie $\pm 20\%$ zawartości wybranego składnika. W ocenie rodzajowej naturalnej wody mineralnej brane są pod uwagę następujące parametry: zapach, smak, mętność, barwa, temperatura, sucha pozostałość w temperaturze 180°C i 260°C , PEW, odczyn, chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT), stężenie kationów i anionów oraz składników niezdyssocjowanych, pierwiastków śladowych i gazów (NH_4 , NO_2 , NO_3 , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Mn^{+2} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{-2} , Li^+ , K^+ , Sr^{+2} , Fe^{+2} , F^- , Br^- , H_2SiO_3 , CO_2). Należy uwzględnić także radioaktywność (mierzona przy ujęciu), skład izotopowy tlenu i wodoru, składniki organiczne (pestycydy, detergenty, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, polichlorowane bifenyle), obecność pasożytów i drobnoustrojów chorobotwórczych, bakterii z grupy coli, *Escherichia coli*, paciorkowców kałowych, *Clostridia* redukujące siarczyny, *Pseudomonas aeruginosa* i ogólną liczbę bakterii. Przedstawiony zakres badań odnosi się do wody butelkowanej i nie musi być obligatoryjnie proponowany na etapie sporządzania projektu robót geologicznych w celu wykonania ujęcia wód leczniczych przeznaczonych na potrzeby przemysłu rozlewniczego.

Wody źródłane muszą spełniać wymagania mikrobiologiczne w zakresie jak dla naturalnych wód mineralnych oraz wymagania chemiczne, fizyczno-chemiczne i organoleptyczne określone dla wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi. Wody stołowe są natomiast wodami, do produkcji których wykorzystano naturalne wody mineralne i/lub wody źródłane oraz sole mineralne (chlorek wapnia,

Tab. 2.2. Kryteria klasyfikacji chemicznej naturalnych wód mineralnych (na podst. Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 31 marca 2011 r. w sprawie naturalnych wód mineralnych, wód źródłanych i wód stołowych)

Nazwa	Kryterium
Bardzo nisko zmineralizowana	ogólna zawartość soli mineralnych $\leq 50 \text{ mg/dm}^3$
Nisko zmineralizowana	ogólna zawartość soli mineralnych $> 50 \text{ mg/dm}^3$ i $\leq 500 \text{ mg/dm}^3$
Wysoko zmineralizowana	ogólna zawartość soli mineralnych $> 1500 \text{ mg/dm}^3$
Zawiera wodorowęglany	$> 600 \text{ mg/dm}^3$
Zawiera siarczany	$> 200 \text{ mg/dm}^3$
Zawiera chlorki	$> 200 \text{ mg/dm}^3$
Zawiera wapń	$> 150 \text{ mg/dm}^3$
Zawiera magnez	$> 50 \text{ mg/dm}^3$
Zawiera fluorki	$> 1 \text{ mg/dm}^3$
Zawiera żelazo (II)	$> 1 \text{ mg/dm}^3$
Kwasowęglowa	zawartość naturalnego CO_2 w wodzie przy ujęciu $> 250 \text{ mg/dm}^3$
Zawiera sód	$> 200 \text{ mg/dm}^3$
Odpowiednia do przygotowania żywności dla niemowląt	$\text{Na}^+ \leq 20$ lub $\text{Cl}^- \leq 20 \text{ mg/dm}^3$ $\text{F}^- \leq 0,7 \text{ mg/dm}^3$ $\text{NO}_2^- \leq 0,02 \text{ mg/dm}^3$ $\text{NO}_3^- \leq 10 \text{ mg/dm}^3$
Odpowiednia dla diety ubogiej w sód	$\text{Na}^+ < 20 \text{ mg/dm}^3$
Może działać przeczyszczająco	ocena kliniczna
Może działać moczopędnie	ocena kliniczna

chlorek lub siarczan magnezu, chlorki, siarczany lub wodorowęglany sodu i potasu). Muszą one spełniać wymagania mikrobiologiczne jak dla naturalnych wód mineralnych (z pominięciem ogólnej liczby bakterii) oraz wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu składników chemicznych, których przekroczenie może stanowić ryzyko dla zdrowia publicznego, określone dla wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

Naturalne wody mineralne, w których zawierają się wody lecznicze w rozumieniu przepisów ustawy PGiG (jako niespełniające kryteriów stawianych wodom przeznaczonym do spożycia, czyli nie kwalifiku-

jące się do naturalnych wód źródłanych), mogą być poddawane ograniczonemu procesowi uzdatniania. Dopuszcza się tylko usuwanie składników nietrwałych, takich jak: związki żelaza, manganu i siarki dwuwartościowej, przeważnie na drodze filtracji albo dekantacji, ewentualnie poprzedzonej napowietrzaniem i sedymentacją osadów lub traktowanie wód powietrzem wzbogaconym w ozon (także w celu pozbycia się arsenu), a także usuwanie dwutlenku węgla metodami fizycznymi. Dla naturalnych

wód mineralnych dopuszcza się dodawanie tylko dwutlenku węgla, od którego genezy i stopnia nasycenia zależy podział omawianych wód na poszczególne typy (naturalnie nasycone CO_2 , wzbogacone CO_2 ze źródła, nasycone CO_2). W przypadku wód leczniczych planowanych do wykorzystania w rozlewnictwie brak możliwości uzdatniania należy mieć na uwadze już na etapie prac projektowych podczas oceny przewidywanego składu chemicznego wód i prognozy jego stabilności.

3. ZŁOŻA WÓD LECZNICZYCH

Jakub Sokołowski, Arkadiusz Krawiec, Lesław Skrzypczyk, Małgorzata Sosnowska, Jadwiga Stożek

3.1. WSPÓŁWYSTĘPOWANIE WÓD LECZNICZYCH I ZWYKŁYCH WÓD PODZIEMNYCH ORAZ WÓD POWIERZCHNIOWYCH

Jakub Sokołowski

W niektórych rejonach kraju wody lecznicze często współwystępują ze zwykłymi wodami podziemnymi. Widoczne jest to szczególnie na obszarach górskich, gdzie oba rodzaje wód mają wspólną strefę zasilania i drenażu, na przykład w Sudetach oraz w dolinie Popradu i Muszynki, a także w rejonie Krynicy-Zdroju, gdzie intensywny rozwój przemysłu rozlewniczego ukazał skalę zjawiska. Zagadnienia związane z mieszaniem się wód leczniczych i zwykłych szerzej opisano jednak już wcześniej (Ciężkowski, Szarszewska, 1978).

Współwystępowanie różnych rodzajów wód podziemnych jest ważne z gospodarczego punktu widzenia, ale także pod kątem możliwości ich ochrony. Ma duże znaczenie przy określaniu wielkości zasobów eksploatacyjnych, jest czynnikiem ograniczającym ich wielkość i negatywnie wpływającym na jakość wód, stąd tematyka współwystępowania wód pojawia się często w publikacjach i pracach hydrogeologicznych (Paczyński, Płochniewski, 1996; Ciężkowski i in., 1998, 2016b; Kozłowski, 1999a; Kiełczawa, 2001a; Paczyński, 2002; Zmarła, Żurek, 2013), w tym o charakterze metodycznym (Ciężkowski, 2007). O współwystępowaniu możemy mówić, gdy wody różnią się między sobą mineralizacją, składem chemicznym, właściwościami fizycznymi, genezą

i pochodzą z różnych systemów krążenia. Oczywiście jest, że zjawisko to występuje także w warunkach naturalnych i jest nieuniknione, jednak wydobywanie wód wpływa na natężenie ich przepływów i mieszanie się w strukturach hydrogeologicznych.

W celu poprawnej oceny zjawiska współdziałania różnych rodzajów wód, konieczne jest poprawne określenie: genezy wód leczniczych, czasu ich przebywania w ośrodku skalnym, kinetyki reakcji ługowania, nasycenia gazem i stopnia mieszania się ze sobą jej poszczególnych składowych genetycznych. Omawiając oddziaływanie współwystępujących ze sobą różnych rodzajów wód, należy wyróżnić trzy podstawowe związki pomiędzy nimi: hydrochemiczne, izotopowe i hydrodynamiczne.

Zmiany jakości wód leczniczych podczas eksploatacji ujęć mogą mieć charakter antropogeniczny, wynikający ze zmiany naturalnych dróg krążenia wskutek poboru wód, lub geogeniczny – związany z procesami hydrogeochemicznymi w systemie wodonośnym (oddziaływaniem woda ↔ skała). Oddziaływanie hydrogeochemiczne przejawia się najczęściej jako mieszanie, które prowadzi do zaburzenia równowagi hydrogeochemicznej, objawiającej się zmianą mineralizacji ogólnej, a w skrajnych przypadkach nawet całkowitym wysłodzeniem wód leczniczych, niekiedy także zmianą typu chemicznego wód. W przypadku wód leczniczych najczęściej spotykanym przypadkiem mieszania jest rozcieńczanie zwykłymi wodami podziemnymi. Stopień rozcieńczania może być różnicowany w czasie, zwłaszcza w przypadku

plytkich ujęć, co wynika ze zmiennej wydajności chwilowej i związanej z tym różnej ilości dopływających do ujęcia wód zwykłych (uruchamianiem nowych dróg dopływu). Z tego powodu w dokumentacjach określających zasoby eksploatacyjne w warunkach współoddziaływania ujęć należy zalecać eksploatację ujęć ze stałą wydajnością. Oczywiście zmienny udział poszczególnych składowych w mieszaniu wód może wynikać także z naturalnych zmian wydajności ujęć eksploatowanych samowypływem, jak ma to miejsce na przykład w Gorzanowie (Ciężkowski, 2007). Mieszanie może też odbywać się w skali lokalnej, na przykład w obrębie złoża (wspomniany Gorzanów), lub mieć zasięg regionalny i obejmować całą strukturę hydrogeologiczną, jak to ma miejsce m.in. w rowie Nysy Kłodzkiej i Górach Stołowych. Typowe przykłady oddziaływań hydrochemicznych zachodzą w ujęciach wód leczniczych Szczawnicy, Rabki-Zdroju, Piwnicznej-Zdroju, Dusznik-Zdroju, Ciechocinka, Świeradowa-Zdroju i Jedliny-Zdroju. W dwóch ostatnich przypadkach udział procentowy domieszek wód zwykłych określono na podstawie pomiarów stężenia radonu, którego zawartość maleje wraz ze zwiększeniem wydajności ujęcia i obniżeniem poziomu dynamicznego zwierciadła wody (Przylibski, 2005). Udział wód zwykłych/infiltracyjnych w wymienionych złożach wód leczniczych może przekraczać nawet 90%, a w skrajnych przypadkach dochodzi do 100% (ujęcie Jan-14 w Szczawnicy). Mieszaninowi może towarzyszyć wytrącanie się (nukleacja) składników stałych, jednak jest to zjawisko stosunkowo rzadkie, do którego dochodzi w wyniku zachwiania równowagi termodynamicznej między skałami a krążącymi w nich wodami, przy obecności zawartych w nich gazów. Wytrącanie się faz stałych zaobserwowano w Polsce na przykład w ujęciu Pieniawa Józefa II w Polanicy-Zdroju, gdzie dopływ natlenionych wód zwykłych płytkiego krążenia powodował wytrącanie się związków żelaza w postaci ochry koagulującej się w twarde naszkorupienia (Ciężkowski, 2007; Fistek, Fistek, 2012). Zjawisko to utrudniało eksploatację ujęcia, powodując co pewien czas niedrożność otworu, dlatego też należy mieć je na uwadze podczas dokumentowania zasobów eksploatacyjnych.

Upowszechnienie badań izotopowych w dokumentowaniu zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych pozwala, wraz z kompleksową interpretacją pomiarów właściwości fizycznych i oznaczeń składu chemicznego, na określenie genezy tych wód oraz na stwierdzenie współwystępowania wód leczniczych i zwykłych oraz określenie intensywności tego zjawiska. W celu wykazania współwystępowania różnych genetycznie wód podziemnych stosuje się głównie badania izotopów trwałych tlenu i wodoru, pomocniczo są także wykorzystywane oznaczenia zawartości radiowęglu i trytu. Jako przykład współoddziaływania wód różnej genezy najczęściej w literaturze podaje się zjawisko mieszania się wód infiltracyjnych, z rozróżnieniem na wody infiltracji współczesnej i holoceniowej oraz infiltracji glacialnej i wód dehydratacyjnych (szczaw chlorkowych) w Karpatach (m.in. Szczawa, Krościenko n. Dunajcem, Szczawnica, Złockie, Krynica-Zdrój, Wysowa, Iwonicz-Zdrój, Wapienne) i wód chlorkowych (Rabka-Zdrój, Sól). W wymienionych miejscowościach udział wód zwykłych może maksymalnie przekraczać 90% (Leśniak, 1980; Zuber, Grabczak, 1985; Zuber, 1987; Ciężkowski i in., 1996; Ciężkowski, Zuber, 1997; Rajchel i in., 2004; Zuber, 2007b). W Sudetach tak wysoki wskaźnik zanotowano w Świeradowie-Zdroju. Przykłady oddziaływania wód zwykłych w składzie izotopowym wód leczniczych można znaleźć też na Niżu Polskim, na przykład w Kołobrzegu stwierdzono mieszanie się wód infiltracji przedczwartorzędowej z wodami infiltracji glacialnej i holoceniowej (Ciężkowski, 2007; Krawiec, 2013). Z kolei współoddziaływanie wód zróżnicowanych wiekowo zachodzi m.in. w Szczawnie-Zdroju, Busku-Zdroju, Jeleniej Górze-Cieplicach i Krakowie-Matecznym. Na ogół mamy tu do czynienia z obecnością mieszanin wód współczesnej infiltracji, zawierających tryt i czasami radiowęglu, z wodami infiltrującymi w holocen lub z wodami infiltracji w okresie glacialnym pozbawionymi trytu, przy niezmiennym składzie izotopów trwałych tlenu i wodoru. Jedną z przyczyn takiego zjawiska jest nadmierne wydobywanie wód leczniczych, uruchamiające dopływ wód współczesnych. Na ogół nadmierna eksploatacja ujęcia, i związany z tym dopływ wód infiltracji współczesnej, objawia się malejącym wiekiem radiowęglowym oraz niewielkimi zmianami $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ ku wartościom

bardziej dodatnim. Współwystępowanie może także objawiać się obecnością różnorodnych mieszanin wód z ujęć zlokalizowanych tuż obok siebie, jak to ma miejsce na przykład w Jeleniej Górze-Cieplicach, gdzie ze źródeł drenujących złoża wypływają zarówno wody współczesne, jak i wody infiltrujące w okresie glacialnym, a także ich mieszaniny.

Współoddziaływanie wód leczniczych i zwykłych wód podziemnych prowadzi do zmian hydrodynamicznych w systemie wodonośnym, objawiających się zmianą wydajności ujęć, ciśnień złożowych i położenia zwierciadła wody, co pociąga za sobą zmiany właściwości fizycznych i składu chemicznego ujmowanych wód. Ze względu na to, że zmiany te negatywnie wpływają na parametry eksploatacyjne ujęć wód leczniczych, należy zwrócić na nie szczególną uwagę podczas dokumentowania ich zasobów. Niezwykle istotny jest tu rozmiar leja depresji, którego zbyt duży zasięg, przekraczający granice obszaru zasobowego, może doprowadzić do zmiany kierunku przepływu wód, a w konsekwencji do zmiany jakości ujmowanych wód. Jest to duże zagrożenie w przypadku, gdy złoża jest udostępnione kilkoma ujęciami zlokalizowanymi w niewielkiej odległości od siebie. Zmiana właściwości fizyczno-chemicznych w trakcie późniejszego wydobywania wód może być wskazówką, że obszar zasobowy nie został wyznaczony prawidłowo i wymaga weryfikacji przebiegu granic. Jednym z lepiej rozpoznanych złóż, w obrębie których stwierdzono współoddziaływanie wód zwykłych i leczniczych na podstawie zmian ich dynamiki, jest Łądek-Zdrój (Ciężkowski, 1980; Liber-Madziarz, 1997, 2001a, 2003a,b; Liber, Liber, 2005). W obrębie złoża zaobserwowano ścisłą więź między wodami ujętymi na głębokości kilkuset metrów z wodami drenowanymi przez źródła. Pompowanie głębokich otworów L-1 i L-2 spowodowało spadek ciśnienia złożowego i zmniejszenie wydajności źródeł wód leczniczych. Sytuacja sprzed kilkudziesięciu lat powtórzyła się w ostatnim czasie w związku z wykonaniem otworu geotermalnego Łądek GT-1. Choć otwór ten zlokalizowano na jednym ze wzniesień otaczających centrum uzdrowiska, w większym oddaleniu od naturalnej strefy drenażu niż otwory L-1 i L-2, nie udało się uniknąć zmniejszenia dopływu do źródeł wód leczniczych. Wskazuje to, że cały rejon uzdrowiska tworzy jeden system hydrogeo-

logiczny. Analogiczna sytuacja wystąpiła w Jeleniej Górze-Cieplicach, gdzie także wykonanie dwóch głębokich otworów wiertniczych (C-1, C-2) wpłynęło na zmniejszenie wydajności źródeł wód leczniczych, a rozpoczęcie eksploatacji jednego z nich skutkowało trwałym spadkiem wydajności pozostałych, płytkich ujęć.

Na koniec warto wspomnieć o jeszcze jednym sposobie współoddziaływania wód leczniczych z wodami powierzchniowymi. Oczywiście jest, że najsilniej proces ten jest zauważalny w okresach wezbrań (powodzi) i dotyczy głównie wód płytkiego krążenia, eksploatowanych źródłami lub płytkimi studniami (Ciężkowski, Rosińska-Wilczek, 1997). Wpływ wysokich stanów wód powierzchniowych na wody lecznicze stwierdzono m.in. w Polanicy-Zdroju, Krynicy-Zdroju, Szczawnie-Zdroju, Szczawnicy, Żegiestowie-Zdroju, Szczawie, Krościenku n. Dunajcem, Świeradowie-Zdroju, Rymanowie-Zdroju. Omawiane zjawisko wpływa zazwyczaj negatywnie na jakość ujmowanych wód leczniczych, stąd należy mieć je na uwadze, prognozując w dokumentacji hydrogeologicznej zmienność właściwości fizyczno-chemicznych wód. Obok przypadków całkowitego zalanienia ujęć, dopływ wód powierzchniowych prowadzi do wzrostu wydajności, powiązanej ze spadkiem mineralizacji i zmniejszeniem się ilości zawartych w wodach leczniczych gazów oraz pogorszenia się ich stanu sanitarnego, a w skrajnych sytuacjach pojawieniem się skażenia bakteriologicznego, co miało miejsce na przykład w Szczawnie-Zdroju. Oddziaływanie z wodami powierzchniowymi nie ogranicza się jedynie do sytuacji katastrofalnych, takich jak powodzie. Warunki hydrodynamiczne złóż wód leczniczych mogą ulegać zmianom nawet w przypadku sezonowych wahań stanów wód w rzekach, zwłaszcza przepływających w bliskim sąsiedztwie ujęć, jak to ma miejsce na przykład w Jeleniej Górze-Cieplicach, Łądku-Zdroju, Długopolu-Zdroju i Rymanowie-Zdroju. Zmiany w dynamice mogą mieć zarówno charakter korelacji dodatnich, jak i zależności odwrotnych, a czas reakcji nie zawsze jest natychmiastowy, zazwyczaj jest on opóźniony i wynosi nawet kilka miesięcy (Liber-Madziarz, 2001a). Innym przejawem współoddziaływania może być kontakt hydrauliczny systemu wodonośnego z ciekami powierzchniowymi

o charakterze infiltrującym. W takich przypadkach w bilansie wodnym złoża wód leczniczych pojawia się dodatkowa składowa zasilania. W przypadku domniemania takiego kontaktu na etapie dokumentowania zasobów eksploatacyjnych szczegółowymi badaniami i obserwacjami należy objąć także ciekły powierzchniowe i wprowadzić korektę do zasięgu terenu górniczego.

Zmiany warunków hydrodynamicznych mogą mieć także genezę antropogeniczną. Do działalności, mającej negatywny wpływ na warunki krążenia wód leczniczych, zalicza się nadmierną eksploatację zwykłych wód podziemnych, roboty górnicze (Ciężkowski, 1990; Poprawski, Filbier, 1997), prace ziemne (Poprawski i in., 1995), zabiegi hydrotechniczne, a nawet eksploatację wadliwych, nieszczelnych sieci wodociągowych (Ciężkowski, 2007). Problem wpływu intensywnej eksploatacji wód zwykłych był widoczny m.in. w Łądku-Zdroju (Ciężkowski, 1980, 1983) oraz w Jeleniowie (Sadowska, 1989). Rozwój lejów depresji spowodował tam odwrócenie kierunków przepływu, co doprowadziło do typowych zmian w dynamice (spadek wydajności) i hydrogeochemii (spadek mineralizacji ogólnej, ucieczka gazów itp.). Szczególnie niekorzystny wpływ na stan ilościowy złóż wód leczniczych wywierają odwodnienia górnicze, prowadzące na ogół do całkowitego zdrenowania złoża, jak to miało wielokrotnie miejsce w przeszłości (Jastrzębie-Zdrój, Opolno-Zdrój, Wałbrzych-Stary Zdrój) lub do spadku wydajności i utraty właściwości leczniczych (np. Jedlina-Zdrój). Złoża znajdujące się na terenach górskich, drenowane przez naturalne źródła, są szczególnie narażone na wpływ prac ziemnych i towarzyszących im często odwodnień budowlanych. Budowa obiektów kubaturowych, infrastruktury technicznej lub turystyczno-rekreacyjnej nie pozostaje bez wpływu na stan wód leczniczych w złożu, co powoduje najczęściej naruszenie równowagi wodno-gazowej, czego przykłady udokumentowano m.in. w Szczawnicy i Krynicy-Zdroju.

Współwystępowanie wód leczniczych z wodami zwykłymi oraz powierzchniowymi ma duże znaczenie przy określaniu zasobów eksploatacyjnych (Ciężkowski i in., 1999). Należy pamiętać, że w przypadku złożonych warunków hydrogeologicznych i intensywnego wydobywania wód, na przykład w rejonie

doliny Popradu i jego dopływów, zjawisko współwystępowania wód powinno podlegać stałemu monitoringowi, zarówno w zakresie stanu ilościowego, jak i jakościowego. Przy ocenie tego zjawiska należy mieć na uwadze, że wpływ różnych rodzajów wód może być zmienny w czasie, może również zachodzić interferencja oddziaływań z innymi ujęciami. W przypadku współwystępowania wód leczniczych i zwykłych konieczne jest także oszacowanie wielkości zasobów dyspozycyjnych obu rodzajów wód.

3.2. KLASYFIKACJA ZŁOŻ WÓD LECZNICZYCH

Jakub Sokołowski

Złoża wód leczniczych występują w strukturach hydrogeologicznych, definiowanych jako część systemu wodonośnego o dającej się stwierdzić jedności warunków hydrogeologicznych w zakresie rozprzestrzenienia, przepływu, warunków zasilania i drenażu wód (Ciężkowski, Kapuściński, 2011). Nie musi to być typowa struktura hydrogeologiczna, jak na przykład basen lub niecka, lecz może być nią dowolna jednostka geologiczna, na przykład góry fałdowe, rowy tektoniczne, masywy krystaliczne, a także serie osadów aluwialnych lub strefy aktywnego krasu, zbudowane ze skał porowatych, szczelinowatych lub szczelinowo-krasowych. Mogą to być także strefy uskokowe albo nieciągłości tektoniczne, tworzące izolowane poziomy wodonośne lub zespół poziomów pozostających ze sobą w kontakcie hydraulicznym.

Powiązanie struktury hydrogeologicznej z systemem hydrogeologicznym, czyli zbiorowiskiem wód podziemnych, tworzącym system krążenia wód o zasobach odnawialnych lub nie tworzącym takiego systemu dla wód stagnujących, narzuca podstawowy podział struktur ze względu na odnawialność zasobów wód (tab. 3.1, fig. 3.1). Poszczególne typy struktur można dodatkowo podzielić, uwzględniając charakter przepływu wód podziemnych w ośrodku skalnym, na złoża wód szczelinowych i szczelinowo-porowych, a te z kolei, mając na uwadze rodzaj systemu wodonośnego, na złoża bardzo głębokiego, głębokiego i płytkiego krążenia (Ciężkowski, 2007; Ciężkowski i in., 2016b). Właściwe określenie rodzaju struktury jest pomocne do opracowania modelu

Tab. 3.1. Podział struktur hydrogeologicznych (złóż) wód leczniczych (Paczyński, 2002, z mod. autorów)

Struktura	Zasoby	Strefa			Ujęcia	Geneza wód
		zasilania	przepływu	drenażu		
Otwarta (SA)	odnawialne	+	+	+	źródła, otwory wiertnicze	infiltracyjne
Półotwarta (SB)	odnawialne	+	+	-	otwory wiertnicze	infiltracyjne
Półzakryta (SC)	słabo odnawialne	-	+	+	źródła, otwory wiertnicze	infiltracyjne, paleoinfiltracyjne, mieszane
Zakryta (SD)	nieodnawialne	-	+	-	otwory wiertnicze	paleoinfiltracyjne, syngedymantacyjne

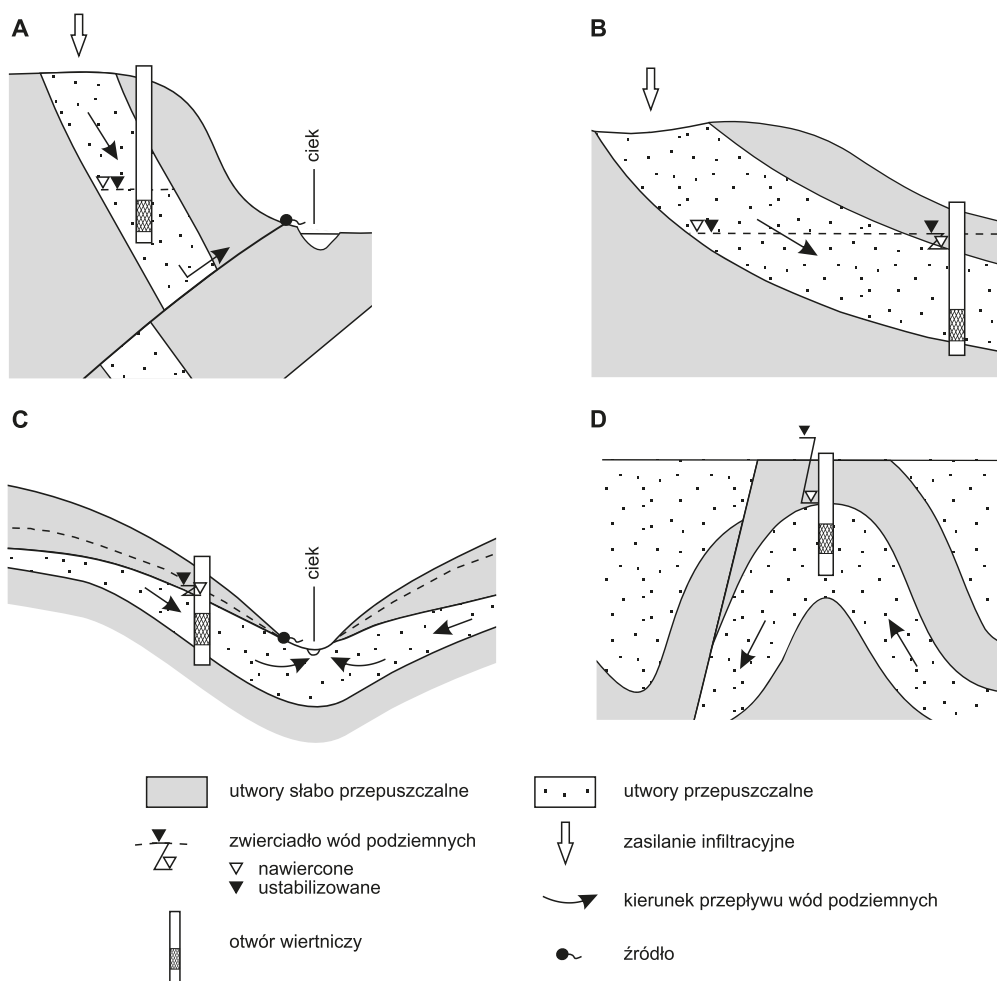


Fig. 3.1. Typy złóż wód leczniczych – przykłady

A – w strukturach otwartych, B – w strukturach półotwartych, C – w strukturach półzakrytych, D – w strukturach zakrytych

konceptyjnego złoża w celu oceny wielkości zasobów wód leczniczych. Szczegółowy opis teorii systemu wodonośnego i zasad wydzielania systemów wodonośnych zawiera praca Szymanko (1980).

Struktury otwarte (SA)

Wody lecznicze występujące w strukturach otwartych charakteryzują się odnawialnością zasobów. Dla struktur tych jest możliwe określenie obszarów zasilania i przepływu oraz wyznaczenie stref drenażu. Wody występujące w strukturach otwartych pochodzą ze współczesnej infiltracji, a ich wydobywanie odbywa się źródłami lub otworami wiertniczymi. Przykładem struktur otwartych są sudeckie złoża wód kwasowęgłowych i szczaw (Czerniawa-Zdrój, Długopole-Zdrój, Duszniki-Zdrój, Gorzanów, Jedlina-Zdrój, Kudowa-Zdrój, Polanica-Zdrój, Stare Rochowice, Szczawina, Szczawno-Zdrój, Świeradów-Zdrój), wód radonowych (Sosnowka, Przerzeczyn-Zdrój) i wód o podwyższonej temperaturze (Jelenia Góra-Cieplice, Łądek-Zdrój), a także karpackie złoża szczaw zwykłych (Głębokie, Krynica-Zdrój – bez zuberów, Piwniczna-Łomnica, Rabe, Tylicz, Wierchomla Wielka, Żegiestów, Muszyna) i wód siarczkowych (Horyniec-Zdrój, Łatoszyn-Zdrój, Swoszowice, Wapienne).

Struktury półotwarte (SB)

Struktury półotwarte pozwalają na wyznaczenie obszarów zasilania, a zatem charakteryzują się odnawialnością zasobów i występowaniem wód pochodzenia infiltracyjnego. Umożliwiają także określenie dróg przepływu. Niemożliwe natomiast jest wyznaczenie stref drenażu, dlatego wydobywanie występujących w nich wód odbywa się wyłącznie otworami wiertniczymi. Najczęściej tego typu struktury spotyka się w strefach antyklinalnych, które dzięki obecności licznych spękań i intensywnego wietrzenia ułatwiają wnikanie wód infiltrujących i ich mieszanie się z wodami stref głębszych. Przykładem struktury półotwartej jest złożo wód leczniczych Mateczny I w Krakowie oraz złoża szczaw chlorkowych (Wysowa, Szczawa, Szczawnica I, Krościenko n. Dunajcem, Krynica-Zdrój I – dla wód typu zuber). W Karpatach o zaliczeniu wód do poszczególnych typów struktur, zwłaszcza do struktury otwar-

tej lub półotwartej, decyduje stopień zmieszania poszczególnych składowych genetycznych wód.

Struktury półzakryte (SC)

W strukturach półzakrytych obszary zasilania są na ogół nieznane, natomiast można wydzielić w nich strefy przepływu i niekiedy drenażu, na przykład w rejonie Buska-Zdroju. Zasoby wód leczniczych mogą charakteryzować się tu różnym stopniem odnawialności, a występujące tu wody mogą być zarówno pochodzenia infiltracyjnego, jak i mieszanego. Wody ze struktur półzakrytych mogą migrować systemem głębokich stref uskokuwanych w pobliżu powierzchni, gdzie są wydobywane otworami lub wypływają w postaci źródeł, jak to ma miejsce w przypadku przepływu wzdłuż stref uskokuwanych ku powierzchni silnie zmineralizowanych wód spągowej części kompleksu fliszu karpackiego, przy czym podczas swej wędrówki wody te nie ulegają na ogół mieszanii z wodami infiltracyjnymi. Jako przykład struktur półzakrytych można przytoczyć złoża wód leczniczych: Krzeszowice I, Nałęczów II, Rabka-Zdrój, Wieniec i niektóre złoża w rejonie Buska-Zdroju.

Struktury zakryte (SD)

Struktury zakryte nie mają wyznaczonych obszarów zasilania i drenażu, a jedynie strefę przepływu. Zasoby wód leczniczych są nieodnawialne, a występujące tu wody przede wszystkim pochodzą z infiltracji przedczwartorzędowej (wody paleoinfiltracyjne), rzadziej są to wody synsedymencyjne, dehydratacyjne lub elizyjne. Wydobywanie wód odbywa się głębokimi otworami wiertniczymi. Wody ze struktur zamkniętych są pozbawione kontaktu z wodami współczesnego cyklu hydrogeologicznego, nie wypływają w sposób naturalny na powierzchnię terenu, a nawet nie przedostają się w jej pobliże. W strukturach zakrytych wody lecznicze pojawiają się w skałach osadowych Niżu Polskiego, tworzących zarówno antykliny i synkliny, jak i monokliny czy wręcz izolowane warstwy poziome, a także w Karpatach fliszowych: w podłożu fliszu (np. Ustron) oraz w głębszej części osadów fliszowych lub w zapadlisku przedkarpackim (Goczałkowice-Zdrój, rejon Buska-Zdroju i Solca-Zdroju).

3.3. POGLĄDY NA GENEZĘ WÓD LECZNICZYCH

Arkadiusz Krawiec

Określenie pochodzenia wód leczniczych jest możliwe przy zastosowaniu metod wskaźników środowiskowych. Badania takie zapoczątkowano z początkiem lat 70. ubiegłego wieku (Dowgiałło, 1971; Dowgiałło, Tongiorgi, 1972). W Polsce w drugiej połowie XX w. stosowano głównie izotopy stabilne $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ oraz oznaczenia zawartości trytu (^3H). Niekiedy wykonywano także oznaczenia stężeń izotopów węgla (^{14}C) i $\delta^{13}\text{C}$. W latach 90. XX w. Zuber i in. (1993, 1995, 1997), Ciężkowski i in. (1992) oraz Krawiec i in. (2000) wprowadzili do badań genezy wód leczniczych oznaczenia gazów szlachetnych oraz nieorganicznego heksafluorku siarki. W przeciągu kilku lat wykonano wówczas oznaczenia ^4He , ^3He , $^{40/36}\text{Ar}$, Ne, Kr, Xe i SF_6 w kilku uzdrowiskach, na przykład w Łądku-Zdroju, Jeleniej Górze-Cieplicach, Busku-Zdroju czy Kołobrzegu. „Wiek” współczesnych wód lub wód ze składową wód współczesnych określano na podstawie oznaczeń zawartości trytu z wykorzystaniem programu FLOWPC (Małoszewski, Zuber, 1996). Do określenia „wieku” wód starszych z powodzeniem wykorzystywana jest metoda radiowęglowa, coraz częściej wspierana oznaczeniami gazów szlachetnych i izotopów stabilnych. Badania szczytów i wód kwasowęglowych bogatych w CO_2 są często ograniczone do oznaczeń $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ i ^3H ze względu na zaburzenia pomiarów przez strumień endogenicznego CO_2 . Natomiast w przypadku poboru próbek wody ze skał węglanowych znaczne ograniczenia ma także metoda ^{14}C . W ostatnich 20 latach coraz częściej na terenie Polski wykonywano oznaczenia stężeń He, Ne, Ar i SF_6 metodami chromatografii gazowej (Mochalski i in., 2007; Zuber, 2007a; Chowaniec i in., 2010; Żurek, Mochalski, 2010; Krawiec, 2013).

Typy genetyczne wód są w literaturze hydrogeologicznej różnie definiowane. Dla obszaru Polski, zgodnie z poglądami Zuber i Ciężkowskiego (Zuber, 2007b) można wyróżnić cztery ogólne kategorie: 1 – wody meteoryczne, 2 – wody sedymentacyjne, 3 – wody dehydracyjne i 4 – wody mieszane. Natomiast Dowgiałło i Nowicki (2007) stosują podział na wody meteoryczne oraz wody niepochodzące z opadów atmosferycznych. Poglądy na genezę

wód podziemnych, w tym wód leczniczych, zostały dobrze opisane w poradniku metodycznym *Metody znacznikowe w badaniach hydrogeologicznych* (Zuber, 2007b), a także w monografii *Hydrogeologia regionalna Polski* (Paczyński, Sadurski, 2007), w której zaprezentowano typy genetyczne i chemiczne wód podziemnych z uwzględnieniem powyżej wymienionych podziałów i poglądów zarówno ośrodka krakowskiego (Zuber, Ciężkowski), jak i warszawskiego (Dowgiałło, Nowicki).

Wśród wód meteorycznych wyróżnia się:

- wody współczesne, zawierające tryt lub bez trytu, wykazujące obecność innych składników antropogenicznych;
- wody holoceny, bez trytu i/lub innych składników antropogenicznych;
- wody plejstoceny, infiltracji okresu górolodowego i interglacialnego czy też mieszaniny wód z tych okresów;
- wody infiltracji przedplejstoceny (przedczwartorzędowej);
- wody „mieszane”, na przykład mieszanina wód współczesnych z wodami infiltrującymi w okresie górolodowym.

Wody sedymentacyjne to najczęściej wody reliktowe (synsedymentacyjne), często także nazywane reliktowymi wodami morskimi. Stężenia chlorków w tych wodach powinny być bliskie stężeniom w wodzie morskiej, natomiast wartości $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ zbliżone do 0‰. Reliktowe wody morskie najczęściej jednak mają zmienione składy izotopowe wskutek procesów mieszania, odparowania czy dehydratacji minerałów. Wody dehydracyjne powstają przede wszystkim w wyniku uwalniania wody z uwodnionych minerałów ilastych oraz gipsów w procesach diagenety i metamorfizmu. Każdy wymieniony typ wody może ulegać zmieszaniu z innym typem, tworząc wodę mieszaną, najczęściej dwuskładnikową, gdzie jednym ze składników jest najczęściej lokalna woda infiltracyjna.

Geneza wód leczniczych na obszarze Polski w świetle badań izotopowych oraz oznaczeń gazów szlachetnych

Badania izotopowe (^3H , $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$) szczytów sudeckich potwierdziły ich infiltracyjne pochodzenie. Są to najczęściej wody „wieku” holoceny.

zarówno ery bombowej, jak i przedbombowej (Ciężkowski, 1990). Skład izotopowy węgla w CO₂ szczaw sudeckich oraz oznaczenia ⁴He/³He w tych wodach wskazały na magmatyczne pochodzenie dwutlenku węgla (Ciężkowski, 2002). Wody lecznicze Łądko-Zdroju są wodami pochodzenia meteorycznego. Ocenę ich „wieku”, położenia obszaru zasilania i wielkości zasobów dokonano metodami izotopowymi (Ciężkowski, 1990). Średnie położenie obszaru zasilania tych wód znajduje się na rzędnych około 825 m n.p.m., co potwierdzono stężeniami gazów szlachetnych: Ne, Ar, Kr i Xe (Zuber i in., 1995). „Wiek” tych wód zawiera się w przedziale 4,5–9,0 tys. lat i określono go metodą ¹⁴C oraz stężeniami gazów szlachetnych. Badania izotopowe i oznaczenia gazów szlachetnych wykazały, że wody lecznicze w Jeleniej Górze-Cieplicach infiltrowały do ośrodka skalnego w chłodnym klimacie, a niektóre źródła są zasilane także wodą współczesną (Ciężkowski i in., 1992).

Większość ujęć szczaw karpackich również zbadano izotopowo (Rajchel, 2012). Pomiaru $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ pozwoliły określić położenie obszarów zasilania niektórych ujęć, a wieloletnie okresy obserwacji stężeń trytu umożliwiły ocenę ilościową „wieku” wód (Ciężkowski i in., 2010). Skład izotopowy węgla w CO₂ szczaw polskich Karpat fliszowych wskazuje na dominujące pochodzenie tego gazu z metamorfizmu skał węglanowych (Leśniak, 1985; Duliński, 1999), chociaż nie można wykluczyć pewnego udziału CO₂ pochodzenia magmowego (Zuber, 2007b; Ciężkowski i in., 2010; Rajchel, 2012, 2013). Szczawy zwykłe Karpat fliszowych mają zróżnicowane wartości średnich „wieków”. W źródłach najczęściej występują wody współczesne o średnich czasach przebywania w ośrodku skalnym od około 15 lat do ponad 100 lat (Zuber i in., 1999; Rajchel, 2012). W głębszych ujęciach występują często wody holocenijskie ery przedbombowej, a nawet wody infiltracji glacialnej (Ciężkowski, Zuber, 1997), na przykład w Krynicy-Zdroju, Muszynie, Złociem, Żegiestowie-Zdroju, Miliku i Piwnicznej-Zdroju, których „wiek” przekracza 10 000 lat (Zuber, 2007b). Przeprowadzone badania izotopowe szczaw chlorkowych Karpat fliszowych wykazały natomiast, że są one mieszaninami wód dehydratacyjnych (prawdopodobnie uwolnionymi w procesach diagenety mineraliów ilastych) z wodami infiltracyjnymi, zazwyczaj współczesnymi

(Oszczypko, Zuber, 2002). Wcześniejsze poglądy o ich pochodzeniu opierały się na hipotezie mieszania się reliktowych wód morskich z wodami infiltracyjnymi (Rajchel i in., 2004; Zuber, 2007b). Wody dehydratacyjne ($\delta^{18}\text{O}$ około –6‰, $\delta^2\text{H}$ około –30‰) powstają w procesie diagenety mineraliów ilastych, wskutek ich dehydratacji na dużej głębokości, a zróżnicowane zasolenie tych wód może być pozostałością z reliktowej wody morskiej, zmodyfikowaną interakcją procesów w systemie woda↔skała w czasie diagenety i ultrafiltracją przez geomembrany ilaste (Oszczypko, Zuber, 2002; Rajchel i in., 2004). Wody dehydratacyjne zazwyczaj mieszają się z wodami infiltracyjnymi, układając się na diagramach $\delta^2\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$ wzdłuż linii mieszania, od punktów o wartościach $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ zbliżonych do lokalnych wód współczesnej infiltracji (około –10‰ i –70‰) do punktów reprezentujących składowe dehydratacyjne (Dowgiałło, 1980; Leśniak, 1980; Oszczypko, Zuber, 2002; Rajchel i in., 2004). W niektórych ujęciach (np. w Szczawie czy Wysowej-Zdroju) wody dehydratacyjne dopływają do powierzchni terenu i nie mają domieszki lokalnej wody infiltracyjnej. Wody typu zuber są szczególnym przypadkiem szczaw chlorkowych (Oszczypko, Zuber, 2002; Rajchel, 2012). Chlorki w szczawach karpackich mogą być różnorodnego pochodzenia. Analizy stosunków izotopowych ³⁷Cl/³⁵Cl przeprowadzone w rejonie Krynicy-Zdroju, Zubrzyka, Żegiestowa-Zdroju i Wysowej-Zdroju (Dembska-Sięka i in., 2020) wykazały, w przypadku próbek z ujęć Zuber I, Zuber III i K-2 (Krynica-Zdrój) oraz Z-3 (Zubrzyk), gdzie odnotowano najniższe wartości $\delta^{37}\text{Cl}$, że geneza chlorków może być częściowo związana z roztworami powstającymi w strefach subdukcji. W żadnej z badanych próbek nie odnotowano natomiast wzbogacenia w izotop ³⁷Cl, co pozwala wykluczyć procesy związane z odparowaniem wody czy ługowaniem osadów z pokładów soli jako źródła chlorków. We wschodniej części Karpat często występują wody reprezentujące różne stadia diagenety, z domieszkami pozostałości wód synsedymencyjnych (Porowski, 2006). W większości przypadków są one również mieszane z wodami meteorycznymi różnego „wieku”, przy wartościach $\delta^2\text{H}$ często zmienianych przez wytworzenie węglowodorów (Zuber, Chowaniec, 2009). Szczawy chlorkowe Iwonicza-Zdroju, Lubatówki i Rymanowa-Zdroju są natomiast związane ze złoża-

mi ropy naftowej. Ich składy izotopowe wskazane w postaci punktów na wykresie $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ znajdują się wzdłuż linii mieszania się wód dehydratacyjnych z wodami infiltracyjnymi. W niektórych przypadkach dane izotopowe sugerują mieszanie się wód dehydratacyjnych z wodami infiltrującymi w klimacie przedplejstocenijskim (Oszczypko, Zuber, 2002).

Wysoko zmineralizowane wody chlorkowe, na przykład Rabki-Zdroju, są głównie dehydratacyjnymi wodami diagenetycznymi, mieszającymi się częściowo z wodami lokalnej infiltracji (Dowgiałło, 1980; Leśniak, 1980; Rajchel i in., 2004). Według starszych poglądów w podłożu fliszu karpackiego, na przykład w Ustroniu, występują wody lecznicze związane genetycznie z wodami meteorycznymi gorących klimatów (Pałys, 1966). Ich zasolenie pochodzące z ługowania skał (stężenie chlorków jest praktycznie niezależne od składu izotopowego) nie zostało wzbogacone przez parowanie, lecz przez procesy ultrafiltracji (Pluta, Zuber, 1995).

Na obszarze zapadliska przedkarpackiego, w rejonie Dębowca i Zabłocia, zachowały się synsedymenacyjne wody morskiego zbiornika miocenu (Dowgiałło, 1973; Pluta, Zuber, 1995) ze zmienionym składem chemicznym wskutek redukcji siarczanów i zwiększonym zasoleniem spowodowanym ultrafiltracją. Z kolei wody siarczkowe w rejonie Krakowa są pochodzenia meteorycznego i mają od 50 do ponad 10 000 lat. W Swoszowicach są to wody współczesne o średnim „wieku” około 50 lat. Według oznaczeń trytowych dominują tu wody o czasie przepływu wynoszącym kilka lat (Zuber, 2007b). Woda w Zdroju Głównym w Krzeszowicach jest wczesną wodą holocenijską o „wieku” ^{14}C wynoszącą około 8 tys. lat (Motyka i in., 2003). Wody Matecznego były uważane za rezultat mieszania się młodych wód opadowych z reliktową wodą morską. Wyniki oznaczeń izotopów ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $\delta^{13}\text{C}$ i ^{14}C) oraz gazów szlachetnych wskazały, że są to wody infiltrujące z końcem ostatniego glaciału (Zuber i in., 2004), a chlorki są przypuszczalnie wynikiem ługowania sąsiadujących utworów miocenu. Badania izotopowe ($\delta^{18}\text{O}$, ^2H , ^3H , $\delta^{13}\text{C}$, ^{14}C) i oznaczenia gazów szlachetnych wykazały, że wody siarczkowe Buska-Zdroju nie zawierają trytu oraz ^{14}C . Są one przypuszczalnie wodami infiltracji interglacialnej o dalekim obszarze zasilania, co zostało potwierdzone wysokimi stężeniami ^4He i ^{40}Ar

(Zuber i in., 1997). Infiltracyjne pochodzenie wód siarczkowych rejonu Buska-Zdroju potwierdziły też wskaźniki hydrochemiczne (Porwisz, Mądry, 2000). Zasolenie tych wód może pochodzić z rozpuszczania inkluzji solnych w ilach oraz gipsach, a siarczki pochodzą z redukcji rozpuszczonych siarczanów wskutek działalności mikroorganizmów (Krawiec i in., 2018; Deja-Sikora i in., 2019). Składy izotopowe oraz wartości temperatury gazów szlachetnych NGT (*Noble Gas Temperature*) wód leczniczych Buska-Zdroju oraz Solca-Zdroju wskazują na genezę związaną z infiltracją w cieplejszym klimacie, natomiast zasolenie tych wód jest przypuszczalnie związane z ługowaniem, nieistniejących już w obszarze zasilania, osadów miocenu (Zuber, Grabczak, 1985; Chowaniec i in., 2009, 2016). Pod względem hydrochemicznym zasoby tych wód są więc nieodnawialne, jednak obecnie przeważa pogląd, iż nie są one całkowicie odcięte od współczesnego zasilania (Rózkowski, Rózkowski, 2010; Zuber i in., 2010; Gągulski i in., 2018). Blokowa budowa omawianego obszaru sprawia jednak, iż uskoki stanowią najczęściej bariery utrudniające przepływ wód podziemnych, powodując częściowe odizolowanie poszczególnych bloków (Lisik, Szczepański, 2014, 2018).

Według danych uzyskanych z oznaczeń składu izotopowego wód leczniczych na Niżu Polskim (np. Kołobrzeg, Świnoujście, Kamień Pomorski, Połczyn-Zdrój, Ciechocinek) wynika, że wody te powstały wskutek mieszania się wód synsedymenacyjnych (morskich) z wodami meteorycznymi (Dowgiałło, Tongiorgi, 1972). Według innych poglądów są to wody infiltrujące w ciepłym klimacie przedczwartorzędowym (Krawiec i in., 2000; Zuber, 2007b). Ich zasolenie pochodzi prawdopodobnie z ługowania licznych struktur solnych mezozoiku i cechsztynu. Wody te mają składy izotopów trwałych między wartościami typowymi dla wód oceanicznych ($\delta^{18}\text{O} \cong 0\text{‰}$ i $\delta^2\text{H} \cong 0\text{‰}$) i współczesnych wód infiltracyjnych ($\delta^{18}\text{O}$ około -10‰ i $\delta^2\text{H}$ około -70‰), zatem mogą uchodzić za rezultat mieszania się wód morskich z wodami infiltracyjnymi. Przy tej hipotezie trudno jednak wytłumaczyć, że zasolenie często przekracza zasolenie typowe dla wód morskich (Zuber, 2007b). Wysokie wartości wskaźników hydrochemicznych (np. $\text{rNa/rCl} > 1$ i $\text{Cl/Br} > 300$) oraz stężenia Cl^- (np. w Ciechocinku) w wodach

leczniczych są praktycznie niezależne od składu izotopowego (Zuber, Grabczak, 1991; Krawiec, 1999). Ponadto analiza oznaczeń izotopów trwałych wykonanych w okresie ostatnich 40 lat wykazała zmienność w czasie składu izotopowego (Krawiec, 1999, 2002). Uzyskane obecnie wyniki oznaczeń izotopów w tych wodach są przesunięte w kierunku wartości bardziej ujemnych względem starszych pomiarów, co wskazuje na powolny dopływ wód młodszych pochodzenia infiltracyjnego. Z powyższych powodów wody te należy uznać w dominującym stopniu za wody meteoryczne, pochodzące z infiltracji w różnych klimatach, w tym głównie w ciepłym klimacie przedplejstoceniowym, co wskazuje, że mogą to być wody paleoinfiltracyjne. W wodach leczniczych Niżu Polskiego mogą występować także domieszki innych genetycznie wód, na przykład reliktowych wód morskich lub wód infiltracji czwartorzędowej. Praktycznie wszystkie wody lecznicze na Niżu Polskim znajdują się w strefie utrudnionej wymiany, co potwierdzałoby taką możliwość.

3.4. WYSTĘPOWANIE ŹŁÓŻ WÓD LECZNICZYCH

Jakub Sokołowski, Małgorzata Sosnowska,
Jadwiga Stożek

Zgodnie z obowiązującym stanem prawnym wody lecznicze, będące kopaliną, występują w złożach, stąd termin ten stosuje się w niniejszym Poradniku zamiennie z pojęciem struktury hydrogeologicznej/systemu wodonośnego. Różnorodność budowy geologicznej kraju oraz warunków hydrogeologicznych panujących w poszczególnych obszarach sprawia, że konieczne stało się wyróżnienie kilku głównych typów złóż opartych przede wszystkim na kryterium odnawialności zasobów. Zróżnicowanie warunków hydrodynamicznych i hydrochemicznych wpływa bezpośrednio na wielkość zasobów eksploatacyjnych poszczególnych ujęć, co warunkuje natężenie ich wydobywania. Bogactwo typów chemicznych i szeroki przedział mineralizacji ogólnej wód leczniczych sprawia, że mogą one być wykorzystywane do różnych celów, także do pozyskiwania z nich pierwiastków i związków chemicznych.

3.4.1. Regionalizacja hydrogeologiczna kraju

Powszechnie stosowaną regionalizacją hydrogeologiczną wód leczniczych jest podział zaproponowany przez Paczyńskiego i Płochniewskiego w 1996 r. (fig. 3.2), zmodyfikowany przez Dowgiałłę i Paczyńskiego (2002) (tab. 3.2).

Obie regionalizacje są oparte na wydzieleniu, przede wszystkim na podstawie kryteriów geologiczno-strukturalnych, czterech typów jednostek hydrogeologicznych: prowincji, regionu, subregionu i rejonu. Wyodrębniono cztery jednostki najwyższej rangi, czyli prowincje: platformy prekambryjskiej (A), platformy paleozoicznej (B), sudecką (C) i karpacką (D). W ich obrębie wydzielono regiony, na obszarach platformowych synklinoria i antyklinoria oraz wyniesienia i obniżenia podłoża krystalicznego, a w prowincjach górskich – zapadliska, niecki i cokoły. W celu wyodrębnienia obszarów występowania szczególnie cennych wód leczniczych bądź braku tego rodzaju wód wyznaczono subregiony, dodatkowo zawierające jednostki najniższej rangi – rejon, charakteryzujące się niewielką powierzchnią i niepewnym przebiegiem granic. Modyfikacja z 2002 r. dotyczyła uszczegółowienia regionalizacji Sudetów, a także dodatkowego zróżnicowania zlewniowego Karpat fliszowych.

W obrębie Karpat zewnętrznych na podstawie kryteriów hydrochemicznych wydzielono trzy strefy: centralną, przejściową i brzeżną (Węclawik, 1991). Dwie pierwsze są związane z obecnością zróżnicowanych genetycznie szczaw i wód kwasowęglowych: prostych (strefa centralna) i złożonych (strefa przejściowa). Strefa brzeżna obejmuje swoim zasięgiem jednostkę magurską, śląską, podśląską, dukielsko-grybowską i skolską, w obrębie których występują wody chlorkowe.

3.4.2. Warunki występowania wód leczniczych

Wody podziemne o właściwościach leczniczych występują w Polsce stosunkowo powszechnie, przeważnie na większych głębokościach poniżej strefy wód zwykłych. Pozbawione tego typu wód są praktycznie jedynie wschodnia część platformy prekambryjskiej, Góry Świętokrzyskie, pieniński pas skałkowy

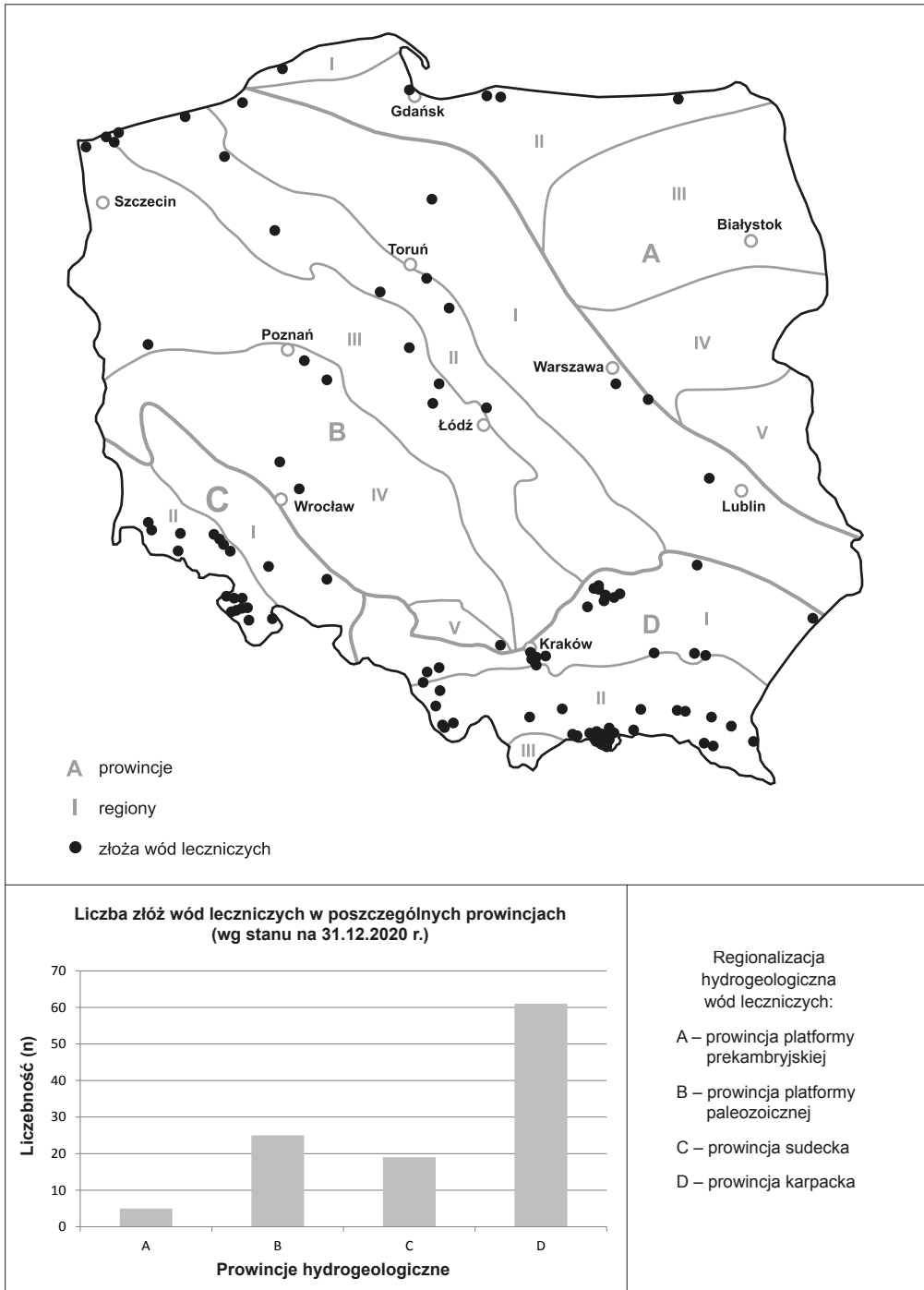


Fig. 3.2. Regionalizacja hydrogeologiczna i występowanie złóż wód leczniczych Polski
(objaśnienia regionów w tab. 3.2; regionalizacja na podst. Paczyńskiego i Płochniewskiego, 1996)

Tab. 3.2. Regionalizacja hydrogeologiczna wód leczniczych Polski (na podst. Paczyńskiego i Płochniewskiego, 1996, z mod. Dowgiałły i Paczyńskiego, 2002)

Prowincja	Region	Subregion	Rejon (system)
A – platformy prekambryjskiej	AI – wyniesienia Łeby	–	–
	AII – syneklizy perybaltyckiej	–	–
	AIII – mazursko-suwański	–	–
	AIV – zapadliska podlaskiego	–	–
	AV – wyniesienia lubelskiego	–	–
B – platformy paleozoicznej	BI – niecki brzeżnej	–	–
	BII – antyklorium Środkowopolskiego	świętokrzyski	–
	BIII – szczecińsko-miechowski	–	–
	BIV – monokliny przedsudeckiej	–	–
	BV – górnoląski	–	–
C – sudecka	CI – bloku przedsudeckiego	dorzecze Odry	–
	CII – sudecka	dorzecze Nysy Kłodzkiej	zlewnia Białej Łądeckiej
		dorzecze Łaby	zlewnia Pot. Kudowskiego
		–	zlewnia Pot. Dańcówka
		dorzecze Bystrzycy	zlewnia Pot. Szczawnik
		dorzecze Ślęży	–
		dorzecze Kaczawy	–
		dorzecze Bobru	karkonosko-jeleniogórski
		dorzecze Kwisy	Izerski
D – karpacka	DI – zapadliska przedkarpackiego	dorzecze Sanu	–
		dorzecze Wisły	–
	DII – Karpat zewnętrznych	dorzecze górnej Wisły	–
		dorzecze Popradu	zlewnia Pot. Muszynianka
			zlewnia Pot. Kryniczanka
			zlewnia Pot. Szczawnik
			zlewnia Pot. Szczawnego
			zlewnia Pot. Milik
			zlewnia Pot. Głębozanka
			zlewnia Pot. Łomniczanka
			zlewnia Pot. Wierchomlańska
		dorzecze Dunajca	–
		dorzecze Raby	–
		dorzecze Wisłoki	–
		dorzecze Sanu	–
	DIII – Karpat wewnętrznych	Tatry i Podhale	tatrzańsko-podhalański

i Tatr. Część z tych wód, po udokumentowaniu zasobów i spełnieniu odpowiednich wymagań, zaliczono do leczniczych. Źłóża wód leczniczych są rozmieszczone nierównomiernie, znajdują się przede wszystkim w Sudetach i w Karpatach wraz z zapadliskiem przedkarpackim, gdzie zgromadzonych jest ponad 70% ich ogólnej liczby (fig. 3.2). Istotną część złóż znajduje się także w pasie nadmorskim. Pozostałe są zlokalizowane na obszarze niemal całego kraju. Takie rozmieszczenie złóż wód leczniczych wynika ze zróżnicowania budowy geologicznej kraju, mającej z kolei wpływ na zmienność warunków hydrogeologicznych poszczególnych rejonów.

Platforma prekambryjska

Platforma prekambryjska jest jedną z największych prowincji występowania wód leczniczych, a zarazem w nie najuboższą. Wody lecznicze występują tu tylko w obrębie basenu bałtyckiego (syneklizy perybałtyckiej) oraz wyniesienia Łęby i zostały udokumentowane jedynie w 5 złożach w Ustce, Fromborku, Gołdapi, Krynicy Morskiej i Sopocie. Cechą charakterystyczną omawianego obszaru jest płytkie zaleganie stropu fundamentu krystalicznego oraz intensywne procesy infiltracyjne, odpowiadające za głębokie wystodzenie wód podziemnych (Kolago, Płochniewski, 1977; Dowgiałło, 2007). Występowanie wód leczniczych jest związane z utworami młodszego paleozoiku i mezozoiku. Pod względem chemicznym są to wody typu Cl-Na, zawierające niekiedy składniki swoiste (przeważnie jod), chłodne lub o temperaturze nieznacznie przekraczającej 20°C na wypływie z ujęcia. Mineralizacja ogólna wód, zależna od głębokości występowania i stopnia odnawialności zasobów, wynosi od kilku do kilkudziesięciu g/dm³.

Wody lecznicze wyniesienia Łęby udokumentowane w Ustce występują w warstwach porowych, w piaskowcach i zlepieńcach permu dolnego (cechsztynu). Pod względem chemicznym są to wody Cl-Na, o mineralizacji ogólnej 34 g/dm³. Zostały one ujęte na głębokości około 700 m. W obrębie basenu bałtyckiego wody lecznicze są związane przede wszystkim z poziomami wodonośnymi triasu dolnego, a także jury i lokalnie kredy. W poziomie triasu dolnego wody lecznicze występują w piaskowcach pstręgo piaskowca zafiltrowanych na głębokości 800–1000 m w trzech złożach: Frombork IG-1,

Krynica Morska IG-1 i Sopot. Są to wody typu Cl-Na, o mineralizacji ogólnej od 36 g/dm³ we Fromborku i rosnącej w kierunku zachodnim do 42 g/dm³ w Sopocie. W większości wody te odznaczają się podwyższoną temperaturą, wynoszącą niewiele ponad 20°C na wypływie z ujęcia, maksymalnie 24°C w Krynicy Morskiej. W Gołdapi wody lecznicze ujęto ze słabo zwięzłych piaskowców dwóch różnowiekowych poziomów: połączonego poziomu jury dolnej i środkowej, udostępnionego do wydobywania na głębokości 600–650 m oraz poziomu kredy górnej, zafiltrowanego na głębokości około 400 m. W poziomie jurajskim wody lecznicze reprezentują typ Cl-Na, a ich mineralizacja ogólna wynosi 6 g/dm³, zaś w płytszym poziomie kredowym są to wody Cl-HCO₃-Na,F, o mineralizacji ogólnej 1,4 g/dm³.

Platforma paleozoiczna

Wody lecznicze w obrębie platformy paleozoicznej występują głównie w formacjach mezozoicznych, zwłaszcza kredy dolnej i jury dolnej, w mniejszym stopniu triasu, choć istotną rolę w procesie kształtowania ich składu chemicznego odegrała formacja salinarna cechsztynu (Bojarski, Sadurski, 2000). Osady te tworzą rozległe zbiorniki porowoszczelinowe o regionalnym rozprzestrzenieniu i stosunkowo słabym zaangażowaniu tektonicznym. Występuje tu 25 złóż wód leczniczych, przede wszystkim wysoko zmineralizowanych wód Cl-Na, często zawierających jod, niekiedy żelazo (Fe⁺²) i siarczki (np. Inowrocław, Kotowice) w stężeniach farmakodynamicznie czynnych. Z uwagi na występowanie na znacznych głębokościach, rzędu 1000–2000 m, wody te niekiedy osiągają na wypływie z ujęcia temperaturę powyżej 20°C. W wielu rejonach platformy paleozoicznej, m.in. na Kujawach i Pomorzu, charakterystyczne jest płytkie lub nawet powierzchniowe występowanie wód leczniczych, będące wynikiem ascenzji zasolonych wód z większych głębokości (Krawiec, 2012). Lokalnie, na przykład w Wieńcu-Zdroju i Krzeszowicach, udokumentowano wody siarczkowe. Uwarunkowania geologiczno-strukturalne prowincji wpływają na zmienność parametrów zbiornikowych oraz odmienne warunki krążenia wód w poszczególnych regionach: synklinorium brzeżnym, antyklinorium środkowopolskim, synklinorium szczecińsko-

-miechowskim, monoklinie przedsudeckiej oraz w zapadlisku górnośląskim.

Najwięcej złóż wód leczniczych (11) udokumentowano na obszarze antyklinorium środkowopolskiego. Ich występowanie jest związane z poziomami wodonośnymi jury, w mniejszym stopniu triasu górnego. Z utworów węglanowych jury górnej wody lecznicze są wydobywane w Wiencu-Zdroju, Inowrocławiu i Ciechocinku (otw. 19A). Są to wody typu $\text{Cl-Na-(Ca)}_2(\text{S})$, a w Wiencu-Zdroju $\text{SO}_4\text{-Cl-Ca-Na}_2\text{S}$. Wody ze Źródła Solankowego w Inowrocławiu mają na wypływie temperaturę $23,5^\circ\text{C}$. Warstwy jury środkowej ujęto m.in. w Kołobrzegu i Ciechocinku. Występują w nich wody lecznicze typu $\text{Cl-Na}_2\text{I}_2(\text{Fe})$ o mineralizacji ogólnej $40\text{--}56\text{ g/dm}^3$ i podwyższonej temperaturze (27°C na wypływie z ujęcia) w Ciechocinku. Zdecydowanie najlepszymi parametrami hydrogeologicznymi wyróżniają się piaskowce jury dolnej, występujące niemal na całym obszarze antyklinorium na głębokości od kilkudziesięciu metrów w części północnej do ponad 1500 m na pozostałym obszarze. W Ciechocinku, Dziwnówku, Kamieniu Pomorskim, Kołobrzegu i Kotuniu są ujmowane z nich wody lecznicze typu Cl-Na , często z podwyższoną zawartością jodu, żelaza (II) i niekiedy fluoru oraz o zmiennej mineralizacji ogólnej od kilku do kilkudziesięciu g/dm^3 . Najczęściej są to wody chłodne, tylko w nielicznych przypadkach o temperaturze przekraczającej 20°C na wypływie z ujęcia, m.in. w Dziwnówku (21°C) i w Kotuniu (25°C). Wyższe temperatury stwierdzono w rejonie kujawskim, w Ciechocinku na głębokości ponad 1600 m (37°C). Charakterystycznym zjawiskiem jest występowanie lokalnie, na przykład w osiowej strefie odcinka pomorskiego antyklinorium (Kotuń), głębokie wystodzenie dolnojurajskich poziomów wodonośnych. Wody lecznicze występujące w warstwach triasu górnego udokumentowano jedynie w Połczynie-Zdroju i Międzywodziu. Z utworów kajpru z głębokości około 1200 m otrzymano wody $\text{Cl-Na}_2\text{I}$ o mineralizacji ogólnej $75\text{--}94\text{ g/dm}^3$. Zjawiskiem charakterystycznym dla antyklinorium środkowopolskiego jest współwystępowanie wód leczniczych z wodami zwykłymi w utworach czwartorzędowych, będące wynikiem ascenzji wód zmineralizowanych z głębszego podłoża mezozoicznego (m.in. Kołobrzeg, Ciechocinek). W 2017 r. w Ciechocinku zlikwidowano wszystkie trzy

studnie ujmujące wody lecznicze z piętra czwartorzędowego. Płytkie przejawy wód leczniczych obserwuje się także w sąsiedztwie struktur halokinetycznych. W Kotowicach (rejon wysadu solnego Rogóżno) z utworów paleogenu z głębokości niespełna 200 m uzyskano wody $\text{Cl-Na}_2\text{S}$ o mineralizacji ogólnej 9 g/dm^3 i temperaturze blisko 20°C na wypływie z ujęcia.

Obszarem zasobnym w wody potencjalnie lecznicze jest także synklinorium szczecińsko-lódzko-miechowskie, choć dotychczas za lecznicze uznano tu jedynie wody z 5 złóż: w Świnoujściu oraz ujętych głębokimi otworami: Czeszewo IG-1, Dobrów IGH-1, Ślesin IGH-1 i Środa IG-2. Rejon ten jest znany głównie z występowania wód termalnych. Głównymi zbiornikami wód leczniczych są utwory kredy dolnej i jury dolnej. W Świnoujściu piaskowce i piaszki kredy dolnej nawiercono na głębokości 200 m . Występują w nich wody $\text{Cl-Na}_2\text{I}_2(\text{Fe})$ o mineralizacji ogólnej od 26 do 44 g/dm^3 . Z większych głębokości wody lecznicze ujęto otworami Dobrów IGH-1 i Ślesin IGH-1. Z piaskowców kredy dolnej, zalegających na głębokości około $2400\text{--}2600\text{ m}$, uzyskano wody typu $\text{Cl-Na}_2\text{I}$ o mineralizacji ogólnej około 100 g/dm^3 i temperaturze na wypływie z ujęcia około $50\text{--}65^\circ\text{C}$. Otworami Czeszewo IG-1 i Środa IG-2 udostępniono do wydobywania wody z piaskowców jury dolnej, lokalnie będące w więzi hydraulicznej z utworami triasu górnego. Z poziomów wodonośnych występujących na głębokości $900\text{--}1400\text{ m}$ uzyskano wody $\text{Cl-Na}_2(\text{S})$ o stosunkowo niskiej mineralizacji ogólnej $5\text{--}8\text{ g/dm}^3$ i temperaturze na wypływie od 34 do 41°C . Stwierdzone wystodzenie jest charakterystyczne dla niecki mogileńsko-lódzkiej, a zasięg występowania wód o mineralizacji poniżej 1 g/dm^3 w strefie osiowej niecki może sięgać do głębokości ponad 1600 m .

W synklinorium brzeżnym wody lecznicze występują w 5 złożach: Konstancin, Marusza, Nałęczów II, Jamno IG-3 i Wilga IG-1. Do wydobycia udostępniono zawadnione piaskowce jury dolnej występujące na głębokości od około 850 m (Jamno IG-3) do około 1700 m (Konstancin). Pod względem chemicznym są to wody typu $\text{Cl-Na}_2\text{I}_2\text{Fe}$ o mineralizacji ogólnej około $70\text{--}80\text{ g/dm}^3$ i temperaturze od 21 do 40°C na wypływie z ujęć. Otworem Wilga IG-1 uzyskano wody Cl-Na pozbawione składników swoistych o wyraźnie niższej mineralizacji ogólnej, wynoszącej $3,5\text{ g/dm}^3$. W Nałęczowie za lecznicze uznano wody swoiste

$\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg-Fe}$ o mineralizacji ogólnej poniżej 1 g/dm^3 . Zostały one ujęte z górnokredowych wapieni i opok źródłami i otworem wiertniczym o głębokości 60 m.

Na monoklinie przedsudeckiej wody lecznicze udokumentowano w trzech złożach: w Łagowie Lubuskim, Trzebnicy i Wołczynie. W Łagowie Lubuskim z piaskowców jury dolnej, których strop zalega na głębokości około 600 m, uzyskano wody Cl-Na o mineralizacji ogólnej wynoszącej 6 g/dm^3 . Temperatura wód na wypływie z ujęcia przekracza nieznacznie 20°C . Z triasu dolnego wody lecznicze udostępniono do wydobywania otworem Trzebnica IG-1. W piaskowcach przewarstwionych ilowcami, występujących na głębokości 1000–1300 m, stwierdzono wody typu Cl-Na-Ca o mineralizacji ogólnej 18 g/dm^3 i temperaturze 37°C na wypływie z ujęcia. Z kolei w Wołczynie na zbliżonej głębokości ujęto wody lecznicze występujące w utworach dolnotriasowo-permsko-karbońskich (piaskowce i zlepieńce). Wody te odznaczają się podobną charakterystyką chemiczną do wód leczniczych znanych z Trzebnicy, mają od nich niewiele wyższą mineralizację ogólną i temperaturę oraz wyższe stężenie jonów Fe^{+2} , pozwalające zaliczyć je do wód żelazistych.

Region górnośląski charakteryzuje się znacznym przeobrażeniem naturalnych warunków hydrogeologicznych, wywołanych działalnością górnictwa prowadzoną od 200 lat. Odwodnienia kopalniane przyczyniają się do spadku ciśnień piezometrycznych oraz zmian naturalnych kierunków i prędkości przepływu wód podziemnych, pociągając za sobą zmiany warunków hydrochemicznych (Różkowski, 2001, 2003; Szczepański, Różkowski, 2007). Wody zmineralizowane, chlorkowe lub siarczanowe, występują niemal w całym profilu stratygraficznym, a ich mineralizacja ogólna wzrasta wraz z głębokością. Za lecznicze w obrębie regionu uznano jedynie wody ujęte w Krzeszowicach. W utworach miocenu stwierdzono tam występowanie wód typu $\text{SO}_4\text{-Ca-Mg-S}$ o mineralizacji ogólnej $2,6\text{--}3,0\text{ g/dm}^3$.

Sudety

Sudety, wraz z blokiem przedsudeckim, są obszarem szczególnym pod względem występowania złóż wód leczniczych. Mozaikowy styl budowy geologicznej sprawia, że w złożach położonych w niewielkiej odległości od siebie występują wody

o zróżnicowanym składzie chemicznym i odmiennej dynamice przepływu. Złożona budowa geologiczna, wynikająca ze zróżnicowania litologicznego, stopnia diagenety oraz zaangażowania tektonicznego, odgrywa zasadniczą rolę w kształtowaniu warunków hydrogeologicznych. Istotny wpływ ma zwłaszcza tektonika blokowa oraz silnie rozwinięta sieć spękań i stref nieciągłości tektonicznych. Wody lecznicze występują w systemach szczelinowych, rzadziej w warstwach szczelinowo-porowych, zbudowanych ze spękanych, zmetamorfizowanych przedperm-skich skał wulkaniczno-osadowych i magmowych, a w nieckach śródsudeckiej i zewnętrznosudeckiej, także w zalegających na nich mezozoicznych skałach osadowych. Poszczególne sieci spękań łączą się w systemy szczelin, stanowiących drogi przepływu podziemnego o zasięgu regionalnym, prowadzących wody nawet na znacznych głębokościach, dochodzących do 2000 m (Ciężkowski, 1990; Dowgiałło, Fistek, 2007). Wśród nich wyróżnia się kilka zróżnicowanych głębokościowo stref wodonośnych, wzajemnie połączonych, tworzących wielostrefowy układ hydrodynamiczny, z którego wody lecznicze wypływają zazwyczaj samoczynnie w postaci źródeł lub są wydobywane samowypływem za pomocą otworów wiertniczych, z których najgłębszy (C-1 w Jeleniej Górze-Cieplicach) osiągnął głębokość 2002,5 m (Ciężkowski i in., 2016b). Częstymi zjawiskami, spotykanymi w następstwie takich warunków, są anomalie hydrochemiczne i współwystępowanie wód leczniczych z wodami zwykłymi (Ciężkowski, 1990; Przylibski, 2005). Strefę drenażu dla lokalnych, przejściowych i regionalnych systemów przepływu, stanowią struktury obniżone, takie jak: niecki, synkliny, rowy tektoniczne i zapadliska (Staśko, Michniewicz, 2007). W obrębie bloku przedsudeckiego wody lecznicze występują w rejonach obniżen podłoża krystalicznego, wypełnionych osadami mezozoicznymi i kenozoicznymi.

W Sudetach występują dwa podstawowe rodzaje wód leczniczych: szczawiny i wody kwasowęgłowe oraz unikatowe w skali kraju wody radonowe. Poza wymienionymi, udokumentowano tu również wody siarczkowe oraz wody swoiste innych typów – żelaziste, fluorkowe, krzemowe. Wody lecznicze w Sudetach często charakteryzują się podwyższoną temperaturą ($>20^\circ\text{C}$ na wypływie z ujęcia). Ogółem

w Sudetach i na bloku przedsudeckim znajduje się 19 złóż wód leczniczych. Pod względem chemicznym wody lecznicze zazwyczaj reprezentują typ $\text{HCO}_3\text{-Ca-(Mg)-(Na)}$ oraz $\text{HCO}_3\text{-Na-(Ca)-(Mg)}$, rzadziej $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na-Ca}$ lub $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca-Na-(Mg)}$. Brak jest natomiast powszechnie spotykanych na innych obszarach Polski silnie zmineralizowanych wód chlorkowych. Cechą wspólną sudeckich wód leczniczych jest ich stosunkowo niska mineralizacja ogólna, wynosząca od poniżej 1 do kilku g/dm^3 , maksymalnie niespełna 10 g/dm^3 w Grabinie, wynikająca z charakteru ośrodka skalnego, w którym występują oraz o dużej odnawialności ich zasobów. Wszystkie wody lecznicze Sudetów są pochodzenia infiltracyjnego, choć ich „wiek” jest zróżnicowany, od kilku lat w przypadku wód radonowych płytkiego krążenia, poprzez dziesiątki i setki lat dla większości szczaw, do tysięcy lat dla wód leczniczych o podwyższonej temperaturze.

W Sudetach wody zawierające wolny dwutlenek węgla występują w subregionie śródsudeckim (obszar kłodzki i obszar wałbrzyski), w rejonie izerskim oraz na bloku przedsudeckim w rejonie niemożlińskim (Paczyński, Płochniewski, 1996; Przylibski, 2005). Występowanie szczaw i wód kwasowęglowych jest związane z obecnością rozległych stref dyslokacyjnych, wyprowadzających z dużych głębokości juwenilny dwutlenek węgla. W obszarze kłodzkim wyróżnia się trzy strefy o zróżnicowanych warunkach hydrostrukturalnych: rów górnej Nysy, metamorfik Gór Bystrzyckich i synklina Kudowy. Złoża wód leczniczych w rowie Nysy Kłodzkiej występują w: Polanicy-Zdroju, Starym Wielisławiu i Gorzanowie. W 2020 r. udokumentowano nowe złożo wód leczniczych w Starej Łomnicy o jednych z większych zasobach szczaw i wód kwasowęglowych w Polsce – łączna wielkość zasobów eksploatacyjnych z sześciu otworów wiertniczych wynosi $101,3 \text{ m}^3/\text{h}$ (Poprawski, Kaniowski, 2020). Poziomami wodonośnymi są tu silnie spękane piaskowce kredy górnej, zasilane w obrębie wychodni na obrzeżach rowu. Są to wody typu $\text{HCO}_3\text{-Ca-(Na)}$ o mineralizacji ogólnej dochodzącej maksymalnie do $2,7 \text{ g/dm}^3$. Na obszarze metamorfiku Gór Bystrzyckich złoża szczaw występują w spękanych gnejsach i łupkach tyczkowych w Dusznikach-Zdroju, Szczawinie i Długopolu-Zdroju. Wody te należą do typu

$\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, lokalnie $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na-(Mg)}$ i charakteryzują się zbliżoną mineralizacją ogólną do wód znanych z rowu Nysy Kłodzkiej, większą zawartością wolnego CO_2 i wyższym stężeniem dwuwartościowego żelaza, a w jednym z ujęć w Dusznikach-Zdroju (GT-1) także podwyższoną temperaturą (35°C na wypływie z ujęcia). W synklinie Kudowy (złożo Kudowa-Zdrój) poziom wodonośny tworzą osady kredy górnej, jednak właściwy proces formowania się szczaw zachodzi w obrębie podłoża krystalicznego. Są to wody typu $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$ o mineralizacji ogólnej od $1,1$ do $6,0 \text{ g/dm}^3$. W obszarze wałbrzyskim szczawy są znane ze skał osadowych karbonu i udokumentowano je w Szczawnie-Zdroju, Jedlinie-Zdroju, Starych Rochowicach i Starych Bogaczowicach. Są to przeważnie wody typu $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na-(Mg)}$ o mineralizacji ogólnej od $0,6$ do $6,7 \text{ g/dm}^3$. Wyjątek stanowią wody typu $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na-Ca}$ (tzw. wody glauberskie) ujęte w Starych Rochowicach. W rejonie izerskim występowanie wód leczniczych jest związane z krzyżującymi się strefami uskokuowymi w obrębie staropaleozoicznych granitognejsów (Czerniawa-Zdrój, Świeradów-Zdrój). Wody te charakteryzują się typem $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ i mineralizacją ogólną od $0,2$ do ponad $3,0 \text{ g/dm}^3$. Charakterystyczna dla omawianego rejonu jest powszechna zawartość w wodach radonu, wynikająca z mieszania się w strefie przypowierzchniowej szczaw z wodami radonowymi.

Wody radonowe w Sudetach występują dość powszechnie, a ich obecność jest związana ze skałami krystalicznymi (Przylibski, 2005, 2007, 2013). Gaz ten rozpuszcza się głównie w słabo zmineralizowanych wodach płytkiego krążenia i współczesnej infiltracji. Maksymalne stężenie radonu w wodach leczniczych prowincji sudeckiej stwierdzono w jednym ze źródeł w Świeradowie-Zdroju, gdzie jego zawartość przekraczała 2000 Bq/dm^3 . Radon obecny w wodach emanuje ze skał w bezpośrednim otoczeniu strefy drenażu, natomiast obszary zasilania tego typu wód są zazwyczaj niewielkie. Radonowe wody lecznicze zostały udokumentowane w: Łądku-Zdroju, Czerniawie-Zdroju, Świeradowie-Zdroju, Sosnowce, Jeleniej Górze (Jeleniej Górze-Cieplicach), Jedlinie-Zdroju, Długopolu-Zdroju, Szczawinie i Szczawnie-Zdroju. W obrębie bloku przedsudeckiego nisko zmineralizowane wody radonowe, w tym także siarczkowe, typu $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ udokumentowano w Przerzecznicy-Zdroju (Dowgiałło, Fistek, 2007; Przylibski, 2007).

Możliwość infiltracji wód opadowych na znaczne głębokości stwarza dogodne warunki do ich ogrzania, w efekcie czego niektóre z wód leczniczych wyróżniają się wysoką temperaturą. Głębokość przepływu wód leczniczych oszacowano na co najmniej 2500–3000 m, a w okolicach Łądko-Zdroju na ponad 4000 m (Ciężkowski i in., 2011a). Wody lecznicze o podwyższonej temperaturze występują w Łądku-Zdroju, gdzie maksymalna temperatura na wypływie z ujęcia L-2 osiąga 45°C i w Jeleniej Górze-Cieplicach, w których z ujęcia C-1 uzyskano wody o temperaturze na wypływie blisko 88°C. Wody te charakteryzują się niską mineralizacją ogólną, często też mogą zawierać składniki swoiste, takie jak dwutlenek węgla, radon, fluorki, siarczki i kwas metakrzemowy. Z uwagi na specyficzne warunki formowania się ich dynamiki, składu chemicznego i temperatury, obszar występowania wód leczniczych o podwyższonej temperaturze w obrębie prowincji sudeckiej wyróżniono jako sudecki region geotermiczny (Dowgiało, 2001).

W regionie bloku przedsudeckiego wody lecznicze udokumentowano jedynie w Przerzeczynie-Zdroju i Grabinie. W Przerzeczynie-Zdroju występują nisko zmineralizowane wody typu $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, radonowe i siarczkowe, ujęte z paleozoicznych granodiorytów, serpentynitów oraz gnejsów strefy dyslokacyjnej Niemczy (Dowgiało, Fistek, 2007; Przylibski, 2007). W Grabinie natomiast, z zaburzonych tektonicznie paragnejsów, występujących pod przykryciem osadów kredy, ujęto szczawy o podwyższonej temperaturze. Pod względem chemicznym są to wody typu $\text{HCO}_3\text{-Na-Mg}$, krzemowe, o temperaturze na wypływie wynoszącej 31°C (Przylibski, 2005, 2007; Ciężkowski i in., 2011b).

Karpaty

Skomplikowana budowa geologiczna oraz silne zaangażowanie tektoniczne Karpat i ich przedgórze sprawiają, że warunki występowania wód leczniczych w obrębie prowincji karpackiej charakteryzują się znacznym zróżnicowaniem. Objawia się to różnorodnością typów wód, wśród których wyróżnia się m.in. szczawy i wody kwasowęglowe (w tym tzw. zuberzy), wody jodkowe i wody siarczkowe. Wody lecznicze występują niemal w całej prowincji, często współwystępując z wodami zwy-

kłymi, z wyjątkiem pienińskiego pasa skałkowego i Tatr.

Występujące w obrębie zapadliska przedkarpackiego wody lecznicze charakteryzują się różnorodnością składu chemicznego oraz skomplikowaną genezą. Decydujące znaczenie w kształtowaniu warunków hydrogeologicznych odgrywa tu blokowo-fałdowy styl budowy geologicznej z licznymi uskokami, stanowiącymi niekiedy dogodne drogi przepływu wód podziemnych oraz mieszania się wód z różnych warstw wodonośnych. Występowanie wód leczniczych zapadliska przedkarpackiego, głównie wód siarczkowych i jodkowych, jest związane z utworami miocenu, kredy, jury, karbonu oraz dewonu. Znajdują się tu 22 złoża wód leczniczych, głównie w północnej, brzeżnej części zapadliska. Najczęściej ujmowany jest zbiornik mioceński, zbudowany z piasków, piaskowców i wapieni z ewaporatami gipsowo-solnymi, solami kamiennymi i anhidrytami. W rejonie Krakowa (Kraków-Łagiewniki, Kraków-Opatkowice, Kraków-Mateczny, Swoszowice, Lusina, Krzeszowice) oraz w Łatoszynie i Lipie złoża leczniczych wód siarczkowych występują płytko, przeważnie na głębokości około 20–40 m, w Lusinie i Opatkowicach głębiej 80–130 m. Ich mineralizacja ogólna dochodzi do 4 g/dm³, w Opatkowicach – gdzie występują wody pozbawione siarkowodoru – 7 g/dm³. W południowo-zachodniej części zapadliska, w Dębowcu i Zabłociu, ujęto silnie zmineralizowane wody typu Cl-Na,I lub Cl-Na-Ca,I . Wody lecznicze typu Cl-Na są znane także z podziemnego wypływu w kopalni soli w Wieliczce oraz z Rzeszowa, gdzie zostały niegdyś ujęte dwoma studniami na terenie szpitala. Są one związane z warstwami dębowieckimi oraz piaszczysto-mułkowymi poziomami badenu dolnego. Wody te charakteryzuje wysoka mineralizacja ogólna, osiągająca miejscami ponad 150 g/dm³ oraz podwyższona zawartość jodu, lokalnie nawet mogąca mieć znaczenie przemysłowe. We wschodniej części zapadliska wody siarczkowe, o zdecydowanie niższej mineralizacji, występują w Horyńcu-Zdroju.

Górnokredowy, porowo-szczelinowy zbiornik wód leczniczych w obrębie zapadliska przedkarpackiego tworzą spękane piaskowce cenomanu oraz, w mniejszym stopniu, wapienie i margle senonu, które zalegają przeważnie na głębokości kilkuset metrów. Wydobywa się z nich wody Cl-Na,I w tym

wody siarczkowe. Miąższość warstw wodonośnych cenomanu w centralnej części zapadliska osiąga ponad 100 m. Typowe dla tej strefy basenu są powszechnie panujące warunki subartezyjskie i artezyjskie. Mineralizacja ogólna wód w stropie zbiornika wynosi najczęściej kilkadziesiąt g/dm³, przy czym w strefie nasunięcia płaszczowin karpackich jest obserwowany jej wzrost do ponad 150 g/dm³. W rejonie Buska-Zdroju i Solca-Zdroju, gdzie złoża wód siarczkowych występują najliczniej (Busko II, Busko-Północ, Dar Natury, Dobrowoda, Konstantynów, Las Winiarski, Solec-Zdrój, Wełnin), ich mineralizacja ogólna dochodzi do niemal 40 g/dm³. W Busku-Zdroju lecznicze wody siarczkowe mają podwyższoną temperaturę, dochodzącą do około 26°C na wypływie z ujęcia. Cechą charakterystyczną tej części zapadliska przedkarpackiego jest obecność uskoków, tworzących bloki, niekiedy izolowane od siebie, w których panują zróżnicowane warunki hydrodynamiczne (Lisik, 2010; Lisik, Szczepański, 2014, 2018; Dendys, 2018; Gągulski i in., 2018). W piętrze jurajskim, zbudowanym z wapieni i margli, występują wody typu Cl-Na. Warunki hydrodynamiczne panujące w zbiorniku jurajskim są zróżnicowane, podobnie jak jego miąższość, która w centralnej części zbiornika przekracza 500 m. Wydobywanie wód z tego poziomu ma miejsce w Busku-Zdroju, gdzie występują wody typu Cl-Na, I, (F), (Fe) o mineralizacji ogólnej od około 20 do ponad 70 g/dm³. W Wełninie z utworów jury górnej ujęto wody siarczkowe o mineralizacji ogólnej od 29 do 38 g/dm³ i jednym z najwyższych stężeń siarkowodoru w Polsce, osiągającym 960 mg/dm³ (Lipiec, Wiktorowicz, 2015). Zasadnicze formowanie się składu chemicznego wód siarczkowych tego obszaru zachodzi w obrębie osadów kredy górnej, a także w utworach gipsowych stanowiących ich nadkład. W utworach karbonu zapadliska przedkarpackiego występują wysoko zmineralizowane wody Cl-Na, o podwyższonym stężeniu jodu. Ich mineralizacja ogólna zmienia się w szerokich granicach, od kilkunastu do 250 g/dm³. Właściwości hydrauliczne utworów wodonośnych są niekorzystne. Potencjalne wydajności ujęć są niskie i tylko sporadycznie przekraczają 10 m³/h przy depresji rzędu kilkadziesiątu metrów. Wody lecznicze z utworów karbonu górnego są wydobywane w Goczałkowicach-Zdroju. Warstwa wo-

donośna jest tam zbudowana z piaskowcowych przewarstwień występujących wśród łowców, mułowców i pokładów węgla kamiennego. Ujęte w uzdrowisku wody lecznicze reprezentują typ Cl-Na, I, Fe, a ich mineralizacja ogólna osiąga maksymalnie około 76 g/dm³.

Największym bogactwem wód leczniczych charakteryzują się Karpaty zewnętrzne, zwane też fliszowymi. Dotychczas udokumentowano tu 39 złóż wód leczniczych, głównie cenionych w balneoterapii i przemyśle rozlewniczym szczaw i wód kwasowęglowych. Poza tym występują tu wody Cl-Na, I i wody siarczkowe. Wody lecznicze są ujmowane przede wszystkim z utworów fliszowych, zbudowanych z naprzemianległych warstw piaskowców i łupków. Miejscami wody te udokumentowano również w podłożu nasunięcia Karpat – w paleozoicznych osadach dewonu i karbonu. Główną rolę w kształtowaniu warunków hydrogeologicznych Karpat fliszowych odgrywa silnie rozwinięta sieć spękań i szczelin. Warunki krążenia wód dodatkowo zaburzają deformacje tektoniczne typu fałdowego i uskoku. Uskoki te mogą stanowić zarówno dogodne drogi przepływu wód podziemnych, jak i mogą mieć charakter nieprzepuszczalnych barier (Rajchel, 2012). Wraz ze wzrostem głębokości obserwuje się zaciskanie szczelin, utrudniające przepływ i wymianę wód. Na obszarze fliszu karpackiego głębokość strefy aktywnej wymiany określono na około 60–80 m, głębiej przepływ wód jest możliwy jedynie w strefach dyslokacji tektonicznych (Chowaniec, 2009). Zawodnienie masywu fliszowego jest więc w głównej mierze uwarunkowane stopniem zeszczelinowacenia, porowatość ośrodka skalnego odgrywa drugorzędną rolę. Duży udział skał ilastych często powoduje wypełnienie szczelin prowadzących wodę, co przekłada się na niskie wydajności eksploatacyjne ujęć (Hajto, 2011). Poziom fliszowy jest zasilany bezpośrednio przez infiltrację opadów atmosferycznych, podrzędnie również w wyniku infiltracji wód powierzchniowych oraz przez dopływ wód z głębszych systemów krążenia. Przepływ wód podziemnych odbywa się w kierunku dolin większych rzek, natomiast lokalnymi strefami drenażu są doliny potoków i towarzyszące im źródła (Chowaniec, 2009; Rajchel, 2012). Złożona budowa geologiczna Karpat fliszowych przejawia

się występowaniem wód leczniczych o różnej genezie (monogenicznych i poligenicznych) i zróżnicowanym składzie chemicznym oraz strefowością hydrochemiczną, zaznaczającą się nie tylko w profilu, lecz również w zasięgu przestrzennym. Karpackie wody lecznicze współwystępują ponadto z wodami zwykłymi, często w płytkich, przypowierzchniowych warstwach wodonośnych (m.in. w dolinie Popradu). Na podstawie zróżnicowania genetycznego typów wód leczniczych wyróżnia się tu trzy strefy hydrochemiczne: centralną, przejściową oraz zewnętrzną (brzeżną). W strefach centralnej i przejściowej występują szczawy i wody kwasowęglowe, natomiast w strefie zewnętrznej przede wszystkim wysoko zmineralizowane wody chlorkowe i siarczkowe (Węclawik, 1991; Chowaniec, 2009). Do strefy centralnej, związanej z przypowierzchniowym występowaniem tzw. szczaw zwykłych (prostych) pochodzenia infiltracyjnego zalicza się obszar dorzecza Popradu od Tylicza po Głębokie. Zazwyczaj są to wody o stosunkowo niskiej mineralizacji ogólnej, mieszczące się w przedziale od 0,6 do 6 g/dm³, typu HCO₃-Ca-(Mg). Wody te, obok wolnego dwutlenku węgla, często zawierają także inne składniki swoiste, jak żelazo (II) i kwas metakrzemowy. Dwutlenek węgla, występujący w wodach leczniczych w ilości od około 300 do niespełna 3000 mg/dm³, migruje z głębi Ziemi ku powierzchni terenu przez głębokie strefy uskokowe, gdzie przenika do infiltrujących wód (Ciężkowski, 2002; Chowaniec, 2009). W hydrochemicznej strefie centralnej szczawy proste rozpoznano w wielu złożach/strukturach hydrogeologicznych na terenie miejscowości: Głębokie, Piwniczna-Zdrój, Łomnica-Zdrój, Wierchomla Wielka, Zubrzyk, Żegiestów-Zdrój, Andrzejówka, Milik, Muszyna, Złockie, Szczawnik, Leluchów, Jastrzębik, Powroźnik, Wojkowa, Tylicz i Krynica-Zdrój. Wody te wypływają samoczynnie w postaci źródeł oraz są ujmowane studniami, których głębokość zazwyczaj nie przekracza 200 m. Strefa przejściowa obejmuje rejon występowania tzw. szczaw chlorkowych (złożonych). Przeważają tu wody typu HCO₃-Cl-Na-(Ca) o mineralizacji ogólnej od 1 do 28 g/dm³. Wody te często zawierają w swoim składzie także jodki oraz żelazo (II) w stężeniach farmakodynamicznie czynnych. Szczawy chlorkowe są drenowane w sposób naturalny przez źródła oraz ujmowane studniami,

szybami i sztolniami w Szczawie, Szczawnicy, Krościenku n. Dunajcem i Wysowej-Zdroju, a ich stosunkowo płytkie występowanie wiąże się z ascenzyjnym dopływem wód głębszego krążenia (Chowaniec, 2009; Rajchel, 2012). Szczawy chlorkowe charakteryzujące się unikatowym składem chemicznym, tzw. zuby, rozpoznano w Krynicy-Zdroju. Występują one na większych głębokościach i zostały ujęte otworami Zuber I-IV. Są to wody typu HCO₃-Na o podwyższonej zawartości jodków i mineralizacji ogólnej od około 22 do 27 g/dm³. Mieszanie się różnych składowych genetycznych zachodzi w tym przypadku na głębokości kilkuset metrów w warunkach wolnego przepływu i dużych ciśnień parcjalnych dwutlenku węgla (Zuber, 2007b; Chowaniec, 2009). Szczawy chlorkowe występują także w obrębie płaszczowiny śląskiej (Lubatówka, Iwonicz-Zdrój, Rymanów-Zdrój, Rabe), a ich powstanie jest związane ze złożami ropy naftowej. Wody te reprezentują typ chemiczny Cl-HCO₃-Na lub HCO₃-Cl-Na i odznaczają się mineralizacją ogólną rzędu 3-22 g/dm³ oraz niewielką w porównaniu do płaszczowiny magurskiej zawartością dwutlenku węgla (do 1,4 g/dm³). W wodach tych również występują inne składniki swoiste, na ogół jod, rzadziej żelazo (Fe⁺²) i siarkowodor w niewielkich stężeniach do 2 mg/dm³ (Rajchel, 2012). W Lubatówce (otwory nr 12 i 14) wody te mają podwyższoną temperaturę, dochodzącą do 25°C na wypływie. Ze względu na obecność bituminów oraz niższe stężenia dwutlenku węgla w porównaniu do pozostałych szczaw w strefie przejściowej, szczawy chlorkowe Iwonicza-Zdroju, Lubatówki, Rymanowa-Zdroju oraz Rabego bywają zaliczane do hydrochemicznej strefy brzeżnej, otaczającej strefę przejściową. W jej granicach dominują wody typu Cl-Na, lokalnie występują wody siarczkowe, brak jest natomiast szczaw. Mineralizacja ogólna wód chlorkowych jest znacznie wyższa niż w strefie przejściowej, również w wyższych stężeniach występuje jod, pojawiają się także w tych wodach ślady bituminów. Wody lecznicze strefy brzeżnej udokumentowano w Rabce-Zdroju, Soli i Rajczy. Są to wody typu Cl-Na, I o mineralizacji ogólnej od 2,5 do 40 g/dm³, w Rabce-Zdroju o podwyższonej temperaturze, wynoszącej na wypływie z ujęcia Rabka IG-2 do 28°C, a w Soli zawierającej ponadto CO₂ w ilości ponad 900 mg/dm³. Wody lecznicze podobnego typu chemicznego występują

również w podłożu Karpat fliszowych, w dolomitach i wapieniach dewonu, miejscami będących w łączności hydrodynamicznej z horyzontami wodonośnymi miocenu. Ich zasoby udokumentowano w Ustroniu i Jaworzu. Są to wody typu Cl-Na-(Ca), I, Fe o mineralizacji ogólnej 108–146 g/dm³, w Ustroniu zawierające ponadto fluorki w ilości powyżej 2 mg/dm³. Temperatura wód leczniczych na wypływie z ujęć wynosi 21–23°C w Ustroniu i 23–32°C w Jaworzu. Niezależnie od jednostek tektonicznych na obszarze Karpat fliszowych występują złoża wód siarczkowych płytkiego krążenia (Rajchel, 2000, 2012), udokumentowane w Wapiennym, Komańcy, Lesku oraz Czarnej Górze. Są to wody typu HCO₃-(Cl)-Ca-(Mg)-(Na) o mineralizacji ogólnej nieprzekraczającej 1,6 g/dm³ i stosunkowo niewysokim stężeniu siarkowodoru, dochodzącym maksymalnie do 12 mg/dm³.

3.5. KOPALINY TOWARZYSZĄCE

Małgorzata Sosnowska

Z dokumentowaniem złóż i wydobywaniem z nich wód leczniczych nierozdzielnie jest związany problem kopalin towarzyszących. W przypadku sporządzania dokumentacji geologicznych dla złóż kopalin stałych, ropy naftowej i gazu ziemnego, przepisy PGiG nakładają obowiązek przedstawienia w nich informacji dotyczących kopalin towarzyszących (art. 89, ust. 2, pkt 1). W odniesieniu do wód leczniczych zastosowanie mają jednak przepisy dotyczące dokumentacji hydrogeologicznej (art. 89, ust. 2, pkt 3), w których brak jest konkretnych uregulowań prawnych dotyczących kopalin towarzyszących.

W rozumieniu nauk geologiczno-górnich jest kopaliną towarzyszącą jest uważana kopalina, która występuje w granicach złoża innej kopaliny, określanej jako „główna” i która po wydobyciu staje się użytecznym surowcem mineralnym, mimo że nie była przedmiotem specjalnego poszukiwania i rozpoznawania (Nieć, 1994; Wyrwicki, 2002). Odrębne wydobycie kopaliny towarzyszącej wydaje się być na ogół niemożliwe, a jej pozyskiwanie przynosi wymierne korzyści gospodarcze wyłącznie z wydobywania kopaliny głównej z udokumentowanego złoża. Kopalina towarzysząca musi zarazem mieć odpowiednie właściwości (rodzaj i jakość), tworzyć samodzielne nagromadzenia, występować w sposób umożli-

wiający jej selektywne wydobycie lub separację z urobku za pomocą znanych środków technicznych oraz wykazywać przydatność surowcową po wydobyciu, czyli tzw. wartość użytkową wynikającą z zapotrzebowania. Warunkiem decydującym o uznaniu kopaliny za towarzyszącą jest również stwierdzenie jej obecności w ilości uzasadniającej wykorzystanie, czyli rozpoznanie wielkości zasobów i wystarczalności dla pokrycia popytu (Nieć, 1994, 2010). Istotną kwestię w geologii złożowej i górnictwie w przypadku kopalin towarzyszących stanowi odróżnienie od nich składników użytecznych towarzyszących. Składniki towarzyszące występują wspólnie z innymi składnikami w kopalinie, lecz nie tworzą samodzielnych nagromadzeń. Mimo że mogą stanowić użyteczny surowiec mineralny, są możliwe do odzysku tylko w wyniku przeróbki kopaliny (Nieć, 2010). W takim ujęciu za składnik użyteczny, spełniający kryteria towarzyszącego w przypadku złóż wód leczniczych, można uznać m.in. wydobywany z nimi endogeniczny dwutlenek węgla (Ciężkowski i in., 2004). W literaturze hydrogeologicznej CO₂ jest najczęściej traktowany jednak jako kopalina towarzysząca, mimo że w kwestii formalno-prawnej, według ustawy PGiG, nie został on jak dotąd uznany za kopalinę lub jako kopalina współwystępująca, gdyż gaz ten na dużych głębokościach jest całkowicie rozpuszczony w wodach leczniczych. W odniesieniu do wód leczniczych wymagane jest zatem uzgodnienie podstawowych terminów stosowanych jednocześnie w hydrogeologii oraz w geologii złożowej i górnictwie.

Wody lecznicze, jako szczególny typ kopaliny, charakteryzują się dużym zróżnicowaniem składu chemicznego. Oprócz rozpuszczonych w nich substancji stałych i CO₂, w wodach pojawiają się także inne gazy, jak: siarkowodor, azot i metan, mogące – tak jak w przypadku wydobywania dwutlenku węgla – stanowić po jego separacji użyteczny surowiec mineralny. Dwutlenek węgla jest zaliczany do składników swoistych, nadających wodom charakter leczniczy. Poza balneoterapię dwutlenek węgla znajduje również wiele zastosowań w różnych dziedzinach gospodarki. Jest stosowany głównie w przemyśle chemicznym, farmaceutycznym, rolno-spożywczym, m.in. do nasycania napojów i wód butelkowanych, mrożenia produktów spożywczych, w browarnictwie, a także do celów gaśniczych. W Polsce pozyskiwanie

naturalnego dwutlenku węgla z nasyconych nim wód leczniczych na skalę przemysłową odbywa się w Dusznikach-Zdroju (otwory Pieniawa Chopina, Jan Kazimierz, B-4 i B-39) oraz w Krynicy-Zdroju (otwory Zuber I-IV). Zawartość CO_2 w wodach wymienionych ujęć wynosi od 1600–1700 mg/dm^3 w Dusznikach-Zdroju do 2100–2700 mg/dm^3 w Krynicy-Zdroju. Gaz wydobywany w Dusznikach-Zdroju charakteryzuje się dużą czystością (99,9%) i nie wymaga dodatkowego oczyszczania oraz magazynowania, dlatego też po skropleniu jest nalewany bezpośrednio do butli. Czystość dwutlenku węgla pozyskiwanego w Krynicy-Zdroju wynosi około 96%. Jest on zanieczyszczony metanem, azotem i siarkowodorem, stąd istotne znaczenie przy produkcji ciekłego CO_2 odgrywa proces jego uzdatniania (Duliński, Ropa, 2005). W zakładach w Dusznikach-Zdroju i Krynicy-Zdroju łącznie skrapla się około 3% endogenicznego dwutlenku węgla wydobywającego się ze złóż wód leczniczych w kraju (Ciężkowski, 2002).

Szerokie zastosowanie naturalnego dwutlenku węgla dyktuje potrzebę określenia w sposób formalny jego zasobów, czyli ilości gazu możliwej do uzyskania z poszczególnych ujęć. Mimo że gaz ten według przepisów prawa nie jest uznany za kopalinę, podczas dokumentowania zasobów eksploatacyjnych niektórych szcaw określono także zasoby eksploatacyjne występującego w nich CO_2 , traktując go jako kopalinę towarzyszącą złożom wód leczniczych. Oszacowanie ilości endogenicznego dwutlenku węgla wydobywającego się z ujęć wód leczniczych ma również istotne znaczenie dla racjonalnego wydobywania szcaw i ochrony ich zasobów (Żak i in., 2008). Jak dotąd na terenie kraju zasoby dwutlenku węgla jako kopaliny towarzyszącej wodom leczniczym udokumentowano w Krynicy-Zdroju (Ciężkowski i in., 1999), Dusznikach-Zdroju (Fistek, Fistek, 1998) oraz w Grabinie (Czerski i in., 1990) w łącznej ilości około 505 m^3/h . W poszczególnych złożach zasoby eksploatacyjne CO_2 zostały określone w różny sposób (w m^3/d , w kg/h i w formie wykładnika gazowego w m^3/m^3), jednak mając na uwadze fakt, że pozyskiwanie dwutlenku węgla odbywa się łącznie z wydobywaniem szcaw, sposób postępowania przy jego dokumentowaniu powinien odpowiadać procedurom ustalonym dla wód leczniczych. Zagadnienia związane z występowaniem, do-

kumentowaniem i wydobywaniem endogenicznego dwutlenku węgla w Polsce szczegółowo omówiono w pracy pod redakcją Ciężkowskiego (2002).

Pozostałe gazy występują w wodach leczniczych w niewielkich ilościach. W Zabłociu z otworów Korona i Tadeusz wydobywa się metan w ilości około 0,4–0,6 m^3 na metr sześcienny wody, przy czym zasoby eksploatacyjne wód wynoszą zaledwie 0,48 m^3/h .

Wysoko zmineralizowane wody lecznicze mogą być traktowane jako potencjalne źródło pierwiastków. Obecnie w kraju nie prowadzi się działalności polegającej na ich odzyskiwaniu z wód, jednak w przyszłości wody lecznicze mogłyby stać się surowcem do pozyskiwania wybranych pierwiastków użytecznych, takich jak: jod, brom, lit, stront, magnez, potas lub pierwiastki ziem rzadkich (Zamojcin, 2012, 2014; Porowski, Kaczor-Kurzaś, 2016; Sapińska-Słiwa i in., 2016; Uliasz-Misiak, 2016; Winid i in., 2018; Sokołowski, Skrzypczyk, 2020b). Możliwości wykorzystania silnie zmineralizowanych wód podziemnych do produkcji pierwiastków na skalę przemysłową od dawna stanowiły w Polsce przedmiot zainteresowań naukowców i technologów, jednak badania te nigdy nie wyszły poza fazę eksperymentalną. W przeszłości w Dębowcu oraz Łąpczycy prowadzono doświadczalną produkcję jodu, aktualnie trwają badania nad opracowaniem ekonomicznie opłacalnego odzysku pierwiastków ziem rzadkich z wód kopalnianych na obszarze Gór Świętokrzyskich (Migaszewski, Gałuszka, 2019) i monokliny przedsudeckiej (Chudy, Worsza-Kozak, 2017). Obecnie w Polsce z wód leczniczych, m.in. w Ciechocinku, Dębowcu, Zabłociu, Iwoniczu-Zdroju, Goczałkowicach-Zdroju, pozyskuje się tylko sól leczniczą, otrzymywaną metodą panwową przez odparowanie wody.

3.6. ZASOBY I WYKORZYSTANIE WÓD LECZNICZYCH

Jakub Sokołowski, Lesław Skrzypczyk

Dokumentowaniu zasobów wód podziemnych, w tym leczniczych, podlegają dwa główne rodzaje zasobów: dyspozycyjne i eksploatacyjne. Przez zasoby dyspozycyjne rozumie się ilość wód podziemnych możliwą do pobrania z obszaru bilansowego w określonych warunkach środowiskowych i hydrogeologicznych, bez wskazywania szczegółowej lokalizacji

i warunków techniczno-ekonomicznych ujmowania i poboru wód. Zasoby eksploatacyjne natomiast to ilość wód podziemnych możliwa do pobrania z ujęcia w danych warunkach hydrogeologicznych i techniczno-ekonomicznych, z uwzględnieniem zapotrzebowania na wodę i przy spełnieniu wymagań ochrony środowiska.

3.6.1. Zasoby dyspozycyjne wód leczniczych

Dokumentowanie zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych jest ściśle związane z wielkością zasobów dyspozycyjnych obszaru bilansowego, w granicach którego dane ujęcie się znajduje. Określenie zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych jest zadaniem niezwykle trudnym, choć koniecznym z punktu widzenia racjonalnej gospodarki zasobami tych wód (Szczepański, Szklarczyk, 2005). Trudności związane z szacowaniem zasobów dyspozycyjnych wynikają przede wszystkim z niedostatecznego stanu rozpoznania hydrogeologicznego i skomplikowanych warunków hydrogeologicznych, panujących w większości złóż wód leczniczych, w przestrzeni trójwymiarowej, odpowiadającej obszarowi górniczemu. Konieczność przyjmowania daleko idących uproszczeń sprawia, że wiele problemów interpretacyjnych nie jest możliwych do rozwiązania, nawet mimo stale rozwijających się technik modelowania matematycznego (Dendys, 2018; Gągulski i in., 2018). Od czasu opracowania pierwszych dokumentacji hydrogeologicznych ustalających zasoby dyspozycyjne wód leczniczych (Poprawski i in., 1997; Ciężkowski i in., 1999) minęło już ponad 20 lat. Zaproponowane wówczas rozwiązania miały charakter pionierski i przyczyniły się do opracowania pierwszego w kraju poradnika metodycznego (Paczyński, 2002). W późniejszych latach pisali na ten temat także inni (m.in.: Porwisz, Radwan, 2002; Kania i in., 2009a,b; Buszta, Szklarczyk, 2015; Chowaniec i in., 2015a). Z racji znacznego zróżnicowania warunków występowania wód leczniczych i odnawialności ich zasobów przedstawione zasady nie miały uniwersalnego charakteru, opierały się bowiem głównie na doświadczeniach karpaccich. Od tamtego czasu zasoby dyspozycyjne ustalono dla stosunkowo dużej grupy złóż (fig. 3.3), jednak ich wielkość jest często kwestionowana i wymaga weryfikacji. Z braku do-

kładnego monitoringu wód leczniczych nie była też możliwa weryfikacja wyników badań modelowych w czasie oraz prognoza zmian jakości wód. Zasoby dyspozycyjne wód leczniczych ustalono w następujących dokumentacjach:

- *Dokumentacja zasobów dyspozycyjnych i eksploatacyjnych wód podziemnych (zwykłych i leczniczych) na obszarze gmin uzdrowiskowych Krynica, Muszyna i Piwniczna* (Poprawski i in., 1997);
- *Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wód leczniczych i dwutlenku węgla (jako kopaliny towarzyszące) ze złóża w uzdrowisku Krynica oraz ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych (zwykłych oraz leczniczych i o właściwościach leczniczych) w zlewni Krynicańskiej* (Ciężkowski i in., 1999);
- *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych i towarzyszących im lub występujących odrębnie wód potencjalnie leczniczych na obszarze Karpat i zapadliska przedkarpacciego* (Porwisz i in., 2002);
- *Dodatek nr 2 do dokumentacji hydrogeologicznej zasobów wód siarczkowych do celów leczniczych z utworów kredowych w Busku-Zdroju* (Gorczyca i in., 2008);
- *Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód leczniczych Rabki-Zdroju* (Oficjalska i in., 2009);
- *Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód leczniczych i potencjalnie leczniczych Ziemi Kłodzkiej i obszaru jeleniogórskiego* (Kapuściński i in., 2010);
- *Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych w obszarach bilansowych współwystępujących wód leczniczych i zwykłych wód podziemnych w wydzielonym rejonie Karpat – zlewnia Popradu* (Koślacz i in., 2014);
- *Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych (leczniczych i zwykłych) w obrębie zlewni potoków Milik i Andrzejówka* (Chowaniec i in., 2014);
- *Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód leczniczych antykliny*

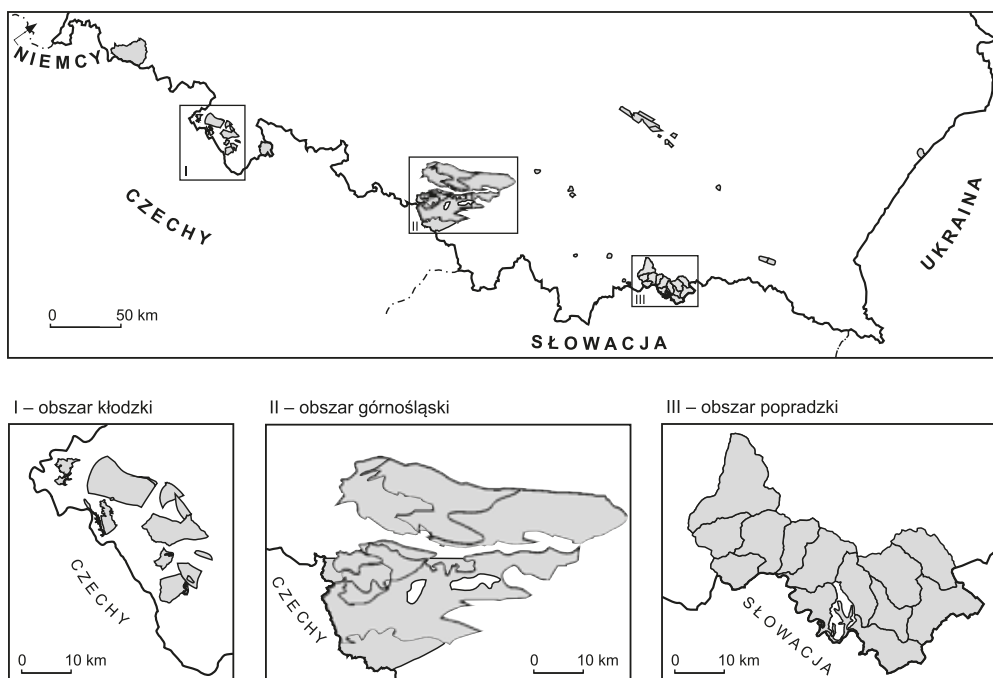


Fig. 3.3. Obszary bilansowe, dla których ustalono zasoby dyspozycyjne wód leczniczych
(granice obszarów bilansowych na podst. Banku Danych Wód Podziemnych Zaliczonych do Kopalin, stan na 31.12.2020 r.)

Iwonicza-Zdroju-Rudawki Rymanowskiej (Chowaniec i in., 2015b);

- *Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód leczniczych zlewni Wilgi – rejon Swoszowice* (Operacz i in., 2015);
- *Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód leczniczych zlewni Wilgi – rejon Mateczny* (Gorczyca i in., 2016);
- *Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód leczniczych, siarczkowych w rejonie Buska-Zdroju i Solca-Zdroju* (Gągulski i in., 2018).

Ustalenie zasobów dyspozycyjnych jest istotne zwłaszcza w rejonach intensywnej eksploatacji, gdzie wydobycie wód leczniczych z sąsiadujących ze sobą złóż prowadzi kilku koncesjonariuszy. Dokumentacje wymienione powyżej stanowią niezbędne narzędzie dla organów administracji geologicznej w celu prowadzenia racjonalnej gospodarki wodami leczniczymi oraz dla przedsiębiorców wydobywających lub zamierzających wydobywać te wody. Dla

tego też w dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych należy zamieścić informację, czy dokumentowany otwór znajduje się w obrębie obszaru bilansowego, dla którego oszacowano zasoby dyspozycyjne. Jeśli tak, należy jego granice pokazać na mapie dokumentacyjnej i hydrogeologicznej, a w części tekstowej zamieścić zestawienie porównawcze zasobów dyspozycyjnych takiego obszaru z zasobami eksploatacyjnymi wszystkich ujęć wód leczniczych w jego obrębie wraz z określeniem dostępnej rezerwy zasobów dyspozycyjnych, a także zestawienie tabelaryczne wielkości wydobycia wody z ujęć i jej zmienności w czasie. Jest to niezwykle istotne w przypadku wód o zasobach nieodnawialnych lub bardzo słabo odnawialnych, gdzie intensywne wydobycie prowadzi do obniżania dopuszczalnego poziomu dynamicznego zwierciadła wody, co może w efekcie doprowadzić do sčerpania zasobów lub zmian składu chemicznego wód (np. rejon Buska-Zdroju).

3.6.2. Zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych

W Polsce udokumentowano 110 złóż wód leczniczych (stan na 31.12.2020 r.), ponadto właściwości lecznicze potwierdzono w przypadku wód termalnych w Uniejowie. Łączna wielkość zasobów eksploatacyjnych wszystkich ujęć wód leczniczych wynosi zaledwie 1927,52 m³/h, w tym na obszarach poszczególnych prowincji: platformy prekambryjskiej (A) $Q_e = 99,00$ m³/h, platformy paleozoicznej (B) $Q_e = 682,07$ m³/h, sudeckiej (C) $Q_e = 609,02$ m³/h i karpackiej (D) $Q_e = 537,43$ m³/h. Średnio w roku marszałkowie województw, a wcześniej minister właściwy do spraw środowiska, zatwierdzają kilka-kilkanaście dokumentacji hydrogeologicznych dotyczących zasobów wód leczniczych (fig. 3.4). W liczbie tej mieszczą się nie tylko dokumentacje ustalające zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych (jednego lub kilku), lecz także dodatki do istniejących dokumentacji oraz dokumentacje geologiczne związane z likwidacją ujęć wód leczniczych. Powodem opracowania części z tych dodatków było wykonanie nowego otworu eksploatacyjnego w obrębie istniejącego już udokumentowanego złoża, w większości dotyczyły one jednak tylko aktualizacji poziomu wydobycia (ciśnienia piezometrycznego lub depresji zwierciadła wody w otworach), ewentualnie aktualizacji wielkości zasobów na podstawie wyników dotychczasowego wydobycia. Głównie dotyczy to wód leczniczych wydobywanych dla potrzeb rozlewni wód butelkowanych. W pojedynczych przypadkach dodatki sporządzono w następstwie rekonstrukcji otworu lub reinterpretacji badań i pojawienia się nowych/odmiennych wyników prac geologicznych, a także w związku z koniecznością wyznaczenia granic obszaru zasobowego lub weryfikacji granic obszaru i terenu górniczego.

Faktyczna liczba dokumentacji, w których ustalono zasoby eksploatacyjne nowych ujęć jest więc jeszcze mniejsza, a przypadki udokumentowania nowych złóż są sporadyczne. W ciągu ostatnich 20 lat udokumentowano 21 nowych złóż wód leczniczych (fig. 3.5). Prace geologiczne związane z dokumentowaniem zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych są w większości prowadzone w obrębie złóż już istniejących.

Poszczególne złoża odznaczają się zróżnicowanym stopniem udokumentowania, uzależnionym od stopnia skomplikowania warunków hydrogeologicznych i wielkości prowadzonego w nich wydobycia. Większość złóż wód leczniczych jest udostępnionych kilkoma ujęciami, jednak w dużej części rozpoznanie to ma charakter punktowy (jednym otworem wiertniczym lub źródłem) i skupia się w strefie drenażu wód. Strefy zasilania i przepływu są na ogół rozpoznane w znikomym stopniu. Złoża zagospodarowane, objęte koncesją na wydobywanie, są objęte programem badań stacjonarnych prowadzonym przez poszczególne zakłady górnicze. Prowadzenie regularnych pomiarów i obserwacji pozwala na analizę wpływu wydobycia na warunki panujące w złożu i ewentualną korektę ustalonych parametrów eksploatacyjnych, tak, aby skutki prowadzonej działalności były jak najmniej odczuwalne dla środowiska naturalnego. Sprostanie wymogom dotyczącym ochrony złóż wód leczniczych przejawia się także troską o stan ilościowy całego systemu hydrogeologicznego, nie tylko danego złoża, dlatego też podczas dokumentowania zasobów eksploatacyjnych należy każdorazowo sporządzić zestawienie porównawcze zasobów eksploatacyjnych istniejących ujęć z oszacowaną dla danego obszaru bilansowego wielkością zasobów dyspozycyjnych (tab. 3.3) i określić ewentualne rezerwy zasobów możliwe do wykorzystania oraz warunki hydrodynamiczne w obszarze bilansowym.

W przypadku braku takiej rezerwy nie można za twierdzać zasobów eksploatacyjnych nowych ujęć lub należy zweryfikować wielkość zasobów eksploatacyjnych w istniejących ujęciach, choć przepisy wymagają doprecyzowania w tym zakresie.

3.6.3. Wykorzystanie wód leczniczych

W 2020 r. koncesją na wydobywanie wód leczniczych było objętych 70 złóż z ich ogólnej liczby 110, z czego wydobycie prowadzono w 60 z nich. Całkowity pobór wód leczniczych w 2020 r. wyniósł 1 771 241,60 m³ (Sokołowski, Skrzypczyk, 2021). Z powyższego zestawienia wynika, że wody lecznicze wydobywano jedynie z około 54% całkowitej liczby złóż, a wielkość poboru stanowiła zaledwie niewiele

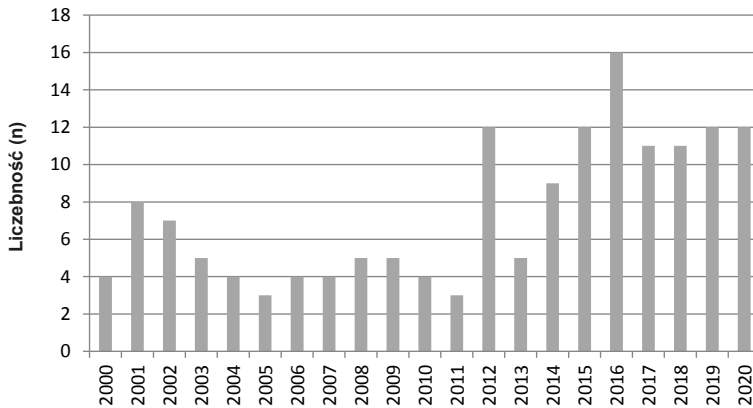


Fig. 3.4. Liczba zatwierdzonych dokumentacji dotyczących zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych w latach 2000–2020 (na podst. danych NAG)

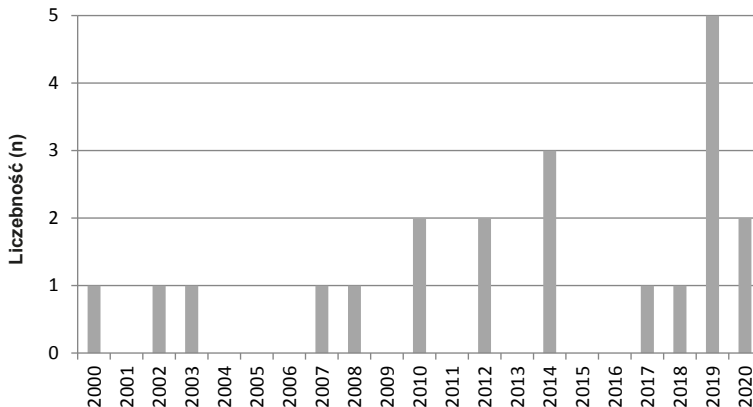


Fig. 3.5. Liczba udokumentowanych nowych źródeł wód leczniczych w latach 2000–2020 (na podst. danych NAG)

ponad 10% sumy zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych. Z pozoru wydaje się, że stan zasobów jest wystarczający względem obecnych potrzeb, jednak w przypadku pojedynczych źródeł lub poszczególnych rodzajów wód leczniczych stopień ich wykorzystania jest bardzo zróżnicowany, na przykład w Szczawnie-Zdroju sięga ponad 90%. Największą popularnością wśród inwestorów cieszą się szczawy i wody kwasowe. W rejonie Krynicy-Zdroju i Muszyny co roku wykonuje się kilka nowych ujęć w obrębie już udokumentowanych źródeł w celu zwiększenia zasobów wód o odpowiednim składzie chemicznym, nadających się do wykorzystania w rozlewniach.

W przypadku pozostałych rodzajów wód leczniczych rozpoznawanie źródeł nowymi otworami wynika ze złego stanu technicznego istniejących ujęć.

Wielkość wydobycia wód leczniczych w latach 2010–2020 utrzymuje się w granicach 1700–2100 m³/r (tab. 3.4). Jednocześnie w ostatnich latach obserwuje się zwiększenie łącznej wielkości zasobów eksploatacyjnych, będące efektem realizacji nowych inwestycji.

Wody lecznicze są wykorzystywane przede wszystkim do celów balneoterapeutycznych w uzdrowiskach oraz miejscowościach nie mających statusu uzdrowiska, m.in. w: Krzeszowicach, Maruszy,

Tab. 3.3. Porównanie wielkości zasobów dyspozycyjnych i eksploatacyjnych w obrębie poszczególnych obszarów bilansowych (na podst. Sokołowskiego i Skrzypczyka, 2020b, 2021)

Złoże	Zasoby dysp. [m³/h]	Zasoby ekspl. [m³/h]	Złoże	Zasoby dysp. [m³/h]	Zasoby ekspl. [m³/h]
Cieplice	13 680,00	56,54	Swoszowice	13,68	6,16
Czerniawa-Zdrój	115,20	7,32	Szczawa	1,00	2,53
Długopole-Zdrój	501,50	1,94	Szczawiczne II	7,81	13,70
Duszniki-Zdrój	1440,00	107,48	Szczawnik-Cechini	11,87	31,02
Gorzanów	13 296,00	42,90	Tylicz I	48,42	12,40
Stara Łomnica		101,30	Żegiestów-Zdrój	3,40	1,30
Kudowa	720,00	29,10	Żegiestów-Zdrój Główny		0,60
Łądek-Zdrój	915,00	59,82	Horyniec	44,80	12,00
Polanica-Zdrój	6713,00	81,22	Iwonicz	66,25	41,09
Stary Wielisław	664,85	20,80	Rymanów	58,75	19,60
Szczawina	97,00	3,40	Dębowiec III	74,13	5,67
Świeradów-Zdrój	108,00	19,97	Goczałkowice-Zdrój I	329,80	2,34
Krościenko n. Dunajcem	6,03	0,13	Ustroń	25,00	2,20
Szczawnica I		2,46	Busko II	75,00	16,75
Krynica-Zdrój I	105,04	32,38	Busko-Północ	30,50	15,00
Muszynianka III		79,18	Dar Natury	9,64	6,50
Leluchów L-4	0,84	0,40	Dobrowoda I	20,00	8,00
Mateczny I	9,16	8,50	Konstantynów	4,38	0,50
Muszyna Zdrój	19,50	9,85	Las Winiarski	16,00	3,11
Piwniczna-Łomnica	70,62	46,26	Solec-Zdrój	8,41	0,96
Rabka-Zdrój	2,28	6,44	Wetlin	26,28	3,00

Tab. 3.4. Stan zagospodarowania złóż wód leczniczych (na podst. *Bilansu zasobów złóż kopalin w Polsce*, z mod. autorów)

Rok	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Zas. ekspl. [m³/h]	1953,8	1952,4	1862,1	1852,7	1886,4	1908,8	1927,4	1904,6	1792,3	1803,2	1927,5
Pobór [tys. m³/r]	2015,0	1981,8	2017,0	1998,9	1911,8	1741,3	1886,6	1920,8	1873,3	2097,4	1771,2
Stopień wyk. [%]	10,9	11,2	11,6	10,7	11,6	11,9	11,9	11,9	12,8	13,3	10,5
Liczba złóż	93	91	97	100	104	104	106	105	104	108	110

Łatoszynie. Z niektórych złóż, na przykład w Lesie Winiarskim i Dobrowodzie, wody lecznicze są transportowane rurociągiem do pobliskiego uzdrowiska w Busku-Zdroju. Najczęściej poszukiwanymi surowcami leczniczymi są wody zawierające dwutlenek węgla, wody siarczkowe oraz wysoko zmineralizowane wody jodkowe. Wykorzystuje się je w leczeniu chorób przewlekłych i cywilizacyjnych, w rehabilitacji i profilaktyce, a do najczęściej stosowanych zabiegów z użyciem wód leczniczych zalicza się kąpiele, inhalacje, płukania, natryski oraz krenoterapię (kurację pitną). Głównymi odbiorcami wód leczniczych zawierających CO₂ są jednak rozlewnie wód. Z uwagi na właściwości fizyczno-chemiczne i ich korzystne oddziaływanie na organizm człowieka oraz walory smakowe, wody lecznicze stanowią poszukiwany surowiec do produkcji wód w opakowaniach. W 2020 r. czynnych było ponad 20 zakładów butelko-

wania, zlokalizowanych głównie w dolinie Popradu i jej okolicach, tzw. polskim zagłębiu rozlewniczym, oraz w Sudetach (Felter i in., 2021). W pozostałej części kraju funkcjonowała tylko rozlewnia w Ciechocinku. Coraz częściej wody lecznicze stają się surowcem do wytwarzania produktów zdrojowych, takich jak sole i solanki lecznicze, oraz preparatów farmaceutycznych i kosmetyczno-pielęgnacyjnych, a nawet leków. Sole i solanki kąpielowe do stosowania w domach są wytwarzane w: Busku-Zdroju, Ciechocinku, Dębowcu, Goczałkowicach-Zdroju, Iwonicy-Zdroju (Lubatówce), Kołobrzegu, Rabce-Zdroju i Zabłociu. Leki przeciwreumatyczne, dermatologiczne i stomatologiczne są produkowane na bazie wód siarczkowych ze złoża w Solcu-Zdroju. Ponadto, z dwóch złóż w Krynicy-Zdroju i Dusznikach-Zdroju, z wód leczniczych pozyskuje się naturalny dwutlenek węgla.

4. ZAGROŻENIA I OCHRONA WÓD LECZNICZYCH

Barbara Kiełczawa, Bogusław Porwisz, Andrzej Sadurski

Wyróżnia się dwie główne grupy zagrożeń wód podziemnych: jakościowe i ilościowe. Zagrożenia jakościowe powodują pogorszenie parametrów fizyczno-chemicznych oraz stanu bakteriologicznego wód. Wynikają one z rozwoju różnych gałęzi przemysłu, działalności rolniczej, transportu, składowania odpadów, nieprawidłowego funkcjonowania i awarii sieci wodno-kanalizacyjnych, obecności starych, niezlikwidowanych otworów wiertniczych i złego stanu środowiska bądź jego elementów w rejonach występowania złóż wód leczniczych. Zagrożenia ilościowe są natomiast związane z procesami wynikającymi z działalności człowieka, jak na przykład działalnością górniczą, nadmiernym wydobywaniem wód leczniczych bądź zaburzeniami reżimu złóż wód leczniczych i współwystępujących z nimi wód zwykłych, pracami budowlanymi, czy zmianami w zagospodarowaniu przestrzennym uzdrowisk (Ciężkowski, 1990; Paczyński, Płochniewski, 1996; Paczyński, 2002). Czynniki wpływające negatywnie na wielkość zasobów złóż wód leczniczych i ich jakość w zależności od ich genezy można podzielić na dwie główne grupy: antropogeniczne i naturalne (Paczyński, 2002). Do głównych czynników antropogenicznych zalicza się wydobywanie innych kopalin i składowanie odpadów pogórnictwa, zanieczyszczenia przemysłowe, rolnicze i komunalne czy nieracjonalną gospodarkę leśną w obszarach zasilania. Wśród czynników naturalnych dużą rolę odgrywa erozja denną w potokach i tarasach rzecznych, osuwiska i trwałe zmiany warunków klimatycznych.

Wody lecznicze są szczególnym przypadkiem wód podziemnych, gdzie negatywne zmiany parametrów fizyczno-chemicznych powodują utratę ich właściwości leczniczych, co należy traktować jako zniszczenie zasobów złoża. Nieracjonalna gospodarka złożem, ingerująca w jego reżim (drogi krążenia, czas przebywania w ośrodku skalnym, ciśnienie złóżowe) skutkuje niejednokrotnie zmianami chemiczmu i jakości wód. W przypadku wód leczniczych nie należy zatem koncentrować się tylko na zagrożeniach jednego typu, tj. ich jakości lub ilości. Stałość, w granicach naturalnych wahań, parametrów eksploatacyjnych i właściwości fizyczno-chemicznych stanowi podstawę uznawania wód podziemnych za lecznicze. W tym miejscu należy zauważyć, że stężenia składników farmakodynamicznych, obecnych w wodach leczniczych, nie zawsze odpowiadają wymagom stawianym wodom przeznaczonym do spożycia, określonym w rozporządzeniu Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2017 poz. 2294). Tak jest w przypadku jonów fluorokowych, żelazawych, gazów (CO_2 , Rn , H_2S) czy temperatury wód.

Główne zagrożenia wód leczniczych wynikają najczęściej z ogólnie złego stanu środowiska naturalnego, infrastruktury podziemnej oraz rozwoju inwestycji prowadzonych niejednokrotnie bez zachowania odpowiednich środków ochronnych, a także z ich nadmiernym lub prowadzonym w niewłaściwy sposób wydobywaniem (np. dolina Popradu, rejon Buska-Zdroju). Szczególnie narażone są złoża

wód leczniczych występujące na nieznacznych głębokościach, bądź słabo izolowane od powierzchni terenu. W przypadku złóż w systemach głębokiego krążenia, izolowanych dużej miąższości nadkładem, główne zagrożenia są związane ze złym stanem technicznym ujęć.

Warunki ochrony wód podziemnych oraz ocenę zagrożeń z powierzchni terenu przedstawia się na mapach zagrożeń i ochrony wód podziemnych, lub ewentualnie stanowiących warstwę tematyczną map serijnych, na przykład *Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000*, które powinny zawierać m.in. informacje o:

- potencjalnych ogniskach zanieczyszczeń wód podziemnych;
- danych dotyczących wód leczniczych i wód zwykłych (ujęć, obszarów zasilania, obszarów zasobowych, kierunków przepływu wód, itp.);
- obszarach o zróżnicowanym stopniu zagrożenia jakości wód podziemnych.

4.1. ZAGROŻENIA ILOŚCIOWE

Działalność wydobywcza

Działalność górnicza, ze względu na bardzo rozległy i głęboki system drenażu górotworu, negatywnie wpływa zarówno na reżim złóż wód leczniczych, jak i na ich stan chemiczny. Rozwój systemu odwadniania kopalń prowadzi do znacznego obniżenia głębokości występowania zwierciadła wód podziemnych – ciśnienia piezometrycznego uwzględniającego różną gęstość wód zmineralizowanych lub ciśnienia złożowego, co pociąga za sobą zmianę parametrów fizyczno-chemicznych wód. W wielu przypadkach zaobserwowano zanik samowypływów źródeł wód leczniczych lub znaczne obniżenie poziomu wody w otworowych ujęciach wód, na przykład w Goczałkowicach-Zdroju (Ciężkowski, 1990; Paczyński, Płochniewski, 1996; Ciężkowski i in., 2004; Ciężkowski, 2007). W niektórych przypadkach drenaż górniczy doprowadził do całkowitego zniszczenia złoża, jak miało to miejsce m.in. w Jastrzębiu-Zdroju w wyniku działalności kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) i w Opolnie-Zdroju w efekcie wydobywania węgla brunatnego w Kopalni Węgla Brunatnego (KWB) Turów.

Odwadnianie złóż kopalń węgla kamiennego w rejonie Wałbrzycha skutkowało obniżaniem się mineralizacji wód leczniczych Jedliny-Zdroju. Doprowadziło również do zniszczenia złoża wód leczniczych w Starym Zdroju (dzielnica Wałbrzycha). Podczas długoletniej eksploatacji złóż węgla w Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym (DZW) pracowały niezależnie trzy kopalnie: Wałbrzych, Victoria i Thorez. Wytrobiska podziemne ostatniej z wymienionych kopalń kończyły się w odległości około 100 m od granic obszaru górniczego wyznaczonego dla złoża wód leczniczych w Szczawnie-Zdroju, natomiast w południowo-wschodniej części kopalni Thorez eksploatacja węgla zbliżyła się w bezpośrednie sąsiedztwo ujęć wód leczniczych Jedliny-Zdroju. Zakończenie eksploatacji węgla w DZW i rozpoczęcie naturalnego zatapiania kopalń (ostatnie pompownie wyłączono w 1998 r.) nie zamknęło dróg krążenia gazów (zarówno dwutlenku węgla jak i metanu), ograniczyło jedynie odgazowanie górotworu (Czabaj, Klich, 2005). Z jednej strony można upatrywać pozytywnych efektów tego zjawiska, objawiających się intensyfikacją rozpuszczania ośrodka skalnego, a przez to wzrostem mineralizacji ogólnej wód leczniczych Szczawna-Zdroju (Kielczawa, Liber-Makowska, 2018b). Negatywnymi zjawiskami są jednak podtopienia i wypływy wód podziemnych w miejscach, gdzie dotychczas ich nie stwierdzano oraz uaktywnienie migracji CO₂ nowymi szczelinami w rejonu zamieszkane i użytkowane przez lokalną ludność (np. do piwnic budynków).

Jak wspomniano potencjalnym zagrożeniem dla zasobów wód leczniczych może być ich nadmierna lub niewłaściwa eksploatacja. Tego typu zagrożenia szczególnie intensyfikują się w rejonach bezpośredniego sąsiedztwa kilku obszarów górniczych nadzorowanych przez różnych przedsiębiorców. Przykładem takiej sytuacji może być rejon Muszyn, gdzie wody lecznicze i zwykłe współwystępują we fliszowych, szczelinowo-porowych seriach wodonośnych dorzecza Popradu. Znaczny rozwój przemysłu rozlewniczego na tym obszarze, a co za tym idzie intensywna eksploatacja wód podziemnych w obrębie obszarów bilansowych zlewni cząstkowych, stanowi bezpośrednio zagrożenie zasobów wód leczniczych. Dotyczy to zwłaszcza obszarów bilansowych: 9 – Szczawnik, 10 – Muszynka Dolna,

14 – Poprad-Leluchów, A – Milik-Andrzejówka oraz południowej części obszaru 12 – Kryniczanka (fig. 4.1). W zasięgu wymienionych obszarów bilansowych w 2015 r. siedmiu przedsiębiorców wydobyci wody lecznicze łącznie w ilości 283 838 m³ (Skrzypczyk, Sokołowski, 2016). W 2018 r. wydobycie wód leczniczych wzrosło do 480 397 m³ (Skrzypczyk, Sokołowski, 2019), a rok później do 518 791 m³ (Sokołowski, Skrzypczyk, 2020a). W ciągu pięciu kolejnych lat wielkość wydobycia wód leczniczych na

omawianym obszarze wzrosła więc o ponad 50%. Wydobywanie wód leczniczych z kilku sąsiadujących ze sobą (zablokowanych) obszarów górniczych (fig. 4.1) stwarza zagrożenie zaburzenia równowagi hydrodynamicznej w ich obrębie, w szczególności w sytuacji lokalizacji ujęć w strefach przygranicznych tych obszarów. W takich sytuacjach nie można wykluczyć zmian głębokości dynamicznego zwierciadła wód podziemnych o charakterze lokalnym, mogących jednak rozszerzać się na sąsiednie

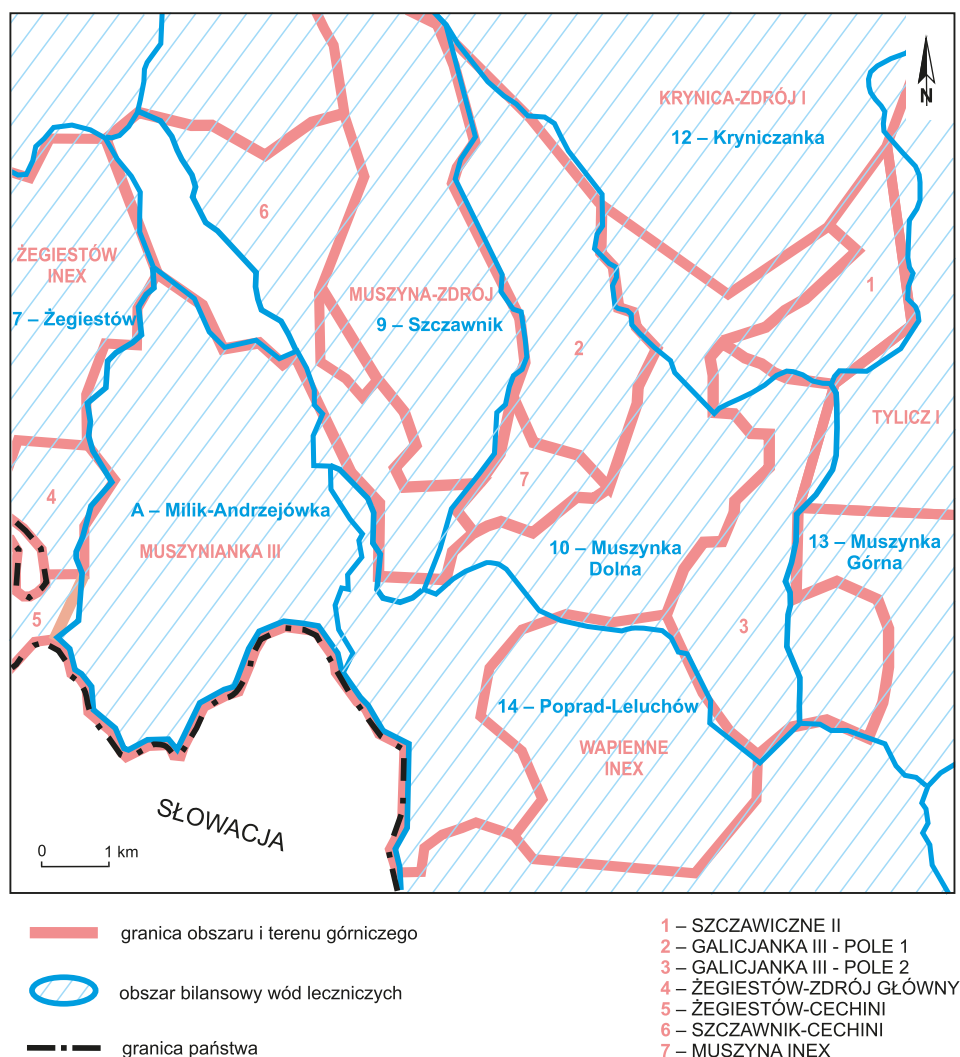


Fig. 4.1. Położenie obszarów górniczych w dolinie Popradu pomiędzy Żegiestowem-Zdrojem a Krynicą-Zdrojem na tle zasięgu obszarów bilansowych wód podziemnych (na podst. Kościłaca i in., 2014 oraz Chowańca i in., 2014, z mod. autorów)

obszary górnicze i prowadzić do uszczuplenia zasobów wód leczniczych w ich granicach. Na fakt zubożenia zasobów wód leczniczych może wskazywać wartość modułu zasobów dyspozycyjnych. W obrębie wspomnianych pięciu obszarów bilansowych moduł zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych wynosi od 0,87 do 1,46 l/s-km², natomiast moduł zasobów dyspozycyjnych wód zwykłych zmienia się od 0,87 do 3,40 l/s-km² (Chowaniec i in., 2014; Koślacz i in., 2014). Na większości omawianych obszarów bilansowych działalność polegającą na wydobywaniu wód leczniczych prowadzi co najmniej dwóch przedsiębiorców posiadających własne obszary górnicze, dlatego sugeruje się, aby otwory przygraniczne w tych obszarach obejmować monitoringiem osłonowym.

Porównanie wielkości zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych z łączną sumą zasobów eksploatacyjnych ujęć tych wód w granicach poszczególnych obszarów bilansowych wskazuje praktycznie na brak możliwości udokumentowania zasobów nowych ujęć wód leczniczych na omawianym terenie (tab. 4.1).

Ocena stopnia zagospodarowania zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych danego obszaru bilansowego powinna umożliwić w przyszłości ograniczenie liczby nowych otworów wiertniczych za wodami leczniczymi bądź obniżenie wielkości zasobów eksploatacyjnych istniejących ujęć do wielkości ustalonych i zatwierdzonych zasobów dyspozycyjnych, jednak aby to osiągnąć konieczne są odpowiednie zmiany legislacyjne.

Innym przykładem opisywanej powyżej sytuacji zagrożenia ilościowego zasobów wód leczniczych jest rejon Buska-Zdroju (fig. 4.2). Pod względem geologicznym obszar ten charakteryzuje się płytowym zaleganiem skał osadowych oraz dużym zaangażowaniem tektonicznym. Sieć licznych dyslokacji determinuje lokalny układ bloków skalnych. Warunki hydrogeologiczne panujące w obrębie poszczególnych bloków nie są do końca rozpoznane, zwłaszcza niejasna jest rola uskoków w przepływie wód, co uniemożliwia wypracowanie optymalnych warunków eksploatacji wód leczniczych.

Poszukiwanie i budowa nowych ujęć wód podziemnych

Budowa nowego ujęcia wód leczniczych może zaburzyć pierwotną równowagę hydrodynamiczną złoża. Wydobywanie wód leczniczych metodą otworową nie zawsze przynosi planowane efekty w postaci zwiększenia zasobów eksploatacyjnych. Niejednokrotnie wykonanie otworów w rejonach naturalnych źródeł skutkuje obniżeniem wydajności tych drugich, a w skrajnym przypadku ich całkowitym zanikiem (Ciężkowski, 2007). Dzieje się tak zwłaszcza w przypadku złóż w utworach szczelinowych, w których pobór wód z nowego otworu często powoduje obniżenie ciśnienia piezometrycznego oraz wielkości samowypływu w źródłach i innych ujęciach otworowych, także w studniach ujmujących wody zwykłe. Do takich sytuacji doszło m.in. w Łądku-Zdroju po wykonaniu otworu L-2, w Jeleniej Górze-Cieplicach po uruchomieniu otworu C-1, w Świeradowie-Zdroju

Tab. 4.1. Zestawienie zasobów dyspozycyjnych i eksploatacyjnych w obrębie wybranych obszarów bilansowych doliny Popradu

Numer obszaru bilansowego	Powierzchnia obszaru bilansowego	Zasoby dyspozycyjne wód zwykłych	Zasoby dyspozycyjne wód leczniczych	Zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych	Rezerwa (+)/deficyt (-) zasobów eksploatacyjnych wód leczniczych
	[km ²]	[m ³ /d]			[m ³ /h]
10*	46,9	1453,6	1153,1	1210,8	-2,40
14*	34,6	4076,0	692,2	725,3	+1,38
A**	17,3	920,0	760,0	671,5	+3,69

* na podst. Koślacza i in., 2014

** na podst. Chowańca i in., 2014

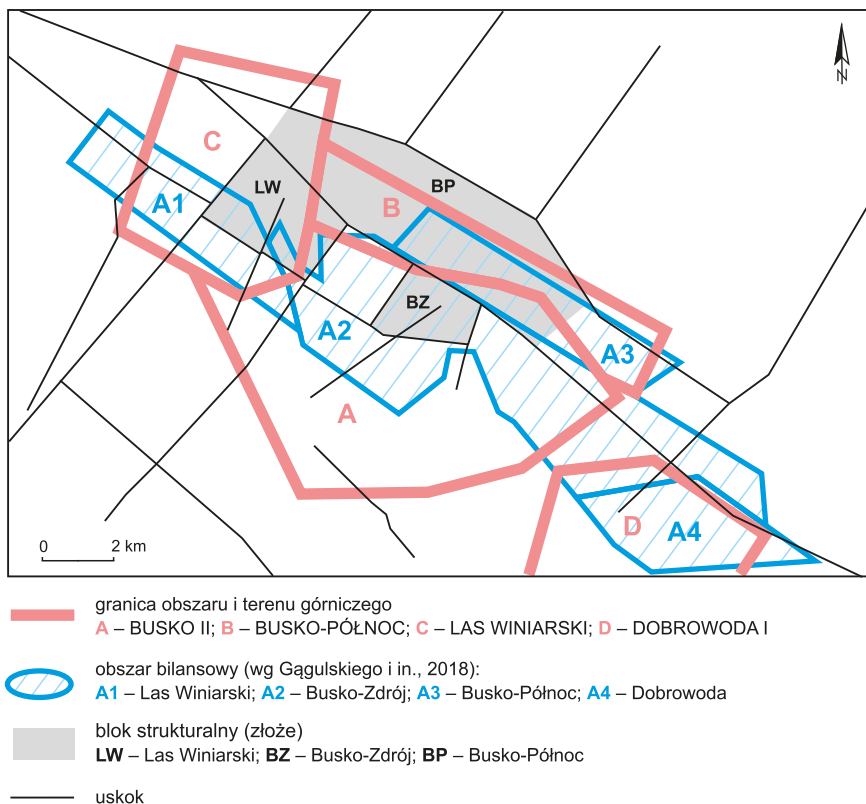


Fig. 4.2. Położenie obszarów górniczych w rejonie Buska-Zdroju na tle bloków strukturalnych i zasięgu obszarów bilansowych wód leczniczych (na podst. Lisika i Szczepańskiego, 2014, z mod. autorów; granice obszarów bilansowych na podst. Gągalskiego i in., 2018)

(wpływ otworu nr 3) i w Szczawnie-Zdroju (Ciężkowski, 1990; Paczyński, Płochniewski, 1996). Niestety przy zatwierdzaniu projektów robót geologicznych na poszukiwanie wód zwykłych w granicach obszaru górniczego utworzonego dla wód leczniczych przez inne podmioty, koncesjonariusz nie jest stroną w postępowaniu i nie ma możliwości zaopiniowania planowanych do wykonania prac geologicznych. Zgodnie z zapisami ustawy PGiG i orzecznictwem, na etapie zatwierdzania projektów robót geologicznych stronami postępowania administracyjnego są tylko właściciele (użytkownicy wieczysti) nieruchomości gruntowych, w granicach których będą prowadzone roboty geologiczne.

Zagospodarowanie terenów uzdrowiskowych

Bardzo dużym zagrożeniem zasobów wód leczniczych są prace budowlane i remontowe obiektów

inżynierskich prowadzone w strefie drenażu, w niedalekim sąsiedztwie lub bezpośrednio przy ujęciach. W literaturze opisano wiele przykładów negatywnego oddziaływania (trwałego lub okresowego) robót ziemnych na stan ilościowy zasobów wód leczniczych, m.in. w Krynicy-Zdroju, Szczawnicy, Rymanowie-Zdroju. Modernizacja powierzchni terenu w pobliżu rozlewni wód w Szczawnicy doprowadziła do obniżenia się wydajności ujęcia wykorzystywanego w tym zakładzie (Ciężkowski, 1990), podobnie jak prace budowlane prowadzone w niewielkiej odległości od ujęcia Pieniawa Józefa II w Polanicy-Zdroju, które skutkowały znacznym obniżeniem wydajności tego ujęcia. Wykonanie robót ziemnych i wzniesienie obiektów budowlanych w Krynicy-Zdroju, Piwnicznej-Zdroju, Szczawnicy czy Świeradowie-Zdroju, zaplanowane i przeprowadzone bez wystarczającej dbałości o zachowanie natu-

ralnego reżimu złóż wód leczniczych, doprowadziło do obniżenia wydajności ujęć i/lub parametrów fizyczno-chemicznych wód.

4.2. ZAGROŻENIA JAKOŚCIOWE

Zmiany warunków hydrodynamicznych nie pozostają bez wpływu na procesy hydrogeochemiczne zachodzące w trójfazowym systemie woda↔skała↔gaz w strefach przepływu i drenażu, które mogą rzutować na chemizm i jakość wód podziemnych. Zaburzenie równowagi hydrogeochemicznej, na przykład w wyniku dopływu do ujęć wód słabo zmineralizowanych lub o niższej temperaturze, może skutkować zmianą mineralizacji ogólnej wód leczniczych, a w skrajnych przypadkach ich całkowitym wysłodzeniem – stają się wtedy wodami zwykłymi (Kiełczawa, 2001b; Krawiec, 2002). Zmiana parametrów fizyczno-chemicznych może następować także w wyniku wytrącania się faz stałych lub wydzielania gazów podczas wydobywania lub transportu wód leczniczych, co zostało stwierdzone m.in. w ujęciu Pieniawa Józefa II w Polanicy-Zdroju lub Zdrój Główny w Krynicy-Zdroju.

Współwystępowanie wód leczniczych i zwykłych

Wody lecznicze są na ogół mieszaninami wód o zróżnicowanym i często zmiennym udziale różnych składowych genetycznych, najczęściej zmineralizowanych wód reliktowych lub wód głębokiego systemu krążenia i płytko występujących wód słabo zmineralizowanych lub wód zwykłych (współczesnej infiltracji). W takich przypadkach duże wydobywanie zazwyczaj intensyfikuje dopływ wód z płytkiego systemu krążenia i stanowi potencjalne źródło zagrożenia dla właściwości leczniczych – obniżenie mineralizacji ogólnej wody, spadek stężenia składników swoistych lub temperatury, zmiana składu chemicznego. Z drugiej strony jednak, zwłaszcza w przypadku wód radonowych, na przykład w Świeradowie-Zdroju i Jedlinie-Zdroju, kształtuje właściwości lecznicze (Ciężkowski, 2007). W rejonach występowania szczaw współwystępowanie wód leczniczych i zwykłych może skutkować obniżeniem ilości CO₂ dopływającego do otworów, a nawet do odgazowania złoża (Paczyński, Płochniewski, 1996). Zaburzenie ustalonych warunków hydrogeochemicznych złóż

wód leczniczych wskutek poboru wód zwykłych doskonale ilustruje przykład Jeleniowa. Eksploatacja ujęcia wód zwykłych sąsiadującego z otworem J-150, ujmującym wody lecznicze, doprowadziła nie tylko do obniżenia się parametrów fizyczno-chemicznych, ale nawet do zmiany typu chemicznego wód leczniczych. Zbyt bliska lokalizacja obydwu otworów doprowadziła do rozwoju leja depresji i zmiany kierunku przepływu wód (Sadowska, 1989). Wpływ poboru wód zwykłych na ujęcia wód leczniczych obserwowano także w Łądku-Zdroju, po uruchomieniu niekontrolowanej eksploatacji ujęcia L-1. Nastąpiło wówczas obniżenie wydajności źródeł i ciśnienia na głowicy otworu L-2 ujmującego wody lecznicze. Zmiany hydrodynamiczne negatywnie odbiły się na stężeniach składników swoistych wód – spadło stężenie jonów fluorkowych i zmniejszyła się aktywność radonu (Ciężkowski, 1990; Ciężkowski i in., 2004).

Wpływ wód powierzchniowych

Infiltracja wód powierzchniowych do ośrodka skalnego stanowi poważne zagrożenie dla jakości wód leczniczych. Dopływ wód powierzchniowych do ujęć wód leczniczych może mieć charakter trwały, wywołany odwróceniem naturalnych kierunków przepływu, lub incydentalny, będący skutkiem wezbrań i powodzi, a jego konsekwencją jest obniżenie parametrów jakościowych wód leczniczych, najczęściej spadek mineralizacji ogólnej i zmniejszenie ilości zawartych w nich gazów. Ponadto infiltracja wód powierzchniowych prowadzi często do skażenia bakteriologicznego, obserwowanego m.in. w Szczawnie-Zdroju (Ciężkowski, Rosińska-Wilczek, 1997; Kiełczawa i in., 2008), Kudowie-Zdroju (Ciężkowski, 2007) i Nałęczowie.

Działalność przemysłu

Największy wpływ na parametry jakościowe pojedynczych ujęć wód leczniczych bądź całych złóż wywiera działalność i rozwój przemysłu. Zagrożenie sudeckich złóż wód leczniczych wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (WWA) oraz związkami azotu w skali regionalnej zaobserwował Ciężkowski (1990). Źródła tych zagrożeń upatrywał on w rozwoju przemysłowym rejonu Wałbrzycha i strefy przygranicznej z Republiką Czeską oraz

w działalności rolniczej. Zagrożenie przenikaniem zanieczyszczeń antropogenicznych dotyczy przede wszystkim źródeł wód leczniczych o znaczącym udziale składowej infiltracyjnej. Dotyczy to także starych, nieczynnych od stuleci wyrobisk górniczych oraz towarzyszących im hałd.

Rozwój geotermii

W ostatnich latach pojawił się nowy rodzaj zagrożeń źródeł wód leczniczych związany z rozwojem tzw. płytkiej geotermii. Potencjalnym zagrożeniem mogą być otwory wiertnicze wykonane w celu zabudowy gruntowych wymienników ciepła (GWC). Duża ilość otworów niezbędnych do pokrycia zapotrzebowania na ciepło (kilkadziesiąt w przypadku obiektów kubaturowych) sprawia, że w istotny sposób naruszają one górotwór, przede wszystkim nadkład izolujący złoża wód leczniczych. Prace wiertnicze mogą prowadzić do zaburzenia dróg przepływu wód bądź gazów, doprowadzając w efekcie do zmian ciśnienia złożowego lub odgazowania złoża. Co więcej, otwory wykonane w celu zabudowy pionowych GWC nie są rurowane, a często nawet nie wykonuje się w nich prawidłowej izolacji przewiercanych horyzontów wodonośnych, co stwarza realne zagrożenie przenikaniem zanieczyszczeń z powierzchni terenu i utratą właściwości leczniczych wód podziemnych.

Niekorzystny wpływ na właściwości wód leczniczych może wywierać także wydobywanie wód termalnych, zwłaszcza w szczelinowych systemach wodonośnych. W trakcie wykonywania badań hydrogeologicznych w otworze geotermalnym Łądek-Zdrój LZT-1 zanotowano spadek wydajności źródeł wód leczniczych w uzdrowisku. W przypadku eksploatacji wód termalnych systemem tzw. dubletów geotermalnych wtłaczanie wykorzystanych, wychłodzonych wód może doprowadzić do spadku temperatury wód leczniczych współwystępujących z wodami termalnymi (Paczyński, Płochniewski, 1996).

4.3. OCHRONA WÓD LECZNICZYCH

Gospodarowanie wodami zwykłymi i leczniczymi regulują przepisy odrębnych ustaw. Poszukiwanie, dokumentowanie, warunki wydobywania i ochrony ujęć wód leczniczych podlegają zapisom ustawy PGiG, zgodnie z którymi bezpośredni nad-

zór nad wydobywaniem zasobów wód leczniczych sprawują organy nadzoru górniczego. Przepisy te nakładają szereg ograniczeń mających na celu ochronę zasobów złóż kopalin, głównie jednak przez ograniczenie praw ich pozyskiwania z określonej przestrzeni (obszar górniczy). Brak w nich jednak jednoznacznych zaleceń co do ochrony samych ujęć lub obszarów zasilania.

W celu zapewnienia odpowiedniej jakości ujmowanych wód podziemnych przeznaczonych do zbiorowego zaopatrzenia w wodę do picia, do produkcji artykułów żywnościowych, a także ze względu na ochronę zasobów wodnych, ustanawiane są strefy ochronne ujęć wody w postaci terenów ochrony bezpośredniej (TOB) i ochrony pośredniej (TOP). W dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia wód podziemnych określa się konieczność wyznaczenia tych stref, propozycje ich granic oraz zakazy, nakazy i ograniczenia w użytkowaniu gruntów w ich obrębie. TOB wyznacza się na ogół w formie regularnego wieloboku o orientacyjnych wymiarach boków około 8–10 m, obejmującego ujęcie oraz związane z nim zabudowania i urządzenia. Na TOB, wygradzonym i oznakowanym tablicą informacyjną, jest zabronione użytkowanie gruntów do celów niezwiązanych z wydobywaniem wody. W granicach TOB należy zapewnić odprowadzenie wód opadowych w taki sposób, aby nie mogły one przedostawać się do urządzeń służących do poboru wody, ograniczyć do niezbędnych potrzeb przebywanie osób niezatrudnionych przy urządzeniach służących do poboru wody oraz zagospodarować teren zielenią i utrzymywać go w czystości. Formalnie TOB wyznacza się dla każdego ujęcia wody (z wyłączeniem ujęć wód służących do zwykłego korzystania z wód) w drodze decyzji wydanej przez właściwy organ Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie. Granice TOP wyznacza się obecnie najczęściej na podstawie badań modelowych w dokumentacji hydrogeologicznej, a ustanawia je wojewoda w drodze aktu prawa miejscowego. Przepisy dotyczące ustanawiania stref ochronnych ujęć wód podziemnych odnoszą się jedynie do zwykłych wód podziemnych.

Zapisy dotyczące ochrony wód leczniczych zawiera Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydro-

geologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033). Rozporządzenie określa wymagania, jakim powinna odpowiadać dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęcia wód leczniczych nakazując, w zakresie ochrony wód, m.in.:

- odniesienie wnioskowanej do zatwierdzenia ilości zasobów eksploatacyjnych ujęcia do wielkości ustalonych zasobów dyspozycyjnych – jeżeli są udokumentowane;
- opis kontaktów hydraulicznych między wodami podziemnymi o różnym typie chemicznym, warunków ich wzajemnej równowagi i czynników kształtujących właściwości fizyczno-chemiczne tych wód oraz opis związków hydraulicznych wód leczniczych z wodami podziemnymi i wodami powierzchniowymi;
- przedstawienie prognozy trwałości właściwości fizycznych i składu chemicznego wód;
- podanie propozycji granic obszaru i terenu górniczego wyznaczonych z uwzględnieniem warunków hydrodynamicznych;
- przedstawienie zaleceń co do racjonalnej eksploatacji ujęcia z uwzględnieniem zagadnień równowagi wodno-gazowej i warunków wtłaczania wykorzystanych wód (jeżeli jest to realizowane lub planowane) oraz wskazanie środków ochrony ujęcia przed zanieczyszczeniami.

Przepisy ustawy PGiG oraz związanych z nią rozporządzeń nie stawiają więc wymogu określania terenów ochrony dla ujęć wód podziemnych zaliczonych do kopalin. Stworzeniu warunków ochrony złóż kopalin, a zatem i złóż wód leczniczych, mają służyć głównie ustanawiane obszary górnicze, a pośrednio także tereny górnicze, choć przede wszystkim mają one na celu zabezpieczenie interesów przedsiębiorcy wydobywającego wody lecznicze przed wpływem innych prac wydobywczych prowadzonych poza obszarem koncesyjnym. W obrębie obszarów górniczych przedsiębiorca jest uprawniony do wydobywania wód leczniczych przy zachowaniu ustalonych warunków określonych koncesją na wydobywanie. Głównymi założeniami, jakie powinien spełniać obszar górniczy, wyznaczony jako teren ochrony złóż wód leczniczych, są:

- zapewnienie stabilności warunków hydrodynamicznych złóża;

- utrzymanie/zapewnienie stabilności parametrów fizyczno-chemicznych wód leczniczych.

Warto wspomnieć, że spośród udokumentowanych i eksploatowanych złóż wód leczniczych, w sześciu przypadkach zasięg wyznaczonego terenu górniczego jest większy od obszaru górniczego. Wynika to ze znacznego wpływu odprowadzania wykorzystanych wód do cieków powierzchniowych (Rabka-Zdrój i Iwonicz-Zdrój) i wtłaczania wód pozabiegowych do górotworu (Ustroń). Powiększenie terenu górniczego w Sopotie wiązało się z włączeniem w jego zasięg całej dzielnicy uzdrowskiej, a w przypadku Wienia i Kołobrzegu – scaleniem terenów górniczych wyznaczonych dla wód leczniczych i złóż borowin (Ciężkowski, Kapuściński, 2011). Szczegółowe zalecenia odnośnie sposobów wyznaczania obszarów i terenów górniczych zaproponowali Ciężkowski i Kapuściński (2011). Zostały one zaprezentowane w dalszej części Poradnika (rozdz. 11).

Dla jednostek bilansowych zwykłych wód podziemnych tworzy się wiele dokumentów planistycznych: bilanse wodno-gospodarcze, warunki korzystania z wód, plany gospodarowania wodami, programy wodno-środowiskowe, itp. W przypadku wód leczniczych pewną formą ochrony udokumentowanych złóż jest obowiązek ich ujawniania w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gmin, w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego oraz planach zagospodarowania przestrzennego województw. Zapisy ustawy z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. 2021 poz. 741, j.t.) nakładają na jednostki samorządu terytorialnego obowiązek opiniowania rozwiązań przyjętych w projekcie studium z właściwymi organami nadzoru górniczego (w zakresie zagospodarowania terenów górniczych) i administracji geologicznej (w zakresie udokumentowanych złóż kopalin i wód podziemnych). Na podstawie posiadanych dokumentacji hydrogeologicznych, projektów zagospodarowania złóż oraz dokumentacji mierniczo-geologicznych, przedsiębiorca górniczy powinien wносить uwagi i zalecenia do miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego. W planach takich powinny znaleźć się informacje górnicze, geologiczne i hydrogeologiczne obrazujące aktualne zasięgi obszarów i terenów górniczych utworzonych dla złóż wód lecz-

nicznych i ich nazwy, zgodnie z rejestrem prowadzonym przez PIG-PIB.

Kolejna forma ochrony wód leczniczych dotyczy gmin uzdrowiskowych, w których gospodarka powinna być prowadzona z uwzględnieniem ochrony złóż naturalnych surowców leczniczych. W tym celu nałożono obowiązek wydzielenia stref ochrony uzdrowiskowej (A, B, C) oraz szczegółowo określono wykaz zakazów obowiązujących w każdej ze stref. Należy zauważyć, że praktycznie każde złożo wód leczniczych stanowi indywidualną jednostkę o specyficznym reżimie hydrodynamicznym, stąd – pomimo rygorów ustawy o lecznictwie uzdrowiskowym – nie zawsze jej zapisy są wystarczające i pozwalają na realizację faktycznej ochrony danego złoża (Ptak, Paraszczuk, 2017). W znaczącej większości przypadków złóż wód leczniczych obszary ich zasilania są położone poza wspomnianymi strefami ochrony uzdrowiskowej, w sporadycznym przypadku w zewnętrznej strefie C (m.in. w Jeleniej Górze-Cieplicach i Czerniawie-Zdroju, częściowo w Dusznikach-Zdroju i Łądku-Zdroju), dla której lista istotnych ograniczeń w zagospodarowaniu terenu jest najmniej rygorystyczna. Strefy uzdrowiskowe są wyznaczane na podstawie podziału administracyjnego, wyłącznie na terenie gminy uzdrowiskowej, a więc nie dla wszystkich złóż wód leczniczych.

Jednym z elementów umożliwiającym ochronę złóż wód leczniczych jest ocena projektów robót geologicznych pod kątem ich zgodności z wymogami ochrony środowiska. Wykonywanie ujęć wód podziemnych oddziałuje negatywnie na środowisko (emisja spalin, drgania, hałas) zazwyczaj jedynie w sposób krótkotrwały, w bezpośrednim otoczeniu wiertni, jednak większe zagrożenie dla środowiska, jakie niesie za sobą poszukiwanie wód leczniczych, jest związane z odprowadzaniem wydobytych wód podczas badań hydrogeologicznych (próbnym pompowań). Do niedawna na obszarach pozbawionych kanalizacji wodę z próbnym pompowań odprowadzano do najbliższego odbiornika. Obecnie, mając na uwadze ochronę środowiska naturalnego, odprowadzanie wód do naturalnych odbiorników wymaga zgody Wód Polskich, wydanej na podstawie zgłoszenia wodnoprawnego. W związku z tym już na etapie projektu robót geologicznych należy zaplanować

sposób i miejsce odprowadzenia wody z próbnego pompowania. Należy podkreślić, że nie ma możliwości uzyskania takiej zgody na odprowadzanie do wód powierzchniowych wody pochodzącej z pompowania oczyszczającego. Jest ona traktowana jako nieoczyszczony ściek i powinna być odbierana przez koncesjonowany zakład utylizacji odpadów lub odprowadzana do oczyszczalni komunalnych lub oczyszczalni zużytych wód leczniczych.

Wydobywanie wód leczniczych, zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 10 września 2019 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (Dz.U. 2019 poz. 1839), jest traktowane jako przedsięwzięcie mogące potencjalnie znacząco oddziaływać na środowisko, w tym na stan zasobów wód leczniczych. Dlatego też przedsięwzięcie polegające na wydobywaniu wód leczniczych wymaga przeprowadzenia oceny oddziaływania na środowisko i sporządzenia karty informacyjnej oraz uzyskania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach. Konieczność sporządzenia raportu o oddziaływaniu na środowisko wydobywania wód leczniczych zależy od oceny Państwowego Inspektora Sanitarnego, Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej oraz Wód Polskich. Prawidłowe ustalenie warunków wydobywania wód leczniczych w dokumentacji hydrogeologicznej (m.in. wielkość zasobów eksploatacyjnych, depresja) powinno wyeliminować ewentualne zagrożenia dla środowiska.

W celu zabezpieczenia stabilności reżimu złoża niejednokrotnie jest konieczne prowadzenie wydobywania „na przelew”, jak to ma miejsce na przykład w Polanicy-Zdroju, Dusznikach-Zdroju (Ciężkowski i in., 2002a, b) czy Swoszowicach (Krawczyk, Porwisch, 2005). Jeśli w zasięgu oddziaływania ujęć wód leczniczych znajdują się inne ujęcia wód podziemnych, należy ocenić wpływ wydobywania na stan ich zasobów.

Wydobywanie wód leczniczych nie powoduje w zasadzie emisji zanieczyszczeń powietrza, hałasu, zapylenia, drgań, wytwarzania odpadów poza odprowadzeniem wykorzystanych wód (ścieków), deformacji powierzchni terenu, pogorszenia jakości wód podziemnych i powierzchniowych, szkód i strat w zagospodarowaniu terenu czy zagrożeń wybuchowych i erupcyjnych. Na ogół nie jest więc

konieczne podejmowanie specjalnych działań zmierzających do zabezpieczenia środowiska przed skutkami tego wydobywania. Wykorzystanie wód leczniczych w zabiegach balneoterapeutycznych powoduje jednak powstawanie znacznych ilości wód pozabiegowych/pokąpielowych, które należy kwalifikować jako ścieki przemysłowe. Zagrożeniem w tym przypadku może być nie sama produkcja tych ścieków, ale niepoprawnie prowadzona gospodarka ściekowa, która może skutkować degradacją środowiska naturalnego (Walendzik, 2014).

Szczególną uwagę należy zwrócić na skutki środowiskowe wydobywania szczaw. Specyfiką tych wód są znaczne ilości nie tylko rozpuszczonego w nich CO_2 , ale także towarzyszącego im wolnego gazu. Co prawda gaz ten jest jednym ze składników swoistych wód decydującym o ich właściwościach leczniczych, może być jednak też czynnikiem bezpośrednio zagrażającym zdrowiu, a nawet życiu. Jak wskazują wieloletnie obserwacje prowadzone przez służby geologiczne zakładów górniczych, ograniczenie bądź zakończenie wydobywania szczaw (wraz z dwutlenkiem węgla) z poszczególnych ujęć, na skutek odbudowy ciśnienia złożowego, z dużym prawdopodobieństwem może skutkować pojawieniem się:

- niekontrolowanych wypływów szczaw;
- dwutlenku węgla w pomieszczeniach zabudowań/piwnicach budynków;
- ekshalacji dwutlenku węgla w otoczeniu ujęć.

Wzrost ilości CO_2 w efekcie końcowym może doprowadzić do zmiany mineralizacji ogólnej wód leczniczych w poszczególnych ujęciach (najprawdopodobniej bez zmiany typu chemicznego wód). Czynnikiem zwiększającym ryzyko zajścia niekorzystnych zmian jest uszczelnienie dużych powierzchni terenu (ścieżki spacerowe, deptaki, drogi, obiekty budowlane), co zwykle zwiększa ilość CO_2 w powietrzu podglebowym. Należy tutaj zauważyć, że brak świadomości zagrożenia dwutlenkiem węgla w rejonach występowania szczaw w Polsce był przyczyną zgonów w Żłockiem, Szczawniku i Dusznikach-Zdroju (Ciężkowski i in., 2002a, b).

Analiza rzeczywistych i potencjalnych zagrożeń dla wód leczniczych oraz wskazania dotyczące prze-

ciwdziałania tym zagrożeniom powinny być wstępnie dokonane w projekcie robót geologicznych, a zweryfikowane w odniesieniu do obszaru zasobowego oraz do obszaru zasilania w dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia, która będzie podstawą do opracowania projektu zagospodarowania złoża oraz wniosku koncesyjnego na wydobywanie wody leczniczej.

W celu efektywnej ochrony wód leczniczych należałoby szczególną uwagę zwrócić na zasięgi obszarów zasobowych ujęć oraz obszarów bilansowych dla zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych. Struktura hydrogeologiczna o zasobach odnawialnych jest szczególnie wrażliwa na ewentualne niekorzystne zmiany środowiska. W związku z powyższym wręcz obowiązkowym staje się wskazanie wspomnianych obszarów i wprowadzenie zastrzeżeń w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego odnośnie planowania przedsięwzięć, które mogłyby stwarzać zagrożenie dla wód leczniczych, jak w przypadku zasobów wód zwykłych i środowiska naturalnego, w tym lokalizacji wierceń za wodami zwykłymi. Zapisy dokumentów planistycznych powinny ograniczać możliwość poszukiwania w obrębie obszarów górniczych zwykłych wód podziemnych dla celów przemysłowych i komunalnych oraz zakazywać wykonywania wierceń za wodami zwykłymi w obrębie zatwierdzonych obszarów zasobowych wód leczniczych, jak również lokalizacji ujęć wód leczniczych w obszarach zasobowych ujęć wód zwykłych, zwłaszcza w warunkach współwystępowania obu rodzajów wód w tym samym poziomie wodonośnym. Należy zauważyć, iż dochodzi do sytuacji, kiedy zagadnienia związane z ochroną złóż wód leczniczych są wyłączane z treści planu, na przykład w sytuacji, kiedy dokument ten jest opracowywany dla stosunkowo małej jednostki planistycznej (np. pojedyncze obiekty budowlane). Zgodnie z zapisami ustawy POŚ studia uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gmin oraz miejscowe plany zagospodarowania przestrzennego, w celu zapewnienia racjonalnej gospodarki zasobami środowiska powinny uwzględniać obszary występowania złóż kopalin oraz obecne i przyszłe potrzeby ich wydobywania (poprzez oszacowanie wielkości wydobycia i rozwoju zasięgu oddziaływania ujęcia).

Część II

Metodyka badań i dokumentowania

5. PROJEKT ROBÓT GEOLOGICZNYCH

Jakub Sokołowski, Bogusław Porwisz

Poszukiwanie i rozpoznawanie wód leczniczych z zastosowaniem robót geologicznych może być prowadzone tylko na podstawie projektu robót geologicznych, opracowanego i podpisanego przez osobę posiadającą, potwierdzone egzaminem państwowym, kwalifikacje do wykonywania, dozoru i kierowania pracami geologicznymi, czyli w przypadku wód leczniczych uprawnienia geologiczne kategorii IV. Zgodnie z ustawą PGiG projekt robót geologicznych określa:

- cel zamierzonych robót oraz sposób jego osiągnięcia;
- rodzaj dokumentacji geologicznej mającej powstać w wyniku robót geologicznych;
- harmonogram robót geologicznych;
- przestrzeń, w obrębie której mają być wykonywane roboty geologiczne;
- przedsięwzięcia konieczne ze względu na ochronę środowiska, w tym wód podziemnych, sposób likwidacji wyrobisk, otworów wiertniczych, rekultywacji gruntów, a także czynności mające na celu zapobieżenie szkodom powstałym wskutek wykonywania zamierzonych robót.

Wymogi, jakim powinien odpowiadać projekt robót geologicznych, reguluje Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykony-

wanie wymaga uzyskania koncesji (Dz.U. 2011 nr 288 poz. 1696), wprowadzone na mocy art. 79 ust. 3 ustawy z dnia 9 czerwca 2011 r. PGiG. W 2015 r. nastąpiła niewielka zmiana obowiązującego rozporządzenia, głównie o charakterze porządkowym (Dz.U. 2015 poz. 964), która precyzuje niektóre z dotychczasowych zapisów. Przytoczone przepisy zawierają ogólne wytyczne dotyczące sporządzania projektów i odnoszą się do wszystkich robót geologicznych, bez wyszczególnienia wód leczniczych.

5.1. TREŚĆ I UKŁAD PROJEKTU ROBÓT GEOLOGICZNYCH

Projekt robót geologicznych jest opracowaniem składającym się z części tekstowej i graficznej. Na część tekstową składa się opis zamierzonych robót geologicznych, który w odniesieniu do wód leczniczych, powinien zawierać:

- informacje dotyczące lokalizacji zamierzonych robót geologicznych, z uwzględnieniem podziału administracyjnego (województwo/powiat/gmina) wraz z opisem zagospodarowania terenu, na którym mają być przeprowadzone projektowane roboty oraz charakterystyką obiektów i obszarów chronionych;
- omówienie wyników przeprowadzonych na obszarze zamierzonych prac wcześniej wykonanych robót geologicznych i innych badań,

- na przykład geofizycznych lub geochemicznych, których wyniki mogą być przydatne do osiągnięcia zamierzonego celu wraz z ich wykazem, a także interpretacją oraz przedstawieniem na mapie geologicznej miejsc ich wykonania;
- opis budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych w rejonie zamierzonych robót geologicznych wraz z określeniem przewidywanego profilu geologicznego projektowanego otworu wiertniczego;
 - przedstawienie możliwości osiągnięcia celu robót geologicznych, zawierające zwłaszcza takie elementy jak:
 - opis i uzasadnienie liczby, lokalizacji i rodzaju projektowanego otworu;
 - propozycję przewidywanej konstrukcji otworu wiertniczego;
 - informację dotyczącą sposobu zamykania poszczególnych horyzontów wodonośnych;
 - wskazanie sposobu i terminu ewentualnej likwidacji otworu wiertniczego;
 - charakterystykę i uzasadnienie zakresu oraz metod zamierzonych, dodatkowych badań, na przykład badań geofizycznych i geochemicznych, wraz z opisem ich lokalizacji;
 - opis opróbowania otworu, w tym sposób pobierania próbek geologicznych oraz zakres, ilość i wielkość przewidywanych do pobrania próbek geologicznych;
 - zakres obserwacji i badań terenowych, w szczególności obserwacji poziomów i pomiarów przepływów wód (jeśli dotyczy), próbnych pompowań, pomiarów temperatury i ciśnienia wód, a także innych badań i pomiarów specjalnych, zaprojektowanych w zależności od rodzajów planowanych do ujęcia wód leczniczych i warunków ich występowania;
 - wyszczególnienie niezbędnych prac geodezyjnych;
 - opis i uzasadnienie zakresu badań laboratoryjnych, ze szczególnym uwzględnieniem badań powodujących całkowite zniszczenie próbek geologicznych oraz badań geomechanicznych powodujących naruszenie integralności calizny rdzenia wiertniczego;
 - przewidywaną wielkość dopływu wód do ujęcia, przewidywaną jakość wody odpom-
powywanej oraz sposób odwadniania i odprowadzania wody odpompowywanej;
 - zakres dostarczenia próbek geologicznych podlegających obowiązkowemu przekazaniu państwowej służbie geologicznej (PSG), wraz z wykazem przypuszczalnej liczby, wielkości i rodzaju próbek przewidzianych do badań powodujących całkowite zniszczenie próbek geologicznych oraz badań geomechanicznych powodujących naruszenie integralności calizny rdzenia wiertniczego;
 - określenie harmonogramu zamierzonych robót geologicznych, w tym terminów ich rozpoczęcia i zakończenia;
 - określenie wpływu zamierzonych robót geologicznych na obszary chronione, w tym wspomniane w Ustawie z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (Dz.U. 2021 poz. 1098, j.t.);
 - określenie rodzaju dokumentacji mającej powstać w wyniku projektowanych robót geologicznych;
 - opis przedsięwzięć technicznych, technologicznych i organizacyjnych, mających na celu zapewnienie bezpieczeństwa powszechnego, bezpieczeństwa pracy i ochrony środowiska (dotyczy tylko robót geologicznych, do których nie stosuje się przepisów w sprawie planu ruchu zakładu górniczego – w przeciwnym razie informacje te są w sposób szczegółowy zawarte w planie ruchu zakładu górniczego i nie ma potrzeby ich powielania w projekcie robót geologicznych).
- Część graficzna projektu powinna zawierać:
- mapę topograficzną w skali co najmniej 1:100 000, z zaznaczeniem miejsca zamierzonych robót geologicznych i usytuowania ich w stosunku do granic miejscowości będącej siedzibą gminy lub punktów osnowy geodezyjnej; mapa ta powinna zostać sporządzona na podkładzie mapy topograficznej pozyskanej z państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego;
 - mapę hydrogeologiczną;
 - przekrój geologiczny (jeśli został sporządzony), ze wskazaniem lokalizacji miejsca zamierzonych robót geologicznych;

- mapę sytuacyjno-wysokościową sporządzoną na podstawie danych i informacji uzyskanych z państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego, opracowaną w skali nie mniejszej niż 1:50 000 ze wskazaniem lokalizacji miejsca zamierzonych robót geologicznych oraz zaznaczeniem obiektów ograniczających wykonywanie robót geologicznych;
- mapę geośrodowiskową w skali nie mniejszej niż 1:50 000 ze wskazaniem lokalizacji miejsca zamierzonych robót geologicznych;
- przewidywany profil geologiczny i techniczny projektowanego otworu wiertniczego, wraz ze wskazaniem przewidywanej lokalizacji miejsc opróbowania.

W przypadku wód leczniczych wątpliwości budzi zapis mówiący, że na mapie geologicznej w odpowiednio dobranej skali należy przedstawić lokalizację obszaru lub miejsca wykonania badań archiwalnych omówionych w tekście, podczas gdy dołączenie samej mapy geologicznej nie jest obli-

gatoryjne, a uzależnione od celu projektowanych robót i od tego, czy mapa taka została już wcześniej wykonana. W przypadku wód leczniczych mapą odpowiadającą celowi robót jest mapa hydrogeologiczna, na której z kolei nie ma wymogu zaznaczenia lokalizacji miejsca zamierzonych robót geologicznych. Wydaje się to niedopatrzaniem ze strony sporządzającego przepis wykonawczy, gdyż taka informacja jest niezbędna. W opisanej sytuacji uważa się za wskazane dołączenie do projektu zarówno mapy geologicznej, jak i mapy hydrogeologicznej, zaznaczając na obu miejsce projektowanych robót geologicznych.

Tytuł projektu i jego układ nie zostały określone w rozporządzeniu ministra właściwego do spraw środowiska. Zaleca się, aby projekt przyjmował formę zbliżoną do nieformalnie obowiązującego schematu, będącego efektem dotychczasowej praktyki w projektowaniu ujęć wód podziemnych. Proponowany układ projektu robót geologicznych przedstawiono poniżej.

ZALECANY UKŁAD PROJEKTU ROBÓT GEOLOGICZNYCH

Tytuł:

Projekt robót geologicznych na wykonanie otworu ... w celu rozpoznania i udokumentowania zasobów wód leczniczych w miejscowości ... (gmina/powiat/województwo)

Spis treści:

1. Wstęp

1.1. Informacje ogólne

Określenie zleceniodawcy i wykonawcy projektu oraz umowy, na podstawie której wykonano projekt wraz ze wstępnym zasygnalizowaniem celu projektowanych robót geologicznych i ich miejsca

1.2. Podstawa formalna

Podanie przepisów prawa i innych dokumentów (np. Inwestor często wymaga przywołania Specyfikacji Istotnych Warunków Zamówienia itp.), na podstawie których opracowano projekt

1.3. Cel i zakres projektowanych prac

Uzasadnienie celowości zamierzonych robót wraz z przedstawieniem możliwości osiągnięcia celu i wstępnym określeniem ryzyka geologicznego, podanie zakresu informacji planowanych do uzyskania w wyniku realizacji robót

1.4. Lokalizacja ujęcia

Szczegółowe określenie położenia terenu projektowanych robót: położenie administracyjne, informacje z ewidencji gruntów (nr ewidencyjny działki, obręb) oraz określenie danych właściciela nieruchomości gruntowej, na której projektuje się roboty geologiczne

2. Charakterystyka terenu projektowanych robót

2.1. Położenie geograficzne i morfologia

Lokalizacja obszaru względem jednostek fizyczno-geograficznych oraz charakterystyka morfologii terenu

2.2. Hydrografia

Opis sieci hydrograficznej i urządzeń hydrotechnicznych/melioracyjnych, określenie organów administracji wodnej, ewentualnie skrócony bilans hydrologiczny (w zależności od głębokości projektowanego otworu wiertniczego i izolacji planowanej do ujęcia warstwy wodonośnej utworami nieprzepuszczalnymi)

2.3. Obszary prawnie chronione

Charakterystyka obszarów (i obiektów) objętych ochroną, nie tylko formy przyrody, także obszary i tereny górnicze, strefy ochrony uzdrowiskowej, strefy ochronne ujęć wód podziemnych, projektowane obszary ochronne GZWP, zabytki itp.

2.4. Zagospodarowanie terenu

Szczegółowy opis zagospodarowania terenu projektowanych robót, w tym ognisk zanieczyszczeń, infrastruktury ograniczającej wykonanie robót, możliwości zaopatrzenia w energię i wodę, możliwość odprowadzania wody i organizacji wiertni, dojazdu ciężkiego sprzętu

3. Przegląd materiałów archiwalnych

Omówienie wyników dotychczasowych robót i prac geologicznych, a także badań naukowych, wraz z ich interpretacją i analizą przydatności dla osiągnięcia zamierzonego celu oraz oceną stopnia rozpoznania budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych, a także sformułowanie zaleceń wynikających z przeglądu materiałów archiwalnych dotyczących celu i zakresu projektowanych robót

4. Budowa geologiczna

Omówienie budowy geologicznej terenu projektowanych prac, zawierające opis litologiczny i stratygraficzny serii skalnych oraz rys tektoniczny (układ strukturalny), podanie przewidywanego profilu litologiczno-stratygraficznego projektowanego otworu

5. Warunki hydrogeologiczne

Omówienie warunków występowania wód podziemnych, także wód zwykłych (z podaniem informacji o Głównych Zbiornikach Wód Podziemnych, Jednolitych Częściach Wód Podziemnych i rejonach wodno-gospodarczych), z uwzględnieniem regionalizacji hydrogeologicznej, ogólna charakterystyka hydrodynamiczna systemu wodonośnego (strefa występowania wód leczniczych, obszary zasilania, przepływu i drenażu, zjawisko współwystępowania wód zwykłych i leczniczych, ascenzja wertykalna i lateralna wód zasolonych, kontakt wód leczniczych z wodami powierzchniowymi), określenie genezy wód, opis planowanej do ujęcia warstwy wodonośnej (stratygrafia, litologia, głębokość zalegania, parametry hydrogeologiczne, stopień izolacji od powierzchni terenu), charakterystyka sąsiednich ujęć wód podziemnych z podaniem ich zasobów eksploatacyjnych i odpowiadających im depresji, przewidywane parametry eksploatacyjne wody (właściwości fizyczne i skład chemiczny), odniesienie do wyznaczonych obszarów zasobowych sąsiednich ujęć wód podziemnych, ogólna ocena stopnia rozpoznania warunków hydrogeologicznych

6. Warunki geotermiczne (jeśli dotyczy)

Ocena warunków termicznych (z powołaniem się na wyniki z sąsiednich otworów wiertniczych), gradient i stopień geotermiczny, charakterystyka gęstości ziemskiego strumienia ciepłego, przewidywana temperatura wód na wypływie z ujęcia

7. Opis projektowanych robót i prac geologicznych
 - 7.1. Uzasadnienie zakresu robót
Omówienie i uzasadnienie ilości, rodzaju i głębokości projektowanych otworów wiertniczych, opis i uzasadnienie lokalizacji otworów
 - 7.2. Konstrukcja projektowanego otworu
Opis konstrukcji otworu i technologii jego wykonania, opis zafiltrowania z określeniem rodzaju filtra i podaniem głębokości jego posadowienia, informacja o obsypce, sposobie uszczelnienia i cementowania rur, opis zabiegów i przeciwdziałań uniemożliwiających mieszanie się wód z różnych poziomów wodonośnych
 - 7.3. Zakres badań i opróbowania otworu
Omówienie sposobu opróbowania otworu w trakcie wiercenia oraz opis badań geofizycznych w trakcie i po jego zakończeniu, określenie próbek geologicznych podlegających przekazaniu PSG, charakterystyka badań i pomiarów hydrogeologicznych (cel badań, obliczenie spodziewanej wydajności otworu, pompowanie oczyszczające, próbne pompowanie pomiarowe/ próbne wydobywanie, obserwacje w innych otworach itp.), z uwzględnieniem sposobu odprowadzania wód wydobytych podczas ich trwania, opis sposobu poboru próbek wody i zawartych w nich gazów oraz przedstawienie zakresu badań laboratoryjnych, zalecenia do sposobu opracowania wyników
 - 7.4. Likwidacja otworu
Określenie sposobu i terminu ewentualnej likwidacji otworu lub jego innego wykorzystania w przypadku uzyskania wyników negatywnych wraz z określeniem, jakie wyniki będą uznane za negatywne
 - 7.5. Zakres prac geodezyjnych
Wyszczególnienie pomiarów geodezyjnych (niwelacja otworu)
8. Określenie rodzaju dokumentacji wyników
Wskazanie sposobu przedstawienia wyników zaprojektowanych robót, w tym także w sytuacji nie osiągnięcia zamierzonego celu
9. Harmonogram
Orientacyjny harmonogram wykonywanych robót, ze wskazaniem terminu ich rozpoczęcia i zakończenia oraz, jeśli zachodzi taka konieczność, określeniem poszczególnych etapów realizacji zadania (co powinno być spójne z okresem, na który ma być zatwierdzony projekt)
10. Oddziaływanie przedsięwzięcia na środowisko
Omówienie wpływu projektowanych robót i prac na poszczególne elementy środowiska przyrodniczego (gleba, wody podziemne, wody powierzchniowe, szata roślinna, hałas, itd.) oraz obszary prawnie chronione, w tym Natura 2000
11. Przedsięwzięcia techniczne i technologiczne prowadzenia robót oraz wymogi BHP (w przypadku gdy nie ma potrzeby sporządzania planu ruchu zakładu górniczego)
Opis zamierzeń technicznych i technologicznych prowadzenia robót geologicznych, zasady bezpieczeństwa i higieny pracy oraz bezpieczeństwa powszechnego
12. Wnioski i zalecenia
Syntetyczne przedstawienie najważniejszych ustaleń projektu (podsumowanie), wnioski
13. Spis wykorzystanych materiałów
Zestawienie wykorzystanych publikacji, map, materiałów archiwalnych, danych z serwisów internetowych (z podaniem daty skorzystania z serwisu) itp.

Spis załączników:

1. Mapa topograficzna w skali co najmniej 1:100 000
2. Mapa sytuacyjno-wysokościowa w skali co najmniej 1:50 000 (zalecana skala 1:1000)
3. Mapa geologiczna (np. wycinek SMGP w skali 1:50 000, zalecana mapa odkryta lub szkic tektoniczny)
4. Mapa hydrogeologiczna (np. wycinek MHP w skali 1:50 000, zalecana mapa przedstawiająca warunki poziomu wodonośnego planowanego do ujęcia)
5. Mapa geośrodowiskowa (np. wycinek MGŚP w skali 1:50 000)
6. Przekrój geologiczny i/lub hydrogeologiczny (jeśli takie zostały sporządzone, w przypadku braku zaleca się opracowanie przekroju autorskiego)
7. Schemat geologiczno-techniczny projektowanego otworu
8. Inne (zaleca się dołączenie do projektu zestawienia wyników wierceń okolicznych otworów, przede wszystkim ich profile geologiczne i wyniki analiz fizyczno-chemicznych wód, bądź w formie tabelarycznej lub jako zestawienia zbiorcze wyników wierceń)

Przepisy dopuszczają prowadzenie robót geologicznych etapami, na przykład wykonanie w pierwszej kolejności jednego ujęcia wód leczniczych z kilku planowanych, które w zależności od uzyskanych wyników w pierwszym z otworów, mogą być odwiercone w kolejnych etapach bądź nie, jeżeli inwestor odstąpi od prowadzenia dalszych robót. Wstępną informację o zamiarze prowadzenia prac etapami trzeba jednak umieścić w projekcie robót geologicznych. Powinna ona zawierać rodzaj, zakres i harmonogram oraz lokalizację zamierzonych robót w kolejnych etapach. W przypadku przystąpienia do kolejnego etapu należy sporządzić dodatek do projektu robót geologicznych. Dodatek taki powinien zawierać podsumowanie wyników dotychczasowych robót geologicznych oraz szczegółowo określać rodzaj, zakres i harmonogram robót, których dotyczy. Dodatek do projektu należy sporządzić także w sytuacji, gdy założenia pierwotnego projektu ulegną istotnym zmianom, bądź to w wyniku zmiany założeń projektowych, bądź wskutek odmiennych niż zakładane warunków geologicznych i hydrogeologicznych. W takiej sytuacji dodatek do projektu może przybrać formę uproszczoną, uwzględniającą jedynie projektowane zmiany (bez powielania informacji ogólnych zawartych w projekcie podstawowym).

Wniosek o zatwierdzenie projektu, wraz z dwoma egzemplarzami projektu w wersji papierowej oraz dowodem dokonania opłaty skarbowej, składa

się właściwemu organowi administracji geologicznej, którym – w przypadku wód leczniczych – jest marszałek województwa. Opłaty skarbowe od dokonania czynności urzędowych na wniosek (dodatkowa także od pełnomocnictwa) są wymagane przepisami Ustawy z dnia 16 listopada 2006 r. o opłacie skarbowej (Dz.U. 2021 poz. 1923, j.t.) i należy ją wpłacić na rachunek bankowy właściwego miejscowo urzędu marszałkowskiego. Według zapisów ustawy PGiG stronami postępowania o zatwierdzenie projektu są właściciele (użytkownicy wieczysti) nieruchomości gruntowych, w granicach których mają być wykonywane roboty geologiczne. Zatwierdzenie projektu nie jest jednak podejmowane samodzielnie przez marszałka, wymaga bowiem uzyskania opinii wójta (burmistrza, prezydenta miasta) właściwego ze względu na miejsce wykonywania robót geologicznych. Brak opinii w ciągu 14 dni może być uważany za milczącą zgodę organu administracji publicznej. Dopiero po tym, gdy wymieniona opinia stanie się ostateczna, organ administracji geologicznej może prawidłowo wydać decyzję, bez narażania się na konsekwencje w postaci wznowienia postępowania. Jak wynika z ustawy Kodeksu postępowania administracyjnego (kpa) (Dz.U. 2021 poz. 735, j.t.) procedura zatwierdzania projektów robót geologicznych opiera się na sprawdzeniu zgodności opracowań z przepisami prawa zawartymi w ustawie PGiG oraz w omówionym szczegółowo powyżej rozporządzeniu Ministra Śro-

dowiska w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji, a także zgodności z wymaganiami w zakresie ochrony środowiska (m.in. oceny oddziaływania na obszary Natura 2000) oraz ocenie, czy rodzaj i zakres projektowanych robót geologicznych, a także sposób ich wykonania, odpowiada celowi tych robót. Jeśli wniosek o zatwierdzenie projektu spełnia wszystkie wymagania (np. zawiera informacje o prawach, jakie przysługują wnioskodawcy do nieruchomości, w granicach której mają być wykonywane roboty geologiczne), organ administracji geologicznej wszczyna postępowanie w sprawie jego zatwierdzenia, kończące się wydaniem decyzji spełniającej wymagania ustawy z dnia 14 czerwca 1960 r. kpa. Projekt zatwierdza się na czas określony, w zależności od zakresu i harmonogramu planowanych robót, jednak nie dłuższy niż 5 lat. W uzasadnionych przypadkach, na przykład gdy projektowany otwór znajduje się w obrębie pasa nadmorskiego (obszary morskie RP), jego zatwierdzenie leży w kompetencjach ministra właściwego do spraw środowiska. Wówczas decyzja zatwierdzająca projekt robót geologicznych musi być uzgodniona z dyrektorem właściwego urzędu morskiego. Postępowania przed organami administracji publicznej w należących do właściwości tych organów sprawach indywidualnych rozstrzyganych w drodze decyzji administracyjnych normuje kpa.

5.2. WSKAZANIA DOTYCZĄCE SPORZĄDZANIA PROJEKTÓW ROBÓT GEOLOGICZNYCH

Podstawowym celem projektowania hydrogeologicznych otworów wiertniczych jest nie tylko udostępnienie złoża i umożliwienie wydobycia lecz także dostarczenie nowych informacji na temat warunków geologicznych i hydrogeologicznych panujących w jego obrębie. Harmonogram prac powinien przewidywać m.in. wykonanie w otworze wiertniczym pełnego opróbowania hydrogeologicznego i specjalistycznych badań geofizycznych. W sytuacji skomplikowanych warunków hydrogeologicznych lub bardzo słabego stopnia ich rozpoznania zalecanym rozwiązaniem jest wykonanie

w pierwszej kolejności małosrednicowego otworu poszukiwawczo-rozpoznawczego, tzw. pilotażowego, o średnicy końcowej około 120–150 mm (fig. 5.1). Pozwala to na późniejszą optymalizację rozwiązań konstrukcyjnych otworu eksploatacyjnego, powstałego poprzez poszerzenie otworu pilotażowego (Biernat i in., 2012). Zasady wykonywania wierceń hydrogeologicznych i sposoby ujmowania warstw wodonośnych, w zależności od rodzaju przewiercanych skał i głębokości otworu, są szeroko omówione w licznych publikacjach (Kapuściński i in., 1997; Gonet i in., 2011 i innych), a stosowane rozwiązania konstrukcyjne, w tym dobór i sposób zabudowy filtra, zostały omówione szczegółowo w dodatku III. W tym miejscu należy zaznaczyć, iż złożone warunki hydrogeologiczne złóż wód leczniczych sprawiają, iż często parametry filtra dobiera się na podstawie wyników wiercenia otworu pilotażowego lub na bieżąco, wraz z uzyskiwanymi wynikami wiercenia lub po analizie wyników pompowania oczyszczającego. Gdy mamy do czynienia ze stosunkowo prostymi warunkami hydrogeologicznymi projektując filtr można wykorzystać powszechnie znane wzory na przepustowość filtra i dopuszczalną prędkość przepływu wody do filtra (Turek, 1971). Zagadnienia związane z badaniami geologicznymi i hydrogeologicznymi w trakcie wiercenia otworów oraz z likwidacją otworów wiertniczych poruszono w rozdz. 6 i 7. W tym miejscu skupiono się jedynie na wybranych, najistotniejszych, aspektach właściwych wodom leczniczym, do których zalicza się:

- konstrukcja otworu i dobór materiałów;
- dobór płuczki wiertniczej;
- cementowanie rur okładzinowych;
- projekt badań geofizycznych;
- zabiegi intensyfikujące dopływ wód do otworu;
- zasady projektowania badań hydrogeologicznych;
- prace rekonstrukcyjne.

Konstrukcja otworu i dobór materiałów

Typowy projekt otworu zakłada kolumnę wstępną (konduktor) o największej średnicy oraz jedną lub kilka kolumn technicznych, z których ostatnia może spełniać zarazem rolę kolumny

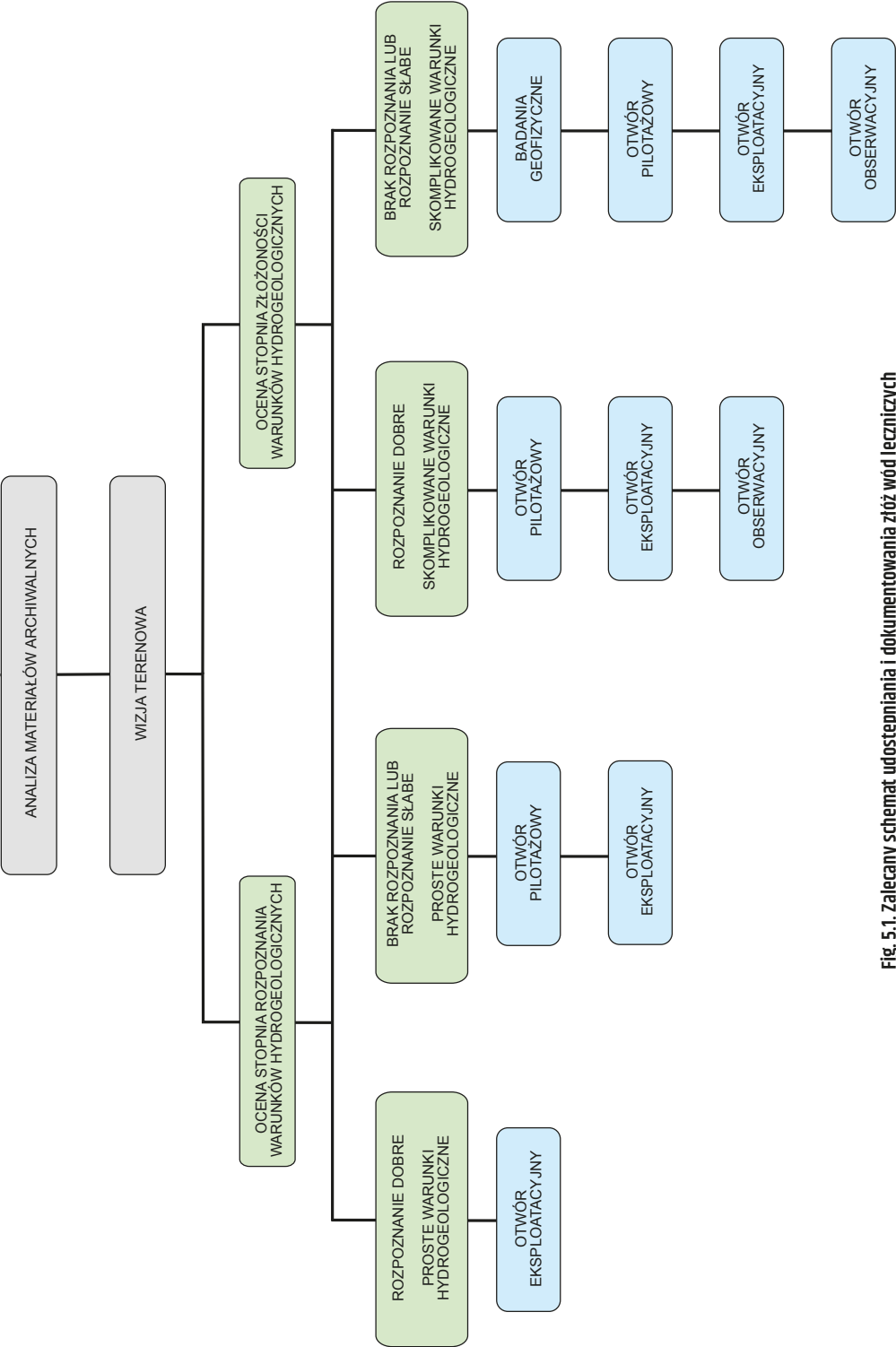


Fig. 5.1. Zalecany schemat udostępniania i dokumentowania złóż wód leczniczych

eksploatacyjnej. Kolumna ta może być wyprowadzona na powierzchnię terenu, a w przypadku większej głębokości lub konieczności stworzenia komory pompowej może być podwieszona powyżej buta kolumny poprzedniej i zacementowana na tzw. zakładkę. W skałach luźnych zaleca się, żeby ostatnia z kolumn technicznych była posadowiona kilka metrów powyżej stropu warstwy wodonośnej tak, aby podczas jej cementowania nie uszkodzić strefy okołofiltrowej. Dodatkowo, na czas cementowania odsłoniętą warstwę wodonośną można zasypać piaskiem, by nie dopuścić do zacementowania szczelin i porów. W skałach zwięzłych kolumna ta może być postawiona w stropie warstwy wodonośnej. Kolumna filtrowa może być wyprowadzona na powierzchnię lub umieszczona na pakerze z wieszakiem. Zastosowane rozwiązanie zależy od jej średnicy tak, aby można było do otworu zapuścić pompę. Jeśli skały zwięzłe wykazują dużą stabilność, otwór może pozostać niezafiltrowany (otwór „bosy”), jeśli są silnie spękane, to stosuje się na ogół kolumnę traconą („liner”), podwieszoną w rurach lub zamontowaną na tzw. stopce. Ze względu na korozyjne działanie wód leczniczych filtry powinny być odpowiednio zabezpieczone, najlepiej wykonane ze stali nierdzewnej (chromowej) lub z tworzywa sztucznego/kompozytów. Zapuszczając do otworu filtr wykonany z innego rodzaju stali niż pozostałe części kolumny eksploatacyjnej, należy zastosować łącznik dielektryczny zapobiegający korozji elektrochemicznej. Do podstawowych czynników wywołujących korozję zarusowania zalicza się odczyn i mineralizację wody oraz obecność w niej gazów: CO_2 i H_2S . Należy zwrócić uwagę, by szczególnie w głębszych otworach lub gdy ściany otworu ulegają zaciskaniu/sypaniu, stosować filtry o odpowiedniej wytrzymałości (stalowe), tak aby nie dopuścić do ich późniejszego zgniecenia. Nie poleca się stosowania rozwiązań zwiększających opory przepływu, na przykład filtrów dwupłaszczowych lub z obsypką w postaci klejonej okładziny. Rozwiązanie takie może okazać się jednak niezbędne w przypadku trudności z wypełnieniem obsypką przestrzeni pomiędzy filtrem a ścianą otworu. W przypadku ułożenia obsypki luźnej, po wykonaniu próbnego pompowania,

należy sprawdzić, czy nie zachodzi konieczność jej uzupełnienia. W odcinkach zbudowanych ze skał ilastych zaleca się umieszczać rury międzyfiltrowe. Konstrukcja całej kolumny filtrowej powinna uwzględniać miejsce na pompę, przy czym należy pamiętać, aby w ujęciach silnie zgazowanych szczaw umieszczać ją możliwie jak najgłębiej (poniżej strefy kawitacji), najlepiej w rurze podfiltrowej. Rozwiązanie takie zapobiega obniżeniu zwierciadła wody poniżej pompy i pozwala uniknąć awarii w trakcie trwania badania. W obszarach słabo rozpoznanych warto na etapie projektowania przewidzieć możliwość opróbowania w otworze więcej niż jednej strefy wodonośnej. W tym celu należy uwzględnić dodatkową kolumnę rur technicznych, uszczelnioną pakerem tak, żeby w przypadku negatywnego wyniku głębienia otworu można było zlikwidować spód otworu i bez przeszkód powrócić do płytszego interwału głębokości. W przypadku głębszych wiercen, w rejonach perspektywicznych dla występowania węglowodorów, otwory powinny być zabezpieczone na okoliczność dopływu węglowodorów (gazoszczelne orurowanie).

Dobór płuczki wiertniczej

Otwory wiertnicze wykonuje się na ogół metodą obrotową z zastosowaniem płuczki, przeważnie bentonitowej lub polimerowej. Z uwagi na niewielką zazwyczaj wielkość dopływu wód leczniczych do otworów, bardzo często wynoszącą poniżej $1 \text{ m}^3/\text{h}$, zaleca się stosowanie płuczek polimerowych. Pogorszenie przepuszczalności strefy okołofiltrowej wskutek kolmatacji, w przypadku przenikania filtratu płuczek sporządzonych na bazie bentonitu, może w istotny sposób wpłynąć na wynik wiercenia, powodując spadek wydajności otworu. Przy wierceniu otworów głębszych, gdzie z uwagi na panujące ciśnienie i temperaturę jest konieczne użycie płuczki, po zafiltrowaniu odwiertu stosuje się zabiegi usprawniające, których celem jest zintensyfikowanie, a w skrajnych przypadkach wywołanie dopływu wody do otworu. Płuczkę wiertniczą dobiera się każdorazowo, przede wszystkim w zależności od warunków geologicznych, przy czym powinna się ona charakteryzować innymi właściwościami podczas przewiercania nadkładu warstwy wodonośnej

pozwalając uzyskać większą prędkość głębenia otworu. Ponadto przy przewiercaniu warstwy wodonośnej powinna być zapewniona niska zawartość fazy stałej, nietoksyczność płuczki i odporność na wysoką mineralizację wody. Jak już wspomniano, do wiercenia ujęć wód leczniczych metodą obrotową najlepiej nadają się płuczki polimerowe, przede wszystkim z uwagi na stosunkową łatwość w oczyszczaniu warstwy wodonośnej z jej pozostałości. Dobierając poszczególne polimery należy mieć na względzie ich odporność na działanie wysoko zmineralizowanych wód, obecność gazów, a także wysoką temperaturę oraz możliwość potencjalnego niekorzystnego oddziaływania na środowisko. Ponieważ płuczki polimerowe nie należą do tanich, utwory zalegające w nadkładzie złoża mogą być przewiercane różnego rodzaju płuczkami bentonitowymi, wymienionymi na polimerowe po osiągnięciu strefy złożowej. Alternatywą dla płuczek polimerowych podczas przewiercania warstwy wodonośnej jest płuczka wodna, jednak sprawdza się ona tylko w skałach zwięzłych, odpornych na wymywanie, jak na przykład skały węglanowe lub twarde piaszkowce. Nie należy stosować płuczek wodnych, gdy warstwa wodonośna zawiera domieszki skał ilastych, na przykład serie fliszowe, ponieważ wpływa to niekorzystnie na warunki dopływu wód do otworu wiertniczego. W takich przypadkach zaleca się prowadzić wiercenie w ruchu ciągłym i z okresową wymianą płuczki oraz płukaniem otworu bezpośrednio po zakończeniu wiercenia i przed zabudową filtra. W przypadku całkowitej ucieczki płuczki, w celu dalszego wiercenia może się okazać konieczne podawanie wody do otworu w sposób ciągły i kontynuowanie robót bez obiegu płuczki.

Cementowanie rur okładzinowych

Zabieg cementowania rur okładzinowych podczas wykonywania studni jest obecnie rzadko praktykowany, jednak w przypadku ujęć wód leczniczych jest zabiegiem koniecznym. Tego typu prawidłowo wykonane uszczelnienie zapewnia izolację przewiercanych warstw wodonośnych lub stref dopływu, zapobiegając mieszaniu się wód o różnych właściwościach fizycznych i różnym składzie chemicznym. Zadaniem płaszcza cementowego jest też wzmo-

czenie kolumny rur eksploatacyjnych przed korozyjnym oddziaływaniem silnie zmineralizowanych i zgazowanych wód leczniczych, co istotnie wpływa na trwałość otworu. Wzmocnienie wytrzymałości poszczególnych kolumn rur ułatwia także późniejsze przeprowadzenie wszelkich prac rekonstrukcyjnych lub zabiegów usprawniających, których wykonanie, z racji właściwości wód leczniczych, jest często nieuniknione. Dodatkowo wypełnienie przestrzeni pomiędzy rurami a ścianą otworu zapewnia też izolację termiczną między transportowaną ku powierzchni ciepłą wodą a chłodniejszymi skałami nadkładu złoża.

Projekt badań geofizycznych

Celem otworowych badań geofizycznych jest przede wszystkim ocena własności zbiornikowych, porowatości, przepływow w poszczególnych interwałach ośrodka skalnego, lokalizacja stref braku dopływów („nieprodukcyjnych”) o bardzo niskiej przepuszczalności i określenie miąższości efektywnej strefy złożowej. Wyniki badań umożliwiają uzyskanie danych na temat litologii ośrodka skalnego, jego porowatości, nasycenia wodą czy przepuszczalności. Zestaw proponowanych badań geofizycznych przedstawiono w tab. 5.1. W przypadku wód leczniczych często wystarczający jest ograniczony zakres badań (np. profilowanie gamma, profilowanie neutronowe, profilowanie oporności, profilowanie indukcyjne i gęstościowe, profilowanie oporności płuczki, profilowanie średnicy), pozwalający na ocenę porowatości i stopnia zawodnienia (określenie poziomów przepuszczalnych i izolujących z uwagi na przepływ wód). Ponadto warto przewidzieć profilowanie krzywizny otworu inklinometrem i profilowanie akustyczne do oceny stanu zacementowania rur, a także profilowanie kawernomierzem.

Badania geofizyki otworowej są również niezbędne przy rekonstrukcji otworów do oceny stanu technicznego rur eksploatacyjnych, jakości zacementowania otworu oraz stanu filtra (np. badanie kawernomierzem), a w głębokich otworach również stanu udostępnienia strefy złożowej i jej wydajności. Na podstawie wyników badań geofizycznych można ustalić szczegółowy zakres prac rekonstrukcyjnych.

Tab. 5.1. Zestaw otworowych badań geofizycznych

Podstawowy zakres badań geofizyki otworowej	
dla otworów niezarurowanych*	dla otworów zarurowanych
– profilowanie średnicy otworu – profilowanie krzywizny otworu – profilowanie naturalnego promieniowania gamma – profilowanie spektrometryczne gamma – profilowanie oporności indukcyjnej – profilowanie potencjałów naturalnych – profilowanie porowatości neutronowe kompensacyjne – profilowanie oporności polem sterowanym – profilowanie gęstości – profilowanie spektrometryczne litologiczno-gęstościowe – profilowanie upadu warstw – profilowanie temperatury w warunkach nieustalonych	– profilowanie naturalnego promieniowania gamma – profilowanie neutronowe – profilowanie gęstości płuczki – profilowanie cementomierzem akustycznym – profilowanie średnicy otworu – profilowanie średnicy rur – profilowanie krzywizny otworu – profilowanie temperatury w warunkach ustalonej równowagi cieplnej – profilowanie ciśnienia – profilowanie przepływomierzem – profilowanie kawernomierzem

* w przypadku braku stabilności ścian otworu można odstąpić od badań w otworze niezarurowanym

W tym miejscu należy także wspomnieć o powierzchniowych badaniach geofizycznych, których wykonanie może być pomocne przy wyborze lokalizacji projektowanego ujęcia wód leczniczych. Wśród nich szczególnie przydatne mogą być badania geoelektryczne z uwagi na szeroki zakres zastosowań (Stefaniuk i in., 2008, 2017; Ciężkowski i in., 2011a), na przykład metoda profilowania elektrooporowego, metoda elektrooporowych sondaży geoelektrycznych, metoda tomografii elektrooporowej, a także inne metody, jak magnetyczne, grawimetryczne, radiofalowe, sejsmiki refleksyjnej czy metoda ciągłego profilowania magnetotellurycznego. Badania geoelektryczne pozwalają na wykrycie stref występowania wód o podwyższonej mineralizacji ogólnej, umożliwiają także stwierdzenie stref spękań (stref uskokowych), które mogą brać udział w przepływie wód podziemnych. Obecność stref nieciągłości podłoża skalnego jest też możliwa do wykazania metodą elektromagnetycznych fal radiowych niskiej częstotliwości. Metoda ta jest wykorzystywana do określenia przebiegu

struktur liniowych, charakteryzujących się obniżoną względem otoczenia opornością elektryczną, prawdopodobnie zawadzionych (niskooporowych) stref uskokowych. Przydatność tej metody zależy od mineralizacji ogólnej wód leczniczych, a jej istotnym ograniczeniem jest niewielki zakres głębokościowy. Rozpoznanie przebiegu stref nieciągłości tektonicznych na większych głębokościach, rzędu kilku tysięcy metrów, umożliwia z kolei metoda magnetotelluryczna, zaś metody sejsmiczne, na przykład sejsmiki refleksyjnej, pozwalają na ocenę parametrów skał, m.in. ich porowatości, a także stopnia nasycenia wodą. Należy pamiętać, iż w większości przypadków powierzchniowe metody geofizyczne pozwalają jedynie na wykrycie stref nieciągłości tektonicznych, utożsamianych ze strefami uskokowymi, natomiast nie wskazują jednoznacznie na rolę tych uskoków w przewodzeniu wód podziemnych, ani też nie umożliwiają śledzenia przestrzennego układu warstw wodonośnych, w których mogą występować wody lecznicze. Podsumowując, metody te są pomocne dla uszczegółowienia stopnia

rozpoznania budowy geologicznej, zwłaszcza na obszarach gdzie tektonika odgrywa decydujące znaczenie w kształtowaniu się warunków hydrogeologicznych.

Zabiegi intensyfikujące dopływ wód do otworu

Problemem pośrednio związanym z projektowaniem ujęć wód leczniczych, pojawiającym się w wyniku długoletniej eksploatacji otworów, jest spadek ich wydajności spowodowany kolmatacją filtra i wytrącaniem się osadu na ścianach rur (fig. 5.2). W celu ich usunięcia stosuje się różnego rodzaju zabiegi usprawniające, zarówno czyszczenie mechaniczne, jak i przy pomocy środków chemicznych (np. kwasowanie). Należy pamiętać, że obie metody nie pozostają bez wpływu na wytrzymałość rur, mogą nawet doprowadzić do ich uszkodzenia (przetarcia), jak to miało na przykład miejsce podczas przeprowadzonej w 2017 r. rekonstrukcji otworu IVa (XXX-lecia) w Świnoujściu. Uszkodzenie osłabionych rur, powstałe prawdopodobnie podczas prowadzenia prac instrumentacyjnych, wywołało dopływ do otworu wód z płytszego interwału głębokościowego, skutkującą trwałą zmianą param-

trów fizyczno-chemicznych wody. Jeśli przesłanki wskazują na możliwość występowania intensywnej kolmatacji filtra i strefy przyfiltrowej, warto zaprojektować otwór o większej średnicy, umożliwiający w przyszłości ewentualne zapuszczenie dodatkowej kolumny rur technicznych. Informacje o stanie rur okładzinowych i kolumny filtra z użyciem kamer umożliwiają podjęcie późniejszej decyzji co do losu takiego otworu. Przykładowo w otworze P-2 w Muszynie, eksploatowanym od 1974 r., skorodowana („dziurawa”) była przestrzeń gwintów łączących rury nadfiltrowe. W wyniku inspekcji kamerą zrekonstruowano otwór, wymieniając filtr stalowy na filtr PCV. Inny otwór, P-3, po kamerowaniu został zlikwidowany. Po badaniu tego otworu doszło do zniszczenia – wyrzucenia przez erupcję gazu – zbyt szybko wyciąganej kamery po zakończeniu profilowania (informacja ustna B. Porwisza).

Zasady projektowania badań hydrogeologicznych

W miarę postępu wiercenia projekt robót geologicznych powinien zakładać bieżącą analizę otrzymywanych danych, zwłaszcza dotyczących wszelkich przejawów dopływu wód. Dlatego też, w miarę



Fig. 5.2. Przykłady wytrącania się osadów z wód leczniczych

z lewej – krystalizacja minerałów w rurociągu wód leczniczych z Ciechocinka,
z prawej – fragment rury jednego z otworów w Kołobrzegu z osadem na ścianach wewnętrznych i zewnętrznych
(fot. M. Sosnowska ze zbiorów J. Sokołowskiego, 2020 r.)

możliwości, zaleca się wykonywanie wierceń udarowych (młotkiem węglbnym), które – na przykład w przypadku systemów szczelinowych – umożliwiają opróbowanie nawet niewielkich stref spękań prowadzących wody, a także w miarę dokładne określenie ich właściwości fizyczno-chemicznych w czasie rzeczywistym w terenie, co jest istotne z uwagi na duży postęp wiercenia z „płuczką pneumatyczną”. W przypadku wierceń obrotowych podstawowych informacji o warunkach hydrogeologicznych dostarcza obserwacja płuczki, zwłaszcza jej gęstości właściwej, parametrów reologicznych, temperatury i jej ilości. Zmiany gęstości płuczki prawdopodobnie wskazują na nawiercenie strefy wodonośnej, zaś ubytek (ucieczka) płuczki lub wzrost jej objętości informują o wielkości ciśnienia złożowego. Analizie powinny być poddawane także próby okruchowe i rdzenie wiertnicze. Zaleca się, aby w interwale planowanej do ujęcia warstwy wodonośnej, wiercenia były rdzeniowane, przynajmniej odcinkowo, co pozwoli na: a) laboratoryjne określenie podstawowych właściwości hydrogeologicznych skał, takich jak współczynnik przepuszczalności, współczynnik odsączalności, współczynnik porowatości efektywnej, gęstość właściwa oraz b) analizy mineralogiczne i petrologiczne pobranych próbek skał. Uzyskane w ten sposób informacje, porównane z wynikami innych badań, na przykład geofizycznych, ułatwią podjęcie decyzji o wyborze optymalnej strefy do zafiltrowania (fig. 5.3) oraz o zwymiarowaniu filtra, zwłaszcza w głębokich otworach wiertniczych.

Po zafiltrowaniu otworu, podczas pompowania pomiarowego, pobiera się na ogół dwie próbki wody do laboratoryjnego oznaczenia właściwości fizyczno-chemicznych. Pierwszą próbkę, do tzw. małej analizy, pobiera się przeważnie z II stopnia pompowania. Drugą, do dużej analizy, należy pobrać pod koniec pompowania, razem z próbkami wody do innych badań (np. bakteriologicznych). Wymagane jest również pobranie próbek wody do oznaczenia promieniotwórczości oraz stężeń trytu i izotopów stabilnych tlenu i wodoru. Jest to wskazane szczególnie w terenach górskich, gdzie wyniki tych oznaczeń mogą być pomocne w określaniu obszarów zasobowych oraz wyznaczeniu obszarów zasilania. Dodatkowo w projekcie należy przewidzieć możli-

wość poboru wód próbnikiem lub wykonanie próby złożowej metodą *air-lift* w trakcie wiercenia otworu pilotażowego, które mają na celu orientacyjne określenie wodonośności oraz chemizmu wód podziemnych w profilu. Z uwagi na możliwość korozji i kolmatacji strefy okołofiltrowej nie zaleca się stosowania metody *air-lift* do próbnego pompowania w otworach już zafiltrowanych. Uzyskane wyniki wiercenia pilotażowego stanowią podstawę do ostatecznej konstrukcji otworu eksploatacyjnego, w szczególności jego głębokości i wyboru interwału do zafiltrowania. Wówczas otwór właściwy może być wiercony do głębokości docelowej poprzez poszerzenie otworu pilotażowego, bez konieczności powtarzania badań wykonanych we wcześniejszym etapie robót geologicznych. Ewentualnie zakres tych badań może być ograniczony do krótkotrwałych pompowań sprawdzających, wykonywanych w czasie przerw w wierceniu otworu oraz poboru próbek wód podziemnych do analizy laboratoryjnej (analiza znacznikowa, np. główne jony, wybrane mikroskładniki i składniki swoiste, gazy, PEW, pH, temperatura). Wyniki badań przeprowadzonych podczas wykonywania otworu pilotażowego, przekształconego następnie w otwór właściwy, powinny znaleźć się w dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia wód leczniczych. Jeśli otwór pilotażowy zostanie przeznaczony do likwidacji, powinna się ona odbyć na podstawie zatwierdzonego projektu robót geologicznych.

Projekt badań hydrogeologicznych w otworze powinien przede wszystkim określać szczegółowy cel ich przeprowadzenia, sposób (metodykę), środki przewidziane do ich wykonania i sposób zagospodarowania wydobytych wód. W praktyce sprowadza się to do określenia wydajności otworu, liczby stopni hydrodynamicznych próbnego pompowania, czasu trwania badania na każdym ze stopni, przewidywanego ciśnienia złożowego, częstotliwości i zakresu pomiarów w otworze wraz z opisem urządzeń do ich wykonywania, zakresu obserwacji w sąsiednich ujęciach, liczby i rodzaju próbek wody i ewentualnie gazów z podaniem miejsca i sposobu ich pobrania, innych badań specjalnych, a także przedstawienia sposobu postępowania w przypadkach awaryjnych. Jest to niezwykle

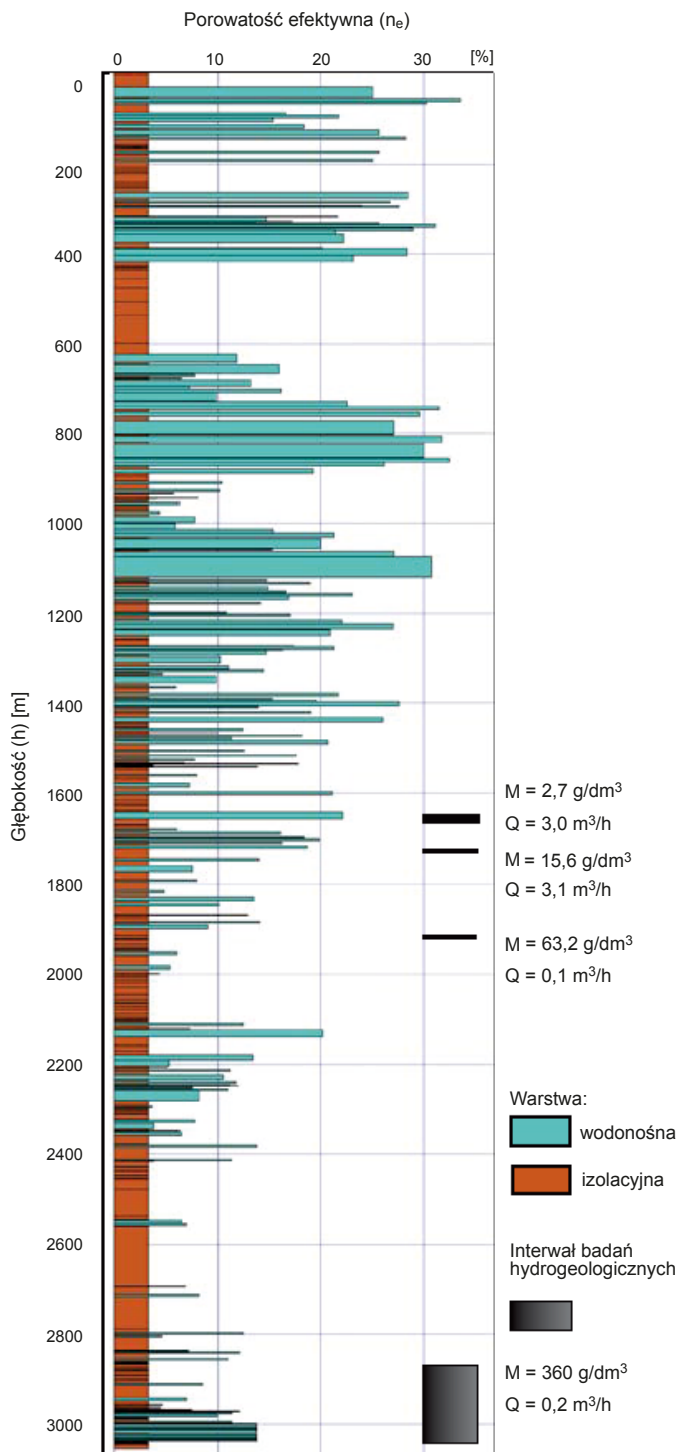


Fig. 5.3. Przykład interpretacji wyników geofizyki otworowej (na podst. Szewczyka, 2007, z mod. autorów)

ważne, ponieważ pompowanie na poszczególnych stopniach hydrodynamicznych powinno odbywać się bez przerw. W przeciwnym razie badanie należy powtórzyć. Przedstawiony w projekcie schemat badań powinien być elastyczny i umożliwiać zarówno jego wcześniejsze zakończenie, jak również wydłużenie, w zależności od panujących warunków, na przykład szybkości stabilizacji depresji itp.

Prace rekonstrukcyjne

Projekt robót geologicznych sporządzany w związku z rekonstrukcją otworu powinien zakładać dwie wersje robót: w sytuacji znacznego skorodowania rur eksploatacyjnych (należy, jeżeli to możliwe, wprowadzić do otworu nową kolumnę rur eksploatacyjnych) oraz w przypadku dobrego stanu tych rur i ich zacementowania. Ocenę drożności otworu umożliwia szablonowanie (tj. zapuszczenie do otworu szablonu o danej średnicy), a w przypadku trudności z zapuszczeniem szablonu, inspekcja kamerą telewizyjną lub wykonanie odcisku. Najczęstszymi przyczynami niepełnej drożności otworów są przetarcia rur lub wypływy cementu/iłu przez szczeliny. W przypadku stwierdzenia niedrożności otworu i blokowania się kamery rozwiązaniem może być badanie kawernomierzem wieloramiennym MIT oraz profilowanie akustyczne cementomierzem segmentowym RBT, których wyniki dodatkowo pozwalają na ocenę stanu zacementowania.

Pozostałe badania geofizyczne, jak na przykład profilowanie krzywizny otworu, profilowanie gamma-gamma, profilowanie neutron-gamma, profilowanie potencjałów polaryzacji neutralnej, profilowanie oporności i profilowanie termiczne, są kosztowne i nie za każdym razem warto je projektować, zwłaszcza, że jeśli otwory są w części niezarusowanej „rozkawernowane” to w większości z nich nie uda się przeprowadzić pomiarów. W przypadku, gdy wyniki archiwalne z okresu wykonywania otworu są dostępne, można odstąpić od większości z tych badań w rekonstruowanym otworze. W przypadku stwierdzenia mechanicznego uszkodzenia rur w wyniku korozji, należy rozważyć wielowariantowość założeń projektowych, na przykład dodatkowe uszczelnienie cementem, zastosowanie łat, wymianę rur lub zapuszczenie nowej kolumny. Ostatnim etapem prac jest usuwanie większych zanieczyszczeń z otworu, na przykład poprzez zapuszczenie magnesu, oraz czyszczenie (*air-lift* lub renowacja chemiczna) i usprawnianie strefy złożowej zabiegami intensyfikującymi doptyw. Rekonstrukcje nowych otworów są najczęściej związane z ich pogłębieniem. Wówczas prace polegają zazwyczaj na wyciągnięciu kolumny filtrowej z otworu, udrożnieniu go do głębokości końcowej, zapuszczeniu do spodu i zacementowaniu na całej długości kolumny rur okładzinowych, a następnie wierceniu do zakładanej głębokości końcowej.

6. ZAKRES I ZASADY PROWADZENIA BADAŃ TERENOWYCH

Bogusław Porwisz, Jakub Sokółowski

Zakres i zasady prowadzenia badań terenowych są określone w projekcie robót geologicznych, dla wierceń o głębokości większej niż 100 m lub wykonywanych w obrębie obszaru górniczego, również w planie ruchu zakładu górniczego. Badania i pomiary wykonywane bezpośrednio w terenie za każdym razem wymagają dostosowania do rodzaju struktury hydrogeologicznej, typu wód i warunków hydrogeologicznych stwierdzonych w otworze.

6.1. BADANIA I POMIARY TERENOWE

Ogólne zasady wykonywania prac geologicznych reguluje ustawa PGiG z dnia 9 czerwca 2011 r. Szczegółowo zasady i zalecenia dotyczące badań i pomiarów terenowych zostały przedstawione w instrukcji obsługi wierceń hydrogeologicznych (Gonet i in., 2011). Ze względu na specyfikę wód leczniczych, różnorodność ich rodzajów oraz na ogół skomplikowane warunki występowania wybrane aspekty omawianego zagadnienia wymagają szerszego zaprezentowania. Ustalenie zakresu i zasad prowadzenia badań terenowych należy do roli dozoru geologicznego, stąd jego obowiązki zaprezentowano szerzej w dodatku III. W dodatku tym zamieszczono także wzory protokołów spisanych podczas wykonywania prac geologicznych.

6.1.1. Badania i pomiary w trakcie wiercenia

W trakcie wiercenia należy koniecznie prowadzić na bieżąco opis litologiczny próbek skał. Profil należy sukcesywnie wrysowywać i dopisywać na roboczej karcie danego otworu, która będzie podstawą wykreślenia zbiorczego zestawienia wyników wiercenia (ZZWW), którego zalecany wzór przedstawiono w dodatku IV. W trakcie wiercenia otworu powinno się prowadzić ciągłe obserwacje oraz rejestrację danych dotyczących:

- głębokości otworu i głębokości położenia świda;
- postępu wiercenia;
- ciężaru właściwego i mineralizacji (PEW) płuczki;
- zgazowania i barwy płuczki;
- ubytków płuczki i ilości wody użytej do uzupełnienia ubytków (należy pamiętać o określeniu mineralizacji wody stosowanej do wiercenia);
- temperatury płuczki.

Przewiercane horyzonty wodonośne, znajdujące się powyżej przewidzianej do ujęcia warstwy wodonośnej, należy zamknąć kolumnami rur okładzinowych zapuszczonymi do głębokości określonej przez nadzór geologiczny, zgodnie z projektem robót geologicznych i upoważnieniem do korekty jego założeń. Po zacementowaniu rur okładzinowych

i zwierceniu korka cementowego niezbędne jest przeprowadzenie próby szczelności wykonanego zabiegu. Skuteczność cementowania można sprawdzić przez kontrolę dopływu wody do otworu poprzez jej szczyrpywanie. Uzyskanie niemal identycznego poziomu płynu w otworze przed i po stojce na wiązanie cementu wskazuje na szczelne postawienie rur i pozwala na prowadzenie dalszych prac wiertniczych. W celu potwierdzenia skuteczności izolacji przewierconego interwału na całej długości zacementowanych kolumn rur okładzinowych, zwłaszcza w głębokich otworach wiertniczych, można wykonać badanie cementomierzem.

Po nawierceniu każdego horyzontu wodonośnego należy przeprowadzić stabilizację zwierciadła wody. Obserwacje położenia zwierciadła wody w głębionym otworze powinny być wykonywane codziennie, przed rozpoczęciem, w trakcie przerw w wierceniu i po zakończeniu pracy urządzenia wierzącego. Zaleca się, aby w trakcie wiercenia szacować mineralizację wody, określając wzrost mineralizacji płynu płuczkowego na podstawie badania przewodności

elektrolitycznej właściwej (PEW). Pomiary te są niezbędne przy uściśleniu głębokości posadowienia kolumny rur wiertniczych, a także do określenia ostatecznej głębokości otworu. Zaleca się rozszerzyć zakres pomiarów o określenie zawartości głównych jonów (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2}). Dodatkowo należy także wykonać pomiary odczynu i temperatury płuczki oraz stężenia składników swoistych, w tym gazów. Informacje te mogą okazać się pomocne we wstępnej ocenie warunków hydrodynamicznych, w tym stopnia spękania górotworu, a w konsekwencji w ocenie zasobności danej warstwy wodonośnej. Zmiany parametrów płuczki mogą wskazywać na dopływ wód, a ich stałość z kolei na brak w profilu spodziewanej warstwy wodonośnej. Zaleca się wykonywać pomiary wskaźnikowe co około 5–10 m, a ich wyniki przedstawić w zbiorczym zestawieniu wyników wiercenia (dodatek IV).

Orientacyjna wielkość dopływu wody może być oszacowana po zabudowaniu tymczasowego filtra w trakcie kontrolnych krótkotrwałych pompowań (około 1 godz.). Alternatywnie, w płytszych otwo-

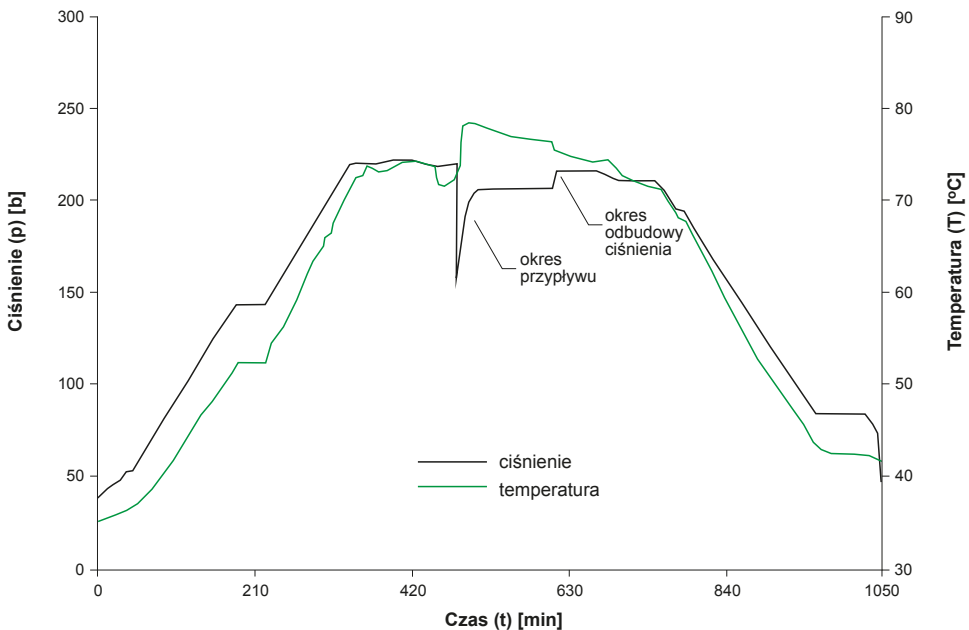


Fig. 6.1. Przykładowy zapis parametrów (ciśnienie złożowe, temperatura) podczas opróbowania rurowym próbnikiem złoża utworów jury dolnej w interwale 2103,5–2148,5 m w głębokim otworze wiertniczym Turek GT-1 (na podst. Kukuły i in., 2019, z mod. autorów)

rach można przeprowadzić szcerpywanie tyżką wiertniczą, zaś w głębokich – zapuścić do otworu próbnik złoża. Rurowe próbki złoża są wyposażone w manometry z elektronicznym zapisem ciśnienia i temperatury. Badanie polega na zapięciu próbnika na wskazanej głębokości i – po otwarciu zaworu obrotowego – oczekiwaniu na przypiływ. Po okresie przypiływu zawór należy zamknąć i wykonać odbudowę ciśnienia. Pomiar ciśnienia złożowego pozwala na interpolację głębokości położenia ustabilizowanego zwierciadła wody, co – dla lepszego zobrazowania zjawiska – pokazano na przykładzie głębokiego otworu geotermalnego (fig. 6.1). Wskazane jest wykonanie kilku szcerpywań lub krótkich pompowań w trakcie wiercenia w celu określenia zmian parametrów wraz z głębokością i wyboru optymalnej warstwy do zafiltrowania. Badania wielkości dopływu należy przeprowadzić z równoczesnym pobraniem próbki wody do oznaczeń laboratoryjnych właściwości fizykochemicznych. Ucieczka płuczki lub całkowita utrata cyrkulacji w otworze wskazuje na obecność dobrze przepuszczalnych poziomów lub splekanych stref wodonośnych, ułatwiając podjęcie decyzji o wyborze interwału do szczegółowych badań.

6.1.2. Pobieranie próbek skał

W trakcie wiercenia należy pobierać próbki skał w sposób umożliwiający powstanie kompletnego profilu geologicznego, na podstawie którego zostanie zaprojektowana szczegółowa konstrukcja filtra. Często, na przykład w Karpatach, z uwagi na zmienność piaszczowcowo-łupkowych utworów fliuszowych, projektowaną głębokość posadowienia rur oraz konstrukcję filtra należy traktować jako projekt wstępny, wymagający uściślenia w zależności od stwierdzonych warunków hydrogeologicznych. Zaleca się pobieranie próbek okruchowych z każdej odmiennej litologicznej warstwy, nie rzadziej jednak niż co 2,0 m. Próbki te należy opisać makroskopowo i złożyć do specjalnych pojemników (worków z HDPE) z opisaną nazwą otworu i głębokością pobrania.

W przypadku wód leczniczych w przelocie warstwy wodonośnej zaleca się wykonanie odcinkowego rdzeniowania. Dopuszcza się zaniechania plano-

wanego rdzeniowania, gdy są dobrej jakości próbki okruchowe oraz dokładne informacje z urzędzenia wiertniczego na temat postępu wiercenia i parametrów przewiercanych warstw. W sytuacji, gdy ściany otworu nie są stabilne lub gdy w otworze panuje wysokie ciśnienie wody mogą wystąpić trudności techniczne z uzyskaniem rdzenia.

Z uwagi na wartość badawczą/poznawczą pobranych próbek, na mocy Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 30 października 2017 r. (Dz.U. 2017 poz. 2075) w sprawie gromadzenia i udostępniania informacji geologicznej oraz ustawy PgiG, uznaje się je za próbki trwałego przechowywania. Ustawodawca przewidział, że ze względu na interes państwa przedsiębiorcy będą zobowiązani do przekazywania PSG próbek i danych geologicznych uzyskanych podczas poszukiwania lub rozpoznawania złóż wód leczniczych.

Sposób pobierania, przechowywania i ewentualnego przekazywania próbek skalnych właściwemu organowi administracji geologicznej/PSG zostały określone w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 czerwca 2015 r. w sprawie przekazywania informacji z bieżącego dokumentowania przebiegu prac geologicznych (Dz.U. 2015 poz. 903). Zgodnie z zapisami rozporządzenia przekazaniu podlegają:

- próbki okruchowe poddawane badaniom w ilości nie mniejszej niż 1/2 objętości próbki;
- rdzenie wiertnicze w ilości nie mniejszej niż 1/2 rdzenia przeciętego zgodnie z płaszczyzną równoległą do osi walca, pozostające w stanie nienaruszonym;
- rdzeniki boczne wszystkie, które nie były poddane badaniom powodującym zniszczenie oraz pozostałe po wykonaniu badań.

Rdzenie należy składać do znormalizowanych drewnianych skrzynek o długości 1,0 m z wysuwającym wiekiem przy zachowaniu ułożenia góra-dół. Skrzynki te powinny zostać opisane w sposób czytelny i trwały na boku, wierzchu i szczycie, a opis powinien zawierać numer i nazwę otworu, kolejny numer skrzynki, numer marszu i głębokość pobrania próbki od-do w metrach.

Po uzyskaniu kompletu próbek z danego otworu należy zawiadomić PSG o gotowości do ich przekazania. Zawiadomienia dokonuje się w postaci papierowej lub elektronicznej wraz ze spisem zdawczo-

-odbiorczym, sporządzonym według odpowiedniego wzoru. PSG w terminie 14 dni od dnia zawiadomienia powinna sprawdzić i zaakceptować spis, a następnie ustalić termin i miejsce przekazania próbek. Próbkę należy dostarczyć wraz z czterema egzemplarzami spisu i profilem geologicznym otworu z zaznaczonym miejscem opróbowania, oznaczone w sposób umożliwiający ich weryfikację (zgodnie z zapisami rozporządzenia) i zabezpieczone przed ich zanieczyszczeniem lub zniszczeniem. Próbkę okruchową w stanie powietrzno-suchym i rdzeniową boczne powinny być zamknięte w opakowaniach, zaś rdzenie w drewnianych skrzynkach. Po potwierdzeniu przyjęcia próbek przekazujący otrzymuje dwa egzemplarze spisu zdawczo-odbiorczego, z których jeden należy dostarczyć organowi administracji geologicznej zatwierdzającemu projekt robót geologicznych. Oprócz próbek należy przekazać także dane uzyskane w wyniku bieżącego dokumentowania przebiegu prac geologicznych, dotyczące parametrów otworu wiertniczego oraz wyników wykonanych badań, parametrów i wyników wykonanych badań geofizycznych, wyników badań próbek uzyskanych w trakcie bieżąco prowadzonych prac oraz badań rdzeni archiwalnych, w tym wyniki badań laboratoryjnych, których zakres przedstawiono w rozdz. 6.2.

Próbki skał do innych badań geologicznych, jak na przykład litofacjalnych, petrologicznych, stratygraficznych, paleontologicznych, sedymentologicznych, geochemicznych, petrofizycznych i innych, należy pobierać zgodnie z projektem robót geologicznych.

6.1.3. Badania i pomiary w czasie pompowania

W celu polepszenia dróg dopływu wód do filtra po wykonaniu otworu należy oczyścić filtr i strefę przyotworową z płuczki i okruchów skalnych, ewentualnie z pozostałości po renowacji/rekonstrukcji otworu. Można to osiągnąć poprzez pompowanie oczyszczające. Wykonuje się je do czasu uzyskania czystej wody, wolnej od zawiesin mechanicznych. Do celów projektowych można przyjąć, że będzie ono trwało około 48 godzin. Skuteczne, i w miarę szybkie, oczyszczenie otworu i strefy przyotworowej

uzyskuje się za pomocą pompy głębinowej zabudowanej w rurze podfiltrowej. Pompowanie należy rozpocząć od niewielkiej wydajności, sukcesywnie ją zwiększając w miarę zaniku mętności wody. Zaleca się, aby pompowanie oczyszczające było prowadzone z wydajnością wynoszącą około 120% przyjętej maksymalnej wydajności teoretycznej, jednak przy zachowaniu dopuszczalnej, maksymalnej depresji. Wielkość dopuszczalnej, maksymalnej depresji powinna być ustalona po zafiltrowaniu otworu, w zależności od stwierdzonych warunków hydrodynamicznych. Wielkość ta nie powinna być większa od $\frac{1}{2}$ wysokości słupa wody w otworze. Pompowanie oczyszczające należy prowadzić przy stopniowo zwiększanej depresji do czasu uzyskania całkowitego oczyszczenia się wody. Następnie należy wykonać stabilizację zwierciadła wody w otworze. W celu dokładniejszego oczyszczenia otworu można stosować zrywy/udary hydrauliczne lub można zmieniać głębokość zapuszczenia pompy. W trakcie pompowania należy wykonywać pomiary wydajności i głębokości zwierciadła wody oraz szacować mineralizację wody na podstawie pomiarów PEW, a także określać wstępnie skład chemiczny przez oznaczenie zawartości wybranych jonów wskaźnikowych. Przed i po zakończeniu pompowania oczyszczającego należy wykonać dezynfekcję otworu.

Program próbnego pompowania pomiarowego jest częścią projektu robót geologicznych, ale każdorazowo przed przystąpieniem do badań wymaga dostosowania do stwierdzonych warunków hydrogeologicznych. Pompowanie pomiarowe należy przeprowadzić na kilku (najlepiej na trzech), ustalonych lub quasi-ustalonych, poziomach dynamicznych. Określenie czasu pompowania, w zależności od szybkości osiągania quasi-stabilizacji depresji, można potwierdzić na bieżąco na podstawie oceny przy użyciu komercyjnego programu AquiferTest i przebiegu pompowania oczyszczającego. W przypadku wód leczniczych czas ten wynosi na ogół kilkadziesiąt godzin na każdym ze stopni, przykładowo około 1-2 dob na pierwszym stopniu, około 2-3 doby na drugim i 3-6 dob na stopniu trzecim. Wykonywane w latach 2010-2020 próbne pompowania ujęć wód leczniczych trwały od 30 godzin w Wełninie do około 800 godzin w Muszynie. Fak-

tyczny czas pompowania przy danym stopniu powinien być uzależniony od szybkości stabilizowania się poszczególnych parametrów hydrogeologicznych i chemicznych, dlatego też obserwuje się wyraźne zróżnicowanie regionalne czasu trwania pompowań. Na Niżu Polskim badania były prowadzone na ogół przez okres 1 doby na każdym ze stopni, podobnie w Sudetach, w zapadlisku przedkarpackim najczęściej nie przekraczały 220 godzin, najdłuższe zaś były w Karpatach fliszowych, gdzie średni czas pompowania wynosił 370 godzin i w żadnym przypadku nie był krótszy niż 100 godzin. Dopuszcza się wykonanie próbnego pompowania przy dwóch bądź jednym poziomie dynamicznym w przypadku uzyskania minimalnej wydajności, na przykład poniżej 0,5 m³/h. Dobowa (24-godzinna) stabilizacja wydajności i depresji będzie oznaczała możliwość zakończenia pompowania na danym poziomie dynamicznym. W warunkach karpackich osiągnięcie stabilizacji zwierciadła wody może okazać się niemożliwe podczas trwania badań z powodu powolnego ustalania się warunków dopływu, systematycznego obniżania się dynamicznego zwierciadła wody i wahań wydajności spowodowanych zgazowaniem wody. Wówczas uzyskane dane należy interpretować stosując schematy dla warunków quasi-ustalonych lub pompowanie należy znacznie wydłużyć (do około 1–3 miesięcy), a jeśli

jest możliwość zagospodarowania wody, przewidzieć nawet próbne wydobyć przez okres 1 roku. Po zakończeniu całego pompowania należy bezwzględnie wykonać stabilizację zwierciadła wody, mogącą – w warunkach karpackich – trwać nawet kilka miesięcy. W przypadku szczaw może wystąpić problem z utrzymaniem stałej wydajności ze względu na nierównomierny dopływ CO₂. Wówczas – z uwagi na poprawność otrzymywanych danych – należy podjąć decyzję o korekcie wydajności, stosując separację dwutlenku węgla do oznaczenia wykładnika gazowego. Różnica wydajności pomiędzy odczytami z wodomierza zamontowanego przed separatorem, a pomiarem na wyjściu z separatora może osiągać 10–30%. Jeśli trudności z ustabilizowaniem zwierciadła wody nie ustąpią to należy zmniejszyć wydajność, a jeśli i to nie przyniesie rezultatu to zakończyć pompowanie i przejść do rejestracji odbudowy ciśnienia.

Odczyty i rejestracje podstawowych parametrów eksploatacyjnych (położenia dynamicznego lub statycznego zwierciadła wody, także podczas odbudowy ciśnienia) najlepiej wykonywać świstawką elektroniczną w rurce piezometrycznej. Nowoczesne technologie umożliwiają stały, automatyczny pomiar położenia zwierciadła wody i wydajności oraz temperatury wody i ich rejestrację w bazie danych. Sondy pomiarowe zapuszczane do otworu mogą być dowolnie konfigurowane, m.in. mogą być wyposażone w automatyczną korektę barometryczną. Zmiany ciśnienia atmosferycznego są zwykle pomijane z uwagi na ich niskie wartości, ale mają istotne znaczenie w przypadku poziomów wodonośnych na dużych głębokościach – tzw. efekt baryczny. Częstotliwość tych pomiarów powinna być zróżnicowana i zależna od czasu, jaki upłynął od momentu rozpoczęcia pompowania z daną wydajnością (tab. 6.1). W miarę upływu czasu częstotliwość pomiarów można zmniejszać. Po ustabilizowaniu się zwierciadła wody pomiary można przeprowadzać rzadziej, na przykład co 4 godziny.

Ilość pompowanej wody należy kontrolować za pomocą wycechowanej skrzyni przelewowej lub, w przypadku niedużych wydajności, przepływomierza. Wraz z pomiarami wydajności i depresji należy prowadzić pomiary właściwości fizycznych wody (temperatury, PEW, odczynu). Badania te powinno

Tab. 6.1. Proponowana częstotliwość pomiarów podczas próbnego pompowania pomiarowego

Czas trwania pompowania	Częstotliwość pomiarów
0–2 min	10 s* / 1 min
2–5 min	30 s* / 1 min
5–15 min	1 min
15–60 min	5 min
60 min–2 h	10 min
2–6 h	30 min
6–72 h	60 min
>72 h	2 h (na I stopniu co 1 h)

* w przypadku automatycznej rejestracji pomiarów

się wykonywać początkowo co około 2 godziny, w miarę upływu czasu rzadziej – kilka (3–4) razy na dobę. Wraz ze wzrostem depresji (zmniejszeniem się słupa wody nad pompą) może nastąpić okresowe podwyższenie temperatury spowodowane nagrzewaniem się pompy, zwłaszcza w sytuacji znacznego „dławienia” wydajności pompy głębinowej. Dodatkowo pomiary powinny obejmować temperaturę powietrza. Badania wskaźnikowe należy uzupełnić, określając stężenia charakterystycznych jonów, składników swoistych i gazów. Oznaczenia fizyczno-chemiczne można wykonywać metodami polowymi bezpośrednio w terenie lub, w miarę możliwości, w laboratorium z częstotliwością 1–2 razy na dobę. W czasie próbnego pompowania należy prowadzić obserwacje i badania wody w otworach zlokalizowanych w promieniu co najmniej dwukrotnego przypuszczalnego zasięgu promienia leja depresji (2R). Pomiary i badania w otworach obserwacyjnych powinno się rozpocząć około 3 dni przed terminem planowanego próbnego pompowania dokumentowanego otworu. W otworach obserwacyjnych badania i pomiary można prowadzić mniej więcej 2 razy rzadziej niż w otworze pompowanym. Brak widocznego trendu zmian położenia zwierciadła wody i badanych parametrów w innych otworach podczas pompowania wskazuje na brak współoddziaływania i pozwala na ewentualne odstąpienie od pompowania zespołowego. Jeżeli wpływ eksploatacji nowego otworu zagraża zasobom eksploatacyjnym innych ujęć należy, w zależności od zapotrzebowania na wodę, zmniejszyć wydajność otworu pompowanego, dokonać aktualizacji zasobów okolicznych ujęć, lub rozważyć możliwość ich likwidacji.

Jak ważne są pomiary wskaźnikowe podczas próbnego pompowania pokazują wyniki uzyskane podczas badań w otworze Damian w Muszynie (tab. 6.2). Zaobserwowano zależność mineralizacji ogólnej wody od wydajności ujęcia, objawiającą się jej skokowym wzrostem przy przejściach na poszczególne stopnie dynamiczne i spadkiem pod koniec pompowania na III stopniu, gdy zmniejszono wydajność na skutek dopływu CO_2 . Zmienność ta może być związana z uruchamianiem dopływu z głębszej części warstwy wodonośnej przy większej wydajności.

Po zakończeniu pompowania należy przeprowadzić stabilizację zwierciadła wody w otworze, w trakcie której – analogicznie jak przy pompowaniu – należy prowadzić pomiary i obserwacje, na przykład co 30 sekund w okresie początkowym, następnie co kilka minut, później co godzinę, a w ostatnim okresie kilka razy na dobę. Stabilizację należy

Tab. 6.2. Zmienność parametrów podczas próbnego pompowania otworu Damian w Muszynie (na podst. Józefko i in., 2018)

Data	Godzina	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
		[mg/dm ³]	
I stopień pompowania			
02.10.2017	11:30	2356	15,8
02.10.2017	19:30	2464	14,5
03.10.2017	03:30	2749	14,5
03.10.2017	11:30	2528	-
II stopień pompowania			
03.10.2017	18:00	2752	14,5
04.10.2017	04:00	2802	19,4
04.10.2017	12:00	2837	19,9
04.10.2017	17:00	2747	12,4
05.10.2017	00:00	2776	20,5
05.10.2017	12:00	2865	21,2
III stopień pompowania			
05.10.2017	20:00	3131	25,4
06.10.2017	04:00	3383	26,2
06.10.2017	12:00	3334	27,6
06.10.2017	20:00	3486	31,2
07.10.2017	08:00	3781	31,1
07.10.2017	20:00	3827	31,6
08.10.2017	08:00	3778	31,5
08.10.2017	20:00	3605	30,8
09.10.2017	08:00	3820	32,8
10.10.2017	08:00	2205	18,9
10.10.2017	15:00	2077	8,3

zakończyć po osiągnięciu pierwotnego ciśnienia piezometrycznego. Zwyczajowo w przypadku wód zwykłych kończy się ona po około 72 godzinach. W przypadku wód leczniczych może to trwać ponad miesiąc, na przykład w Polańczyku po próbnym pompowaniu otworu IG-2 w 2010 r.

Projekt robót geologicznych upoważnia zazwyczaj geologa nadzorującego do korekty przyjętych założeń, na przykład skrócenia lub wydłużenia pompowania oczyszczającego w zależności od uzyskania czystej i klarownej wody. Wydłużeniu lub skróceniu może ulec także czas pompowania pomiarowego, na przykład w wyniku długiego czasu stabilizacji zwierciadła wody lub braku możliwości odprowadzania wody. Jeśli już na I stopniu dynamicznym zwierciadło wody się nie ustabilizowało w długim czasie, przy niskiej wydajności (poniżej $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$) i dużej depresji, prawdopodobnie otwór może okazać się negatywny. W takich sytuacjach geolog nadzorujący prace terenowe może podjąć decyzję o rezygnacji z dalszego pompowania.

W przypadku wód zgazowanych CO_2 należy w trakcie próbnego pompowania wykonywać pomiary ilości dwutlenku węgla w wodzie. Badanie należy wykonać bezpośrednio w terenie przy użyciu aparatu Karat (Żak, 2005a). Uzyskane wyniki będą niezbędne do obliczenia oceny równowagi wodno-gazowej. Dodatkowo zaleca się, aby w trakcie próbnego pompowania szczaw i wód kwasowęglowych na każdej depresji (pod koniec pompowania na danym stopniu) oznaczyć wykładnik gazowy, czyli stosunek gazu do wydajności wody wypływającej z otworu. W tym celu należy wpiąć w rurociąg odpływowy separator gazu wraz z gazomierzem. Jest to niezwykle ważne, choć często pomijane, badanie, na co uwagę zwrócił Ciężkowski i in. (2016b). Monitorowanie ilości wydobywanego wraz ze szczawami CO_2 umożliwia bowiem nie tylko oszacowanie zawartości dwutlenku węgla w całym złożu, lecz także ocenę ilościową zasobów wód leczniczych. Zmienna wartość wykładnika gazowego na danym stopniu dynamicznym świadczy o zwiększającym lub zmniejszającym się dopływie gazu do otworu wraz ze zmianą wydajności. Jeśli wykładnik gazowy nie ulega zmianom przy zwiększaniu wydajności świadczy to o zwiększającym się dopływie gazu do otworu. Z kolei obniżenie wartości wykładnika na kolejnych stopniach pompowania

wskazuje na stabilizację dopływu gazu do otworu (przy zmniejszeniu wydajności wartość wykładnika wzrośnie). Jeśli wody zawierają stosunkowo niewielką ilość CO_2 , na przykład do około $1000 \text{ mg}/\text{dm}^3$, to można zrezygnować z pomiaru wykładnika gazowego.

Zmiany wykładnika gazowego w czasie mogą wskazywać na niekorzystne procesy zachodzące w złożu (Ciężkowski i in., 2016b). W większości otworów, w których ujmuje się szczawy i wody kwasowęglowe, podczas wieloletniego wydobywania wody obserwuje się spadek jej mineralizacji ogólnej oraz zawartości CO_2 . Zatrzymanie tego trendu nie zawsze ustępuje, a osiągnięcie równowagi wodno-gazowej może nastąpić po upływie kilku lat.

6.2. POBÓR PRÓBEK WÓD I GAZÓW ORAZ ICH BADANIA LABORATORYJNE

Wymogi związane z metodyką i sposobem poboru próbek wód podziemnych, a także badań laboratoryjnych, są przedstawione w publikacji *Praktyczne aspekty opróbowania wód w systemie monitoringu wód podziemnych* (Zdechlik i in., 2013) oraz w *Katalogu wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania* (Witczak i in., 2013). Sposób pobierania próbek wody i zakres badań jest regulowany również Rozporządzeniami Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi oraz z dnia 13 kwietnia 2006 r. w sprawie zakresu badań niezbędnych do ustalenia właściwości leczniczych naturalnych surowców leczniczych i właściwości leczniczych klimatu, kryteriów ich oceny oraz wzoru świadectwa potwierdzającego te właściwości.

Szczegółowe instrukcje pobierania, przechowywania i transportowania próbek wody należy uzgodnić z laboratorium wykonującym oznaczenia. Według ogólnie przyjętych zasad próbki powinny zostać pobrane w sposób zabezpieczający ich naturalne cechy fizyczno-chemiczne, w szczególności przez:

- zastosowanie odpowiednich próbników i pojemników;

- ograniczenie dostępu światła i powietrza;
- przechowywanie i transport w stanie schłodzonym;
- bezzwłoczne przekazanie próbek do laboratorium.

Podczas poboru próbek wody należy bezpośrednio w terenie dokonać pomiaru szybkozmiennych parametrów fizyczno-chemicznych, tj. odczynu, PEW i temperatury wody oraz, w przypadku szczaw i wód kwasowęgłowych, zbadać zawartość wolnego CO₂ w wodzie przy pomocy aparatu Karata. Wymagane jest również pobranie próbki wody do badań bakteriologicznych, pomiaru naturalnej promieniotwórczości wody (całkowitej aktywności promieniowania alfa i beta, radonu – ²²²Rn, radu – ²²⁶Ra i ²²⁸Ra) oraz badań izotopowych (np. izotopy stabilne tlenu i wodoru oraz trytu). Badania bakteriologiczne i naturalnej promieniotwórczości są niezbędne w celu stwierdzenia, czy badane wody pod względem sanitarnym i radiologicznym spełniają kryteria zawarte w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 31 marca 2011 r. w sprawie naturalnych wód mineralnych, wód źródłanych i wód stołowych. W przypadku radonu i izotopów radu dotyczy to nie tylko wód sudeckich, lecz także wód występujących na Niżu Polskim. Zawartość radonu w wodach leczniczych stwierdzono na przykład we Fromborku.

Próbki wody do badań laboratoryjnych należy pobrać pod koniec pompowania, najczęściej na drugim i trzecim stopniu hydrodynamicznym. Należy pobrać następujące rodzaje próbek wody:

- próbkę do analizy fizyczno-chemicznej (przed pobraniem zaleca się umycie kurka czerpalnego środkiem czyszczącym i dokładne spłukanie; wymagane jest całkowite napełnienie pojemnika);
- próbkę do analizy bakteriologicznej (przed pobraniem kurek należy wysterylizować płomieniem lub innymi sposobami o równorzędnej skuteczności, na przykład przez zanurzenie na 2–3 minuty w roztworze podchlorynu; w butelce należy pozostawić przestrzeń z powietrzem umożliwiającą mieszanie przed wykonaniem badania; interpretując ewentualne skażenia, należy zwrócić szczególną uwagę na warunki panujące podczas poboru próbki – mogą one wpływać

na jej kontaminację (np. silne opady deszczu mogą wprowadzać zanieczyszczenia baktericyjne do warstwy wodonośnej w trakcie prac terenowych);

- próbkę do badań izotopowych w zakresie oznaczenia trytu i izotopów stabilnych tlenu i wodoru oraz oznaczenia całkowitej aktywności promieniotwórczej (wodę należy pobrać według wskazań laboratorium).

Ponadto, w przypadku wód zgazowanych, należy pobrać próbkę gazu do oznaczenia jego składu cząsteczkowego. Pobieranie próbek gazów wykonuje się pipetą gazową, zgodnie z wymogami wykonawcy oznaczeń. Zazwyczaj wykonawca oznaczeń sam dokonuje pobrania próbek. Metodę poboru próbek gazu do badań laboratoryjnych przedstawił Ciężkowski (Ciężkowski, 2002).

Standardowy zakres oznaczeń laboratoryjnych tzw. małej analizy wody powinien obejmować:

- analizę ogólną: wygląd zewnętrzny, barwa, mętność, smak, zapach, odczyn, potencjał redoks, PEW, temperatura, twardość ogólna, twardość węglanowa, twardość niewęglanowa, utlenialność, ogólny węgiel organiczny;
- oznaczenie składników mineralnych zdysocjowanych:
 - kationy: sód, wapń, magnez, jon amonowy, antymon, arsen, bar, beryl, chrom (III), cynk, cyrkon, glin, kadm, kobalt, lit, mangan, miedź, molibden, nikiel, ołów, potas, rtęć, selen, srebro, stront, tal, tytan, wanad, wolfram, żelazo (II);
 - aniony: chlorki, siarczany, wodorowęglany, azotany, azotyny, bromki, cyjanki, fosforany, fluorki, jodki, węglany;
- oznaczenie składników mineralnych niezdysocyjowanych: kwas metaborowy, kwas metakrzemowy;
- określenie sumy składników stałych;
- oznaczenie składników gazowych: dwutlenek węgla, radon, siarkowodór.

Duża analiza wody powinna być wzbogacona o badania substancji organicznych w zakresie:

- substancje powierzchniowo czynne (detergenty anionowe);
- fenole (indeks fenolowy);
- chlorofenole;

- wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA): benzo(a)piren, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(g,h,i)perylen, indeno(1,2,3-cd)piren, dibenzo(a,h)antracen, fluoranten;
- pestycydy: 4,4'-DDT, 4,4'-DDE, 4,4'-DDD, aldryna, dieldryna, endryna, heptachlor, lindan, gamma HCH, metoksychlor.

Na zakończenie należy zwrócić uwagę na obowiązek przekazywania wyników badań laboratoryjnych właściwemu organowi administracji geologicznej zgodnie z wymogami rozporządzenia w sprawie przekazywania informacji z bieżącego dokumentowania przebiegu prac geologicznych. W przypadku wód leczniczych przekazaniu podlegają wyniki dotyczące:

- terenowych pomiarów właściwości fizyczno-chemicznych wody (odczyn, PEW, temperatura na wypływie i w złożu, zawartość gazów w wodzie, oznaczenia jonów wskaźnikowych);
- laboratoryjnych oznaczeń właściwości fizyczno-chemicznych wody (barwa, mętność, zapach, smak, odczyn, potencjał redoks, PEW, twardość ogólna, twardość węglanowa, twardość niewęglanowa, składniki mineralne dysocjowane, składniki mineralne niezdysonowane, suma składników stałych, składniki gazowe);
- laboratoryjnych oznaczeń składu izotopowego;
- laboratoryjnych oznaczeń właściwości fizyczno-chemicznych gazów.

7. DOKUMENTACJA HYDROGEOLOGICZNA – RODZAJE I WYMAGANA ZAWARTOŚĆ

Jakub Sokołowski, Bogusław Porwisz

Dokumentacja hydrogeologiczna, ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęcia, jest jednym z elementów złożonego i długotrwałego procesu poszukiwania, rozpoznawania, dokumentowania i eksploataowania wód leczniczych (fig. 7.1). Poszczególne etapy procesu inwestycyjnego podlegają nie tylko przepisom ustawy PGiG, lecz także przepisom z zakresu ochrony środowiska. Proces sporządzania dokumentacji hydrogeologicznej i innych dokumentów koniecznych do podjęcia eksploatacji ujęcia wód leczniczych obrazuje algorytm na fig. 7.1.

7.1. TREŚĆ I UKŁAD DOKUMENTACJI HYDROGEOLOGICZNEJ

Wyniki prac geologicznych kończące się udokumentowaniem zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych, wraz z ich interpretacją oraz określeniem stopnia osiągnięcia zamierzonego celu i uzasadnieniem, należy przedstawić w formie dokumentacji hydrogeologicznej. Dokumentacja ta, sporządzona i podpisana przez osobę posiadającą uprawnienia geologiczne kategorii IV, w szczególności określa:

- budowę geologiczną i warunki hydrogeologiczne badanego obszaru;
- warunki występowania wód podziemnych, w tym charakterystykę warstw wodonośnych określonego poziomu;

- informacje przedstawiające skład chemiczny, cechy fizyczne oraz inne właściwości wód;
- możliwości poboru wód;
- przedsięwzięcia niezbędne do ochrony środowiska.

Szczegółowe wymagania, jakim powinny odpowiadać dokumentacje hydrogeologiczne określa Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej.

Dokumentacja hydrogeologiczna obejmuje część tekstową, w skład której wchodzi: strona tytułowa, karta informacyjna (sporządzona według wzoru określonego w załączniku nr 4 do rozporządzenia – dodatek V), kopia decyzji zatwierdzającej projekt robót geologicznych (jeśli do opracowania dokumentacji wykorzystano dane z wieloletnich pomiarów i obserwacji i nie były przy tym realizowane żadne roboty geologiczne to sporządzenie projektu robót geologicznych nie jest konieczne), spis wykorzystanej literatury i materiałów archiwalnych oraz część graficzną. Strona tytułowa powinna zawierać:

- nazwę i adres podmiotu, który wykonał dokumentację;
- nazwę i adres podmiotu, który zamówił i sfinansował wykonanie dokumentacji;
- tytuł dokumentacji;

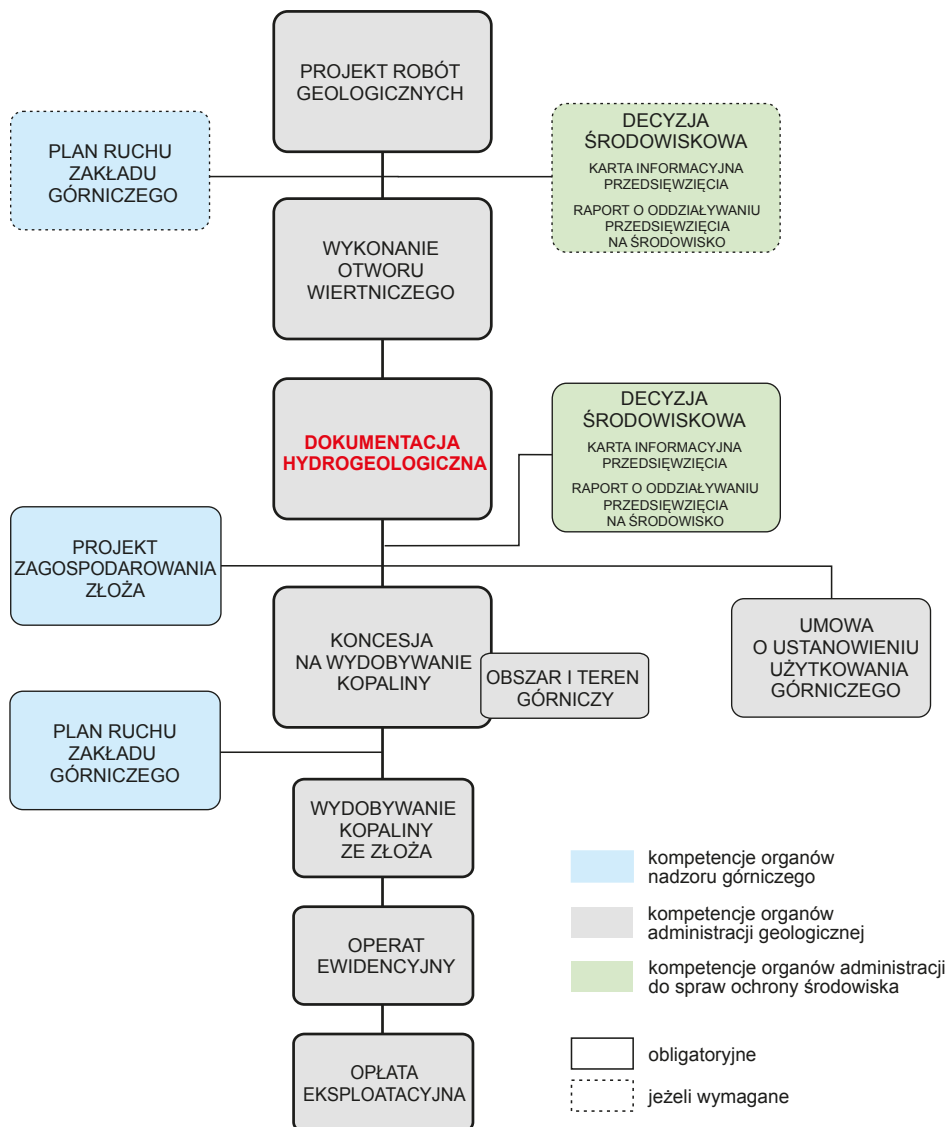


Fig. 7.1. Miejsce dokumentacji hydrogeologicznej w procesie udostępnienia złoża wód leczniczych do wydobycia

- imię i nazwisko oraz podpis sporządzającego dokumentację, a także numer kwalifikacji geologicznych;
- imiona i nazwiska osób wchodzących w skład zespołu, który sporządził dokumentację, oraz ich podpisy;
- imię, nazwisko i podpis osoby uprawnionej do reprezentowania podmiotu, który sporządził dokumentację;

- datę sporządzenia dokumentacji.
- Część opisowa dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych zawiera:
- ustalenie, na podstawie pomiarów przeprowadzonych w terenie, położenia otworów lub źródeł wchodzących w skład ujęcia w państwowym układzie współrzędnych i rzędnej terenu przy tych otworach/źródłach;

- opis stanu środowiska, zagospodarowania terenu i dotychczasowego wydobycia w rejonie dokumentowanego ujęcia z odniesieniem do ustalonych zasobów dyspozycyjnych (jeżeli dokumentacja, w której zostały ustalone, jest zatwierdzona);
 - opis zakresu i wyników badań wykonanych w celu ustalenia zasobów eksploatacyjnych dokumentowanego ujęcia w stosunku do projektu robót geologicznych, w tym wyników próbnich pompowań;
 - opis morfologii i hydrografii terenu, budowy geologicznej oraz warunków hydrogeologicznych kształtujących zasoby ujmowanego poziomu z ustaleniem wieku utworów wodonośnych i genezy tych wód;
 - opis kontaktów hydraulicznych między wodami podziemnymi zaliczonymi do kopalin różnych warstw wodonośnych o różnym typie chemicznym, warunków ich wzajemnej równowagi i czynników kształtujących właściwości fizyczno-chemiczne tych wód oraz opis związków ze zwykłymi wodami podziemnymi i wodami powierzchniowymi;
 - wyniki obliczeń parametrów hydrogeologicznych utworów wodonośnych na podstawie wyników próbnich pompowań, testów hydrodynamicznych lub wieloletnich obserwacji;
 - podanie liczby otworów lub źródeł wchodzących w skład dokumentowanego ujęcia, ich rozmieszczenia, głębokości i sposobu ujmowania warstw wodonośnych z uwzględnieniem zastosowanych rodzajów filtrów;
 - ustalenie zasobów eksploatacyjnych ujęcia w odniesieniu do zasobów dyspozycyjnych obszaru bilansowego (jeżeli są zatwierdzone), depresji i zasięgu oddziaływania dokumentowanego ujęcia i bilansu jego zasilania oraz ustalenie kierunków dopływu wód do dokumentowanego ujęcia oraz granic obszaru jego zasilania i obszaru zasobowego z uwzględnieniem współoddziaływania z ujęciami sąsiednimi;
 - ocenę i prognozę trwałości oraz zakresu wahań właściwości fizycznych, w tym ich temperatury, składu chemicznego i stanu mikrobiologicznego;
 - proponowane granice obszaru i terenu górniczego wyznaczone z uwzględnieniem warunków hydrodynamicznych;
 - zalecenia co do racjonalnej eksploatacji ujęcia, z uwzględnieniem zagadnień równowagi wodno-gazowej i warunków wtłaczania wykorzystanych wód, wskazanie środków i działań w zakresie ochrony ujęcia przed zanieczyszczeniami, a także wskazówki dla jego właściciela do prowadzenia własnych obserwacji i pomiarów w trakcie eksploatacji oraz uzasadnienie do prowadzenia monitoringu osłonowego dokumentowanego ujęcia;
 - kopię dokumentu potwierdzającego istnienie prawa do korzystania z informacji geologicznej, którą wykorzystano przy sporządzaniu tej dokumentacji.
- Część graficzna dokumentacji powinna zawierać:
- mapę przeglądową z lokalizacją terenu przeprowadzonych prac geologicznych; mapa ta, jak również pozostałe mapy stanowiące załączniki do dokumentacji, powinna zostać sporządzona na podkładzie mapy topograficznej pozyskanej z państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego w skali dostosowanej do powierzchni terenu objętego rozpoznaniem hydrogeologicznym, stopnia tego rozpoznania i złożoności treści prezentowanych na mapie;
 - mapę dokumentacyjną sporządzoną na podkładzie map topograficznych z naniesionymi położeniami ujęć wód podziemnych i otworów wiertniczych, liniami przekrojów hydrogeologicznych oraz granicami sąsiednich obszarów i terenów górniczych; treść topograficzna powinna zostać przedstawiona w stopniu szczegółowości właściwym dla map topograficznych w skali nie mniejszej niż 1:50 000;
 - plan lub mapę hydrogeologiczną sporządzoną na podkładzie map topograficznych z zaznaczoną lokalizacją dokumentowanego ujęcia, strefami ochronnymi A, B i C uzdrowiska, kierunkami przepływu wód podziemnych, granicami obszaru spływu tych wód, granicami oddziaływania i granicami obszaru

- zasobowego, a także proponowanymi granicami obszaru i terenu górniczego;
- przekroje hydrogeologiczne;
- geodezyjny szkic wytyczenia lokalizacji otworów lub źródeł wchodzących w skład ujęcia i ich przedstawienie na planie w skali co najmniej 1:1000;
- wykresy wyników próbnego pompowania, testów hydrodynamicznych lub wydobywania, z uwzględnieniem temperatury wody i jej składników chemicznych;
- zbiorcze zestawienie wyników wiercenia;
- wyniki badań fizyczno-chemicznych i bakteriologicznych wody;
- wyniki pozostałych badań wykonanych w celu ustalenia zasobów eksploatacyjnych ujęcia.

INFORMACJA GEOLOGICZNA

Wyniki bezpośrednich obserwacji i pomiarów uzyskanych w trakcie prowadzenia wcześniejszych prac geologicznych oraz wyniki przetworzenia i interpretacji danych geologicznych oraz przeprowadzonych badań próbek zawarte przede wszystkim w dokumentacjach geologicznych są informacją geologiczną, z której korzystanie jest regulowane:

- ✓ ustawą PGiG;
- ✓ Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. w sprawie korzystania z informacji geologicznej za wynagrodzeniem (Dz.U. 2011 nr 292 poz. 1724);
- ✓ Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 30 października 2017 r. w sprawie gromadzenia i udostępniania informacji geologicznej;
- ✓ Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 czerwca 2015 r. w sprawie przekazywania informacji z bieżącego dokumentowania przebiegu prac geologicznych.

Prawo do informacji geologicznej regulują przepisy o charakterze cywilnoprawnym, co sprawia, że, aby określić kto i w jakim zakresie jest uprawniony do korzystania z informacji geologicznej, konieczne jest za każdym razem odwołanie się do przepisów prawa obowiązujących w dacie jego powstania oraz przepisów przejściowych.

Aktualnie obowiązujące przepisy określają, że prawo do informacji geologicznej przynależy **Skarbowi Państwa**, który może nim rozporządzać z zastrzeżeniem nienaruszania uprawnień przysługujących podmiotom, które sfinansowały prace geologiczne. Korzystanie z informacji geologicznej przysługującej Skarbowi Państwa jest nieodpłatne z wyjątkiem:

- ✓ wykorzystania jej w celu wykonywania działalności w zakresie:
 - wydobywania kopalin ze złóż;
 - poszukiwania i rozpoznawania oraz wydobywania węglowodorów;
 - podziemnego bezzbiornikowego magazynowania substancji, podziemnego składowania odpadów oraz podziemnego składowania dwutlenku węgla;
 - w jakim wymagane jest pozwolenie wodnoprawne;
- ✓ korzystania z próbek geologicznych w sposób powodujący ich uszkodzenie, zniszczenie lub zużycie próbki;
- ✓ korzystania z danych geologicznych:
 - dotyczących kopalin objętych prawem własności górniczej;
 - z otworów wiertniczych służących rozpoznaniu głębokiego podłoża;

- z regionalnych badań budowy geologicznej kraju;
- stanowiących wyniki badań geofizycznych.

Finansującym prace geologiczne przyznano jednak szczególne uprawnienia w postaci:

- ✓ nieodpłatnego, bezterminowego korzystania z informacji geologicznej;
- ✓ nieodpłatnego, wyłącznego prawa do korzystania z informacji geologicznej przez okres 3 lat od dnia doręczenia decyzji zatwierdzającej dokumentację geologiczną lub od dnia przekazania dokumentacji geologicznej organowi, w celu ubiegania się o wykonywanie działalności, m.in. w zakresie wydobywania wód leczniczych (jeżeli w okresie wyłączności podmiot uzyskał koncesję pozwalającą na wydobywanie to prawo wyłączności ulega przedłużeniu o czas określony w koncesji, tj. czas trwania koncesji) oraz dodatkowo o 2 lata od utraty jej mocy;
- ✓ rozporządzania prawem do informacji geologicznej.

W przypadku likwidacji podmiotu, który nabył prawo do informacji geologicznej bez rozstrzygnięcia o sukcesji lub gdy nie jest możliwe ustalenie podmiotu, któremu to prawo przysługuje, rozporządzającym tym prawem jest Skarb Państwa.

Zgodnie z ustawą PGiG dostęp do informacji geologicznej umożliwia Narodowe Archiwum Geologiczne (NAG). Więcej informacji o zasobach NAG i sposobach udostępniania informacji znajduje się na stronie <https://www.pgi.gov.pl/narodowe-archiwum-geologiczne/gromadzenie-i-udostepnianie-informacji-geologicznej.html>

Podobnie jak w przypadku projektu robót geologicznych tytuł dokumentacji i jej układ nie został narzucony przepisami. Zalecany układ dokumenta-

cji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych z proponowanym spisem załączników przedstawiono poniżej.

ZALECANY UKŁAD DOKUMENTACJI HYDROGEOLOGICZNEJ USTALAJĄCEJ ZASOBY EKSPLOATACYJNE UJĘĆ WÓD LECZNICZYCH

Tytuł:

Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęcia wód leczniczych ... z utworów ... w miejscowości ... (gmina/powiat/województwo)

Spis treści:

1. Wstęp
 - 1.1. Informacje ogólne
 - 1.2. Cel prac i robót geologicznych
 - 1.3. Podstawa prawna opracowania dokumentacji
2. Lokalizacja ujęcia wód leczniczych
3. Charakterystyka ujęcia
 - 3.1. Stan techniczny i sposób zagospodarowania ujęcia
 - 3.2. Historia dotychczasowej eksploatacji ujęcia

4. Omówienie wyników dotychczasowych badań geologicznych
5. Opis wykonanych prac
 - 5.1. Przebieg prac wiertniczych
 - 5.2. Opróbowanie otworu oraz pomiary i obserwacje w trakcie wiercenia
 - 5.3. Przebieg badań hydrogeologicznych
 - 5.4. Pomiary geodezyjne
 - 5.5. Określenie stopnia realizacji założeń projektowych
6. Charakterystyka dokumentowanego obszaru
 - 6.1. Zagospodarowanie terenu
 - 6.2. Morfologia i hydrografia
 - 6.3. Obszary i obiekty prawnie chronione
 - 6.4. Obszary i tereny górnicze utworzone dla złóż wód leczniczych oraz innych kopalin
7. Budowa geologiczna
 - 7.1. Ogólny zarys budowy geologicznej
 - 7.2. Litostratygrafia
 - 7.3. Tektonika
8. Warunki hydrogeologiczne
 - 8.1. Zwykłe wody podziemne
 - 8.2. Wody lecznicze
 - 8.3. Geneza wód
 - 8.4. Określenie związku wód leczniczych ze zwykłymi wodami podziemnymi i wodami powierzchniowymi
9. Omówienie wyników przeprowadzonych badań hydrogeologicznych
 - 9.1. Omówienie i ocena wyników badań
 - 9.2. Obliczenia hydrogeologiczne
10. Określenie warunków dopływu wód do ujęcia
 - 10.1. Określenie depresji i zasięgu oddziaływania ujęcia przy wydajności eksploatacyjnej
 - 10.2. Określenie bilansu zasilania ujęcia, kierunku dopływu wód do ujęcia, granic obszaru zasilania i obszaru zasobowego ujęcia z uwzględnieniem współoddziaływania z ujęciami sąsiednimi (oceną wpływu eksploatacji dokumentowanego ujęcia na ujęcia sąsiednie)
11. Ocena i prognoza trwałości składu chemicznego i własności fizycznych
 - 11.1. Charakterystyka fizyczno-chemiczna ujętych wód
 - 11.2. Prognoza trwałości właściwości fizyczno-chemicznych wody
 - 10.3. Skład izotopowy wody
 - 10.4. Stan bakteriologiczny wody
11. Ustalenie zasobów eksploatacyjnych ujęcia
12. Odniesienie proponowanej wielkości zasobów eksploatacyjnych do ustalonych zasobów dyspozycyjnych
13. Proponowane granice obszaru i terenu górniczego (wyznaczone przede wszystkim z uwzględnieniem warunków hydrodynamicznych)
14. Zalecenia dotyczące racjonalnej eksploatacji ujęcia
 - 15.1. Sposób zabezpieczenia otworu
 - 15.2. Sposób prowadzenia wydobywania
 - 15.3. Zasady prowadzenia obserwacji i pomiarów stacjonarnych
15. Określenie oddziaływania eksploatacji ujęcia na środowisko
16. Podsumowanie i wnioski
17. Spis literatury i wykorzystanych materiałów

Spis załączników:

1. Mapa przeglądowa
2. Mapa dokumentacyjna
3. Mapa geologiczna
4. Mapa hydrogeologiczna
5. Przekrój hydrogeologiczny
6. Zbiorcze zestawienie wyników wiercenia
7. Operat geodezyjny
8. Zestawienie wyników próbnego pompowania (wykres przebiegu pompowania uwzględniający wyniki połowych oznaczeń właściwości fizyczno-chemicznych wody)
9. Interpretacja wyników próbnego pompowania: wykresy $s = f(Q)$ i $s = f(q)$
10. Model hydrogeologiczny (jeśli był wykonywany)
11. Wyniki badań geofizycznych (jeśli były wykonywane)
12. Wyniki analiz fizyczno-chemicznych wody
13. Wyniki analiz bakteriologicznych wody
14. Wyniki analiz izotopowych wody (jeśli były wykonywane)
15. Kopia decyzji zatwierdzającej projekt robót geologicznych (jeśli dotyczy)
16. Kopia koncesji na wydobywanie wód leczniczych ze złoża (jeśli dotyczy)
17. Kopia decyzji zatwierdzającej dokumentację hydrogeologiczną ustalającą zasoby dyspozycyjne (jeśli dotyczy)
18. Dowód istnienia prawa do wykorzystania informacji geologicznej, np. umowa, oświadczenie
19. Inne (dokumentacja fotograficzna rdzenia, mapa sozologiczna, pomiary wykładnika gazowego, dziennik próbnego pompowania, zestawienie wyników archiwalnych analiz fizyczno-chemicznych i izotopowych wody, protokoły z czynności nadzoru geologicznego – zalecane)

Dokumentację hydrogeologiczną przedkłada się marszałkowi województwa w czterech egzemplarzach w postaci papierowej oraz w czterech egzemplarzach w postaci elektronicznej, zapisanej na informatycznym nośniku danych w formacie uniemożliwiającym ingerencję w jej treść. Zatwierdzenie dokumentacji odbywa się w drodze decyzji administracyjnej. Organ administracji geologicznej odmawia zatwierdzenia dokumentacji, jeśli:

- nie odpowiada ona wymaganiom prawa;
- powstała w wyniku działań niezgodnych z prawem, na przykład otwór wiertniczy został wykonany na innej działce niż określono w projekcie robót geologicznych lub roboty geologiczne zostały wykonane z naruszeniem zapisów decyzji zatwierdzającej ten projekt, a także bez zatwierdzonego planu ruchu zakładu górniczego (jeżeli jego sporządzenie było wymagane).

7.2. DODATEK DO DOKUMENTACJI HYDROGEOLOGICZNEJ

Zmiany zatwierdzonej już dokumentacji hydrogeologicznej są możliwe przez sporządzenie do niej dodatku, zatwierdzanego w analogiczny sposób jak dokumentacja podstawowa. Przepisy określają, że dodatek należy wykonać w szczególności w sytuacji odwiercenia studni awaryjnej lub zastępczej, jednak w praktyce najczęściej potrzeba zmian ustaleń dokumentacji podstawowej wynika z określenia aktualnej wydajności ujęcia, aktualizacji poziomu wydobywania i właściwości fizyczno-chemicznych wody. W ujęciach karpackich szczaw często obserwuje się po kilku latach wydobywania wód spadek wydajności przy jednoczesnym wzroście depresji. Wynika on ze specyfiki fliszowego systemu hydrogeologicznego i długotrwałego okresu stabilizowania się warunków dopływu wód do otworów. W takiej

sytuacji na ogół zachodzi konieczność redukcji wielkości zasobów eksploatacyjnych przy zachowaniu dotychczasowej depresji. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku złóż o zasobach nieodnawialnych, na przykład w rejonie Buska-Zdroju i Solca-Zdroju. Obserwowany tam stały, powolny spadek statycznego (quasi-statycznego) zwierciadła wody w trakcie wydobywania wód wskazuje na szczypanie zasobów statycznych, czyli całkowitej objętości wody wolnej zawartej w zbiorniku wód podziemnych, niezależnie od jej ruchu. W konsekwencji prowadzi to do konieczności zwiększania depresji przy zachowaniu stałej wielkości zasobów eksploatacyjnych. Zmiany warunków hydrodynamicznych najczęściej nie pozostają bez wpływu na chemizm wód leczniczych, stąd, przy okazji aktualizacji parametrów eksploatacyjnych ujęć, w dodatkach do dokumentacji określa się aktualną mineralizację i typ chemiczny wody. Zmiany właściwości fizyczno-chemicznych wód, jak również warunków dopływu wód do otworów, mogą być następstwem prac renowacyjnych lub rekonstrukcji ujęć, wykonywanych w celu ich przygotowania do wydobywania wód po dłuższej przerwie. Wówczas dodatek do dokumentacji przedstawia, obok aktualnych zasobów i depresji, również wyniki prac przeprowadzonych w otworach, w tym zawiera opis ich aktualnej konstrukcji. Potrzeba sporządzenia dodatków do dokumentacji może wynikać też ze zmiany przepisów, na przykład wprowadzonym w ostatnich latach obowiązkiem wyznaczenia obszarów zasobowych ujęć. Niekiedy powodem zmian ustaleń dokumentacji podstawowej jest reinterpretacja danych. Taka sytuacja miała miejsce w Dobrowodzie, gdzie w wyniku reinterpretacji wyników badań geofizycznych wykazano obecność w poziomie wodonośnym, traktowanym do tej pory jako ośrodek jednorodny, wkładek utworów nieprzepuszczalnych. Zmiany wykształcenia litologicznego warstwy wodonośnej skutkowały zmniejszeniem jej miąższości, co z kolei spowodowało zmianę współczynnika filtracji oraz zasięgu obszaru oddziaływania ujęcia. Dodatki do dokumentacji mogą też zawierać zmiany przebiegu granic obszarów i terenów górniczych.

W przypadku stwierdzenia istotnych różnic między ustaleniami dokumentacji przedkładanej do zatwierdzenia a stanem rzeczywistym marsza-

tek województwa może w drodze decyzji nakazać jej zmianę, a nawet – w razie potrzeby – wykonanie dodatkowych prac geologicznych. W takim przypadku należy również wykonać dodatek do dokumentacji, jednak w terminie określonym we wspomnianej decyzji. Wówczas także nie zachodzi konieczność sporządzania projektu robót geologicznych, zastępuje go bowiem decyzja nakazująca wykonanie tych prac.

Część opisowa i graficzna dodatku do dokumentacji powinna spełniać te same wymagania co w przypadku dokumentacji, a dodatkowo zawierać opis przyczyn jego wykonania, zakresu i wyników wykonanych prac geologicznych oraz zmian w stosunku do danych przedstawionych w zatwierdzonej dokumentacji. W dodatku należy określić jego numer, wyraźnie wskazać dokumentację, której stanowi on integralną część, a ponadto w części tekstowej dołączyć kopię dokumentu potwierdzającego prawo do korzystania z informacji geologicznej, która znalazła zastosowanie do sporządzenia dodatku i kopię decyzji administracyjnej zatwierdzającej dokumentację lub wcześniej wykonane dodatki. Poniżej przedstawiono zalecany układ i zawartość dodatku do dokumentacji sporządzanego w przypadku aktualizacji zasobów eksploatacyjnych już istniejącego ujęcia otworowego.

W sytuacji, gdy sporządzenie dodatku do dokumentacji wynika z wykonania nowego otworu wiertniczego jego układ powinien odpowiadać propozycji przedstawionej dla dokumentacji hydrogeologicznej (rozdz. 7.1). Zawiera ona bowiem dodatkowe elementy, takie jak opis przebiegu prac wiertniczych, opis opróbowania otworu oraz pomiarów i obserwacji przeprowadzonych w trakcie wiercenia i wyniki pomiarów geodezyjnych.

7.3. INNA DOKUMENTACJA GEOLOGICZNA

W przypadku wykonywania prac geologicznych niekończących się udokumentowaniem zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych, w tym na przykład likwidacji otworu negatywnego lub w sytuacji likwidacji otworu nieużytkowanego, należy sporządzić inną dokumentację geologiczną, nie dokumentację hydrogeologiczną, co jest często spotykanym błędem w praktyce. Do najczęstszych

ZALECANY UKŁAD DODATKU DO DOKUMENTACJI HYDROGEOLOGICZNEJ USTALAJĄCEJ ZASOBY EKSPLOATACYJNE UJĘCIA WÓD LECZNICZYCH

Tytuł:

Dodatek nr ... do dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia wód leczniczych ... z utworów ... w miejscowości ... (gmina/powiat/województwo), wykonany w związku z ...

Spis treści:

1. Wstęp
 - 1.1. Informacje ogólne
 - 1.2. Cel prac i robót geologicznych – zakres opracowania (przyczyna wykonania dodatku)
 - 1.3. Podstawa prawna opracowania dodatku do dokumentacji
2. Lokalizacja ujęcia wód leczniczych
3. Charakterystyka ujęcia
 - 3.1. Stan techniczny i sposób zagospodarowania ujęcia
 - 3.2. Historia dotychczasowej eksploatacji ujęcia
4. Omówienie wyników dotychczasowych badań geologicznych
5. Opis wykonanych prac
 - 5.1. Przebieg badań hydrogeologicznych
 - 5.2. Określenie stopnia realizacji założeń projektowych
6. Charakterystyka dokumentowanego obszaru
 - 6.1. Zagospodarowanie terenu
 - 6.2. Morfologia i hydrografia
 - 6.3. Obszary i obiekty prawnie chronione
 - 6.4. Obszary i tereny górnicze utworzone dla złóż wód leczniczych oraz innych kopalin
 - 6.5. Budowa geologiczna (ogólny zarys budowy geologicznej, litostratygrafia, tektonika)
 - 6.6. Warunki hydrogeologiczne (zwykłe wody podziemne, wody lecznicze, geneza wód, określenie związku wód leczniczych ze zwykłymi wodami podziemnymi i wodami powierzchniowymi)
7. Omówienie wyników przeprowadzonych badań hydrogeologicznych
 - 7.1. Omówienie i ocena wyników badań
 - 7.2. Obliczenia hydrogeologiczne
8. Określenie warunków dopływu wód do ujęcia
 - 8.1. Określenie depresji i zasięgu oddziaływania ujęcia przy wydajności eksploatacyjnej
 - 8.2. Określenie bilansu zasilania ujęcia, kierunku dopływu wód do ujęcia, granic obszaru zasilania i obszaru zasobowego ujęcia z uwzględnieniem współoddziaływania z ujęciami sąsiednimi (oceną wpływu eksploatacji dokumentowanego ujęcia na ujęcia sąsiednie)
9. Ocena i prognoza trwałości składu chemicznego i właściwości fizycznych
 - 9.1. Charakterystyka fizyczno-chemiczna ujętych wód
 - 9.2. Prognoza trwałości właściwości fizyczno-chemicznych wody
 - 9.3. Skład izotopowy wody
 - 9.4. Stan bakteriologiczny wody
10. Ustalenie zasobów eksploatacyjnych ujęcia
11. Odniesienie proponowanej wielkości zasobów eksploatacyjnych do ustalonych zasobów dyspozycyjnych
12. Proponowane granice obszaru i terenu górniczego (wyznaczone przede wszystkim z uwzględnieniem warunków hydrodynamicznych)

13. Zalecenia dotyczące racjonalnej eksploatacji ujęcia
 - 13.1. Sposób zabezpieczenia otworu
 - 13.2. Sposób prowadzenia wydobywania
 - 13.3. Zasady prowadzenia obserwacji i pomiarów stacjonarnych
14. Określenie oddziaływania eksploatacji ujęcia na środowisko
15. Podsumowanie i wnioski
16. Spis literatury i wykorzystanych materiałów

Spis załączników:

1. Mapa przeglądowa
2. Mapa dokumentacyjna
3. Mapa geologiczna
4. Mapa hydrogeologiczna
5. Przekrój hydrogeologiczny
6. Zbiorcze zestawienie wyników wiercenia
7. Mapa ewidencyjna (informacja z rejestru gruntów, ewentualnie z kopiami umów dzierżawy terenu)
8. Zestawienie wyników próbnego pompowania (wykres przebiegu pompowania uwzględniający wyniki polowych oznaczeń właściwości fizyczno-chemicznych wody)
9. Interpretacja wyników próbnego pompowania: wykresy $s = f(Q)$ i $s = f(q)$
10. Wyniki obserwacji i pomiarów stacjonarnych
11. Wyniki analiz fizyczno-chemicznych wody
12. Wyniki analiz bakteriologicznych wody
13. Wyniki analiz izotopowych wody (jeśli były wykonywane)
14. Kopia decyzji zatwierdzającej projekt robót geologicznych (jeśli dotyczy)
15. Kopia decyzji zatwierdzającej dokumentację hydrogeologiczną (zasoby eksploatacyjne)
16. Kopia koncesji na wydobywanie wód leczniczych ze złoża (jeśli dotyczy)
17. Kopia decyzji zatwierdzającej dokumentację hydrogeologiczną ustalającą zasoby dyspozycyjne (jeśli dotyczy)
18. Dowód istnienia prawa do wykorzystania informacji geologicznej, np. umowa, oświadczenie
19. Inne (mapa sozologiczna, pomiary wykładnika gazowego, dziennik próbnego pompowania, zestawienie wyników archiwalnych analiz fizyczno-chemicznych i izotopowych wody, protokoły z czynności nadzoru geologicznego – zalecane)

przyczyn likwidacji otworów lub odstąpienia od ustalenia zasobów eksploatacyjnych zalicza się: nieuzyskanie zakładanych parametrów złożowych, na przykład bardzo niska wydajność przy nieustalonej depresji, brak możliwości zagospodarowania ujętych wód (brak odbiorcy, brak możliwości transportowania wody do odbiorcy), brak zapotrzebowania na wodę o uzyskanych parametrach, do których należą: zbyt wysoka mineralizacja wód, zbyt wysokie stężenia poszczególnych jonów, koloidów, kompleksów koordynacyjnych, skażenie mikrobiolo-

giczne, zły stan techniczny ujęcia lub wykonanie w pobliżu otworu zastępczego, a także trudności eksploatacyjne (np. kawitacja przy bardzo małej wydajności i dużej depresji, erupcje gazu).

Nieużytkowane ujęcia wód leczniczych są traktowane jako potencjalne ogniska zanieczyszczeń, stąd ich likwidacja ma na celu ochronę jakościową zasobów wód leczniczych. Umożliwia także zwiększenie rezerwy zasobów dyspozycyjnych w przypadku ich braku. Likwidację otworu znajdującego się w granicach obszaru górniczego utworzonego dla

złoża wód leczniczych można przeprowadzić na podstawie projektu technicznego robót wiertniczych, wykonanego na zlecenie użytkownika i zatwierdzonego do realizacji przez kierownika ruchu zakładu górniczego. Podstawę prawną likwidacji stanowią wówczas obowiązujące (zatwierdzone): projekt zagospodarowania złoża (PZZ) oraz plan ruchu zakładu górniczego, które powinny uwzględniać potrzebę takich robót. Jeśli ich nie ma należy sporządzić dodatków do ww. opracowań w stosownym zakresie. Poza obszarem górniczym likwidacja otworu wiertniczego wymaga sporządzenia projektu robót geologicznych. Jeśli otwór wiertniczy znajduje się na działce będącej własnością koncesjodawcy lub w jego użytkowaniu wieczystym wówczas ponosi on koszt jego likwidacji. Gdy koncesjodawca dysponuje innym tytułem do nieruchomości, na przykład umową dzierżawy, wówczas kwestie związane z likwidacją otworu regulują zapisy ww. umowy.

Szczegółowe wymagania dotyczące innych dokumentacji geologicznych określa Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 23 grudnia 2020 r. w sprawie innych dokumentacji geologicznych (Dz.U. 2020 poz. 2449). Dokumentacje te powinny zawierać wyniki prac i robót geologicznych wraz z ich interpretacją oraz określeniem stopnia osiągnięcia zamierzonego celu wraz z uzasadnieniem. Sporządza się je z podziałem na część tekstową i graficzną w trzech egzemplarzach, w postaci papierowej i elektronicznej, w terminie sześciu miesięcy od dnia zakończenia prac i przekazuje marszałkowi województwa. Nie wymagają one uzyskania zatwierdzenia w drodze decyzji, jednak należy je sporządzać zgodnie z wymaganiami rozporządzenia, a organ administracji geologicznej powinien je weryfikować.

Część tekstowa innej dokumentacji geologicznej składa się ze strony tytułowej sporządzonej według tych samych zasad co w przypadku dokumentacji hydrogeologicznej, z pominięciem imienia, nazwiska i podpisu osoby uprawnionej do reprezentowania podmiotu, który sporządził dokumentację oraz karty informacyjnej, której wzory określają załączniki do rozporządzenia. Do części tekstowej należy dołączyć kopie dokumentów, których treść ma istotne znaczenie dla opracowanej dokumentacji, na przykład decyzji zatwierdzającej

projekt robót geologicznych, decyzji o udzieleniu koncesji itp., a także – jeśli dotyczy – wykaz wykonanych badań i ich wyniki w formie zbioru danych wraz z dokumentami potwierdzającymi przekazanie informacji geologicznej z bieżącego dokumentowania przebiegu prac geologicznych.

Część graficzna dokumentacji składa się z:

- mapy przeglądowej w skali nie mniejszej niż 1:100 000, sporządzonej na mapie topograficznej uzyskanej z państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego, z naniesioną na niej lokalizacją otworu wiertniczego;
- mapy sytuacyjno-wysokościowej, sporządzonej na podstawie danych i informacji uzyskanych z państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego, w odpowiednio dobranej skali, nie mniejszej niż 1:50 000, umożliwiające szczegółowe przedstawienie lokalizacji miejsc wykonanych prac geologicznych;
- mapy hydrogeologicznej (ewentualnie także geologicznej) w odpowiednio dobranej skali, nie mniejszej niż 1:50 000;
- przekroju geologicznego (zaleca się przekrój hydrogeologiczny);
- profili geologicznych i technicznych otworów wiertniczych wykonanych w zależności od głębokości otworu w skali nie mniejszej niż 1:2000, przedstawiających konstrukcję otworu, jego średnicę, głębokość posadowienia rur okładzinowych, wyniki badań geofizyki wiertniczej (jeśli były wykonywane), wraz ze wskazaniem wykonanych zabiegów likwidacyjnych (np. likwidacja spodu otworu).

Poniżej przedstawiono dodatkowe wymagania dotyczące zawartości innej dokumentacji geologicznej w zależności od jej typu (tab. 7.1).

Typowy zakres prac związanych z likwidacją otworu obejmuje jego dezynfekcję, a następnie usunięcie kolumny filtrowej i obsypki. Z uwagi na zacementowanie rur okładzinowych na ogół pozostawia się je w otworze, wycinając jedynie w części przypowierzchniowej na głębokości zazwyczaj 1,5–2,0 m. Górną część odciętych rur osłonowych należy szczelnie zaspawać stalową pokrywą. Pozostawienie rur w otworze może wynikać także z ich złego stanu technicznego, grożącego zerwaniem podczas próby ich wyciągnięcia. W zlikwid-

Tab. 7.1. Szczegółowe wymagania, jakim powinna odpowiadać inna dokumentacja geologiczna

Rodzaj dokumentacji	Część tekstowa	Część graficzna
Inna dokumentacja geologiczna sporządzona w przypadku wykonywania prac geologicznych niekonczących się udokumentowaniem zasobów wód podziemnych	– opis celu prac geologicznych i stopnia jego osiągnięcia, a także terminu rozpoczęcia i zakończenia prac geologicznych – charakterystyka geograficzna obszaru wraz z opisem stanu zagospodarowania powierzchni, z uwzględnieniem obiektów i obszarów chronionych – opis budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych w rejonie wykonanych prac geologicznych – szczegółowe omówienie wykonanych prac geologicznych oraz ich wyników – omówienie wyników badań laboratoryjnych oraz wyników innych badań uzyskanych w trakcie wykonywania prac – wnioski wynikające z wykonanych prac – określenie sposobu likwidacji otworu oraz daty rozpoczęcia i zakończenia prac likwidacyjnych – informacja dotycząca uzysku rdzenia i próbek przeznaczonych do badań wraz z określeniem miejsca przechowywania próbek geologicznych	– plan sytuacyjno-wysokościowy w skali 1:500 lub 1:1000 z lokalizacją otworu wiertniczego – profil geologiczny wyrobiska (tu: otworu wiertniczego) z zaznaczeniem miejsc pobrania próbek – mapy specjalne (w zależności od rodzaju wykonanych badań)
Inna dokumentacja geologiczna sporządzona w przypadku likwidacji otworu wiertniczego	– charakterystyka geograficzna obszaru wraz z opisem stanu zagospodarowania powierzchni, z uwzględnieniem obiektów i obszarów chronionych – określenie daty wykonania otworu wiertniczego i dotychczasowego sposobu jego wykorzystania – określenie zamierzonego celu prac geologicznych i stopnia jego osiągnięcia – omówienie wyników wykonanych badań, pomiarów, obserwacji i opróbowania – określenie przyczyn i sposobu likwidacji otworu wiertniczego z podaniem daty rozpoczęcia i zakończenia prac likwidacyjnych – informacja dotycząca uzysku rdzenia i próbek przeznaczonych do badań – określenie miejsca przechowywania dokumentacji otworu wiertniczego i próbek geologicznych	– plan sytuacyjno-wysokościowy w skali 1:500 lub 1:1000 z lokalizacją likwidowanego otworu wiertniczego

wanym otworze nr 17E w Ciechocinku rury okładzinowe pozostawiono z uwagi na konieczność zachowania zabytkowej obudowy ujęcia. Otwór likwiduje się przez wypełnienie zdezynfekowanym materiałem piaszczysto-żwirowym, zagęszczanym, z uszczelnieniem cementowym lub kompaktynowym w interwałach występowania utworów słabo przepuszczalnych oraz w strefie przypowierzchniowej. Rozwiązanie to zapewnia izolację ujętej warstwy wodonośnej od powierzchni terenu. Otwór można także wypełnić zaczynem cementowym z dodatkiem bentonitu (fig. 7.2). Wyrobisko powstałe po obudowie wypełnia się zazwyczaj

materiałem piaszczystym. W zależności od przyszłego sposobu zagospodarowania terenu na powierzchni lub na głębokości wycięcia rur, należy pozostawić tzw. „świadka”, wskazującego lokalizację zlikwidowanego otworu. Na ogół przybiera on formę płyty betonowej z oznaczeniem osi otworu, jego nazwą i datą likwidacji. W przypadku źródeł sposób likwidacji zależy od zastosowanego sposobu ujmowania wód (fig. 7.3). Gdy zlikwidowane ujęcie znajdowało się w obrębie obszaru górniczego wyznaczonego dla złoża wód leczniczych, należy przeanalizować przebieg jego granic i poddać ewentualnej korekcie.

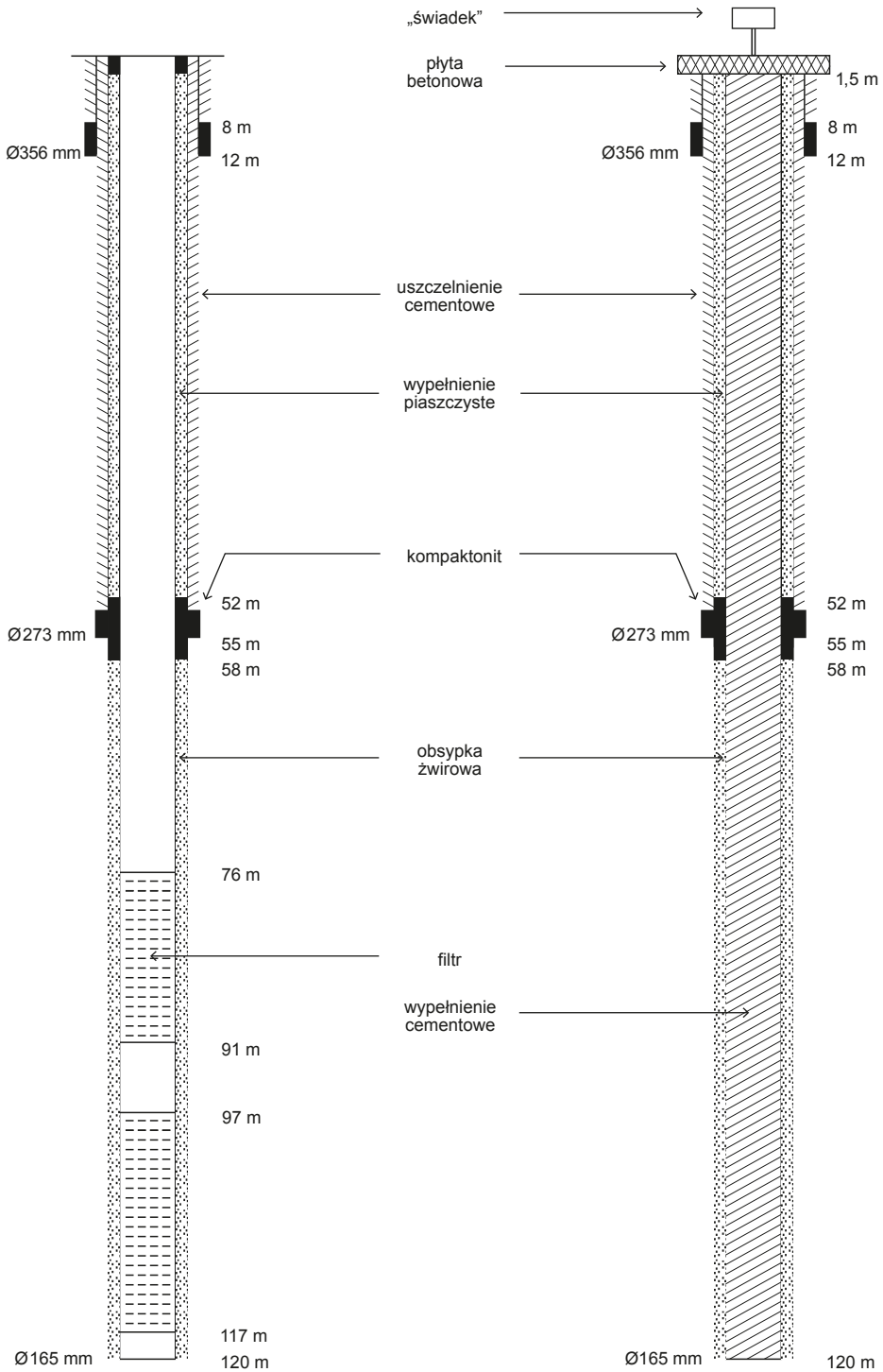


Fig. 7.2. Sposób likwidacji otworu wiertniczego ujmującego wody lecznicze
 – na przykładzie otworu wiertniczego P-16 w Piwnicznej-Zdroju (na podst. Piecucha, 2018, z mod. autorów)

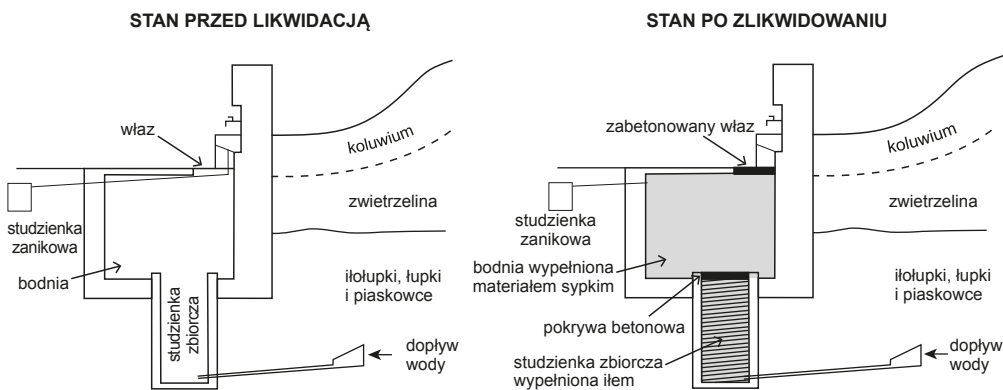


Fig. 7.3. Sposób likwidacji źródła wód leczniczych – na przykładzie źródła Grunwald w Muszynie (na podst. Porwisza i in., 2016a, z mod. autorów)

Poniżej zaprezentowano proponowany układ i zawartość innej dokumentacji geologicznej opracowanej w związku z likwidacją otworu wiertniczego/źródła

ujmującego wody lecznicze.

ZALECANY UKŁAD INNEJ DOKUMENTACJI GEOLOGICZNEJ OPRACOWANEJ W ZWIĄZKU Z LIKWIDACJĄ UJĘCIA WÓD LECZNICZYCH

Tytuł:

Dokumentacja geologiczna zlikwidowanego otworu wiertniczego/źródła ... ujmującego wody lecznicze z utworów ... w miejscowości ... (gmina/powiat/województwo)

Spis treści:

1. Wstęp
 - 1.1. Informacje ogólne
 - 1.2. Cel i zakres opracowania
 - 1.3. Podstawa prawna opracowania dokumentacji
2. Lokalizacja otworu wiertniczego/źródła
3. Charakterystyka otworu wiertniczego/źródła
 - 3.1. Data i metoda wykonania otworu wiertniczego/obudowy źródła
 - 3.2. Stan techniczny otworu wiertniczego/źródła przed likwidacją
 - 3.3. Historia dotychczasowego sposobu wykorzystania otworu wiertniczego/źródła
4. Charakterystyka rejonu wykonanych prac
 - 4.1. Morfologia i hydrografia
 - 4.2. Zagospodarowanie terenu
 - 4.3. Obszary prawnie chronione
 - 4.4. Budowa geologiczna
 - 4.5. Warunki hydrogeologiczne
5. Określenie przyczyny likwidacji otworu wiertniczego/źródła, zamierzonego celu prac geologicznych i stopnia jego osiągnięcia

6. Opis sposobu likwidacji otworu wiertniczego/źródła wraz z podaniem daty rozpoczęcia i zakończenia prac likwidacyjnych
7. Omówienie wyników wykonanych badań specjalistycznych, pomiarów, obserwacji oraz opróbowania
8. Określenie miejsca przechowywania dokumentacji otworu wiertniczego/źródła
9. Informacje dotyczące uzysku rdzenia i interwałów, z których pobrano próbki, wraz z wykazem ilości, wielkości i rodzaju próbek przeznaczonych do badań powodujących całkowite zniszczenie próbek geologicznych oraz badań geomechanicznych powodujących naruszenie integralności całego rdzenia wiertniczego, oraz wskazanie miejsca przechowywania próbek geologicznych, w tym próbek podlegających obowiązkowemu przekazaniu PSG
10. Podsumowanie i wnioski
11. Spis literatury i wykorzystanych materiałów

Spis załączników:

1. Mapa przeglądowa w skali nie mniejszej niż 1:100 000
2. Mapa sytuacyjno-wysokościowa w skali nie mniejszej niż 1:50 000
3. Plan sytuacyjno-wysokościowy w skali 1:500 lub 1:1000
4. Mapa geologiczna w skali nie mniejszej niż 1:50 000
5. Mapa hydrogeologiczna w skali nie mniejszej niż 1:50 000
6. Mapa geośrodowiskowa w skali nie mniejszej niż 1:50 000
7. Przekrój geologiczny (zalecany z elementami hydrogeologii lub przekrój hydrogeologiczny)
8. Profil geologiczno-techniczny zlikwidowanego otworu/źródła w skali nie mniejszej niż 1:2000
9. Kopia decyzji zatwierdzającej projekt robót geologicznych (jeśli dotyczy)
10. Inne (zalecane: protokół likwidacji otworu wiertniczego/źródła, kopia decyzji zatwierdzającej dokumentację hydrogeologiczną otworu wiertniczego/źródła, kopia decyzji zatwierdzającej dodatek do planu ruchu zakładu górniczego – jeśli dotyczy)

8. METODY OCENY ZASOBÓW EKSPLOATACYJNYCH

Jakub Sokołowski, Elżbieta Liber-Makowska, Bogusław Porwisz, Lech Śmiateński

Ustawa PGiG definiuje zasoby eksploatacyjne jako ilość wód podziemnych możliwą do pobrania z ujęcia w danych warunkach hydrogeologicznych (wynikających z warunków dopływu wody do ujęcia) i techniczno-ekonomicznych (wynikających z konstrukcji otworu studziennego, oporów hydraulicznych, sprawności technicznej studni, wymiarów filtra, dopuszczalnej prędkości przepływu wód w strefie filtra), z uwzględnieniem zapotrzebowania na wodę i przy zachowaniu wymogów ochrony środowiska. Ustalanie zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych, podobnie jak ujęć zwykłych wód podziemnych, odbywa się za pomocą tych samych metod i jest oparte na prawach dynamiki wód podziemnych i bilansach hydrogeologicznych. Wielkość zasobów eksploatacyjnych ujęcia, często utożsamiana z wydajnością eksploatacyjną i odpowiadającą jej depresją, wpływa na zasięg oddziaływania ujęcia i wielkość obszaru spływu wody do ujęcia w granicach obszaru zasobowego (fig. 8.1). Określenie ostatecznej wielkości zasobów eksploatacyjnych wymaga uwzględnienia właściwości fizyczno-chemicznych ujętych wód i ich stanu bakteriologicznego, a w przypadku wód leczniczych dodatkowo m.in. ich genezy, kontaktów ze zwykłymi wodami podziemnymi i wodami powierzchniowymi, oceny stałości parametrów fizyczno-chemicznych oraz możliwości wyznaczenia granic obszaru i terenu górniczego.

Do oceny zasobów eksploatacyjnych stosuje się najczęściej metody analityczne, wśród których wyróżnia się metody hydrodynamiczne, bilansowe i hydrauliczne (Dąbrowski i in., 2004; Dąbrowski,

Przybyłek, 2005, 2012). W dokumentowaniu zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych zaleca się stosowanie wyłącznie metod hydrodynamicznych, opartych na równaniach dopływu wody do studni. Spośród pozostałych metod analitycznych odznaczają się one największą dokładnością, a przede wszystkim wiarygodnością uzyskiwanych wyników oraz uniwersalnością – mogą być stosowane zarówno dla małych ($Q \leq 50 \text{ m}^3/\text{h}$), jak i dużych ($Q > 50 \text{ m}^3/\text{h}$) ujęć. Zasoby eksploatacyjne są też wyznaczane za pomocą modelowania matematycznego, polegającego na rozwiązywaniu ogólnych równań przepływu wód podziemnych. Metoda ta jest powszechnie stosowana w dokumentowaniu zasobów dużych ujęć zwykłych wód podziemnych. W przypadku wód leczniczych odgrywa jednak mniejszą rolę, przede wszystkim z uwagi na słabe rozpoznanie poszczególnych złóż/struktur hydrogeologicznych, przy jednoczesnym skomplikowaniu warunków hydrogeologicznych. Spośród dokumentacji hydrogeologicznych ustalających zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych wykonanych w latach 1997–2020, metodę matematycznego modelowania procesów filtracji wykorzystano zaledwie dwa razy: w Wieliczce do określenia obszaru zasobowego i kierunków przepływu wód (Żróbek, 2014) oraz w Busku-Zdroju do oceny zasięgu oddziaływania eksploatacji ujęć wód siarczkowych (Gorczyca i in., 2008). Tam gdzie modelowanie matematyczne daje wiarygodne wyniki, na przykład w dobrze rozpoznanych porowych systemach wodonośnych o stwierdzonym przepływie wód pod-

ziemnych w nizinnej części kraju, zaleca się je jako uzupełnienie metody hydrodynamicznej.

Zarówno analityczne metody hydrodynamiczne, jak i modelowanie matematyczne wymagają przeprowadzenia próbnego pompowania pomiarowego. Zasady wykonywania próbnych pompowań, prowadzenia obserwacji i pomiarów w czasie ich trwania, sposób prezentowania wyników wraz z interpretacją hydrogeologiczną są szczegółowo przedstawione w poradnikach metodycznych dotyczących dokumentowania zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych (Dąbrowski i in., 2004; Dąbrowski, Przybyłek, 2005; Gonet i in., 2011), dlatego też w niniejszym Poradniku skupiono się głównie na wypukleniu różnic pomiędzy wodami leczniczymi a zwykłymi, wpływających na metodykę prowadzenia pompowań. Ocena parametrów filtracyjnych i ustalenie zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych różni się zasadniczo od podejścia stosowanego dla wód zwykłych z uwagi na specyficzny reżim złóż wód leczniczych i na ogół słabszą odnawialność ich zasobów. Wydajność ujęć wód leczniczych jest przeważnie niska, a ustalanie się warunków hydrodynamicznych jest procesem długotrwałym, często wieloletnim. Przeprowadzenie badań hydrogeologicznych w warunkach dootywu ustalonego należy do rzadkości, a częsty brak możliwości wykonywania pomiarów w otworach obserwacyjnych z uwagi na brak piezometrów, brak możliwości wyłączenia z eksploatacji ujęć współoddziałujących lub brak zgody innego podmiotu na udostępnienie otworu do badań, na przykład spowodowany konfliktem interesów, dodatkowo utrudnia ich prawidłowe wykonanie. Dodatkowo niekorzystny wpływ na proces obliczeniowy ma wiele czynników, wynikających m.in. z właściwości fizyczno-chemicznych wód leczniczych, stąd niezbędne jest stosowanie szeregu rozwiązań korygujących. Ocena zasobów eksploatacyjnych i związana z nią konieczność wyznaczenia obszaru oddziaływania ujęcia, obszaru zasobowego i obszaru zasilania ściśle zależą od warunków hydrogeologicznych i budowy geologicznej, przy czym oprócz stylu budowy geologicznej i litologii warstw wodonośnych oraz głębokości występowania poziomu wodonośnego, zasadnicze znaczenie ma pochodzenie wód leczniczych, odnawialność ich zasobów i znajomość

stref zasilania. Konieczność wielokryterialnej analizy sprawia, że interpretacja badań hydrogeologicznych i wyznaczenie parametrów hydrogeologicznych dla wód leczniczych (zmineralizowanych i zgazowanych) coraz częściej będzie odbywać się przy pomocy specjalistycznych programów komputerowych, które uwzględniają lepkość i gęstość płynów, sprężystość ośrodka skalnego i wody oraz umożliwiają odwzorowanie przepływów wielofazowych, na przykład woda-gaz, a także pozwalają uwzględnić w obliczeniach m.in. wpływ długotrwałej odbudowy ciśnienia po eksploatacji otworu, poprzedzającej pompowanie pomiarowe, czy też niedogłębiony charakter otworów.

Przy ocenie zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych należy uwzględnić różnorodność systemów krążenia wód podziemnych (fig. 3.1, tab. 3.1) oraz kryterium czasu przepływu tych wód (*travel or flow time*). W strukturach bardzo dobrze rozpoznanych dodatkowo możliwe jest określenie czasu

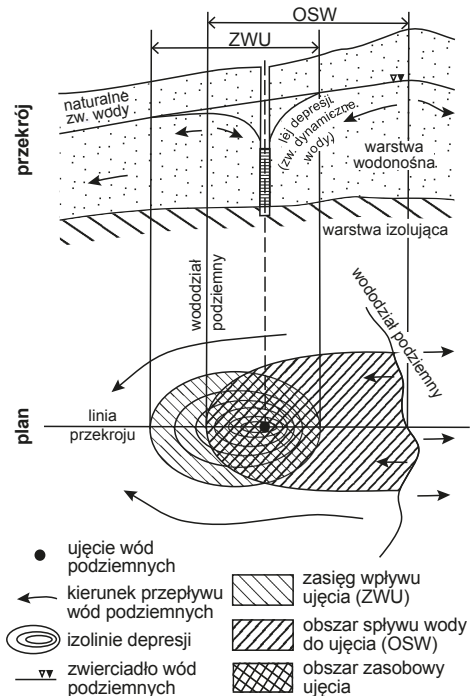


Fig. 8.1. Obszary deformacji hydrodynamicznych podlegające wyznaczaniu w procesie dokumentowania zasobów eksploatacyjnych ujęcia wód podziemnych (na podst. Dąbrowskiego i in., 2004, z mod. autorów)

przebywania wody w ośrodku skalnym (*residence time*). W dużym uproszczeniu można założyć cztery przedziały czasowe przepływu wód, zróżnicowane pod względem podejścia metodycznego przy ustalaniu zasobów eksploatacyjnych:

1. Czas przepływu/przebywania wód $t < 50$ lat.

Są to wody z obecnością trytu, należące do lokalnych przepływów, o dużej lub znacznej odnawialności zasobów. Do oceny ich zasobów można stosować metodę próbných pompowań pomiarowych. Interpretacja wyników próbných pompowań odbywa się na ogół w warunkach dopływu nieustalonego. Dodatkowo, w miarę możliwości, są wskazane kilkuletnie obserwacje wydajności i głębokości położenia zwierciadła wody, połączone z obserwacjami hydrologicznymi i meteorologicznymi, a także badania składu izotopowego wody umożliwiające w przybliżeniu ocenę czasu przepływu wód. Do grupy tej należą wody lecznicze wybranych ujęć ze złóż sudeckich (m.in. Jelenia Góra-Cieplice, Szczawno-Zdrój, Świeradów-Zdrój) i karpackich (Piwniczna-Zdrój, Szczawnica, Tylicz, Wapienne, Wysowa).

2. Czas przepływu/przebywania wód $50 \leq t < 500$ lat.

Są to wody pozbawione trytu, z obecnością radiowęglu, należące do przejściowych lub regionalnych systemów krążenia lub będące ich mieszaniną. Metody modelowania matematycznego pozwalają w tym przypadku jedynie na obliczenie orientacyjnego czasu ich przepływu. W celu określenia pochodzenia poszczególnych składowych genetycznych wód jest konieczne oznaczenie izotopów środowiskowych, umożliwiające ocenę warunków klimatycznych, panujących podczas infiltracji wód do systemu wodonośnego. Przy ustalaniu zasobów eksploatacyjnych wskazane jest również wykorzystanie wieloletnich obserwacji wydajności i położenia zwierciadła wód podziemnych, prowadzonych w dokumentowanym ujęciu lub innych ujęciach w obrębie danego złoża, wraz z wyznaczeniem ewentualnych trendów zmiany głębokości jego położenia. Do grupy tej zali-

cza się m.in. złoża wód leczniczych w Dusznikach-Zdroju, Jedlinie-Zdroju, Kudowie-Zdroju, Polanicy-Zdroju, Przerzecznym-Zdroju, Iwoniczu-Zdroju, Krynicy-Zdroju, Łatoszynie, Muszynie, Swoszowicach, Żegiestowie-Zdroju.

3. Czas przepływu/przebywania wód $500 \leq t < 10\,000$ lat.

Są to wody głębokich, regionalnych systemów krążenia oraz wody będące mieszaniną wód strefy utrudnionej wymiany i tych systemów. Rozpoznanie struktur hydrogeologicznych jest na ogół przybliżone z uwagi na ich dużą rozciągłość. Metody matematycznego modelowania przepływów pozwalają uzyskać wyniki bardzo orientacyjne, nawet w odniesieniu do struktur uznanych za dobrze rozpoznane. Czas przepływu wód wyznaczony na modelu jest bardzo przybliżony. Konieczne jest oznaczenie „wieku” izotopowego wód, na przykład metodą radiowęglową lub przy wykorzystaniu izotopów środowiskowych i wartości ich delt, zależnych od klimatu panującego podczas infiltracji. Wskazane jest stosowanie modeli specjacyjnych. Przy ocenie zasobów eksploatacyjnych ważna jest interpretacja wyników wieloletnich obserwacji stacjonarnych (jeśli są dostępne), dotyczących wydajności ujęć i głębokości zwierciadła dynamicznego lub ustalonego, ewentualnie ciśnień złożowych. Interpretacja wyników próbných pompowań pomiarowych często odbywa się z zastosowaniem metod dopływu nieustalonego i jest bardzo utrudniona w przypadku szczaw. Ujęcia wód leczniczych tej grupy znajdują się m.in. w Gorzanie, Polanicy-Zdroju, Szczawinie, Świeradowie-Zdroju, Krynicy-Zdroju, Rabce-Zdroju, Rymanowie-Zdroju, Szczawie, Szczawnicy, Tyliczu i Wysowej.

4. Czas przepływu/przebywania wód $t \geq 10\,000$ lat.

Są to wody reliktowe lub strefy utrudnionej wymiany, infiltrujące w chłodnym klimacie plejstocénskich glaciatów. Ich zasoby można szacować analogicznie do złóż ropy naftowej lub gazu, czyli na podstawie zmiany ciśnień złożowych w trakcie próbných pompowań,

na ogół krótkotrwałych z uwagi na problemy z odprowadzaniem dużej ilości wydobytych silnie zmineralizowanych wód. W przypadku wód zgazowanych występują trudności z określeniem ciśnień złożowych. Modele matematyczne są bardzo uproszczone i pozwalają uzyskać jedynie przybliżone wyniki, przede wszystkim z uwagi na skomplikowane warunki hydrostrukturalne. Obliczony na modelu czas przepływu wód może być obarczony błędem sięgającym kilku rzędów wielkości. Do wyjaśnienia genezy substancji oraz gazów obecnych w wodach zaleca się stosowanie modeli specyjalnych. Wody tego „wieku” są ujmowane m.in. w Busku-Zdroju i w większości złóż niżowej części Polski.

8.1. METODY OPARTE NA WYNIKACH PRÓBNYCH POMPOWAŃ POMIAROWYCH

Jakub Sokołowski, Bogusław Porwisz,
Lech Śmiateński

Podstawowym badaniem hydrogeologicznym wykonywanym w celu oceny zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych zarówno metodą hydrodynamiczną, jak i metodą modelowania matematycznego, jest próbne pompowanie pomiarowe. Polega ono na obserwacji zmian ciśnienia piezometrycznego na skutek zmiany wydajności studni/otworu. Może być przeprowadzone w różnych wariantach, jednak zawsze ma na celu sprawdzenie pracy ujęcia w określonych warunkach eksploatacyjnych i dostarczenie informacji o reakcji systemu wodonośnego na zaburzenie naturalnych warunków hydrodynamicznych. Badanie pozwala na określenie faktycznej wydajności ujęcia i odpowiadającej jej wielkości depresji oraz dostarcza danych do obliczeń parametrów filtracyjnych ujętej warstwy wodonośnej, a także umożliwia ocenę właściwości fizyczno-chemicznych i stanu bakteriologicznego ujętych wód. Wyniki pompowania wskazują zasięg oddziaływania ujęcia i rozstrzygają o współoddziaływaniu z ujęciami sąsiednimi, więc są pomocne przy określaniu warunków zasilania. Pozwalają także na ocenę parametrów technicznych studni i stanu strefy przyotworowej (sprawności studni). Próbné pompowanie pomiarowe umożliwia

nie tylko określenie parametrów złoża i charakteru dopływu wód do ujęcia, lecz także – w przypadku długotrwałego, próbnego wydobywania – ocenę stabilności warunków hydrodynamicznych i parametrów jakościowych wody. Metodyka próbnych pompowań i sposób interpretacji wyników są szeroko opisywane w literaturze (m.in. Dąbrowski i in., 2004; Dąbrowski, Przybytek, 2005), jednak zazwyczaj z pominięciem specyfiki wód leczniczych. Dlatego też w niniejszym Poradniku skupiono się na kwestiach najistotniejszych przy planowaniu, wykonywaniu i interpretacji próbnych pompowań pomiarowych wykonywanych na ujęciach wód leczniczych. Sposób wykonania pompowania pomiarowego różni się w zależności od warunków wydobywania, stąd w dalszej części Poradnika zastosowano podział na ujęcia eksploatowane za pomocą pompy i samowypływu (w tym ujęcia eksploatowane samoczynnie przy wykorzystaniu energii gazów złożowych). Oprócz próbnego pompowania, zasoby eksploatacyjne można ustalić za pomocą wyników próbnego wydobywania lub obserwacji stacjonarnych wykonywanych w trakcie eksploatacji ujęcia.

Próbne pompowanie pomiarowe powinno być przeprowadzone według różnych schematów, w zależności od warunków hydrodynamicznych panujących w danym złożu. W przypadku wód leczniczych najczęściej zastosowanie znajdują:

- pompowanie wielostopniowe bez przerw na powrót do zwierciadła statycznego;
- test warstwy wodonośnej (krótkotrwałe pompowanie jednostopniowe);
- pompowanie zespołowe;
- pompowanie wielostopniowe z przerwami na powrót do zwierciadła statycznego.

Metodyka dokumentowania zasobów wód zwykłych odradza prowadzenie długich pompowań, jako ekonomicznie nieuzasadnionych, i zaleca krótkotrwałe (od kilku do kilkunastu godzin) testy z odbudową ciśnienia po każdym ze stopni (Dąbrowski i in., 2004). Inaczej przedstawia się sytuacja w przypadku wód leczniczych. Ich zasoby są na ogół odnawialne w mniejszym stopniu niż wód zwykłych, stąd zaleca się, aby pompowanie pomiarowe ujęć wód leczniczych trwało znacznie dłużej i było prowadzone, w miarę możliwości, na trzech stopniach dynamicznych. W trakcie wykonywania krótkich pompowań pomiarowych,

często ze stabilizacją pomiędzy poszczególnymi stopniami, efekt obniżania się zwierciadła wody może być bardzo słabo zauważalny lub w ogóle niewidoczny. Wynika to z faktu, że ilość wypompowanej wody nie wpływa wówczas w istotny sposób na zmiany zasobów sprężystych. Dlatego też w przypadku wód leczniczych na ogół nie zaleca się odbudowy ciśnień pomiędzy poszczególnymi stopniami, mimo uciążliwości interpretacyjnych związanych z nakładaniem się depresji poprzedniego stopnia hydrodynamicznego. W związku z powyższym podstawowym warunkiem próbnego pompowania wykonywanego w ujęciach wód leczniczych powinno być długotrwałe (od kilkudziesięciu do kilkuset godzin) pompowanie wielostopniowe bez przerw na odbudowę ciśnienia (tab. 8.1). Na zakończenie pompowania należy koniecznie wykonać badanie wzniosu zwierciadła wody, czyli powrotu zwierciadła dynamicznego do stanu pierwotnego. Element ten jest często traktowany marginalnie, przede wszystkim z uwagi na długotrwałość procesu (może trwać nawet kilka miesięcy, na przykład w otworze Polańczyk IG-2), choć interpretacja wzniosu zwierciadła dostarcza dodatkowych informacji, m.in. o przewodności warstwy wodonośnej, odnawialności jej zasobów i wpływie granic hydrostrukturalnych. Mniejsza głębokość do zwierciadła statycznego przed rozpoczęciem pompowania niż po jego zakończeniu może wskazywać, że mamy do czynienia z niepełną odnawialnością zasobów lub wodonośnym poziomem zawieszonym. W przypadku warunków artezyjskich ciśnienie na ogół odbudowuje się bardzo szybko, niekiedy w ciągu kilkudziesięciu sekund, dlatego obliczenie parametrów hydraulicznych metodą wzniosu zwierciadła wody może okazać się niemożliwe. W przypadku wód silnie zgazowanych wyniki obliczeń na podstawie wzniosu zwierciadła wody należy traktować orientacyjnie z uwagi na zmienną wydajność poprzedzającą odbudowę ciśnienia.

Pompowanie wielostopniowe bez przerw na powrót do zwierciadła statycznego

Zaleca się, aby pompowanie, podobnie jak w przypadku wód zwykłych, odbywało się w warunkach dopływu ustalonego, tj. ustabilizowanej depresji przy stałej wydajności ujęcia, opisanego schematem Dupuita. Skomplikowane warunki hydrodynamiczne

źródeł wód leczniczych sprawiają, że warunek ten bywa niemożliwy do spełnienia, zwłaszcza w przypadku fliszowego systemu wodonośnego Karpat zewnętrznych. Wówczas proponuje się zakończenie próbnego pompowań mimo nieuzyskania stabilizacji depresji, czyli w warunkach dopływu nieustalonego (quasi-ustalonego), opisanego równaniami Theisa i Jacoba. Typowy przebieg próbnego pompowania pomiarowego w warunkach ustalonych i nieustalonych przedstawiono na fig. 8.2 i 8.3.

W przypadku otworu K-2 w Powroźniku nie stwierdzono jego oddziaływania na okoliczne ujęcia, z których najbliższe znajduje się w odległości 160 m, a zatem jako zasoby eksploatacyjne przyjęto wartość uzyskaną podczas III stopnia pompowania, tj. 1,71 m³/h przy depresji 31,45 m (fig. 8.2). Przedstawione do zatwierdzenia zasoby eksploatacyjne mieściły się także w rezerwie dostępnych do zagospodarowania zasobów dyspozycyjnych obszaru bilansowego nr 12 Kryniczanka.

Dla otworu Marcin II w Żłockiem zasoby eksploatacyjne przyjęto w ilości 2,0 m³/h, a więc równej wydajności uzyskanej na II stopniu pompowania, przy depresji 125,0 m (fig. 8.3). Za ograniczeniem zasobów w tej sytuacji przemawiał fakt szybko rosnącej depresji w warunkach quasi-ustalonych pod koniec pompowania. Eksploatacja otworu z wydajnością 3,0 m³/h mogłaby doprowadzić do jego oddziaływania na sąsiednie ujęcia. Także w tym przypadku wielkość zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych nie naruszała zasobów dyspozycyjnych obszaru bilansowego nr 9 Szczawnik.

Dopuszczalne jest, w określonych warunkach, zakończenie jednego ze stopni hydrodynamicznych niepełną stabilizacją zwierciadła wody. Przykładowo, jeżeli podczas próbnego pompowania pomiarowego otworu na II stopniu hydrodynamicznym uzyska się warunki quasi-ustalone wówczas należałoby zmniejszyć zakładaną wydajność III stopnia, tak, aby uzyskać warunki ustalone, a zarazem znacznie większą depresję. Pompowanie na II stopniu można wówczas powtórzyć z pierwotną wydajnością jako stopień IV, po krótkim okresie niepełnej stabilizacji zwierciadła wody.

Omawiany przypadek zilustrowano na fig. 8.4. Dla otworu P-8 w Muszynie maksymalna wydajność uzyskana podczas próbnego pompowania wynosiła

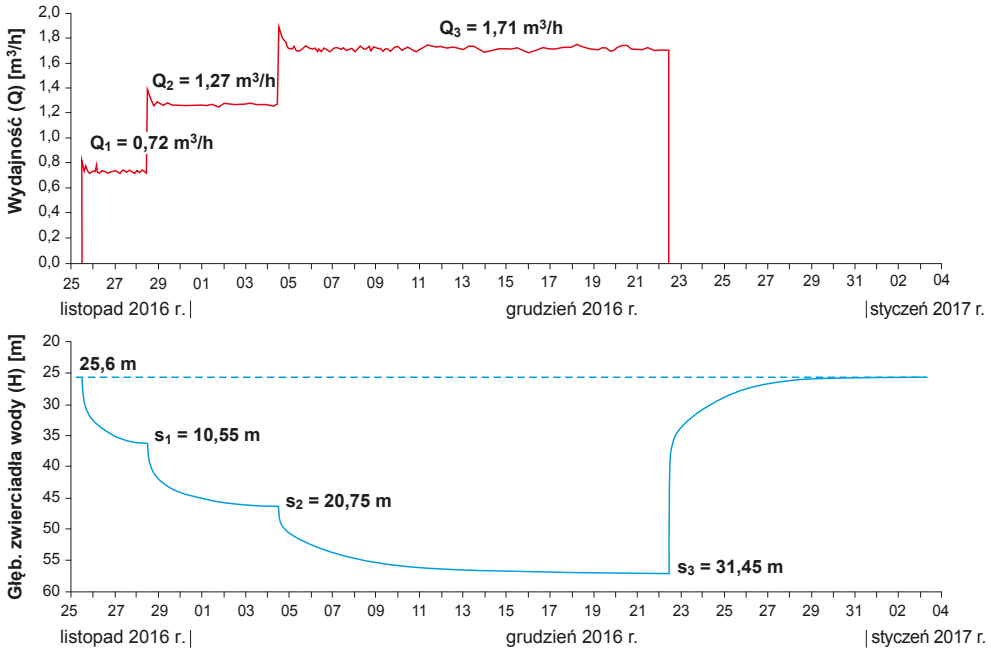


Fig. 8.2. Przebieg próbnego pompowania pomiarowego w warunkach ustalonych na przykładzie otworu K-2 w Powroźniku (na podst. Bielca i in., 2017a, z mod. autorów)

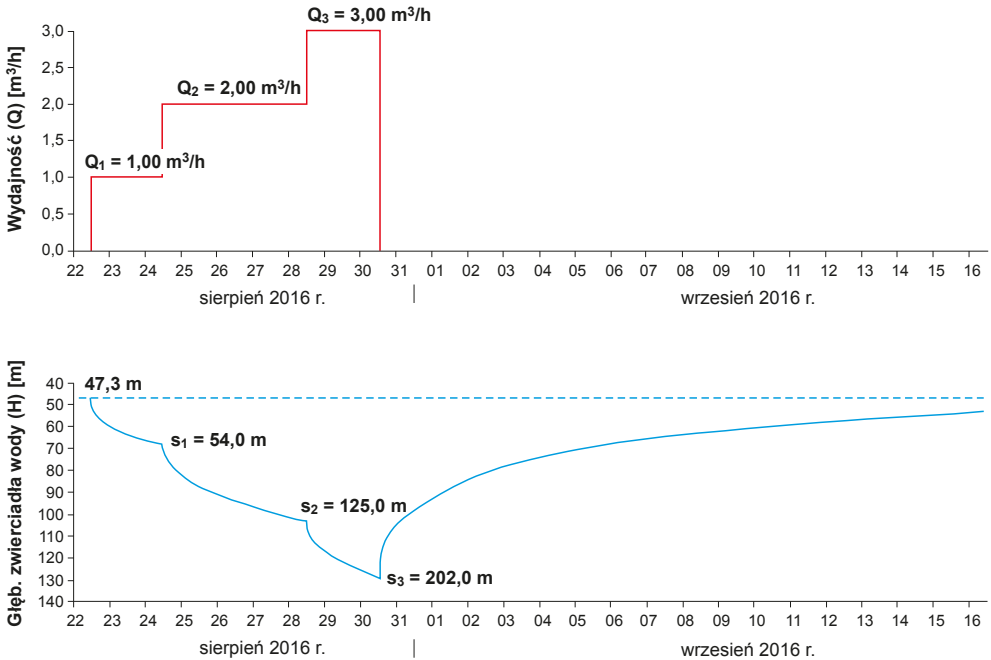


Fig. 8.3. Przebieg próbnego pompowania pomiarowego w warunkach nieustalonych na przykładzie otworu Marcin II w Złockiem (na podst. Józefko i in., 2016, z mod. autorów)

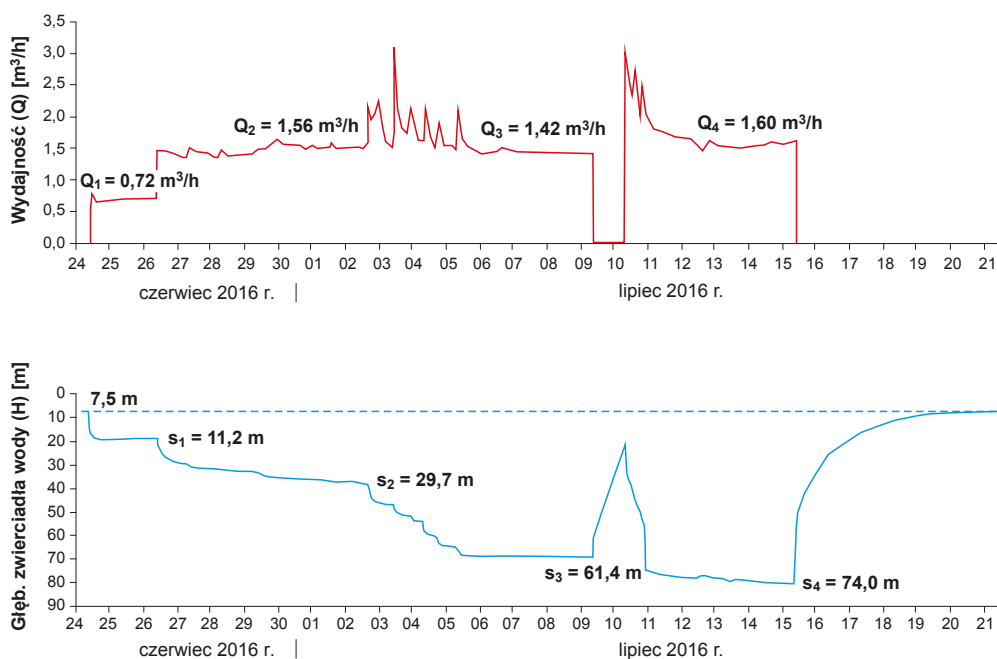


Fig. 8.4. Przebieg próbnego pompowania pomiarowego w warunkach „mieszanych” na przykładzie otworu P-8 w Muszynie (na podst. Porwisa i in., 2016b, z mod. autorów)

1,6 m³/h przy depresji 74,0 m, jednak do zatwierdzenia przedłożono zasoby eksploatacyjne w ilości 1,5 m³/h. Przyjęcie niższych zasobów eksploatacyjnych było efektem ograniczenia dopuszczalnej depresji eksploatacyjnej o 7,0 m. W przypadku dokumentowanego otworu nie stwierdzono jego oddziaływania na okoliczne ujęcia, a zaproponowane do zatwierdzenia zasoby eksploatacyjne nie naruszały rezerwy zasobów dyspozycyjnych obszaru bilansowego nr 14 Poprad-Leluchów.

Jednym z zabiegów stosowanych podczas próbnych pompowań pomiarowych jest redukcja wydajności ujęcia, najczęściej w czasie pompowania z największą wydajnością. Rozwiązanie to jest zalecane przy ujęciach wód silnie zgazowanych, w których wzrost wydajności prowadzi do tworzenia się poduszek gazowych w otworze. Zjawisko to powoduje trudności z utrzymaniem stałej wydajności, grozi także awarią pompy i nieplanowanym przerwaniem badania. Przykładowy wykres próbnego pompowania z redukcją wydajności na III stopniu obrazuje fig. 8.5. W sytuacji ostatecznej, gdy nie ma możliwości wydłużenia czasu pompowania w celu osiągnięcia

warunków ustalonych, a ilość wydobywającego się gazu uniemożliwia interpretację wyników badania, czas pompowania należy skrócić i dalsze obliczenia prowadzić dla schematu quasi-ustalonego.

W przedstawionej na fig. 8.5 sytuacji dla otworu Damian w Muszynie zasoby eksploatacyjne przyjęto w ilości 3,0 m³/h, równej maksymalnej wydajności uzyskanej w trakcie próbnego pompowania. Wartości tej przypisano depresję w wysokości 33,9 m, uzyskaną na koniec pompowania, po przeprowadzonej redukcji wydajności spowodowanej nierównomierną pracą pompy. Zabieg ten pozwolił uzyskać depresję w warunkach ustalonych. Próbnego pompowania nie wykazało oddziaływania dokumentowanego otworu z okolicznymi ujęciami. Po udokumentowaniu otworu Damian suma zasobów eksploatacyjnych wszystkich ujęć nie przekraczała oszacowanych zasobów dyspozycyjnych obszaru bilansowego nr 9 Szczawnik, choć dostępna do wykorzystania rezerwa zasobów dyspozycyjnych wynosiła jedynie 2,0 m³/h.

Duże i zmienne stężenie CO₂ utrudnia także wykonywanie dokładnych pomiarów wydajności chwi-

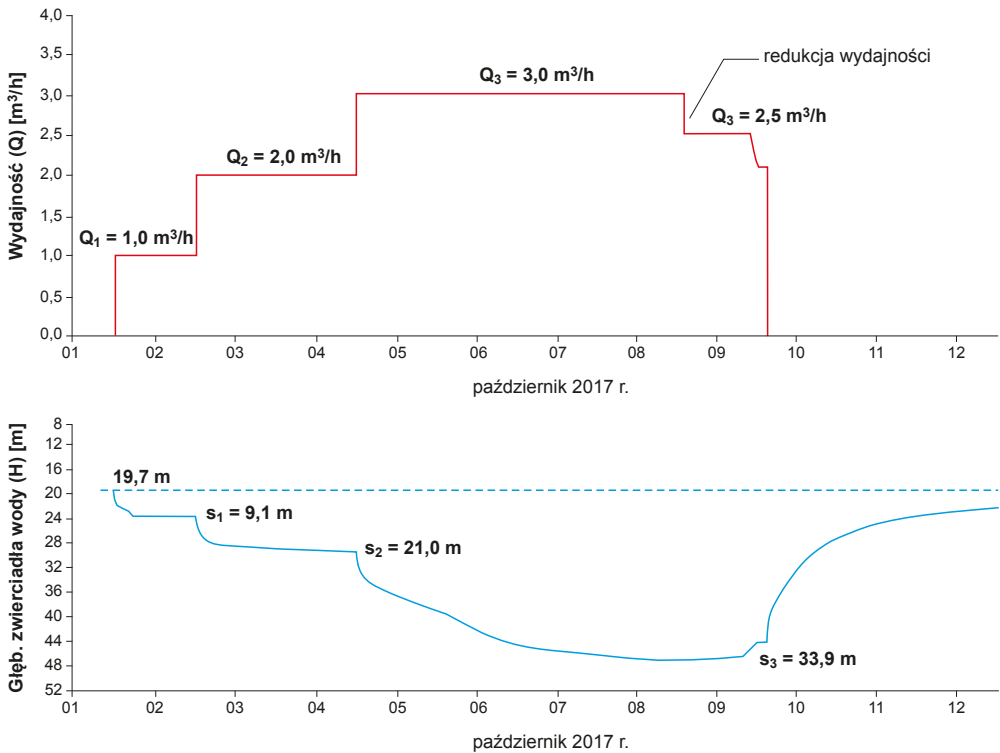


Fig. 8.5. Przebieg próbnego pompowania pomiarowego z redukcją wydajności na przykładzie otworu Damian w Muszynie (na podst. Józefko i in., 2018, z mod. autorów)

lowej oraz głębokości położenia zwierciadła wody. Znaczne wahania wydajności wynikające ze zgazowania wód niekiedy sprawiają, że głębokość dynamicznego zwierciadła i odpowiadająca jej wydajność wymagają korekty. W takiej sytuacji jako podstawę do dalszych obliczeń należy przyjąć średnie wartości wydajności stwierdzone w końcowej fazie każdego stopnia pompowania przy maksymalnej depresji. W przypadku długotrwałych pompowań wydajność należy określić po wyrównaniu krzywej wykresu, uzyskanym poprzez sporządzenie wykresu wydajności na podstawie wartości uśrednionych z wybranego okresu (fig. 8.6).

W przytoczonym przykładzie, dotyczącym otworu A-9 w Andrzejówce, zasoby eksploatacyjne przyjęto w ilości $0,37 \text{ m}^3/\text{h}$ na podstawie kilkumiesięcznego pompowania zespołowego. Do interpretacji przyjęto wartości średnich wydajności dobowych w przeliczeniu na m^3/h oraz wybrano do analizy okres reprezentatywny (fig. 8.6). Zasobom tym przypisano

maksymalną depresję w wybranym okresie pompowania, która wynosiła 47,1 m. Zasoby eksploatacyjne otworu A-9 ustalono z uwzględnieniem dostępnych zasobów dyspozycyjnych obszaru bilansowego zlewni potoków Milika i Andrzejówki (podobszar A₁).

Zmiana wydajności pompowania może być także podyktowana wynikami obserwacji w sąsiednich otworach. Jeśli w trakcie prowadzenia badań dojdzie do obniżenia zwierciadła wody w otworze obserwowanym w stopniu zagrażającym zasobom eksploatacyjnym tego ujęcia, to należy przerwać pompowanie (bez stabilizacji zwierciadła wody) i kontynuować je ze zmniejszoną wydajnością, wykluczając oddziaływanie badanego ujęcia (fig. 8.7).

Omawianą sytuację zobrazowano na przykładzie pompowania otworu 9M w Gorzanowie. Podczas badań prowadzonych przy największej wydajności, wynoszącej $50,0 \text{ m}^3/\text{h}$, zaobserwowano oddziaływanie na otwór 7M (fig. 8.7). W celu ochrony zasobów ujęcia 7M dalsze pompowanie prowadzono przy-

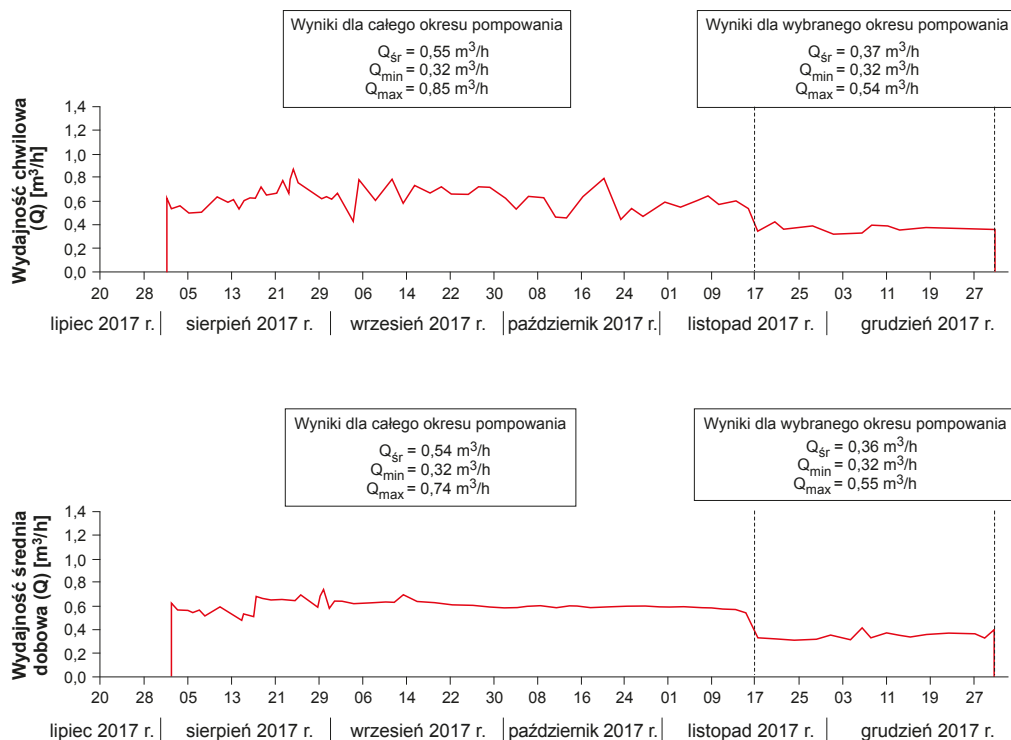


Fig. 8.6. Uśredniony wykres wydajności podczas próbnego pompowania zgazowanych wód leczniczych na przykładzie otworu A-9 w Andrzejówce (na podst. Porwisa i in., 2018, z mod. autorów)

mając wydajność na poziomie $29,6 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji $3,6 \text{ m}$. Ponieważ przy tak ustalonych wartościach parametrów pompowania warunki hydrodynamiczne w ujęciu 7M ustabilizowały się, tj. zwierciadło wody powróciło do pierwotnego poziomu, przyjęto je jako zasoby eksploatacyjne. Przedstawione do zatwierdzenia zasoby eksploatacyjne mieściły się także w rezerwie dostępnych do zagospodarowania zasobów dyspozycyjnych obszaru bilansowego Gorzanów.

Jeśli wyniki pompowania oczyszczającego wskazują na konieczność dalszego oczyszczenia otworu, najczęściej po jego wykonaniu lub po przeprowadzonych zabiegach rekonstrukcyjnych, to dopuszcza się przeprowadzenie pompowania w odwrotnej kolejności, rozpoczynając od największej wydajności (fig. 8.8).

Opisana sytuacja miała miejsce m.in. w Świnoujściu podczas pompowania otworu IVa. Ponieważ nie stwierdzono oddziaływania pompowanego otworu na istniejące w sąsiedztwie ujęcia wód leczniczych,

jako zasoby eksploatacyjne przyjęto maksymalną wartość uzyskaną podczas I stopnia pompowania, tj. $3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji $27,16 \text{ m}$ (fig. 8.8). Dla złoża wód leczniczych w Świnoujściu nie oszacowano zasobów dyspozycyjnych.

W trakcie długotrwałych próbnego pompowań wzrasta ryzyko wystąpienia sytuacji awaryjnych. Najczęściej są one związane z uszkodzeniem pompy. Zdarza się także, że przebieg pompowania bywa zakłócony zjawiskami meteorologicznymi, takimi jak gwałtowne nawalne deszcze lub burze. Mogą one spowodować przerwy w dostawie energii elektrycznej w regionie. Gdy wiertnia nie jest wyposażona w zasilanie awaryjne, dochodzi do przerw w pompowaniu. Jeśli w trakcie przerwy dojdzie do powrotu do zwierciadła statycznego, dopuszcza się kontynuowanie badania za pomocą podanego schematu pompowania wielostopniowego z jednym okresem powrotu do zwierciadła statycznego (fig. 8.9).

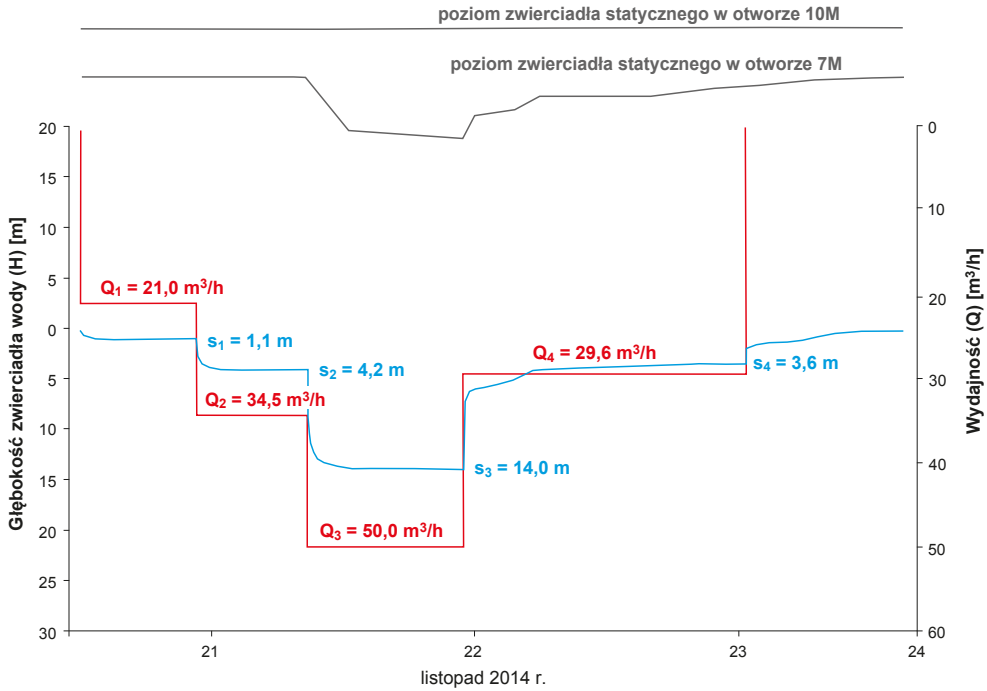


Fig. 8.7. Wykres próbnego pompowania pomiarowego w warunkach stwierdzonego współoddziaływania na przykładzie ujęcia 9M w Gorzanowie (na podst. Ciężkowskiego i in., 2016a, z mod. autorów)

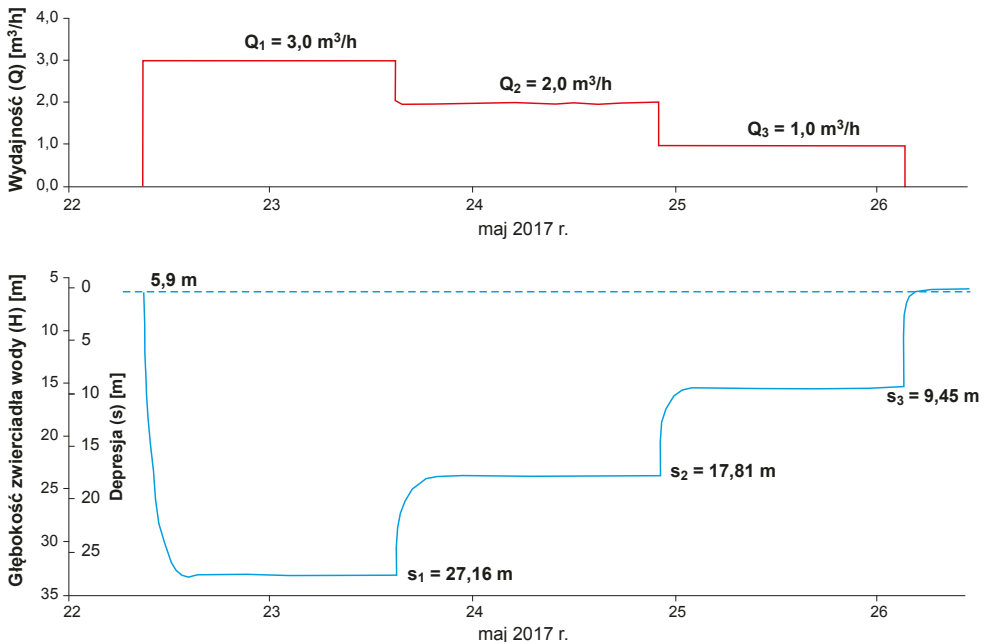


Fig. 8.8. Wykres przebiegu próbnego pompowania pomiarowego w kolejności odwrotnej na przykładzie ujęcia IVa (XXX-lecia) w Świnoujściu (na podst. Kucharskiego i in., 2017, z mod. autorów)

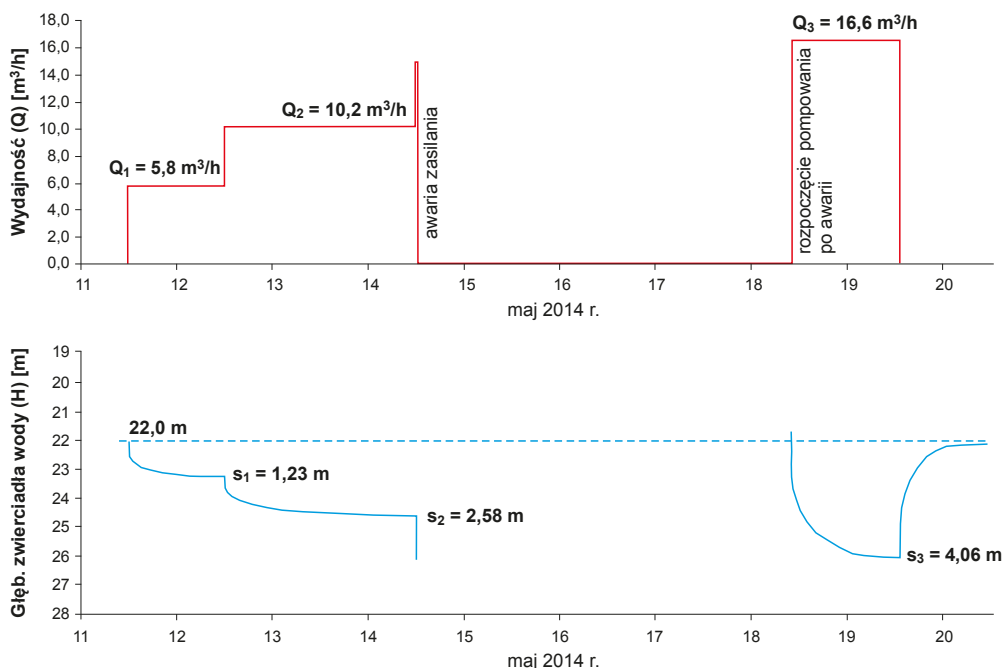


Fig. 8.9. Wykres przebiegu próbnego pompowania pomiarowego w sytuacji awaryjnej na przykładzie ujęcia Wiktor w Żegiestowie-Zdroju (na podst. Józefko i Kukuły, 2015, z mod. autorów)

W przedstawionej na fig. 8.9 sytuacji dla otworu Wiktor w Muszynie zasoby eksploatacyjne przyjęto w ilości 10,0 m³/h, równej (po zaokrągleniu) wydajności uzyskanej w trakcie II stopnia próbnego pompowania oraz wydajności pompowania zespołowego. Wartości tej przypisano maksymalną depresję otrzymaną podczas pompowania zespołowego, tj. 3,0 m. Pompowanie zespołowe nie wykazało oddziaływania dokumentowanego otworu z pobliskim otworem Zofia 2. Po udokumentowaniu otworu Wiktor suma zasobów eksploatacyjnych wszystkich ujęć nie przekraczała oszacowanych zasobów dyspozycyjnych obszaru bilansowego nr 7 Żegiestów.

Jak wynika z przedstawionego powyżej przeglądu metod wykonywania próbnych pompowań do zatwierdzenia nie zawsze przedstawia się zasoby eksploatacyjne równe maksymalnej wydajności uzyskanej podczas badania. Jeśli znajomość lokalnych warunków hydrodynamicznych pozwala przypuszczać, iż po kilkuletnim wydobywaniu wody nastąpi spadek wydajności przy jednoczesnym

wzroście depresji, można ustalić niższe zasoby niż największa wydajność pompowania przy zachowaniu maksymalnej depresji stwierdzonej podczas badań (fig. 8.10). Przy ustalaniu wielkości zasobów należy kierować się nie tylko wynikami pompowania pojedynczego otworu, lecz także – jeśli zachodzi taka konieczność – rezultatami pompowania zespołowego. Należy pamiętać również, aby wielkość zasobów eksploatacyjnych ujęcia każdorazowo dostosować do zapotrzebowania na wodę i dostępnej rezerwy zasobów dyspozycyjnych.

W przypadku wód leczniczych wskazane jest, aby jako depresję eksploatacyjną przyjmować różnicę maksymalnego, dopuszczalnego obniżenia zwierciadła wody w otworze (Szczepański, Szklarczyk, 2005). Pozwoli to uniknąć konieczności opracowywania kolejnych dodatków do dokumentacji w sytuacji, gdy utrzymanie dotychczasowej wielkości zasobów będzie powodować stałe obniżanie się poziomu wody w ujęciu. Rozwiązanie ograniczające dopuszczalny poziom wydobywania wpłynie korzystnie na racjonalne gospodarowanie zasobami złoża i po-

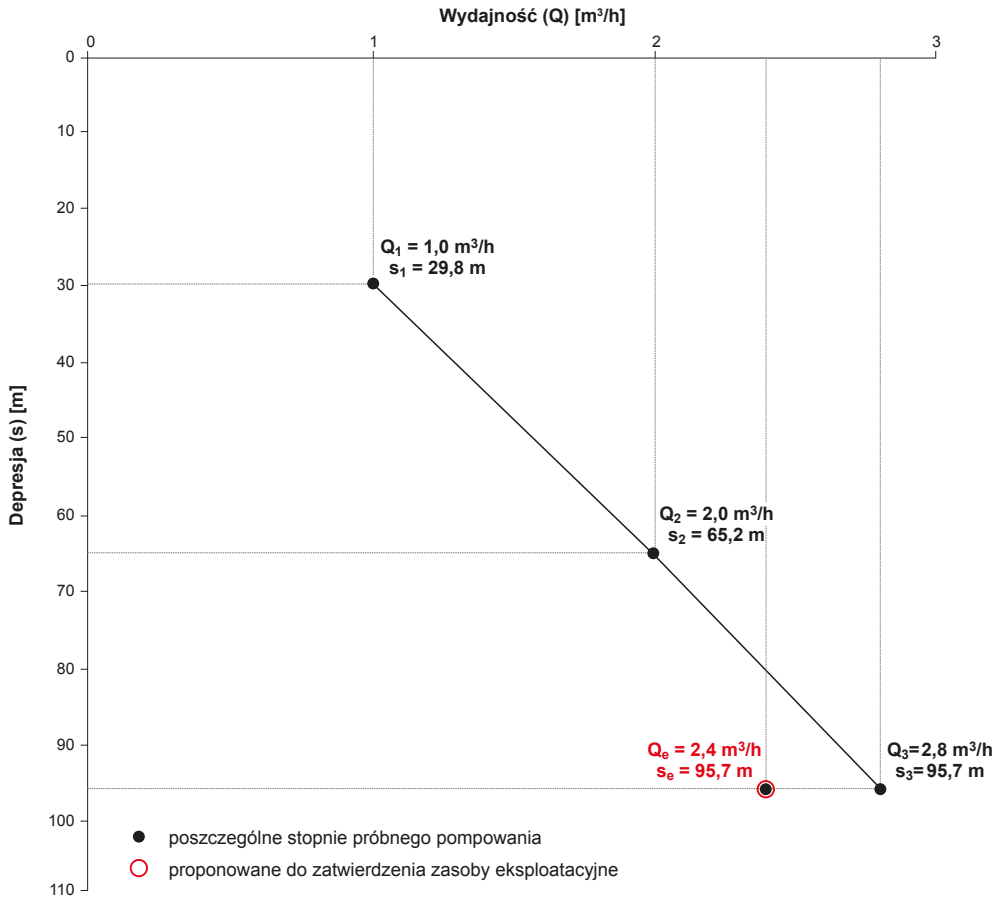


Fig. 8.10. Wykres zależności $Q = f(s)$ i $q = f(s)$ dla ujęcia IN-5 w Muszynie (na podst. Bielca, 2018a, z mod. autorów)

winno stać się podstawowym elementem ochrony stanu ilościowego zasobów wód leczniczych, zwłaszcza w przypadku ujęć eksploatowanych na potrzeby przemysłu rozlewniczego, z których wielkość poboru wielokrotnie przewyższa ilość wód wydobywanych na cele balneoterapeutyczne. Jeśli wydajność ujęcia, jaką uzyskano ostatecznie w trakcie próbnego pompowania pomiarowego, jest niska przy jednoczesnym znacznym obniżeniu zwierciadła wody (bliskim maksymalnej dopuszczalnej rzędnej depresji) otwór należy uznać za negatywny i przekazać go do likwidacji. W przypadku gdy przewidywana wielkość poboru wody z ujęcia będzie niewielka, można zoptymalizować warunki wydobywania, ograniczając czas pracy ujęcia. Przykładowo, ujęcie Krakus w Rabce-Zdroju może być eksploatowane

jedynie dwa razy w miesiącu z poborem po $5 \text{ m}^3/\text{d}$, względnie co trzeci dzień z poborem $1 \text{ m}^3/\text{d}$ z ograniczonym poborem do $10 \text{ m}^3/\text{miesiąc}$ (w takiej ilości przyjęto bowiem zasoby eksploatacyjne ujęcia).

Test warstwy wodonośnej (krótkotrwałe pompowanie jednostopniowe)

Jedną z metod próbnego pompowania pomiarowego jest test warstwy wodonośnej, zwany inaczej pompowaniem testowym/testem spadku-odbudowy ciśnienia (Przybytek i in., 1977; Siwek, Mańkowski, 1981; Kulma, 1995; Kapuściński i in., 1997; Dąbrowski, Przybytek, 2005; Bielec, Hołojuch, 2011). Polega on na krótkotrwałym, najczęściej jednostopniowym pompowaniu ze stałą wydajnością, w warunkach dopływu nieustalonego, zakończonym

obserwacją wzniosu zwierciadła wody. Metoda ta jest stosowana przede wszystkim w dokumentowaniu zasobów eksploatacyjnych ujęć wód termalnych, gdzie pojawia się problem zagospodarowania dużej ilości wydobytych wysoko zmineralizowanych i gorących wód. W dokumentowaniu wód leczniczych może być ona stosowana w przypadku uzyskania bardzo małej wydajności, rzędu $1 \text{ m}^3/\text{h}$, lub gdy jest problem z odprowadzeniem wydobytej wody. Zgodnie z ustawą PW nie jest wymagane pozwolenie wodnoprawne na odprowadzanie wód z próbných pompowań otworów hydrogeologicznych. Odprowadzanie wody może odbywać się do kanalizacji ogólnospławnej lub wód powierzchniowych, ewentualnie do gruntu, po uzgodnieniu z właścicielem i użytkownikiem odbiornika. W przypadku planowanego odprowadzania pompowanych wód do wód powierzchniowych należy uzyskać zgodę Wód Polskich, na podstawie zgłoszenia wodnoprawnego. Należy mieć na uwadze, że wody lecznicze, podobnie jak wody termalne, są często silnie zmineralizowane, co może utrudniać ich odprowadzanie. Wymagania dotyczące jakości wód odprowadzanych określono w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019 r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych (Dz.U. 2019 poz. 1311). Często jedynym rozwiązaniem jest gromadzenie wód w szczelnych zbiornikach i rozcieńczanie lub eliminowanie niepożądanych wskaźników zanieczyszczeń albo przekazywanie ich do utylizacji. Trudności z odprowadzaniem wody z próbných pompowań wpływają na wybór metodyki przeprowadzenia badań hydrogeologicznych, co wymusza ich wykonanie w możliwie najkrótszym czasie, tak aby zminimalizować ilość wydobywanej wody. Przeprowadzenie kilkumiesięcznego, próbnego wydobywania w praktyce ogranicza się jedynie do ujęć zagospodarowanych, podłączonych do sieci użytkownika, który wykorzystuje wydobywaną wodę na własne potrzeby oraz uiszcza za to odpowiednią opłatę eksploatacyjną.

Istotnym ograniczeniem pompowania testowego jest konieczność zachowania stałej wydajności. Z tego powodu metody tej nie zaleca się w przypadku wód zgazowanych. Sprawdza się ona natomiast dla złóż wysoko zmineralizowanych wód chlorkowych (o mineralizacji powyżej $35 \text{ g}/\text{dm}^3$), których wysoka mineralizacja ogólna przysparza trudności z ich zagospodarowaniem/utylizacją (fig. 8.11). Wymóg utrzymania stałej wydajności oraz dokładnych pomiarów zwierciadła wody sprawia, że wyniki takiego testu można uznać za miarodajne tylko w przypadku gdy warunki hydrodynamiczne będą zaburzone jedynie bieżącym poborem wody z dokumentowanego ujęcia, tzn. gdy system wodonośny w rejonie dokumentowanego otworu będzie się charakteryzował wyrównanym ciśnieniem. Konieczność wykonania dokładnych pomiarów wynika z krótkiego czasu trwania badania, dlatego zaleca się stosowanie aparatury automatycznie rejestrującej wyniki pomiarów. Pompowanie testowe powinno być prowadzone przy wykorzystaniu urządzeń stabilizujących pracę pompy i utrzymujące wydajność na stałym poziomie, na przykład falowników. Najczęściej, z uwagi na nieustalone warunki dopływu wód, parametry warstwy wodonośnej będą wyznaczane metodą przybliżenia logarytmicznego Theisa-Jacoba. Gdy wydajność ujęcia wykazuje zbyt duże wahania, interpretację należy przeprowadzić na podstawie analizy okresu odbudowy ciśnienia. Wykonanie badania zgodnie z zasadami opisanymi szeroko w literaturze umożliwia określenie parametrów filtracyjnych warstwy wodonośnej w granicach zasięgu oddziaływania ujęcia.

Tego typu krótkotrwałe pompowanie pomiarowe w poziomach szczelinowo-porowych, a zwłaszcza szczelinowych i szczelinowo-krasowych, daje zawyżone wyniki. Wynika to z faktu, że w trakcie badania w pierwszej kolejności w przewodzeniu wody biorą udział szczeliny i kawerny o małych oporach hydraulicznych. Podczas dłuższego wydobywania w dopływie wód do ujęcia, po częściowym szczerpaniu wody z głównych dróg przepływu (szczelin, kawern), większą rolę odgrywa matryca skalna (porowatość aktywna) o dużej pojemności, jednak niskiej wodoprzepuszczalności. Zjawisko to powoduje z czasem wyraźny spadek wydajności ujęcia, dlatego też test

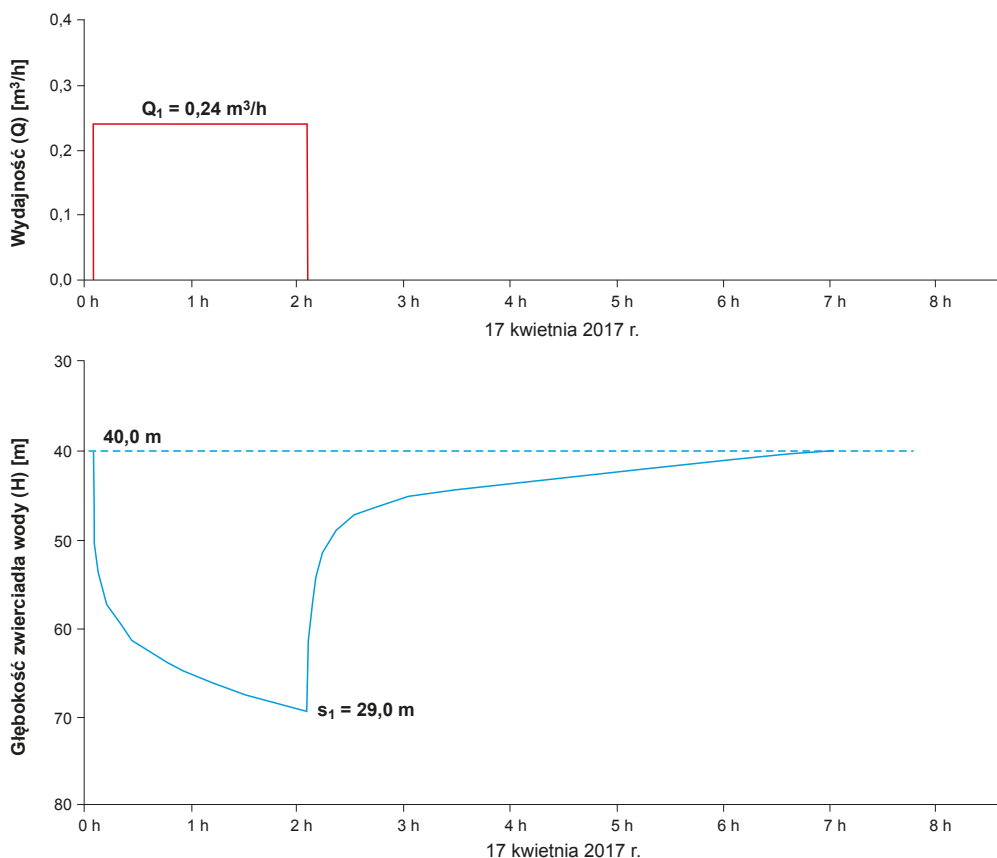


Fig. 8.11. Wykres przebiegu testu warstwy wodonośnej na przykładzie otworu Korona w Zabłociu (na podst. Śląskiego i Chlebika, 2017, z mod. autorów)

warstwy wodonośnej powinien być zalecany głównie w przypadku kolektorów porowych.

Pompowanie zespołowe

W przypadku niewielkiej odległości dokumentowanego ujęcia od innych ujęć udostępniających ten sam poziom wodonośny zaleca się przeprowadzenie pompowania zespołowego. W takiej sytuacji w części tekstowej dokumentacji powinna znaleźć się charakterystyka wszystkich obiektów biorących udział w pompowaniu zespołowym. Brak widocznego trendu zmian położenia zwierciadła wody w otworach obserwowanych podczas pompowania otworu dokumentowanego, a jedynie niewielkie wahania nieprzekraczające 10 cm, lub brak wyraźnej reakcji wydajności obserwowanych źródeł wskazuje na

prawdopodobny brak współdziałania ujęć i pozwala odstąpić od pompowania zespołowego.

Pompowanie zespołowe może być przeprowadzone na jednym lub kilku stopniach hydrodynamicznych, z możliwie maksymalną wydajnością, w dłuższym czasie (pompowanie długookresowe). W Karpatach fliszowych, z uwagi na warunki hydrodynamiczne, pompowanie takie może przybierać często formę próbnego wydobywania trwającego około 5–6 miesięcy. Adekwatnie do czasu trwania pompowania należy dobrać częstotliwość wykonywania pomiarów, które w czasie kilkumiesięcznego wydobywania na ogół mogą być wykonywane dwa razy w tygodniu. Do pomiarów warto wykorzystać ciągłe rejestratory stanu zwierciadła wód/ciśnienia z dłuższym interwałem czasowym pomiaru. Na

koniec pompowania zespołowego należy pobrać próbki wody do badań laboratoryjnych, zgodnie z zasadami stosowanymi w przypadku pompowania indywidualnego ujęcia. Powyższe zalecenia dotyczą zarówno otworu pompowanego, jak i ujęć obserwowanych.

Wydajność zbliżona do uzyskanej pod koniec pompowania zespołowego, lub odpowiadająca średniej wydajności w innym reprezentatywnym okresie pompowania, jest podstawą do ustalenia wielkości zasobów eksploatacyjnych. Wielkość ta odpowiada bowiem rzeczywistym warunkom hydrogeologicznym i stanowi podstawę do weryfikacji zasobów ustalonych na podstawie pompowania indywidualnego. W nawiązaniu do uzyskanych wyników pompowania zespołowego w razie potrzeby w dokumentacji należy także uaktualnić zasoby innych ujęć biorących udział w pompowaniu zespo-

łowym. Zaleca się, aby w przypadku stwierdzonego współoddziaływania ujęć w obrębie złoża przeprowadzić pompowanie zespołowe wszystkich ujęć wód leczniczych znajdujących się w jego granicach i na podstawie otrzymanych wyników, w razie potrzeby, zweryfikować zasoby eksploatacyjne poszczególnych ujęć.

Pompowanie wielostopniowe z przerwami na powrót do zwierciadła statycznego

Innym, obecnie rzadko spotykanym w przypadku wód leczniczych, wariantem prowadzenia badań jest pompowanie wielostopniowe z przerwami na stabilizację (niepełną) zwierciadła wody. Przebieg wykresu takiego pompowania, wykonanego w 1976 r. w otworze Korona w Zabłociu, pokazano na fig. 8.12. Pompowanie takie może przybrać formę krótkotrwałych testów hydrodynamicznych z pełną odbu-

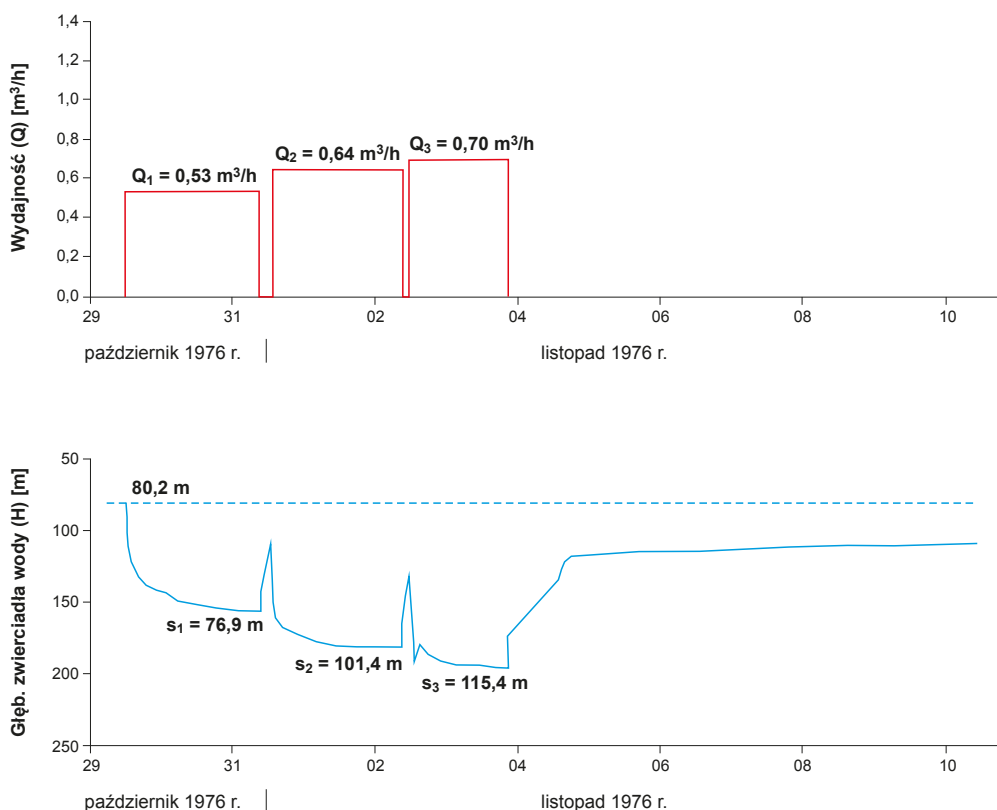


Fig. 8.12. Przebieg próbnego pompowania pomiarowego z odbudową ciśnienia na przykładzie otworu Korona w Zabłociu (na podst. Śląskiego i Chlebika, 2017, z mod. autorów)

dową ciśnienia po każdym ze stopni, jak to miało miejsce na przykład podczas dokumentowania zasobów eksploatacyjnych ujęć B-16b i B-17a w Busku-Zdroju. Metoda ta jest zalecana w sytuacji, gdy odbudowa zwierciadła wody jest stosunkowo szybka, a samo pompowanie jest prowadzone w warunkach ustalonych. Pozwala ona na ograniczenie ilości wydobywanej wody.

W przypadku występowania w dokumentowanym otworze warunków artezyjskich testy hydrodynamiczne należy, przynajmniej na jednym ze stopni hydrodynamicznych, przeprowadzić na samowypływie przez pomiary ciśnienia piezometrycznego na podstawie odczytów wskazań manometru. Na samowypływ może składać się ciśnienie artezyjskie wody i/lub obecność w wodach dwutlenku węgla. Wydajność otworu powinna być mierzona początkowo na pełnym samowypływie, następnie, po redukcji ciśnienia głowicowego, na kilku stopniach dynamicznych, zazwyczaj więcej niż trzech, zakończonych krótkotrwałym okresem rejestracji obniżania się ciśnienia. Po przeliczeniu wartości ciśnienia na wysokość słupa wody ($1 \text{ bar} = 1,0197 \text{ at.} = 10 \text{ m słupa wody}$) otrzymuje się wielkość depresji dla danej wydajności samowypływu. Przy pełnym samowypływie notuje się zerowy spadek ciśnienia, wówczas pomija się go w obliczeniach współczynnika filtracji. W przypadku eksploatacji ujęcia samowypływem nie ma potrzeby przeprowadzania również obliczeń maksymalnej wydajności studni – należy uznać za taką samowypływ przy maksymalnie odkręconym zaworze na głowicy.

Otwory, w których stwierdzono samowypływ, są najczęściej eksploatowane z możliwością jego „dławienia”. Warto jednak wspomnieć, że nie zawsze istnieją warunki umożliwiające regulowanie wydobywania poprzez „dławienie” samowypływu. W przypadku starszych otworów, o niezadowalającym stanie technicznym, może to wpływać niekorzystnie na uszczelnienie rur okładzinowych w strefie przypowierzchniowej. W Polanicy-Zdroju w wyniku „dławienia” samowypływu ujęcia Wielka Pieniawa nastąpił nieoczekiwany wzrost wydajności. Przypuszczalnie było to spowodowane spadkiem zgazowania wody w otworze (Fistek, Fistek, 2012). Przy tej okazji należy wspomnieć, że ujęcia eksploatowane samowypły-

wem w Polanicy-Zdroju (Wielka Pieniawa, Pieniawa Józefa I, Pieniawa Józefa II) konstrukcyjnie nie są przygotowane do wydobywania wód zgazowanych, przez co nie ma warunków do przeprowadzenia w nich wiarygodnych testów hydrodynamicznych z uwzględnieniem wzorów obliczeniowych.

Wyniki próbnego pompowania powinny być przedstawione w formie graficznej, w postaci wykresów funkcyjnych wydajności i odpowiadającej jej głębokości położenia zwierciadła wody lub, rzadziej, depresji. Na wykresie można wprowadzić podwójną skalę – dodatkowo obok głębokości oznaczyć odpowiadającą jej wielkość depresji, jak to pokazano na fig. 8.8. Skalę osi czasu należy dostosować do czasu trwania badania – opisać ją dniami miesiąca, a w razie potrzeby także godzinami. Można także uzupełnić wykres o podanie łącznego czasu pompowania, rozpoczynając od jego początku. Przydatną informacją jest też zaznaczenie miejsca poboru próbki wody do badań laboratoryjnych. Tego typu rozwiązania ułatwiają powiązanie informacji podanych na wykresie z danymi w części tekstowej dokumentacji. Zaleca się, aby wykres wydajności, podobnie jak położenia zwierciadła wody, był sporządzony na podstawie rzeczywistych wartości pomiarowych (fig. 8.2, 8.4), a nie wartości uśrednionych. Rozwiązanie takie umożliwia prześledzenie wahań wydajności w trakcie trwania badania, co jest istotne zwłaszcza w przypadku szczaw, kiedy wydzielający się CO_2 rzutuje na wynik pomiaru. W przypadku sporządzenia wykresu przy założeniu stałej wydajności do dokumentacji powinno się dołączyć dziennik próbnego pompowania. W czasie pompowania, poza wydajnością i depresją, obserwuje się także szereg innych parametrów, w zależności od właściwości wody, na przykład odczyn, PEW, temperaturę, zawartość gazów i stężenia wybranych jonów wskaźnikowych. W zależności od rodzaju pompowania obserwacje te prowadzi się w otworze pompowanym oraz w otworach obserwowanych lub biorących udział w pompowaniu zespołowym. Zaleca się, aby wyniki tych pomiarów przedstawić w dokumentacji w formie graficznej, najlepiej w odniesieniu do przebiegu próbnego pompowania (fig. 8.13). Można je przedstawić na jednym wykresie wraz z położeniem zwierciadła wody i wydajnością (tzw. zbiorcze zestawienie wyników próbnego pompowania) lub na kilku oddzielnych

Tab. 8.1. Zalecane metody przeprowadzania próbnych pompowań ujęć wód leczniczych

Główny rodzaj struktur hydrogeologicznych	Warunki prowadzenia pompowania	Metoda pompowania	Ilość stopni pompowania	Czas trwania pompowania na każdym stopniu	Łączny czas pompowania
1	2	3	4	5	6
Karpaty					
SA – otwarta, SB – półotwarta, SC – półzakryta	ustalone	pompowanie wielostopniowe z lub bez przerw na powrót do zwierciadła statycznego, próbne wydobywanie, test samoczynnego wypływu, metoda wydajności charakterystycznych (dla źródeł), analiza wyników obserwacji stacjonarnych (do korekty zasobów)	3 (gdy $Q \approx 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ dopuszczalne 2 lub 1)	120 h	360 h
	quasi-ustalone	pompowanie wielostopniowe bez przerw na powrót do zwierciadła statycznego, próbne wydobywanie, test samoczynnego wypływu, metoda wydajności charakterystycznych (dla źródeł), analiza wyników obserwacji stacjonarnych (do korekty zasobów)			
SD – zakryta	ustalone, quasi-ustalone	test warstwy wodonośnej (dla kolektorów porowych)	1	2 h	2 h
		pompowanie wielostopniowe bez przerw na powrót do zwierciadła statycznego	3 (gdy $Q \approx 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ dopuszczalne 2 lub 1)	24 h	72 h
Zapadlisko przedkarpackie					
SA – otwarta, SB – półotwarta, SC – półzakryta	ustalone	pompowanie wielostopniowe z lub bez przerw na powrót do zwierciadła statycznego, metoda wydajności charakterystycznych (dla źródeł)	3 (gdy $Q \approx 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ dopuszczalne 2 lub 1)	72 h	216 h
	quasi-ustalone	pompowanie wielostopniowe bez przerw na powrót do zwierciadła statycznego, metoda wydajności charakterystycznych (dla źródeł)			
SD – zakryta	ustalone, quasi-ustalone	test warstwy wodonośnej (dla kolektorów porowych)	1	2 h	2 h
		pompowanie wielostopniowe bez przerw na powrót do zwierciadła statycznego	3 (gdy $Q \approx 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ dopuszczalne 2 lub 1)	24 h	72 h

Tab. 8.1. cd.

1	2	3	4	5	6
Sudety					
SA – otwarta	ustalone, quasi- ustalone	pompowanie wielostopniowe z lub bez przerw na powrót do zwierciadła statycznego, metoda wydajności charakterystycznych (dla źródeł)	3	24 h	72 h
Niż Polski					
SC – półzakryta, SD – zakryta	ustalone, quasi- ustalone	pompowanie wielostopniowe bez przerw na powrót do zwierciadła statycznego, metoda wydajności charakterystycznych (dla źródeł)	3	24 h	72 h

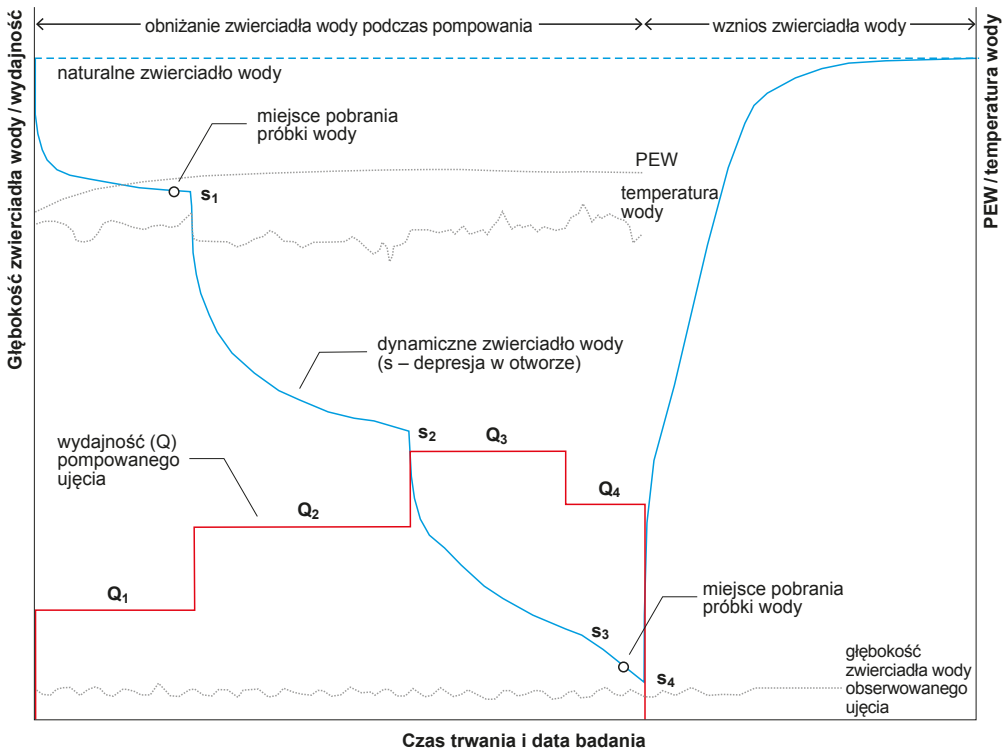


Fig. 8.13. Zestawienie zbiorcze wyników próbnego pompowania pomiarowego (schemat ideowy)

wykresach, forma prezentacji wyników nie została bowiem narzucona przepisami prawnymi i zależy od autora dokumentacji.

8.1.1. Metody modelowania matematycznego

Metody modelowania numerycznego przepływu wód podziemnych są szeroko omówione w literaturze hydrogeologicznej zarówno jeśli chodzi o ich zastosowanie w ocenie zasobów eksploatacyjnych ujęć wód podziemnych (Dąbrowski i in., 2004; Dąbrowski, Przybyłek, 2012), jak i podstawy tworzenia modeli wraz z przeglądem oprogramowania (Kulma, Zdechlik, 2009). W niniejszym rozdziale skupiono się jedynie na analizie możliwości ich zastosowania do oceny zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych.

Wody lecznicze występują w kraju na Niżu Polskim oraz na obszarach górskich i przedgórskich Sudetów i Karpat, a także w pasie wyżyn. Na Niżu Polskim są to wody zlokalizowane na ogół w głębokich strukturach geologicznych, poniżej tzw. strefy aktywnej wymiany wód podziemnych i w sensie hydrodynamicznym należy je uznać za wody praktycznie stagnujące. Tym samym, modelowanie ich przepływu w warunkach praktycznego braku ich odnawialności jest bezprzedmiotowe. Na obszarach górskich i przedgórskich zbiorowisko wód leczniczych jest na ogół objęte strefą aktywnej wymiany wód podziemnych, o czym świadczą m.in. liczne źródła tych wód. Teoretycznie istnieje więc możliwość modelowania ruchu tych wód w systemie ich podziemnego krążenia.

Powszechnie stosowane w praktyce hydrogeologicznej symulatory przepływu wód podziemnych są oparte na fundamentalnym założeniu, że modelowany przepływ wód podziemnych jest przepływem laminarnym podlegającym prawu Darcy'ego, które wiąże liniowo prędkość przepływu wód podziemnych ze spadkiem hydraulicznym w pierwszej potęgze. W przypadku wód leczniczych mamy do czynienia z ujęciami wykonanymi zazwyczaj w szczelinowym lub szczelinowo-porowym środowisku wód podziemnych. Nie wiemy więc czy rzeczywisty przepływ wód podziemnych ma charakter laminarny czy turbulentny, szczególnie w warunkach pracy otwo-

ru. Brak wiedzy w tym zakresie może skutkować popełnieniem znacznego błędu w procesie kalibracji modelu, z uwagi na możliwość nieprzystawalności modelu do procesu, który ma symulować.

Algorytm modelu numerycznego przepływu wód podziemnych oblicza położenie zwierciadła wód podziemnych, co rozwiązuje w sposób przybliżony równanie przepływu wód podziemnych, będące równaniem różniczkowym, które w swej istocie wyraża bilans przepływu w tzw. obliczeniowym elemencie wydzielonym w strumieniu wód podziemnych. Z teorii rachunku różniczkowego wynika, że dla uzyskania jednoznaczności i prawdziwości rozwiązania niezbędne jest zdefiniowanie warunków brzegowych na powierzchni granicznej, wyznaczającej domenę procesu opisywanego danym równaniem, w tym przypadku domenę procesu przepływu wody podziemnej. W sensie hydrodynamicznym warunki brzegowe na granicy domeny, czyli obszaru objętego modelem, wyrażają charakter związku hydraulicznego owej domeny z jej otoczeniem. Prawidłowe zdefiniowanie warunków brzegowych ma więc znaczenie równie fundamentalne, jak wiedza o rzeczywistym charakterze przepływu wód podziemnych w rejonie ujęcia wód leczniczych, dla którego ustalane są zasoby eksploatacyjne.

Tymczasem w warunkach obszarów górskich i przedgórskich jest niezwykle trudne, o ile w ogóle możliwe, wiarygodne zdefiniowanie hydrodynamicznych warunków brzegowych dla wydzielonej, na potrzeby ustalenia zasobów eksploatacyjnych wód leczniczych, domeny procesu przepływu wód podziemnych. Warunki brzegowe to przepływ przez powierzchnię graniczną domeny modelu, czyli przepływ lateralny, przepływ przez spąg domeny modelu, przepływ przez powierzchnię terenu w postaci infiltracji efektywnej, przepływ pomiędzy domeną a ciekim lub zbiornikiem powierzchniowym, a także przepływ pomiędzy domeną a odbiorcą wody leczniczej, a więc pobór na ujęciu. W warunkach górskich z tych wszystkich przepływów najbardziej pewni możemy być jedynie wielkości poboru wody leczniczej w tym sensie, że pobór jako tzw. aktywny warunek brzegowy jest wprost wprowadzany do modelu jako wartość, której rząd wielkości wynika bezpośrednio z rozpoznania hydrogeologicznego poprzedzającego ustalenie

zasobów eksploatacyjnych danego ujęcia wód leczniczych.

Niezależnie od warunków brzegowych, proces przepływu wód podziemnych, rozumiany jako proces trójwymiarowy, jest determinowany przez zdolność środowiska wód podziemnych do przepuszczania wody, wyrażonymi dla przepływów laminarnych wartościami współczynnika filtracji w obszarze domeny modelu. W szczelinowym środowisku wód podziemnych należy liczyć się z bardzo dużym zróżnicowaniem wartości współczynnika filtracji – największe wartości są notowane w strefie dużych, otwartych szczelin górotworu, małe – w strefie drobnych szczelin, a wartości praktycznie zerowe w strefach bez szczelin lub gdy szczeliny są wypełnione ilastym rezydum/zwierzeliną. Cechą obszarów górskich jest to, że geometria tych stref jest bliżej nieznana. Panuje jedynie zgodny pogląd, że wartość współczynnika filtracji maleje wraz ze wzrostem głębokości. Uzyskanie dobrej zgodności pomiędzy zmierzonymi, a obliczonymi rzędnymi zwierciadła wody jest na ogół w takich przypadkach niemożliwe. Niska korelacja rezultatów symulacji z danymi pomiarowymi jest pochodną dużego skomplikowania budowy geologicznej i zróżnicowania warunków hydrogeologicznych. Ograniczenia programów do modelowania filtracji nie pozwalają na budowę tak złożonych modeli, a wymuszone uproszczenia implikują problemy przy ich kalibracji. Do najpoważniejszych trudności należą:

- ustalenie wiarygodnej wielkości strumienia wód podziemnych (ponieważ wartość zasilania infiltracyjnego jest jedynie założeniem);
- ustalenie wielkości odpływu podziemnego (obszar modelu nie jest obszarem bilansowym, jakim są zlewnie rzeczne zamknięte posterunkiem wodowskazowym, co umożliwia określenie wielkości odpływu podziemnego);
- ustalenie wodoprzewodności stref uskokowych, która jest najczęściej jedynie założeniem;
- dla zbiorników nieodnawialnych należy przyjąć bardzo mały przepływ i minimalną odnawialność, co daje możliwość poprawnego w sensie numerycznym rozwiązania w postaci rozkładu wartości ciśnienia piezometrycznego, jednak takie modele nie dają podstaw

do wiarygodnych ustaleń ilościowych, a jedynie czynią model modelem jakościowym.

Z uwagi na zasadnicze i obiektywne trudności w procesie budowy „górskiego” modelu przepływu wód podziemnych, wyrażające się niepewnością co do charakteru tego przepływu (tzn. przepływ laminarny czy przepływ turbulentny?), a także brakiem możliwości wiarygodnej, ilościowej oceny warunków brzegowych, co powoduje w efekcie brak możliwości wiarygodnej parametryzacji domeny modelu wartościami współczynnika filtracji, nie zaleca się stosowania numerycznego modelowania przepływu wód podziemnych jako podstawowej metody ustalania zasobów eksploatacyjnych ujęć tych wód. W procesie oceny zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych w obszarach górskich zdecydowanie najlepszą metodą prowadzącą do ustalenia tych zasobów jest monitoring ilościowy i jakościowy, dający podstawę do statystycznej analizy procesu eksploatacji danego ujęcia na podstawie historycznej serii pomiarowej. W przypadku nowego ujęcia, bez historii pomiarowej, zasoby eksploatacyjne należy ustalić na podstawie próbnego pompowania pomiarowego. Nie widząc możliwości budowy wiarygodnych ilościowych modeli przepływu wód podziemnych na potrzeby ustalania zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych w obszarach górskich, autorzy wyrażają jednocześnie pogląd o zasadności opracowywania tzw. modeli koncepcyjnych strumienia wód podziemnych dla rejonu analizowanego ujęcia wód leczniczych. Model koncepcyjny przepływu wód podziemnych ma sens modelu jakościowego, przedstawiającego prawdopodobną geometrię strumienia wód podziemnych w rejonie ujęcia wód leczniczych, dla którego ustalane są zasoby eksploatacyjne (fig. 8.14).

W szczególnych przypadkach model taki powinien uwzględniać nie tylko etap współczesnej infiltracji, lecz być rozszerzony o analizę paleohydrogeologiczną. Szczegółowe przedstawienie dróg krążenia może być trudne do odzwierciedlenia na modelu, gdyż w rzeczywistości drogi przepływu wód podziemnych są bardziej skomplikowane, lecz nie należy z niego rezygnować. Doskonale widać to na przykładzie złoża wód leczniczych w Wieliczce, gdzie na skutek wydobywania soli pojawiła się nowa baza drenażu w postaci licznych wypływów



Fig. 8.14. Model koncepcyjny przepływu wód leczniczych w rejonie Buska-Zdroju (na podst. Gągalskiego i in., 2018, z mod. autorów)

w chodnikach i wyrobiskach górniczych, która odwróciła naturalny kierunek przepływu wód podziemnych. Następstwem tego zjawiska będzie dopływ do złoża współczesnych wód infiltracyjnych o znacznie niższej mineralizacji niż obecnie udokumentowane wody paleoinfiltracyjne (glacjalne), a także wód pochodzących z infiltracji rzeki Serafa i jej dopływów, który może zostać uruchomiony w perspektywie kilkudziesięciu lat (Witczak i in., 2014).

Analizy modelowe umożliwiają nie tylko ocenę zasobów eksploatacyjnych, lecz także ustalenie granic obszarów zasobowych, określenie kierunków przepływu wód i dopływu do ujęć, określenie zasięgów oddziaływania ujęć oraz ustalenie wzajemnych relacji pomiędzy oddziałującymi ujęciami. Z tego też powodu analizy te są stosowane, z różnym skutkiem, przy ocenie zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych. W ocenie zasobów eksploatacyjnych nie zawsze ustalenie modelu są wiarygodne, mimo że przyjęte założenia pozwalają na poprawne rozwiązanie modelu w sensie numerycznym. Określanie wielkości zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych wyłącznie na podstawie symulacji modelowych nie jest podejściem właściwym (Paczyński, 2002; Koślacz i in., 2014; Gągulski i in., 2018).

Jeżeli na potrzeby opracowania dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia wód leczniczych został wykonany model matematyczny, powinien on stanowić jej załącznik, i zawierać:

- krótką charakterystykę obszaru badań wraz z określeniem jego granic, warunków hydrograficznych i klimatycznych;
- opis budowy geologicznej (stratygrafia, litologia, tektonika);
- opis warunków hydrogeologicznych (pięter wodonośnych, parametrów hydrogeologicznych ośrodka skalnego, obszarów zasilania i drenażu, warunków hydrodynamicznych, właściwości fizyczno-chemicznych wód oraz ich „wieku”);
- historię eksploatacji wód leczniczych i ich aktualne wykorzystanie;
- hydrogeologiczny model koncepcyjny;
- opis metodyki badań modelowych;

- opis modelu matematycznego (podział obszaru na bloki obliczeniowe, wydzielenie warstw obliczeniowych, przyjęte parametry filtracji, warunki brzegowe i sposoby odwzorowania stref dyslokacyjnych);
- obliczenia symulacyjne wraz z opisem kalibracji modelu;
- wyniki badań, omówione w części tekstowej i przedstawione na mapach wynikowych.

Przykład I: Wieliczka

(na podst. *Dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne wód leczniczych z wypływu W-VI-32 (komora Z-32) zlokalizowanego na poziomie VI i z wypływu W-VII-16 (komora Layer, d. Fornalska 2) zlokalizowanego na poziomie VII w Kopalni Soli Wieliczka*; Witczak i in., 2014)

Jak już wspomniano modelowanie matematyczne zostało wykorzystane podczas sporządzania dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne wód leczniczych z wypływu W-VII-16 w Kopalni Soli „Wieliczka” (Żróbek, 2014). Okolice kopalni w Wieliczce charakteryzują się skomplikowaną budową geologiczną, wynikającą ze znacznego zaangażowania tektonicznego i zróżnicowanego wykształcenia litologicznego. W podłożu zapadliska przedkarpackiego występują utwory fliszu karpackiego (kreda–paleogen), zaliczane do płaszczowiny podśląskiej i śląskiej. Są one wykształcone głównie jako łupki menilitowe, łupki pstre, piaskowce glaukonitowe, margle pstre i warstwy gezowe. Powyżej nich zalegają osady neogenu (miocenu), reprezentowane przeważnie przez iłowce z przerostami piaszczystymi o zróżnicowanej miąższości (warstwy chodenickie) oraz piaski boguckie z wkładkami piaskowców i iłowców (warstwy grabowieckie). Na skutek zaburzeń tektonicznych warstwy chodenickie są silnie sfałdowane, niekiedy zaburzone w formie nasunięć. Często tworzą one odrębne struktury tektoniczne (bloki), przemieszczone względem siebie wzdłuż płaszczyzn nasunięć. W kierunku północnym, wskutek malejącej głębokości występowania warstw chodenickich, obserwuje się podczwartorzędowe wychodnie tych utworów. Na powierzchni terenu występują osady czwartorzędowe (m.in. żwiry, piaski, gliny, mady,

lessy) o miąższości dochodzącej do 20 m. Pod osadami czwartorzędowymi znajduje się wyciśnięte ku górze złożo soli. Struktura solna jest przykryta czapą iłowo-gipsową zbudowaną w przewodzie z iłowców marglistych z wtrąceniami gipsu oraz blokami, łuskami i płatami warstw skawińskich (występujących poza obszarem złoża), warstw chodenickich i fliszu. Serię solną tworzą piaskowce, mułowce i iłowce z gipsem i anhydrytem oraz sole kamienne o dużej miąższości, będącej efektem znacznego zaangażowania tektonicznego.

Strefy uskokowe, płaszczyzny nasunięć i silnie zaburzone serie skalne tworzą skomplikowany układ połączeń hydraulicznych. Wody lecznicze wypływające w kopalni występują w strukturze charakteryzującej się ograniczonym zasięgiem i utrudnionym kontaktem hydraulicznym ze strefą aktywnej wymiany wód podziemnych. Dodatkowo warunki naturalne zostały zmodyfikowane w wyniku działalności górniczej. Główny poziom wodonośny w rejonie kopalni soli występuje w warstwach chodenickich. Wody podziemne występują w zailonych piaskowcach drobnoziarnistych i pylastych, tworzących wśród skał ilastych ławice i przewarstwienia o miąższości dochodzącej maksymalnie do kilku metrów. Skały te nie tworzą warstw wodonośnych, lecz izolowane od siebie strefy wodonośne o złożonych i niedostatecznie rozpoznanych kontaktach hydraulicznych. Główne strefy zawadnione występują na głębokości około 120–280 m. Wypływ wód leczniczych znajduje się na głębokości około 250 m.

Wody podziemne w rejonie złoża soli są pochodzenia infiltracyjnego, jednak w związku ze złożonym układem hydrostrukturalnym, oraz mając na uwadze nierównomierne rozpoznanie hydrogeologiczne, obszar zasilania i obszar zasobowy są trudne, a wręcz niemożliwe, do dokładnego wyznaczenia. Przyuszczalny obszar zasilania znajduje się prawdopodobnie w odległości kilku kilometrów na północ od strefy drenażu. Wydobywanie soli ze złoża doprowadziło do powstania wypływów w podziemnych wyrobiskach kopalni, zaburzając w ten sposób naturalny kierunek przepływu wód podziemnych. Nie można wykluczyć także więzi hydraulicznej pomiędzy warstwami chodenickimi a zawadnionymi utworami serii gipsowo-solnej i warstw skawińskich okalających złożo solne.

Zasoby eksploatacyjne wypływów ustalono na podstawie wieloletnich pomiarów i obserwacji, natomiast przy wykorzystaniu metod modelowania numerycznego podjęto próbę szacunkowego określenia obszaru zasobowego. Do konstrukcji modelu w takich warunkach przyjęto następujące założenia:

- warstwa wodonośna jest izotropowym ośrodkiem porowym o współczynniku filtracji przyjętym na podstawie badań w otworach obserwacyjnych;
- warstwa ta jest zasilana w wyniku bezpośredniej infiltracji opadów atmosferycznych na wychodniach, przy czym zasilanie to odbywa się poza granicami modelu;
- kontakt hydrauliczny z leżącymi wyżej warstwami wodonośnymi jest słaby;
- granice struktury wodonośnej (modelu) mają charakter tektoniczny lub stanowi je zasięg utworów wodonośnych, a jedną z granic poprowadzono po hydroizohipsie (warunek brzegowy I rodzaju);
- strumień wód podziemnych ma charakter przestrzenny.

Na podstawie powyższych założeń wykonano jednowarstwowy model warstwy wodonośnej o regularnej siatce dyskretyzacyjnej (Witczak i in., 2014). Bloki obliczeniowe były stosunkowo niewielkie (40×40 m), co wynikało z konieczności odwzorowania skomplikowanych warunków geologicznych. Wielkość siatki zmodyfikowano w rejonie bloków, dla których założono warunki II rodzaju $Q = f(x, y, z, t) = \text{const}$, w celu uwzględnienia wydajności wypływów (warunek brzegowy II rodzaju *well*), a także dla obszarów, gdzie znajdują się otwory obserwacyjne. Powierzchnia modelu odpowiada systemom hydrogeologicznym ograniczonym przestrzennie i o słabych kontaktach hydraulicznych. Jedną z granic modelu zdefiniowano warunkiem brzegowym I rodzaju $H = f(x, y, z, t) = \text{const}$, odzwierciedlającym udokumentowaną w piezometrze głębokość występowania zwierciadła wody (warunek brzegowy I rodzaju *constant head*). W przypadku drugiego z modelowanych wypływów, z uwagi na brak danych geologicznych, zastosowano warunek brzegowy III rodzaju w postaci tzw. granicy odsuniętej (GHB, *General Head Boundary*). Infiltrację i przesiąkanie uwzględniono poprzez wprowadzenie zasilania war-

stwy wodonośnej (warunek brzegowy II rodzaju *recharge*). Dalsze obliczenia prowadzono przy zastosowaniu algorytmu odpowiadającego warunkom ustalonym, co wynikało z niedostatecznej ilości danych hydrogeologicznych zarówno o samych utworach wodonośnych, jak i o zmianach głębokości położenia zwierciadła wody. Tarowanie modelu przeprowadzono na podstawie obliczonych wysokości hydraulicznych w poszczególnych blokach i polegało ono na dostosowaniu parametrów warstwy wodonośnej (współczynnika filtracji, przewodności wodnej, współczynnika porowatości efektywnej) oraz ocenie zasadności wyboru warunków brzegowych. W tym miejscu warto wspomnieć, że tarowanie modelu najlepiej prowadzić na podstawie otworów obserwacyjnych, w których wysokość zwierciadła wody odpowiada warunkom ustalonym, z wykształconym w pełni lejem depresji, które odzwierciedlają aktualne warunki hydrodynamiczne (najnowsze dane). W opisywanym przypadku pominięto otwory, w których prowadzono obserwacje w początkowym okresie pojawienia się wypływów, kiedy to były szcerpywane jedynie zasoby statyczne.

W efekcie badań modelowych otrzymano ogólny obraz strumienia filtracji: rozkład wysokości ciśnień, kierunek przepływu wód podziemnych oraz czas przebywania wód w ośrodku skalnym. Odzwierciedlenie warunków hydrogeologicznych w skali szczegółowej, przy obecnym stanie rozpoznania geologicznego, okazało się niemożliwe.

Przykład II: Rejon Buska-Zdroju

(na podst. *Hydrodynamicznych uwarunkowań krążenia wód termalnych i leczniczych w utworach cenomanu niecki miechowskiej i środkowej części zapadliska przedkarpackiego*; Dendys, 2018)

W rejonie Buska-Zdroju badania modelowe wykorzystano do określenia warunków krążenia wód leczniczych występujących w utworach cenomanu (Dendys, 2018). Obszar ten znajduje się w niecce miechowskiej, wypełnionej synklinalnie ułożonymi utworami kredy, silnie zaburzonymi tektonicznie. Obecność licznych uskoków sprawia, iż styl budowy geologicznej ma charakter blokowo-fałdowy. Poszczególne bloki charakteryzują się zróżnicowaniem głębokości występowania serii skalnych, a także

ich miąższości i litologii. Przykładowo, w Busku-Zdroju strop piaskowców cenomanu, w których występują wody siarczkowe uznane za lecznicze, zalega na głębokości od około 70 m w otworze B-19 do ponad 600 m w otworze C-1, a ich miąższość zmienia się od kilku do ponad 100 m. Poziom ten jest na ogół izolowany praktycznie nieprzepuszczalnymi wapieniami turonu, choć miejscami wykazuje więź hydrauliczną z zawodnionymi osadami senonu. Wody lecznicze występują także w jurajskim piętrze wodonośnym, lokalnie tworzącym jurajsko-kredowy lub jurajsko-kredowo-neogeński system wodonośny. Od powierzchni terenu poziomy wód leczniczych są oddzielone łtami, marglami i gipsami miocenu.

Granice modelu zostały przyjęte na podstawie kryteriów hydrostrukturalnych (zasięg i linie intersekcyjne kompleksów litostratygraficznych) i hydrodynamicznych (doliny rzeczne). W jego obrębie wydzielono pięć warstw odwzorowujących system hydrogeologiczny: I – czwartorzędową, II – neogeńską, III – senońską, IV – cenomańską i V – górnojurajską. Warstwy I i IV tworzą poziomy wodonośne, natomiast III i V uznano za słabo przepuszczalne. Kompleks neogeński, w zależności od wykształcenia litologicznego, został zaklasyfikowany jako wodonośny (piaskowce, wapienie) lub słabo przepuszczalny (łty). Na podstawie analizy materiałów archiwalnych opracowano model koncepcyjny, a następnie kilka modeli matematycznych w różnej skali: regionalnej, lokalnej (dla rejonu Buska-Zdroju i Solca-Zdroju) i szczegółowej dla poszczególnych złóż. Przyjęto, iż w głównej mierze zasilanie neogeńskiego i mezozoicznych poziomów wodonośnych odbywa się poprzez bezpośrednią infiltrację opadów atmosferycznych w strefach wychodni lub okien hydrogeologicznych lub pośrednio na drodze przesączania przez warstwy słabo przepuszczalne. W strefach spękanych, o korzystnych parametrach hydrogeologicznych, uznano, iż zasilanie może zachodzić w wyniku ascenzji. Założono, iż w strefach zaburzeń tektonicznych poszczególne poziomy wodonośne mogą pozostawać we wzajemnej więzi hydraulicznej. Bazę drenażu, zarówno w skali regionalnej, jak i lokalnej, stanowią ciekły powierzchniowe, a także źródła. Na omawianym obszarze zachodzi także drenaż wymuszony intensywnym wydobywaniem wód leczniczych, zaburzający naturalny

rozkład ciśnień piezometrycznych. Obecność stref uskokowych i blokowy styl budowy geologicznej komplikuje schemat krążenia wód (Dendys, 2018; Lisik, Szczepański, 2018). Uskoki te mogą stanowić dogodne drogi krążenia, ułatwiające zasilanie, lub tworzyć szczelną barierę hydrodynamiczną. W efekcie obserwuje się różnicowanie warunków hydrogeologicznych w poszczególnych blokach strukturalnych.

Regionalny model matematyczny objął powierzchnię około 3900 km². Obszar ten został po-

dzielony na bloki obliczeniowe o wymiarach 250×250 m. Badania modelowe prowadzono w oparciu o założenia przyjęte w modelu koncepcyjnym, w warunkach filtracji ustalonej. Większe rzeki, stanowiące regionalną bazę drenażu (Wisła, Nida) zostały odwzorowane za pomocą warunków brzegowych I rodzaju, podobnie jak rzędna zwierciadła wody w źródłach. Mniejsze cieki opisano warunkami brzegowymi III rodzaju, zaś zasilanie infiltracyjne i wielkość wydobycia warunkami brzegowymi

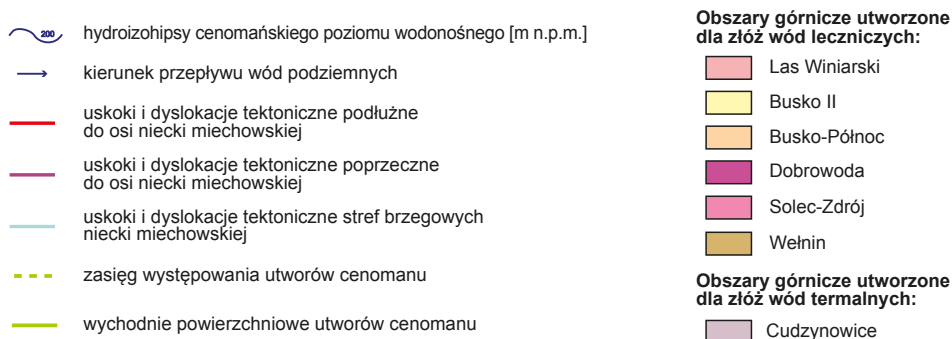
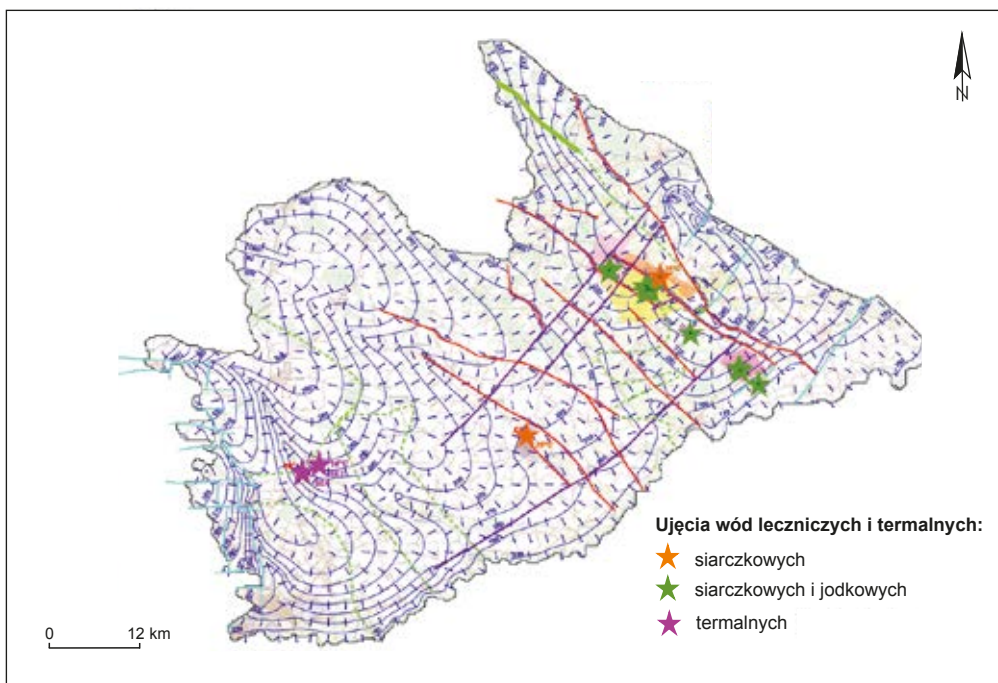


Fig. 8.15. Mapa hydroizohips cenomańskiego poziomu wodonośnego (na podst. Dendys, 2018)

II rodzaju. Następnie, opierając się na pomiarach głębokości zwierciadła wody w ujęciach, przeprowadzono kalibrację modelu. W wyniku badań otrzymano bilans krążenia wód oraz obraz pola hydrodynamicznego cenomańskiego poziomu wodonośnego, które pozwoliły określić kierunek przepływu wód podziemnych oraz warunki zasilania i drenażu. Analiza bilansu wodnego w tym poziomie wykazała, iż główne znaczenie dla kształtowania się warunków krążenia wód podziemnych mają kontakty hydrauliczne poziomu cenomańskiego z utworami senonu i jury górnej, do których dochodzi w strefach uskokuowych. Kierunek przepływu wód podziemnych w utworach cenomanu jest zróżnicowany i w dużej mierze warunkowany obecnością stref uskokuowych (fig. 8.15). Jednak obecny stan rozpoznania nie pozwala na ostateczne określenie roli, jaką odgrywają poszczególne nieciągłości tektoniczne w przepływie wód podziemnych.

Ustalenia modelu regionalnego posłużyły do konstrukcji modelu lokalnego dla obszaru intensywnego wydobywania wód leczniczych, tj. rejonu Buska-Zdroju i Solca-Zdroju. Uszczegółowienie modelu było możliwe z uwagi na większy stopień rozpoznania warunków hydrogeologicznych w tym rejonie. Model ten objął lokalny układ hydrodynamiczny, ograniczony ciekami powierzchniowymi, o powierzchni około 1250 km², zdyskretyzowany siatką kwadratową o wymiarach 100×100 m. Niezależnie od skali w obu modelach przyjęto te same założenia wynikające z modelu koncepcyjnego, dodatkowo wykorzystując w modelu lokalnym wysokość ciśnienia piezometrycznego uzyskaną z modelowania regionalnego, symulowaną warunkiem brzegowym I rodzaju. Wyniki badań modelowych w skali szczegółowej również wskazały, iż cenomański poziom wodonośny jest zasilany wodami dopływającymi z utworów senonu i jury górnej, a zasilanie infiltracyjne odgrywa marginalną rolę w bilansie krążenia wód.

Mając na względzie powyższe ustalenia, skonstruowano modele hydrodynamiczne dla pojedynczych złóż. Modelowanie przeprowadzono w dwóch wariantach: dla obszarów górniczych Busko II, Las Winiarski i Busko-Północ oraz odpowiadających im struktur geologicznych ograniczonych uskokami. Badania modelowe miały na celu przede wszystkim

określenie związków hydrodynamicznych pomiędzy poszczególnymi obszarami i ocenę wpływu prowadzonego wydobywania w danym złożu na warunki wydobywania w złożach sąsiednich. Cele te jednak nie zostały osiągnięte z uwagi na znaczne skomplikowanie warunków hydrogeologicznych i niedostateczne rozpoznanie roli uskokuów w kształtowaniu warunków hydrodynamicznych. W zależności od charakteru uskokuów poszczególne złoża mogą tworzyć odrębne systemy wodonośne, w których panują zróżnicowane warunki hydrogeologiczne, lub mogą pozostawać ze sobą w więzi hydraulicznej. Przy tak szczegółowej skali w danych warunkach hydrostrukturalnych (niewyjaśniona rola uskokuów) metoda modelowania matematycznego nie pozwoliła na wiarygodną ocenę ilościową leczniczych wód siarczkowych, a zatem nie mogła ona zostać wykorzystana do oceny ich zasobów eksploatacyjnych.

Przykład III: Dolina Popradu

(na podst. *Dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby dyspozycyjne wód podziemnych w obszarach bilansowych współwystępujących wód leczniczych i zwykłych wód podziemnych w wydzielonym rejonie Karpat – zlewnia Popradu*; Kościłacz i in., 2014)

W Karpatach fliszowych metodę modelowania matematycznego wykorzystano m.in. do oceny zasobów dyspozycyjnych w obszarach współwystępowania wód leczniczych i zwykłych w zlewni Popradu. Obszar ten jest zbudowany z utworów płaszczowiny magurskiej (senon-oligocen), wśród których wyróżnia się trzy strefy tektoniczno-facjalne: krynicką, bystrzycką (sądecką) i gorlicką (raczańską). Strefy te mają budowę uskokuowo-fałdową i są zbudowane z asymetrycznych synklin i antyklin, wtórnie sfałdowanych. Kontakt pomiędzy poszczególnymi strefami ma charakter tektoniczny, występujące w ich obrębie fałdy są silnie złuszkowane, a osie struktur przesunięte względem siebie. Pod względem litologicznym omawiany obszar jest zbudowany z naprzemianległych pakietów piaskowcowo-łupkowych, przy czym utwory słabo przepuszczalne – w zależności od udziału domieszek piaskowcowych i obecności spękań – mogą stanowić bariery hydrauliczne lub gromadzić niewielkie ilości

wody. W spękanych piaskowcach współwystępują zarówno zwykłe wody podziemne, jak i wody lecznicze – głównie szczawy i wody kwasowęgłowe. Rozpoznanie warunków hydrogeologicznych jest skoncentrowane w rejonach intensywnego wydobywania wód leczniczych, na pozostałym obszarze ma ono charakter punktowy.

Wyniki kartowania hydrogeologicznego, pomiarów hydrogeologicznych, badań geofizycznych, zdjęcia gazowego i analizy fotolineamentów umożliwiły wykonanie matematycznych modeli przepływu: dla całej zlewni Popradu w granicach Polski oraz modeli szczegółowych dla wybranych obszarów bilansowych. Celem badań modelowych było nie tylko ustalenie wielkości zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych, w tym zasobów odnawialnych, lecz także określenie procesów hydrodynamicznych odpowiedzialnych za mieszanie się wód leczniczych i zwykłych oraz sformułowanie zasad racjonalnej gospodarki zasobami współwystępujących ze sobą wód zwykłych i leczniczych.

Model koncepcyjny fliszowego systemu wodonośnego zakłada obecność wielowarstwowego i nieciągłego układu hydrostrukturalnego o zróżnicowanej w skali lokalnej łączności hydraulicznej pomiędzy poszczególnymi warstwami wodonośnymi. Na potrzeby modelowania przyjęto ciągłość przepływu wód podziemnych w skali regionalnej, przy czym przepływ wód odbywa się systemem szczelin, zaś pory są odpowiedzialne za gromadzenie się wody. W takim podejściu (model deterministyczno-stochastyczny) zespoły drobnych spękań oraz porowatość masywu skalnego zostały potraktowane łącznie jako system porowy. Spękania towarzyszące strefom uskoku uznano za obszary o podwyższonej lub obniżonej wodonośności.

Przy użyciu programu Visual ModFlow wykonano 10 modeli, jeden w skali regionalnej dla polskiej części zlewni Popradu o powierzchni 536 km² i 9 modeli szczegółowych dla obszarów bilansowych: Poprad Barcice, Roztoka, Czercz, Poprad Piwniczna, Łomniczanka, Wierchomlańska, Żegiestów, Kryniczanka i Mochnaczka. Granice modelu regionalnego nawiązują do zlewni powierzchniowych i zostały poprowadzone w odległości kilkuset metrów od ich granic, tak aby umożliwić odwzorowanie na modelu warunków panujących w strefach wododziałowych. Dolną

granice modelu przyjęto na głębokości 1200 m, a więc znacznie poniżej dolnej granicy wodonośności, szacowanej w Karpatach fliszowych na około 80 m. Fliszowy poziom wodonośny w obszarze badań charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem warunków hydrogeologicznych, niemożliwym do wierne odwzorowania na modelu matematycznym. Dlatego też skonstruowanie modelu wymagało daleko idącej generalizacji, na przykład w zakresie obecności drobnych spękań międzyławicowych i ich roli w przepływie wód podziemnych, miąższości warstw wodonośnych, wzajemnych relacji pomiędzy mniejszymi strefami tektonicznymi, czy agregacji poziomów wodonośnych i warstw słabo przepuszczalnych, co w końcowym etapie symulacji prognostycznych uniemożliwiło określenie zasobów eksploatacyjnych poszczególnych ujęć. Precyzyjne modelowanie nieciągłych i niejednorodnych struktur wodonośnych uniemożliwiają także ograniczenia programów komputerowych.

W celu odwzorowania zmienności parametrów hydrogeologicznych ośrodka skalnego w obrębie piętra fliszowego wydzielono dziewięć warstw o obniżającej się wraz z głębokością wartości współczynnika filtracji i przewodności wodnej:

- warstwa I: czwartorzędowe piętro wodonośne występujące lokalnie w dolinie Popradu i jego większych dopływów o stałej miąższości 5 m;
- warstwa II: silnie spękana, wodonośna część kompleksu fliszowego o stałej miąższości 25 m i spągu na głębokości 30 m;
- warstwa III: kompleks fliszowy sięgający do dolnej granicy wodonośności masywu skalnego, o stałej miąższości 70 m i spągu na głębokości 100 m;
- warstwy IV–IX: strefy głębokiego krążenia o miąższości od 100 do 300 m.

Warstwy modelu nie odpowiadają więc warstwom wodonośnym, lecz przedstawiają rozkład własności filtracyjnych ośrodka skalnego w zależności od głębokości. Z uwagi na styl budowy geologicznej oraz nierównomierne rozpoznanie otworami wiertniczymi każdej warstwie litofacjalnej przypisano typowe dla niej parametry, rezygnując z interpolacji danych (tzw. zasada analogii). Na modelu uwzględniono anizotropię przepływu werty-

kalnego, wydzielając w tym celu obszary stromego zapadania warstw skalnych. Obszar badań podzielono siatką kwadratową o długości boku 200 m. Na większości zewnętrznych granic modelu przyjęto warunek brzegowy II rodzaju $Q = 0$, rezygnując z uwzględnienia dopływów bocznych. Zasilanie, w postaci efektywnej infiltracji opadów atmosferycznych, odwzorowano warunkiem brzegowym II rodzaju $Q = \text{const}$. Warunek brzegowy III rodzaju użyto w celu zobrazowania większych rzek, tj. wpływu stanu wód powierzchniowych na wody podziemne oraz dopływu bocznego przez granicę modelu dla wybranych warstw obliczeniowych (GHB), a także większych źródeł (*Drain*).

Po kalibracji uproszczonego modelu regionalnego w warunkach ustalonych otrzymano rozkład przestrzenny linii ekwipotencjalnych wskazujący na głęboki (do głębokości ponad 500 m) wpływ ukształtowania terenu oraz sieci rzecznej na warunki krążenia wód podziemnych. Wyraźnie zaznaczają się także dwa systemy przepływu: lokalny i regionalny. Granica między nimi występuje w przybliżeniu na głębokości 70–170 m. System wodonośny jest zasilany na drodze infiltracji opadów atmosferycznych w 96%. Dopływ boczny i infiltracja z cieków powierzchniowych nie odgrywa istotnej roli. Drenaż rzeczny jest odpowiedzialny za odprowadzanie z systemu 98% całkowitej objętości wody. Bardziej precyzyjne odwzorowanie fliszowego systemu wodonośnego nie jest możliwe z uwagi na braki w rozpoznaniu hydrogeologicznym, zwłaszcza rzeczywistych dróg przepływu oraz znaczną zmienność współczynnika filtracji i dużych spadków hydraulicznych na niewielkim obszarze.

W celu uszczegółowienia lokalnego bilansu wodnego oraz zminimalizowania błędów prognoz modelowych opracowano modele w skali szczegółowej. Siatka dyskretyzacyjna składała się z kwadratowych bloków obliczeniowych o długości boku 50 m, co pozwoliło na uszczegółowienie przebiegu uskoków i cieków wodnych oraz głębokości zalegania stropu poszczególnych warstw. Jeden z takich modeli lokalnych objął swoim zasięgiem rejon Żegiestowa-Zdroju. W oparciu o kryteria hydrodynamiczne i hydrochemiczne obszar bilansowy VII-Żegiestów o powierzchni 22,5 km² podzielono na trzy podobszary:

- A (Poprad Zubrzyk): na obszarze o powierzchni 8,8 km² wody lecznicze są ujmowane otworami wiertniczymi, a ich występowanie jest związane z dwoma strefami uskokowymi przebiegającymi przez Zubrzyk i Żegiestów;
- B (Żegiestowski Potok): obszar ten, o powierzchni 9,5 km², wyznaczono na podstawie anomalii zawartości CO₂ w powietrzu glebowym;
- C (Poprad Żegiestów): na obszarze o powierzchni 4,2 km² wody lecznicze są ujmowane otworami wiertniczymi oraz wypływają w źródłach.

Model matematyczny opracowano dla obszaru o powierzchni 72,2 km², ograniczonego ciekami powierzchniowymi lub granicą modelu regionalnego. Główną składową bilansu wodnego obszaru jest infiltracja opadów atmosferycznych, mniejszą rolę odgrywa dopływ boczny. Drenaż odbywa się przede wszystkim w dolinach rzecznych i źródłach. Bilans wodny obszaru bilansowego Żegiestów przedstawiono w tab. 8.2.

Tab. 8.2. Bilans wodny obszaru bilansowego Żegiestów (na podst. Kościacza i in., 2014)

Element bilansu	Dopływ		Odpływ	
	[m ³ /d]	[%]	[m ³ /d]	[%]
Zasilanie atmosferyczne	18 973	92,0	0	0,0
Rzeki i źródła	6	0,0	17 907	87,0
Wydobywanie ujęciami	0	0,0	151	0,8
Przepływ boczny	1704	8,0	2624	12,2
Suma	20 683	100,0	20 682	100,0
Rozbieżność	-1	0,0		

Zasoby dyspozycyjne wód leczniczych obszaru bilansowego Żegiestów wynoszą 3483 m³/d, zaś współwystępujących z nimi w utworach paleogenu zwykłych wód podziemnych 2070 m³/d.

8.1.2. Metody analityczne

Obliczenia analityczne wydajności ujęć wód podziemnych na podstawie wyników próbnego pompowania wymagają przyjęcia właściwego schematu obliczeniowego. Podstawowe metody obliczeniowe są oparte na:

- wzorach filtracji ustalonej Dupuita;
- wzorach na wielką studnię (dla zespołu studni);
- wzorach filtracji nieustalonej Theisa i Hantusha;
- całkowaniu graficznym siatki hydrodynamicznej (metoda przybliżona).

Wymienione schematy mają swoje warianty stosowane w zależności od m.in. charakteru zwierciadła wody, sposobu ujęcia warstwy wodonośnej, obecności granic hydrodynamicznych, współdziałania w zespole ujęć. Do obliczeń współczynnika filtracji i zasięgu leja depresji stosuje się wzory (empiryczne lub wyprowadzone z prawa Darcy'ego i prawa ciągłości przepływu) lub programy komputerowe, przy czym w uzasadnionych przypadkach należy uwzględnić szereg korekt, wynikających ze zjawisk i procesów zachodzących w ujęciach wód leczniczych. Pozostałe obliczenia, tj. dopuszczalnej prędkości dopływu wody do studni, wydajności maksymalnej, zeskoku hydraulicznego, sprawności studni, stopnia ujęcia warstwy wodonośnej, należy wykonywać zgodnie z ogólnie przyjętą metodyką, analogicznie jak ma to miejsce w przypadku zwykłych wód podziemnych.

Obliczenia wzorami

Pomimo istotnych ograniczeń wzorów opisujących przepływ w ośrodku porowym, praktycznie z pominięciem obecności szczelin (Turek, 1971), są one nadal najczęściej wybieraną metodą ustalania zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych.

W pierwszej kolejności należy, za pomocą metody Smrekera-Missbacha (zależność między wydajnością a depresją na kolejnych stopniach pompowania: $q = Q/s$; $q' = Q/s^{1/2}$; $q'' = Q/s^{2/3}$), określić rodzaj filtracji w strefie przyfiltrkowej, a następnie w zależności od charakteru dopływu wody do otwo-

ru (filtracja, fluacja, dopływ mieszany) przyjąć właściwy schemat obliczeniowy.

Dla dopływu laminarnego (filtracji) powszechnie stosuje się wzór Dupuita [1] [2] [3], w zależności od stopnia ujęcia warstwy wodonośnej, bez lub z poprawką Forchheimera, dla warstw o napiętym zwierciadle wody oraz w warstwach o swobodnym zwierciadle wody [4] [5] [6]. Wzory przytoczone w Poradniku zebrano w dodatku II zamieszczonym na końcu opracowania. Wzór Dupuita zakłada istnienie poziomej, izotropowej warstwy wodonośnej o nieograniczonym zasięgu i o spadku hydraulicznym zwierciadła wody $I = 0$, ujętej studnią zupełną. Pomimo warunków, dla których wyprowadzono ten wzór, znajduje on zastosowanie zarówno dla różnego rodzaju wód szczaw karpackich, jak i solanek na Niżu Polskim.

Do obliczenia współczynnika filtracji w sytuacji dopływu turbulentnego (fluacji) dla warstw o napiętym zwierciadle wody wykorzystuje się wzór Krasnopolskiego [7], a dla warstw o zwierciadle swobodnym – wzór Chezy'ego [8]. Stosowalność wzorów jest ograniczona do studni odległych od wód powierzchniowych, podobnie jak wzorów Dupuita [1–6], jednak można je stosować również dla ujęć położonych w sąsiedztwie rzek, gdy głębokość położenia ujętej warstwy wodonośnej wyklucza bezpośrednie zasilanie infiltracyjne ze strony wód powierzchniowych. Jeśli dokumentowany otwór jest niedogłębiony i gdy nie jest znana miąższość warstwy wodonośnej, to w obliczeniach należy uwzględnić miąższość strefy aktywnej.

Dla dopływu mieszanego, charakterystycznego dla niejednorodnego ośrodka skalnego, do obliczeń współczynnika filtracji stosuje się przeważnie wzór Macioszczyka [9] lub Wieczystego [10]. Wzór Wieczystego jest stosowany przy napiętym zwierciadle wody i studni niezupełnej, bez otworów obserwacyjnych. W przypadku nieznannej miąższości warstwy wodonośnej stosuje się go w połączeniu z poprawką Forchheimera [11]. Wzór ten najlepiej sprawdza się w przypadku dużych wydajności ujęć, rzędu kilkudziesięciu metrów sześciennych na godzinę. Zasięg leja depresji należy obliczyć, podobnie jak w przypadku wód zwykłych, najczęściej przy pomocy wzoru Sichardta [12] dla wód pod ciśnieniem lub wzoru Kusakina [13] dla wód o zwierciadle swobodnym (Turek, 1971).

Promień leja depresji wyznaczony za pomocą wzorów empirycznych ma charakter orientacyjny. Mimo że do wyliczenia zasięgu leja depresji wykorzystuje się wyniki próbnego pompowania, to wzory te zakładają warunki dopływu ustalonego, przez co uzyskiwane wyniki nie są do końca wiarygodne. Nie odzwierciedlają one w pełni warunków hydrogeologicznych, a jedynie umożliwiają wykreślenie teoretycznego zasięgu leja depresji w postaci okręgu. Faktyczny kształt leja depresji nie będzie regularny, zależy bowiem od wykształcenia facjalnego utworów, zróżnicowania przewodności wodnej oraz wielu innych czynników, m.in. spadku hydraulicznego oraz rozluźnienia i spękania górotworu. Przypuszcza się, że wyniki obliczeń uzyskane wzorami empirycznymi są na ogół zaniżone. Zaleca się, aby tam, gdzie to możliwe, po zakończeniu pompowania pomiarowego, dokonać obliczeń sprawdzających z wykorzystaniem modułu zasobów odnawialnych lub na podstawie obserwacji wzniosu zwierciadła wody, na przykład wzorem Czarnego [14] (Turek, 1971).

Współczynnik pojemności wodnej oblicza się na podstawie jednostkowego współczynnika sprężystości pojemnościowej, odczytanego z tabel, na podstawie przyjętego współczynnika porowatości warstwy wodonośnej oraz wyliczonych ciśnień panujących w spągu warstwy wodonośnej przed rozpoczęciem pompowania.

Obliczenia z wykorzystaniem programów komputerowych

Do interpretacji wyników próbnego pompowania służy program komercyjny AquiferTest. Pozwala on na uzyskanie wartości średniej współczynnika filtracji ujętej warstwy wodonośnej, na podstawie którego oblicza się przewodność warstwy wodonośnej. Program pozwala wykonać obliczenia przy zastosowaniu różnej metodyki, m.in. *doubleporosity*, Theisa, Papadopolosa i Coopera, Waltona, Coopera-Jacoba lub Agarwala. Metoda Theisa daje na ogół wyniki nieznacznie niższe od pozostałych, ale umożliwia, oprócz obliczenia współczynnika filtracji i przewodności wodnej, także otrzymanie współczynnika zasobności sprężystej. Możliwości interpretacyjne programu przedstawiono w tab. 8.3. Wykonując obliczenia programem AquiferTest zale-

ca się stosowanie kilku metodyk, a następnie uśrednieniu otrzymanych wyników.

W przypadku wód leczniczych proponuje się przyjmować model złoża o podwójnej porowatości, a zatem większość obliczeń wykonywać przy użyciu metody *doubleporosity*. Pozwala ona na uwzględnienie w obliczeniach zróżnicowanej wielkości dopływu wody do otworu, na przykład ze szczelin głównych, odpowiedzialnych za zasadniczy dopływ wód do otworu w pierwszej fazie pompowania oraz mniejszych spękań (traktowanych jako porowatość matrycy skalnej), z których dopływ jest uruchamiany wraz ze zwiększaniem wydajności pompowania. Metodę podwójnej porowatości można stosować dla systemów szczelinowatych, spękanych, wielowarstwowych o silnie zróżnicowanej przepuszczalności lub jednowarstwowych z bardzo dużą zmiennością przepuszczalności w kierunku pionowym, a także dla złóż częściowo udostępnionych. Inne podstawowe modele, jak model złoża jednorodnego (jeden ośrodek porowaty odpowiedzialny za dopływ wody do ujęcia) lub model złoża o podwójnej przepuszczalności (dwa odmienne ośrodki odpowiedzialne za dopływ wody do ujęcia), w dotychczasowej praktyce dokumentowania zasobów wód leczniczych nie były stosowane. W przypadku głębokich otworów wiertniczych zaleca się używanie metody Agarwala (*Agarwal skin*), która uwzględnia straty ciśnienia w otworze związane ze skin-efektem (SF), czyli zeskokiem hydraulicznym, i wpływem pojemności magazynowej otworu (SD). W przypadku głębokich otworów na Niżu Polskim metoda ta pozwala na dobre dopasowanie krzywych wzorcowych do realnego przebiegu pompowania (testu). Znajomość współczynnika skin-efektu pozwala wnioskować na temat stopnia oczyszczenia strefy okołowiertniczej z filtratu płuczki. Przykładową interpretację wyników próbnego pompowania przy pomocy programu AquiferTest przedstawiono na fig. 8.16.

Jeśli pompowanie zostanie zakończone w warunkach quasi-ustalonych, to niezbędne jest wykonanie dodatkowych symulacji metodą kolejnych przybliżeń w celu ustalenia obniżenia zwierciadła wody dla poszczególnych stopni pompowania w warunkach filtracji ustalonej. Poniżej przedstawiono porównanie wartości pomiarowych, uzyskanych podczas próbnego pompowania pomiarowego

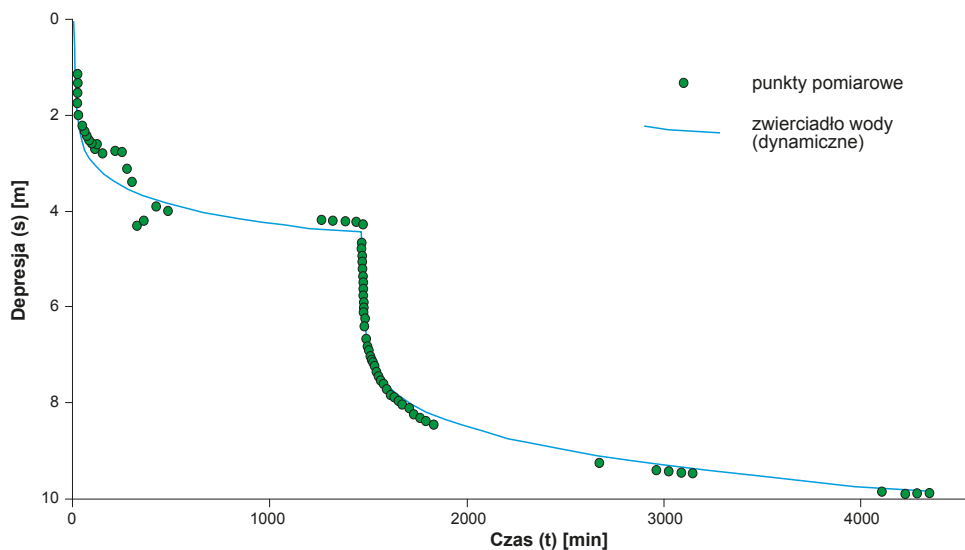


Fig. 8.16. Interpretacja wyników próbnego pompowania programem AquiferTest na przykładzie otworu Damian w Muszynie (na podst. Jóźefko i in., 2018, z mod. autorów)

Tab. 8.3. Zestawienie funkcjonalności programu AquiferTest (stan 2020 r.) (na podst. <https://www.gambit.net.pl/>)

Możliwości	Pakiet AquiferTest	Pakiet AquiferTest Pro
Analiza testów próbnego pompowania	+	+
Analiza testów typu <i>slug</i>	+	+
Całkowita lub częściowa penetracja studni	+	+
Pompowanie jednej lub kilku studni	+	+
Izotropowa lub anizotropowa warstwa wodonośna	+	+
Warstwy ograniczone przez bariery lub granice zasilania	+	+
Stałe lub zmienne tempo pompowania	+	+
Parametry studni	+	+
Wydajność studni	+	+
Przepływ w ośrodku szczelinowatym	+	+
Rysowanie studni na mapie bazowej	+	+
Analiza testu Dagana	+	+
Wykresy wydajności studni	+	+
Wykresy diagnostyczne zmiennych przepływu	+	+
Tworzenie mapy izoliniowej depresji na mapie	-	+
Efekty trendu/poprawka barometryczna	-	+
Wtórne wygładzanie	-	+
Studnie horyzontalne	-	+
Efekt przyścienny	-	+
Test Lugeona (test Packera)	-	+
Analiza Neumana-Whiterspoona	-	+
Analiza wielu warstw wodonośnych	-	+
Gradienty regionalne	-	+
Linie prądu	-	+

otworu Damian w Muszynie z wartościami skorygowanymi, które posłużyły do oceny zasobów eksploatacyjnych (Józefko i in., 2018):

- wartości pomiarowe:
 $Q_1 = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji $s_1 = 4,3 \text{ m}$
 $Q_2 = 2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji $s_2 = 9,9 \text{ m}$
 $Q_3 = 3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji $s_3 = 24,5 \text{ m}$
- wartości skorygowane:
 $Q_1 = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji $s_1 = 9,1 \text{ m}$
 $Q_2 = 2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji $s_2 = 21,0 \text{ m}$
 $Q_3 = 3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji $s_3 = 33,9 \text{ m}$

Interpretacja wyników

W celu interpretacji wyników próbnego pompowania, niezależnie od sposobu jego wykonania i przyjętej metody obliczeniowej, do dalszej interpretacji należy sporządzić wykresy wskaźnikowe. Podstawowe, najprostsze wykresy opisują zależności: wydajności od depresji i wydajności jednostkowej od depresji (fig. 8.17). Na potrzeby interpretacji warunków hydrogeologicznych i obliczeń właściwości filtracyjnych warstwy wodonośnej należy sporządzić wykresy depresji w funkcji czasu, logarytmiczne $\lg s = f(\lg t)$ lub półlogarytmiczne $s = f(\lg t)$ dla przyjętego do analizy stopnia pompowania, a następnie odczytać współczynnik kierunkowy prostej aproksymującej punkty pomiarowe $c = \Delta s = \tan \alpha$ (fig. 8.18). Kształt krzywej na wykresie odzwierciedla zmienność warunków hydrogeologicznych w obszarze oddziaływania pompowania

(Dąbrowski, Przybyłek, 2005). Na podstawie kształtu krzywej można nie tylko dokonać obliczeń parametrycznych, lecz również wnioskować o przebiegu pompowania, układzie hydrodynamicznym danej struktury, wpływie granic na warunki dopływu wody do ujęcia itp. Wykonanie tych wykresów jest często pomijane, a powinno być obligatoryjne dla pompowań jednostopniowych i dla pierwszego stopnia pompowań wielostopniowych (Dąbrowski, Przybyłek, 2005). Obliczenia parametrów hydrogeologicznych wykonuje się przeważnie według schematów Theisa, Hantusha lub Boultona, w zależności od interpretacji hydrogeologicznej (przyjętej schematyzacji warunków hydrogeologicznych) i czasu pompowania/eksploatacji ujęcia.

Najprostszy schemat hydrogeologiczny opisuje warstwę wodonośną o szczelnym stropie i spągu oraz o oddalonych granicach zasilania. Wykres $s = f(\lg t)$ w takim przypadku po pewnym czasie staje się prostoliniowy i przez cały okres trwania próbnego pompowania prosta C przybiera jednakowe nachylenie względem osi czasu (fig. 8.18, 8.19). Taką interpretację hydrogeologiczną należy przyjąć m.in. dla złóż wód leczniczych o zasobach nieodnawialnych.

Na fig. 8.18 pokazano wykres $s = f(\lg t)$ dla II stopnia dynamicznego próbnego pompowania, równego wydajności eksploatacyjnej (tj. $8,0 \text{ m}^3/\text{h}$), otworu G-1 w Dobrowodzie. W czasie próbnego pompowania otworu nie uzyskano stabilizacji zwierciadła wody w II i III stopniu pompowania. Stałe obni-

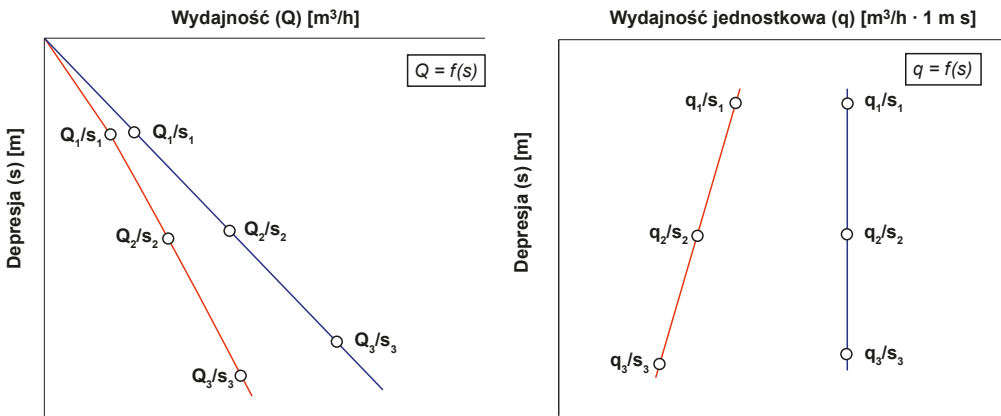


Fig. 8.17. Wykres ideowy zależności $Q = f(s)$ i $q = f(s)$

linia czerwona – dla wód o zwierciadle swobodnym, linia niebieska – dla wód o zwierciadle napiętym

żanie się zwierciadła wody w otworze wskazuje na niestabilny charakter dopływu wody do ujęcia. Na podstawie schematyzacji warunków hydrogeologicznych przyjęto, iż zasoby złoża wód leczniczych w Dobrowodzie są nieodnawialne. Do obliczeń parametrów hydrogeologicznych warstwy wodonośnej w oparciu o powyższe założenia przyjęto zatem model hydrauliczny określany schematem Theisa.

Na fig. 8.19 przedstawiono wykres $s = f(lgt)$ dla opadania zwierciadła wody po próbnym pompowaniu otworu Korona w Zabłociu z wydajnością 0,24 m³/h. W tym przypadku wydajność ujęcia zo-

stała dostosowana do wielkości depresji. Pozostawienie odpowiedniego słupa zasolonej wody w otworze przeciwdziała erupcjom metanu i warunkuje bezpieczną eksploatację ujęcia. Parametry warstwy wodonośnej wyznaczono metodą przybliżenia logarytmicznego Theisa-Jacoba dla niestabilnych warunków dopływu wód.

Na podstawie wykresu logarytmicznego opadania zwierciadła wody $s = f(lgt)$ należy wyliczyć przybliżoną przewodność wodną kompleksu wodonośnego [15] z wykorzystaniem zależności dla prostoliniowej części wykresu w pełnym cyklu logaryt-

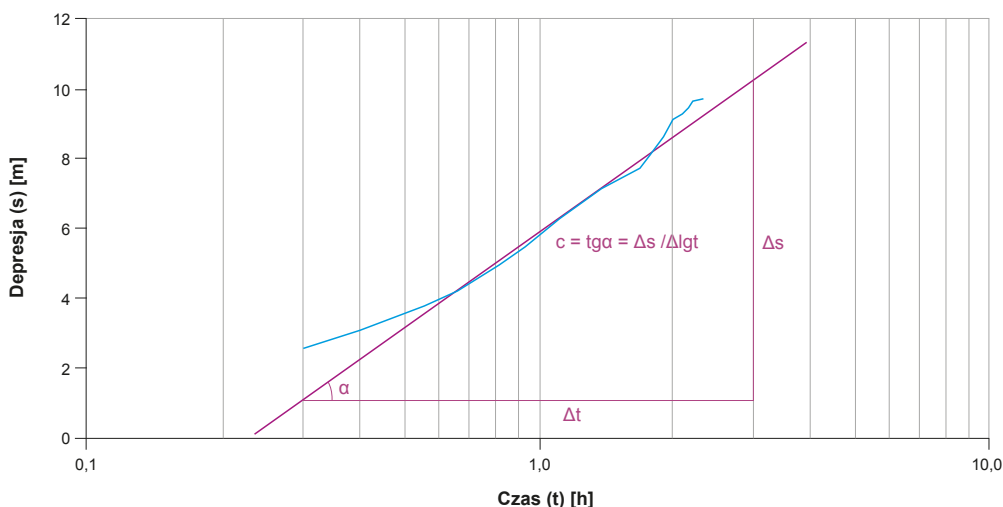


Fig. 8.18. Wykres zależności $s = f(lgt)$ dla pompowania pomiarowego otworu G-1 w Dobrowodzie (na podst. Zardzewiałego, 2017, z mod. autorów)

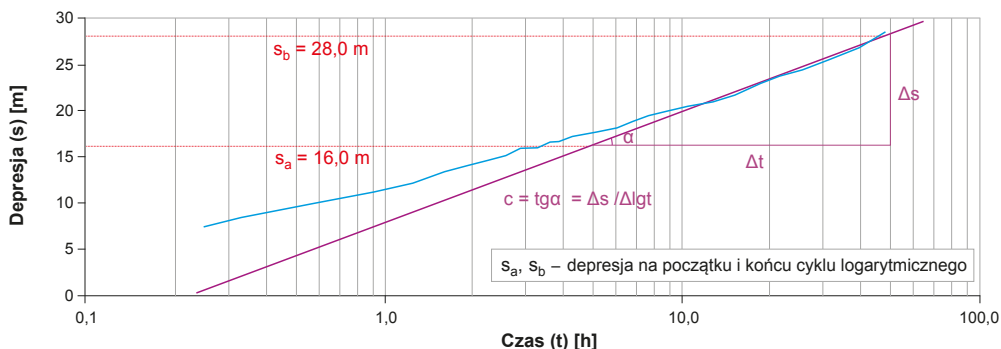


Fig. 8.19. Wykres zależności $s = f(lgt)$ dla pompowania pomiarowego otworu Korona w Zabłociu (na podst. Śląskiego i Chlebika, 2017, z mod. autorów)

micznym (fig. 8.18). Następnie, przy znajomości miąższości warstwy wodonośnej, należy oszacować wielkość współczynnika filtracji [16] i współczynnika odsączalności, na przykład wzorem Biecińskiego [17], a w przypadku wód stagnujących – także zasoby statyczne złoża, na przykład rozumianego jako obszar górniczy o znanej powierzchni [18]. Ekstrapolując wyniki pompowania można prognozować wielkość depresji w kolejnych latach, przy założeniu ciągłego pompowania ze stałą wydajnością równą wydajności eksploatacyjnej (fig. 8.20). Za koniec eksploatacji ujęcia należy przyjąć datę upływu ważności koncesji na wydobywanie wód leczniczych.

Bardziej skomplikowane wykresy, mogące przysparzać wiele trudności interpretacyjnych, spotyka się w przypadku pompowania otworów ujmujących wody współczesnej infiltracji. Złożony schemat hydrogeologiczny ilustrują wykresy pompowania otworu Słotwinka-1, ujmującego szczaw z fliszowego poziomu wodonośnego o naporowym zwierciadle wody, będącego w łączności hydraulicznej z piętrem czwartorzędowym (fig. 8.21, 8.22). Na wykresach można wyróżnić trzy charakterystyczne odcinki:

- faza A (c_1): okres wpływu pojemności studni i tworzenia się zesoku hydraulicznego, tworzenie się lejów depresji w poziomie fliszowym;
- faza B (c_2): wpływ oddziaływania najprawdopodobniej granicy nieprzepuszczalnej w postaci uskoku;
- faza C (c_3): ustabilizowanie się dopływu w poziomie fliszowym i stopniowe uruchomienie dopływu z piętra czwartorzędowego, odzwierciedla odsączanie grawitacyjne całego

systemu – opisuje uśrednione parametry filtracji obydwu pięter wodonośnych wraz z oddziaływaniem granicy szczelnej.

Pochylenie odcinka C pod mniejszym kątem niż A (fig. 8.22) wskazuje na bardziej korzystne warunki filtracji w utworach czwartorzędowych. Dalsze obliczenia, m.in. współczynnika filtracji, należy więc wykonać metodą przybliżenia logarytmicznego Theisa-Jacoba jedynie dla odcinków dających się opisać krzywą Theisa, tj. w omawianym przypadku A i C.

W omawianym przykładzie wykres funkcji $Q = f(s)$ przybrał charakter paraboliczny, typowy dla warstwy o zwierciadle swobodnym. Analiza wyników wskazała, że jedynie na I stopniu pompowania uzyskano ustabilizowane warunki dopływu wody do otworu (fig. 8.23). W związku z powyższym, w celu określenia warunków hydrogeologicznych oraz obliczeń parametrów filtracyjnych warstwy wodonośnej wykresy funkcyjne $s = f(lgt)$ oraz $lgs = f(lgt)$ sporządzono tylko dla I stopnia dynamicznego oraz, w celu weryfikacji poprawności obliczeń, dla okresu wzniosu zwierciadła wody. Po przeanalizowaniu wyników uzyskanych podczas pompowania pomiarowego otworu i interpretacji zależności funkcyjnych, przy uwzględnieniu skomplikowanych warunków hydrogeologicznych potwierdzonych obserwacjami w piezometrach i źródle Słotwinka, zasoby eksploatacyjne przyjęto w wysokości 2,0 m³/h, osiągniętej na I stopniu hydrodynamicznym (dopływ ustalony). Zasobom tym przypisano maksymalną depresję wynoszącą 5,0 m, określoną jako miąższość strefy aktywnego dopływu wody do otworu $\times 0,4$.

Poprawność obliczeń przeprowadzonych na podstawie spadku zwierciadła wody zaleca się

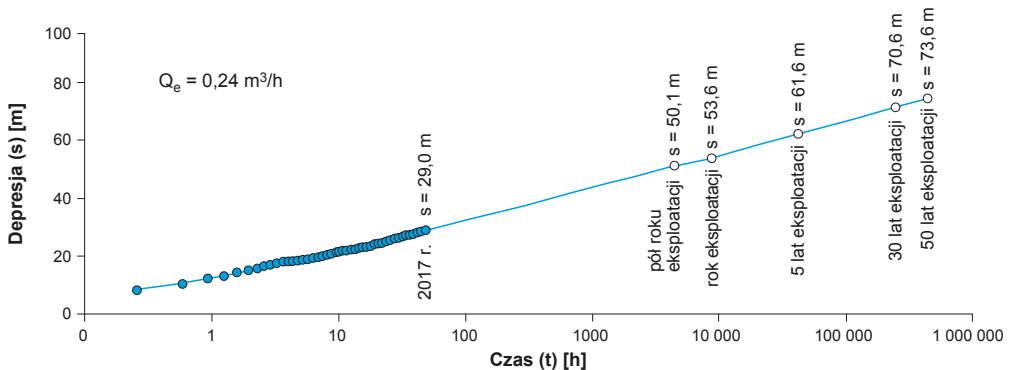


Fig. 8.20. Szacowana depresja w otworze Korona w Zabłociu (na podst. Śląskiego i Chlebika, 2017, z mod. autorów)

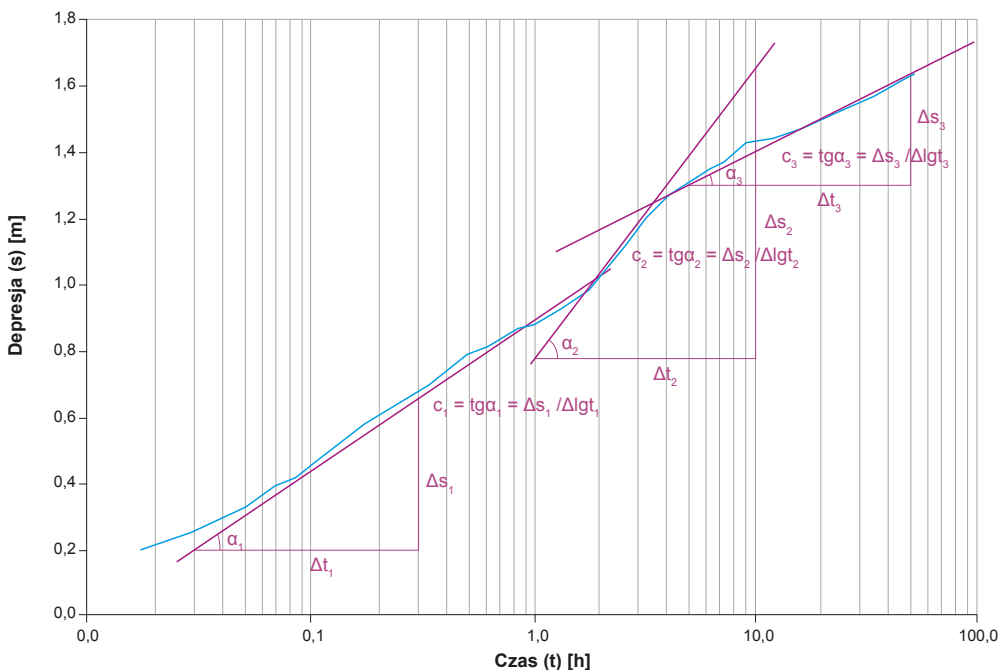


Fig. 8.21. Wykres zależności $s = f(lg t)$ dla pompowania pomiarowego otworu Słotwinka-1 w Krynicy-Zdroju (na podst. Waligóry i in., 2017, z mod. autorów)

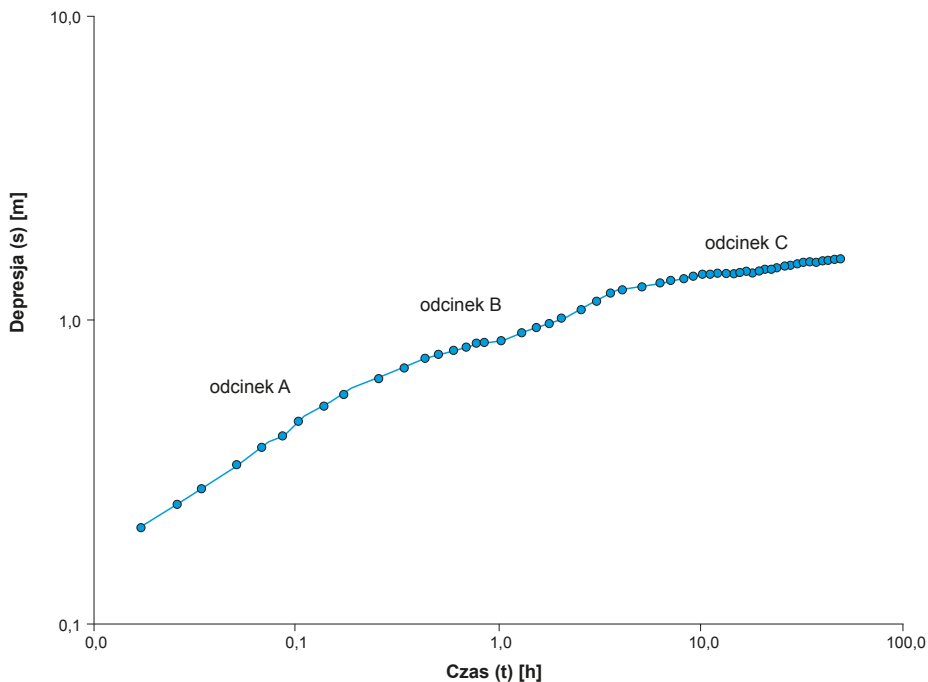


Fig. 8.22. Wykres zależności $lg s = f(lg t)$ dla pompowania pomiarowego otworu Słotwinka-1 w Krynicy-Zdroju (na podst. Waligóry i in., 2017, z mod. autorów)

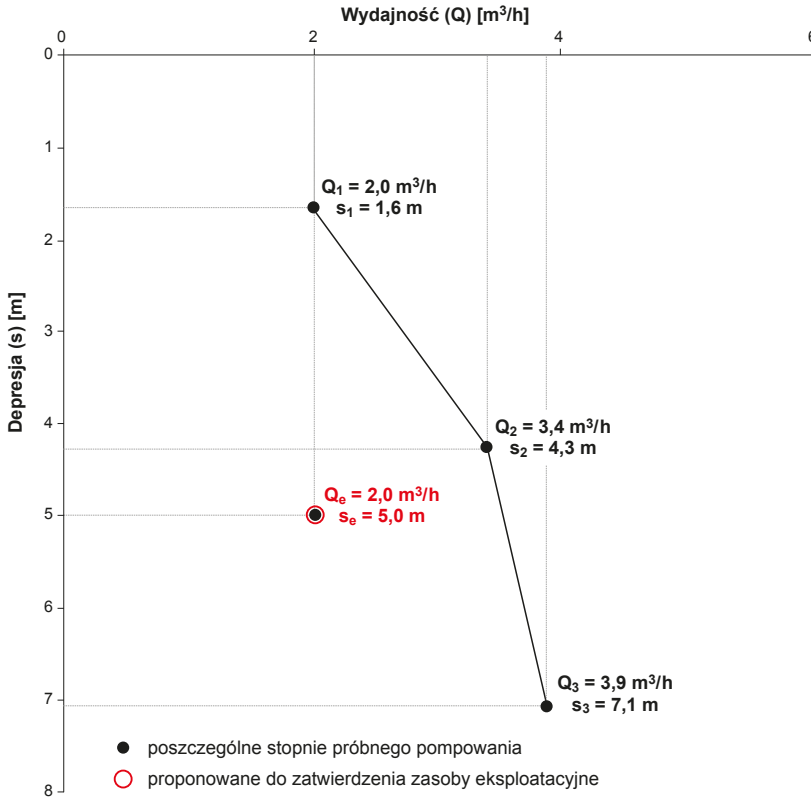


Fig. 8.23. Wykres zależności $Q = f(s)$ dla ujęcia Słotwinka-1 w Krynicy-Zdroju (na podst. Waligóry i in., 2017, z mod. autorów)

zweryfikować w analogiczny sposób metodą sprawdzającą, opartą na wynikach powrotu zwierciadła wody do pierwotnego stanu po próbnym pompowaniu pomiarowym. W tym celu należy sporządzić wykres wzniosu, a następnie z krzywej odczytać różnicę głębokości zwierciadła wody (depresji) w jednym pełnym cyklu logarytmicznym (fig. 8.24). Wyniki uzyskane obiema metodami powinny być porównywalne. Jeśli odbudowę ciśnienia poprzedza pompowanie ze zmienną wydajnością, jak to często miejsce w przypadku wód silnie zgazowanych, to wyniki obliczeń na podstawie wzniosu mogą znacznie różnić się od uzyskanych z krzywej opadania zwierciadła i wówczas należy traktować je jako orientacyjne.

Właściwości wód leczniczych, m.in. wydzielanie się z nich gazów wskutek spadku ciśnienia poniżej ciśnienia nasycenia, czy – w przypadku wód leczniczych o podwyższonej temperaturze – nieizoter-

miczny charakter przepływu wody w otworze, oraz niekiedy znaczna głębokość ich występowania, przysparzają wiele problemów interpretacyjnych przy ustalaniu wielkości zasobów eksploatacyjnych. Nieświadome pominięcie wielu ważnych aspektów może doprowadzić do uzyskania mało wiarygodnych wyników parametrów filtracyjnych, co w dalszej kolejności przekłada się na błędne oszacowanie wielkości tych zasobów. Próbné pompowanie wymaga dużej staranności i precyzji wykonywania pomiarów, a także dobrania odpowiednich metod interpretacyjnych, aby zakładane uproszczenia nie były zbyt daleko idące. Do głównych czynników utrudniających prawidłową interpretację wyników próbnego pompowania pomiarowego ujęć wód leczniczych należy zaliczyć:

- zgazowanie wód;
- wysoką mineralizację ogólną wód;

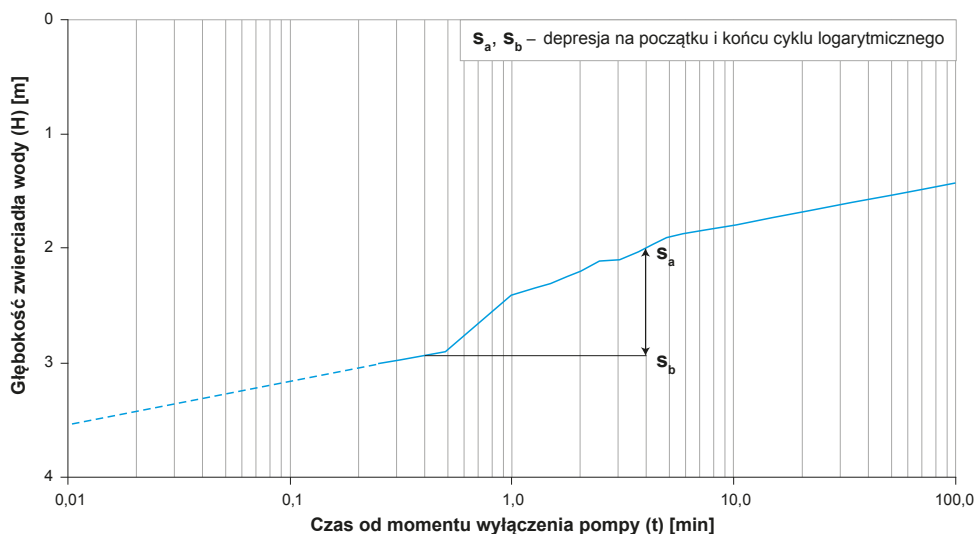


Fig. 8.24. Wykres wzniosu zwierciadła wody w otworze 9M w Gorzanowie
(na podst. Ciężkowskiego i in., 2016a, z mod. autorów)

- wysoką temperaturę wód;
- dużą głębokość występowania złóż (wpływ ciśnienia atmosferycznego i pojemności magazynowej otworów);
- zeskok hydrauliczny i skin-efekt.

Wpływ zgazowania wody na wartość współczynnika filtracji i wielkość depresji

W przypadku wód zgazowanych dwutlenkiem węgla wartość współczynnika filtracji uzyskana tradycyjnymi metodami obliczeniowymi może być zawyżona. Wysokość zgazowanego słupa wody w otworze ma mniejszą gęstość niż takiej samej wody bez gazu, a zatem faktycznie dynamiczne zwierciadło wody znajduje się na większej głębokości. Zjawisko to można wyeliminować przez zastąpienie pomiaru głębokości zwierciadła wody pomiarem ciśnienia przy spągu warstwy zafiltrowanej lub wykonanie pomiaru zwierciadła wody w rurce piezometrycznej zapuszczonej poniżej poziomu nasycenia. Zgazowanie wód CO_2 wpływa także niekorzystnie na pracę pomp, bowiem zjawisko kawitacji powoduje ich nieregularną pracę i problemy z utrzymaniem stałej wydajności. Dlatego też w otworach ujmujących szczawy zaleca się umieszczanie pomp poniżej strefy zgazowanej, na przykład w rurce pod- lub międzyfiltrowej. Innym

rozwiązaniem jest zmniejszenie depresji poprzez ograniczenie wielkości zasobów, tak aby słup wody w otworze był na tyle duży by skutecznie przeciwdziałać kawitacji, a w ekstremalnych przypadkach – nawet erupcji gazu. Dodatkowo obecny w wodach CO_2 obniża ich temperaturę wskutek rozprężenia. Zjawisko rozprężania przysparza także trudności z dokładnym pomiarem wydajności na powierzchni terenu. Zastosowanie przepływomierza wgłębnego pozwala wyeliminować błąd spowodowany rozprężeniem wody w otworze, jednak jest to rozwiązanie drogie i dlatego też rzadko stosowane.

Również w przypadku obecności w wodach dużej ilości metanu wielkość zasobów eksploatacyjnych należy dostosować do akceptowalnej depresji, która pozwoli na umiarkowaną emisję gazu z otworu. Przykładowo, w Zabłociu dla otworu Korona i Tadeusz zatwierdzono zasoby eksploatacyjne jedynie w wysokości $0,24 \text{ m}^3/\text{h}$, aby utrzymać emisję metanu na poziomie $0,1\text{--}0,3 \text{ m}^3/\text{h}$. Większy spadek słupa wody, a tym samym ciśnienia, groził bowiem nadmiernym wydzielaniem się gazu, którego „historyczne” erupcje spowodowały niegdyś zaprzestanie głębinienia otworów. Ze względów bezpieczeństwa otwory w Zabłociu powinny być więc wypełnione wodą do ustalonego w dokumentacji poziomu hydrodynamicznego.

Zgazowanie wód leczniczych wymusza określenie składu mieszaniny gazowej – ważnego, choć bardzo często pomijanego elementu w ocenie zasobów eksploatacyjnych. Ilość gazów w wodzie powinna być mierzona nie tylko na wypływie z ujęcia, ale także w otworze. Wynika to z faktu, że gazy wydzielają się z wody wraz z jej przepływem ku powierzchni. Różny może być też skład mieszaniny gazowej oznaczonej na wypływie w porównaniu ze składem gazowym w warstwie wodonośnej. Wynika to z nierównomiernego wydzielania się gazów w zależności od ciśnienia (prawo Henry'ego) i zaburzeniami spowodowanymi wyrzutami gazu z poduszek powietrznych oraz mieszaniem się wód o różnym stopniu zgazowania (Żak, 2009).

Oznaczenie składu gazowego polega na pomiarach wykonanych na próbkach wody i gazu, pobranych z separatora w warunkach dynamicznych, tj. podczas wydobywania mieszaniny wodno-gazowej z otworu. Ponieważ ilość gazu wydobywającego się wraz z wodą zależy od wydajności ujęcia, pomiary należy prowadzić w warunkach przepływu ustalonego, co na przykład w warunkach karpackich jest dużym ograniczeniem tej metody. Optymalnym rozwiązaniem jest wykonanie pomiarów na kolejnych stopniach pompowania po osiągnięciu stabilizacji depresji. W celu wyeliminowania wpływu wydajności wody na ilość gazu, objawiającego się zmianą wykładnika gazowego na poszczególnych stopniach próbnego pompowania, zaleca się przyjmować wyniki uzyskane przy najmniejszej wydajności (Żak, 2011a).

Badania można też przeprowadzić w warunkach statycznych, jednak metoda ta nie jest w Polsce rozpowszechniona (Żak, 2011b). Uzyskane wyniki pozwolą wówczas na ocenę wpływu eksploatacji ujęcia na stan zasobów. Metoda polega na oszacowaniu ilości gazu w warstwie wodonośnej, co jest możliwe przez określenie ciśnienia nasycenia, a następnie porównaniu uzyskanej wartości z ciśnieniem statycznym w złożu (Ropa, Duliński, 1999; Ciężkowski, 2002; Duliński, Ropa, 2008; Żak, 2011a). W przypadku wód leczniczych o podwyższonej temperaturze należy pamiętać o występowaniu pary wodnej, natomiast w przypadku wód chłodnych jej zawartość może być pomijana w obliczeniach. Mniejsze ciśnienie nasycenia wskazuje, że cały gaz wydobywający się z wodą na powierzchnię był w niej

rozpuszczony. Sytuacja odwrotna sygnalizuje możliwość występowania poduszek gazowych w otworze. Metoda ta niestety może przysparzać trudności interpretacyjne z uwagi na występowanie szeregu zjawisk wywołanych zmianami ciśnienia. Należy pamiętać, że gaz może się wydzieląć z wody w warstwie wodonośnej w strefie okołofiltrowej wskutek spadku ciśnienia w otworze wywołanego depresją podczas próbnego pompowania.

Opisane powyżej badania składu gazowego wód leczniczych są niezwykle istotne w kontekście ochrony ich zasobów i ustalania wielkości zasobów eksploatacyjnych. Zaleca się wykonywanie takich badań każdorazowo w sytuacji dokumentowania zgazowanych wód leczniczych.

Wpływ mineralizacji ogólnej wody na wartość współczynnika filtracji

Współczynnik filtracji zależy m.in. od lepkości i gęstości wody, a więc od jej temperatury i mineralizacji. W praktyce przy obliczeniach hydrogeologicznych nie uwzględnia się zmian lepkości i ciężaru właściwego wody, a jedynie drogą przeliczeń sprowadza się słup wód zmineralizowanych do słupa wód zwykłych (Turek, 1971). Przyjmuje się, że dla wód o mineralizacji ogólnej poniżej 10 g/dm³ wpływ mineralizacji wody na wartość współczynnika filtracji można pominąć. W przypadku dużej różnicy mineralizacji wód w obrębie złoża należy mieć na uwadze wpływ zmiennej gęstości i lepkości wody na warunki prowadzenia próbnych pompowań.

Wpływ wygrzania otworu na głębokość położenia zwierciadła wody

W otworach ujmujących wody lecznicze o podwyższonej temperaturze zachodzi wygrzewanie otworu, skutkujące rozprężeniem objętościowym wydobywanej wody. Uwzględnienie w obliczeniach zjawiska określanego mianem termodźwigu (*thermal lift effect*) pozwala skorygować głębokość położenia zwierciadła wody, zaburzoną zmianami jej temperatury, pociągającymi za sobą zmianę gęstości wody. W zależności od temperatury i mineralizacji wody oraz głębokości jej ujęcia, różnica głębokości położenia zwierciadła wody może dochodzić nawet do kilkudziesięciu metrów. Pominiecie stosownej korekty w obliczeniach hydrogeologicznych unie-

możliwia prawidłową ocenę parametrów hydraulicznych warstwy wodonośnej, na przykład skutkuje wyznaczeniem wyższej niż rzeczywista przewodności warstwy wodonośnej (Bielec, Miecznik, 2012). Im głębszy otwór i wyższa temperatura złożowa tym zjawisko to ma większy wpływ na obliczenia parametrów eksploatacyjnych otworu (Kawecki, 1995; Bielec, Miecznik, 2012). Wpływ efektu wygrzania otworu na głębokość położenia zwierciadła wody pokazano na fig. 8.25. Widać, że dla I stopnia pompowania pomiarowego, mimo spadku ciśnienia w złożu, rejestrowano wznios zwierciadła wody. Eliminacja efektu termicznego wygrzewania otworu polega na sprowadzeniu wartości rzeczywistego (rejestrowanego) położenia zwierciadła wody do położenia zwierciadła wody w warunkach otworu niewygrzanego (tzw. zredukowane zwierciadło wody). W celu prawidłowej redukcji niezbędna jest znajomość średniej gęstości słupa wody. Do wyznaczenia zredukowanego położenia zwierciadła wody w otworze stosuje się równanie na wyznaczenie ciśnienia zredukowanego głowicowego (Kawecki, 1995; Bielec, Miecznik, 2012) po zamianie ciśnienia głowicowego na wysokość słupa wody w otworze według wzoru [19].

W przypadku temperatury wody nieznacznie przekraczającej 20°C obliczenie współczynnika filtracji można przeprowadzić z uwzględnieniem poprawki temperaturowej Hazena λ_t (Turek, 1971).

Wpływ ciśnienia atmosferycznego na głębokość położenia zwierciadła wody

W przypadku głębokich systemów krążenia pojawia się problem w interpretacji wyników próbnych pompowań podczas przemieszczania się frontów barycznych ciśnienia atmosferycznego. Efekt zmian ciśnienia złożowego w zależności od zmian ciśnienia atmosferycznego (tzw. sprawność lub oddziaływanie baryczne, *barometric efficiency*) może powodować zmianę głębokości zwierciadła wody o ponad 0,5 m, dlatego w obliczeniach należy uwzględnić korektę barometryczną, czyli redukcję wpływu ciśnienia atmosferycznego na głębokość położenia piezometrycznego zwierciadła wody. Wpływ ciśnienia atmosferycznego jest bardziej widoczny w głębokich otworach wiertniczych, dlatego zaleca się w nich pomiar ciśnienia złożowego manometrem wgłębnym zamiast pomiaru poziomu piezometrycznego (ciśnienia głowicowego). Przy okazji w ten sposób eliminuje się wpływ

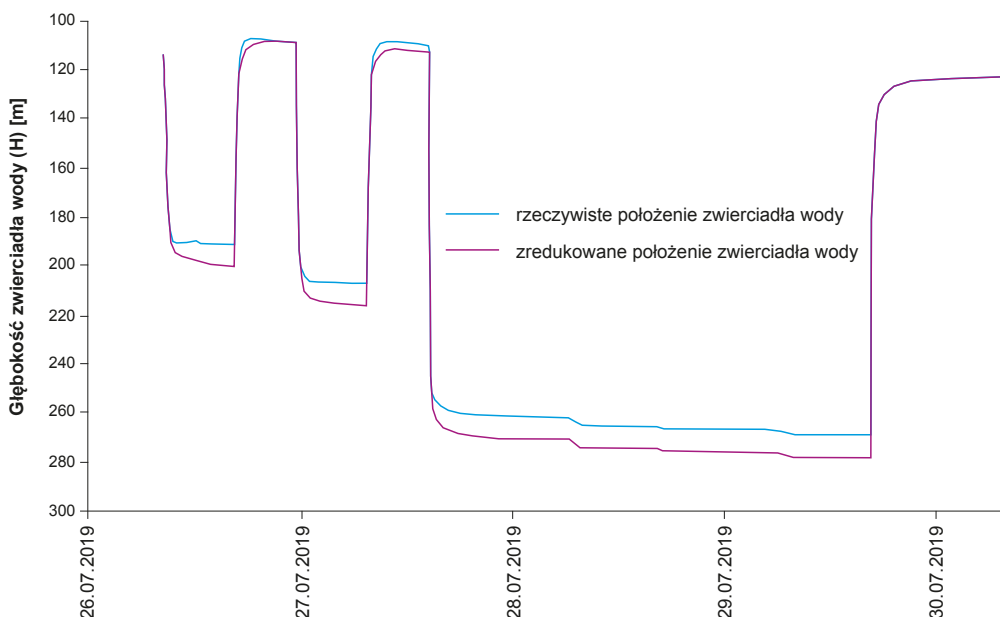


Fig. 8.25. Wpływ zjawiska termodżwigu na położenie zwierciadła wody podczas próbnego pompowania na przykładzie otworu Turek GT-1 w Turku (na podst. Kukuły i in., 2019, z mod. autorów)

wygrzania otworu. Pomińnięcie współczynnika sprawności barometrycznej spowoduje wyglądzenie przebiegu wykresu zmiany depresji w czasie.

Wpływ pojemności otworu na przebieg próbnego pompowania

W głębokich otworach wiertniczych lub w ujęciach płytstych, w których zabudowano kolumny eksploatacyjne o dużej średnicy, ujmujących wody zgazowane lub o podwyższonej temperaturze, znaczenia nabiera pojemność otworu. Wydajność pierwszej fazy próbnego pompowania takich ujęć może być zaburzona w wyniku rozprężenia wody w otworze. Okres, w którym zaznacza się efekt pojemności otworu, charakteryzuje się przepływem nieliniowym. W systemach szczelinowych efekt ten jest potęgowany pojemnością wodną szczelin.

Wpływ zeskoku hydraulicznego i skin-efektu na wielkość depresji

Wzory na współczynnik filtracji zakładają, że warstwa wodonośna jest jednorodna, izotropowa, a dopływ wody do ujęcia jest płasko-radialny i nie występują dodatkowe opory przy przepływie przez strefę przyfiltrową. Jednak w rzeczywistości w strefie tej mamy do czynienia z większą przepuszczalnością obsypki i filtra, powodującą zeskok hydrauliczny. Zeskok hydrauliczny w strefie obsypki wynika z jej relatywnie dużej wodoprzepuszczalności, czyli małego oporu hydraulicznego. Może być on spowodowany niezupełnym ujęciem warstwy wodonośnej, przepływem turbulentnym (fluacją) lub dopływem mieszanym, uszkodzeniem strefy przyotworowej, nasyceniem wód gazami, podwyższoną temperaturą wód, a także oporami hydraulicznymi przepływu przez obsypkę i filtr (także sito wlotowe pompy i kolumnę rur eksploatacyjnych).

Często w trakcie wiercenia występuje zjawisko kolmatacji warstwy wodonośnej w strefie okołofiltrowej (tzw. skin-efekt). Jest ono wywołane przenikaniem płuczki wiertniczej do ośrodka skalnego i zatykaniem przez nią porów oraz szczelin. Stosowanie zabiegów intensyfikujących dopływ wód do otworu pozwala często na poprawienie przepuszczalności – wówczas współczynnik skin-efektu $s=0$. Gdy zabiegi usprawniające pozwalają na osiągnięcie lepszych warunków filtracyjnych dopływu wody niż

w warstwie wodonośnej, współczynnik skin-efektu przyjmuje wartość ujemną. Wartość dodatnia wskazuje na uszkodzenie strefy przyotworowej. Skin-efekt ma praktyczne znaczenie w głębokich otworach wiertniczych, gdzie w sposób istotny wpływa na wielkość depresji.

Do pozostałych czynników utrudniających prawidłową interpretację wyników próbnego pompowania pomiarowego ujęć wód leczniczych należy zaliczyć:

- długotrwały okres odbudowy ciśnienia, liczony w miesiącach, a nawet latach, skutkujący brakiem możliwości przeprowadzenia badań w warunkach dopływu ustalonego (warunki nieustalone wskazują na bardzo słabą odnawialność złoża lub istnienie rozległego leja depresji);
- brak możliwości wstrzymania wydobywania w otworach położonych w sąsiedztwie ujęcia pompowanego (w takim przypadku zaleca się eksploatację ujęć ze stałą wydajnością przez okres prowadzenia badań);
- prowadzenie wydobywania na poziomie znacznie niższym niż zatwierdzone zasoby eksploatacyjne (ze względu na to, że wielkość zasobów eksploatacyjnych najlepiej zweryfikować na podstawie długotrwałej eksploatacji ujęcia, zaleca się pompowania zespołowe z możliwie maksymalnymi wydajnościami);
- niedogłębienie otworów, mogące wpływać na zniekształcenie wykresów diagnostycznych (na ogół można przyjąć, że deformacje strumienia są niewielkie i ma on charakter nadal zbliżony do płasko-radialnego, stąd nie wpływa w istotny sposób na deformację krzywych pompowania i może być pomijany w rozważaniach);
- nierównomierna praca pompy w wodach zgazowanych;
- opory hydrauliczne przepływu wody, zwłaszcza w głębokich otworach wiertniczych, skutkujące błędnym pomiarem ciśnienia głowicowego lub zwierciadła wody (w przypadku wód leczniczych uzyskiwane wydajności są przeważnie niewielkie, stąd omawiane zjawisko nie przysparza większych trudności interpretacyjnych, jednak nabiera znaczenia wraz z wydajnością i zmniejszaniem się średnicy kolumny filtrowej (Kapuściński i in., 1997).

8.2. INNE METODY USTALANIA ZASOBÓW EKSPLOATACYJNYCH UJĘĆ WÓD LECZNICZYCH

Elżbieta Liber-Makowska, Bogusław Porwisz,
Jakub Sokołowski

Ograniczenia metod modelowych i analitycznych sprawiają, że w celu ustalania wielkości zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych najlepsze efekty przynoszą metody oparte na cyklicznych pomiarach w dłuższym czasie – kilku–kilkunastu miesięcy w przypadku próbnego wydobywania lub kilku–kilkunastu lat w przypadku złóż objętych programem badań stacjonarnych. Opierają się one na ograniczonej ekstrapolacji wyników próbnych pompowań lub analogii do wyników wieloletniej eksploatacji ujęć.

8.2.1. Ujęcia eksploatowane za pomocą pompowania

Próbne wydobywanie

W przypadku aktualizacji zasobów pracującego ujęcia jest możliwa ocena zasobów eksploatacyjnych na podstawie próbnego wydobywania. Zaletą takiego rozwiązania jest określenie rzeczywistej depresji otworu w warunkach ciągłego poboru (po rozpoczęciu wydobywania). W miarę możliwości wydobywanie wody należy prowadzić ze stałą wydajnością. W przypadku konieczności zmiany wydajności można kontynuować próbne wydobywanie i potraktować tę zmianę jako przejście na kolejny stopień dynamiczny. Czas trwania wydobywania powinien wynosić co najmniej 20–40 dni. W warunkach karpackich dopiero w tym czasie w praktyce udaje się osiągnąć stabilizację zwierciadła wody. Rekomenduje się przyjęcie zasobów eksploatacyjnych odpowiadających wydajności, przy której wszystkie parametry hydrogeologiczne i hydrochemiczne uważa się za ustabilizowane.

Jeśli próbna eksploatacja otworu jest możliwa do przeprowadzenia z wydajnością mniejszą niż wydajność eksploatacyjna, a korekcie ma podlegać tylko rzędna dynamicznego zwierciadła wody, to depresję eksploatacyjną należy ekstrapolować z krzywej zależności $s = f(Q)$ dla wielkości wydaj-

ności eksploatacyjnej. Należy jednak pamiętać, że znaczna ekstrapolacja oraz przyjęcie dużej depresji, niemalże równej z głębokością spągu utworów napinających ujętą warstwę wodonośną, nie powinny być praktykowane. Taka metoda ustalania zasobów może być stosowana, gdy utrzymanie poziomu wydobywania, zgodnie z decyzją zatwierdzającą dokumentację hydrogeologiczną, powoduje stały spadek wydajności ujęcia. Zaleca się ją również w przypadku braku stabilizacji zwierciadła wody podczas próbnego pompowania pomiarowego. Wówczas we wniosku zasobowym należy przyjąć prognozę zasobów przedstawioną na podstawie próbnego wydobywania.

Analiza wyników obserwacji stacjonarnych

Wyniki wieloletnich badań i pomiarów stacjonarnych ujęć wód leczniczych wskazują często na konieczność aktualizacji zasobów eksploatacyjnych. Jest ona niezbędna dla poprawnej eksploatacji ujęć, utrzymania lub poprawy jej dotychczasowego reżimu, przede wszystkim w zakresie wydajności i stałości składu fizyczno-chemicznego, odgrywającego kluczową rolę w balneoterapii i produkcji środków spożywczych oraz farmaceutycznych. Dla ujęć eksploatowanych w sposób ciągły, bez dłuższych przerw, przez kilka lat, weryfikację parametrów eksploatacyjnych można przeprowadzić na podstawie analizy wyników obserwacji stacjonarnych (fig. 8.26).

Jako ilustrację omawianej metody przytoczono przykład ustalenia zasobów eksploatacyjnych ujęcia Z-2 w Zubrzyku. Pierwotne zasoby eksploatacyjne tego otworu wynosiły 4,6 m³/h przy depresji 42,85 m. Po wykonaniu nowego ujęcia Z-3a wystąpiło współdziałanie z otworem Z-2, stąd zaszła konieczność łącznego udokumentowania zasobów eksploatacyjnych obydwu wymienionych otworów. Po aktualizacji zasoby eksploatacyjne otworu Z-2, ustalone na podstawie pompowania zespołowego, wynosiły 2,8 m³/h przy depresji 57,92 m, przy czym eksploatacja ujęcia została ograniczona do 14 godzin na dobę. Przy równoczesnym pompowaniu obu otworów zwierciadło dynamiczne w otworze Z-2 kształtowało się na poziomie znacznie niższym niż przy pompowaniu pojedynczym. Na podstawie prowadzonych przez kilka lat obserwacji stacjonarnych zaktualizowano zasoby eksploatacyjne otworów

Z-2 i Z-3a, które dla otworu Z-2 zwiększyły się w ujęciu dobowym poprzez zniesienie dziennego ograniczenia wydobywania (fig. 8.26).

Niekiedy taka metoda oceny zasobów jest jedyną możliwą do zastosowania. Dzieje się tak w przypadku, gdy ujęcie pracuje na potrzeby rozlewni wód butelkowanych ze zmienną wydajnością i nie ma możliwości jego czasowego wyłączenia z eksploatacji i przekazania do badań. W ostatnich latach metodę tę wykorzystano do aktualizacji zasobów eksploatacyjnych i/lub rzędnej dynamicznego zwierciadła wody dla ujęć wód leczniczych w Polanicy-Zdroju, Goczałkowicach-Zdroju lub dla otworu K-10 w Krynicy-Zdroju. Przy aktualizacji zasobów należy każdorazowo uwzględniać nowe dane geologiczne z badań w innych ujęciach, otworach wiertniczych, odkrywkach lub wyniki badań geofizycznych.

Analizie należy poddać wyniki dotychczas prowadzonych pomiarów stacjonarnych w zakresie wydajności chwilowej i położenia dynamicznego zwierciadła wody w otworze. Dla wód o zasobach odnawialnych do interpretacji zaleca się wybrać trzy wartości głębokości zwierciadła wody, na przykład z tolerancją $\pm 0,3$ m, a następnie przypisać im średnią wydajność. Na podstawie tak przygotowanych danych należy skonstruować wykres zależności $s = f(Q)$ (fig. 8.27). Z wykresu w drodze ekstrapolacji, należy nanieść punkt odpowiadający wydajności eksploatacyjnej, określonej w podstawowej dokumentacji hydrogeologicznej, a następnie odczytać aktualną depresję lub przypisać wydajność dla założonego poziomu wydobywania.

Funkcyjną zależność wydajności od depresji przykładowego otworu P-III, wykonanego w 1975 r. w Powroźniku, pokazano także na fig. 8.28. W 2020 r.

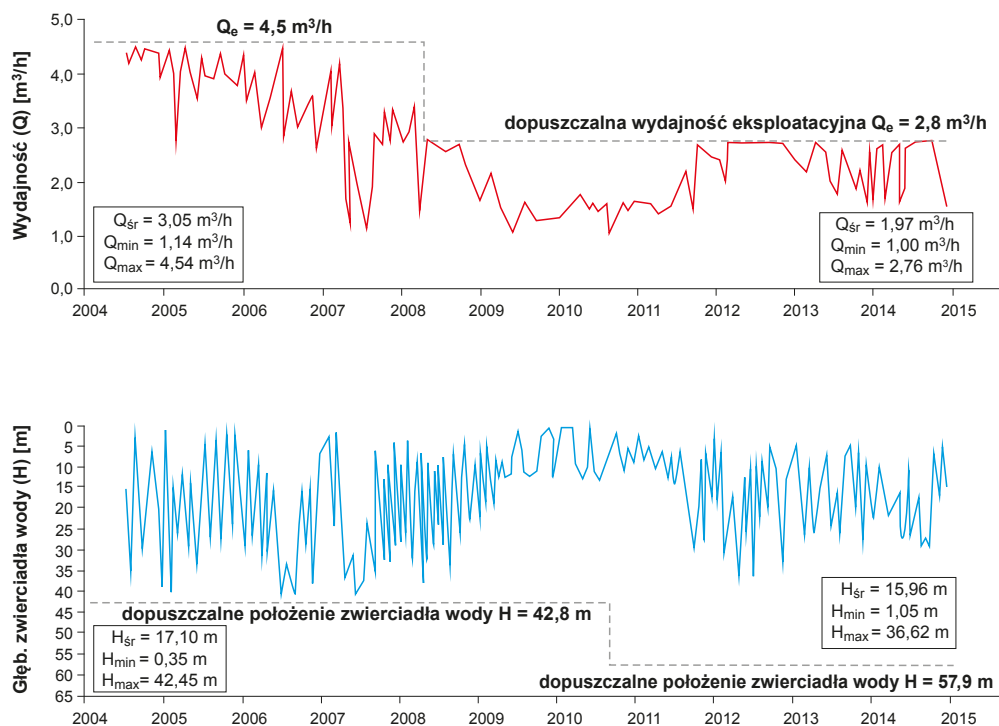


Fig. 8.26. Zmienność wydajności i głębokości położenia zwierciadła wody na podstawie obserwacji stacjonarnych w otworze Z-2 w Zubrzyku (na podst. Bielca i in., 2015, z mod. autorów)

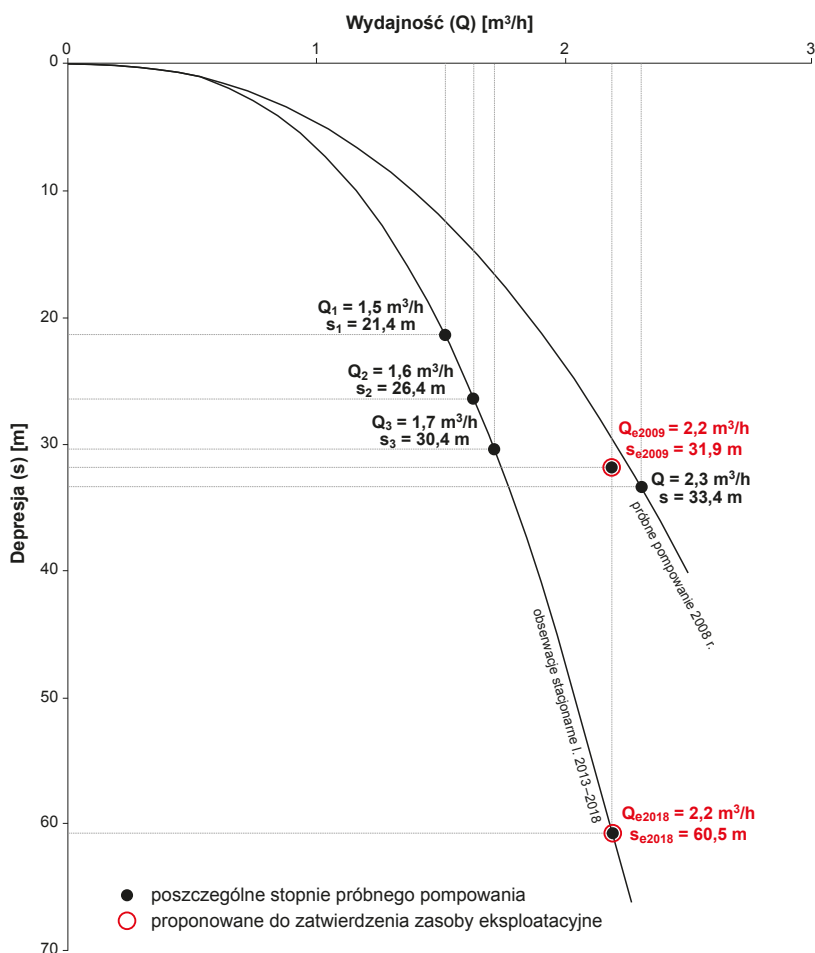


Fig. 8.27. Wykres zależności $Q = f(s)$ i $q = f(s)$ dla ujęcia K-10 w Krynicy-Zdroju (na podst. Bielca, 2018b, z mod. autorów)

zasoby eksploatacyjne ujęcia zostały zmniejszone z 5,9 m³/h do 2,9 m³/h przy zwiększonej depresji o 1,7 m.

W przypadku złóż o zasobach nieodnawialnych, gdzie zachodzi szczypanie zasobów statycznych objawiające się rosnącą depresją przy stałej wydajności, dopuszcza się pozostawienie dotychczas zatwierdzonej wielkości zasobów eksploatacyjnych, jako będących wynikiem wieloletnich doświadczeń z eksploatacji ujęcia, odpowiadających obecnemu i prognozowanemu zapotrzebowaniu na wodę oraz wyposażeniu technicznemu otworu, przy aktualizacji jedynie wielkości depresji na podstawie wartości maksymalnych Q i s , uzyskiwanych w trakcie

dotychczasowego wydobywania (fig. 8.29). Tempo obniżania się zwierciadła statycznego pozwala na obliczenie jego średniorocznej wielkości opadania, a tym samym na prognozowanie wzrostu depresji w perspektywie założonego horyzontu czasowego (fig. 8.30). Przykładowo, roczny wzrost depresji dla poszczególnych ujęć wód leczniczych w Goczałkowicach-Zdroju wynosi od 0,58 do 0,73 m/rok (Wątor i in., 2016). Maksymalną dopuszczalną depresję, w przypadku ustalania zasobów eksploatacyjnych metodą ograniczonej ekstrapolacji, należy wyznaczyć tak, aby poziom zwierciadła dynamicznego nie schodził poniżej spągu warstwy napinającej, a ciśnienie nie spadało poniżej ½ naturalnego ciśnienia

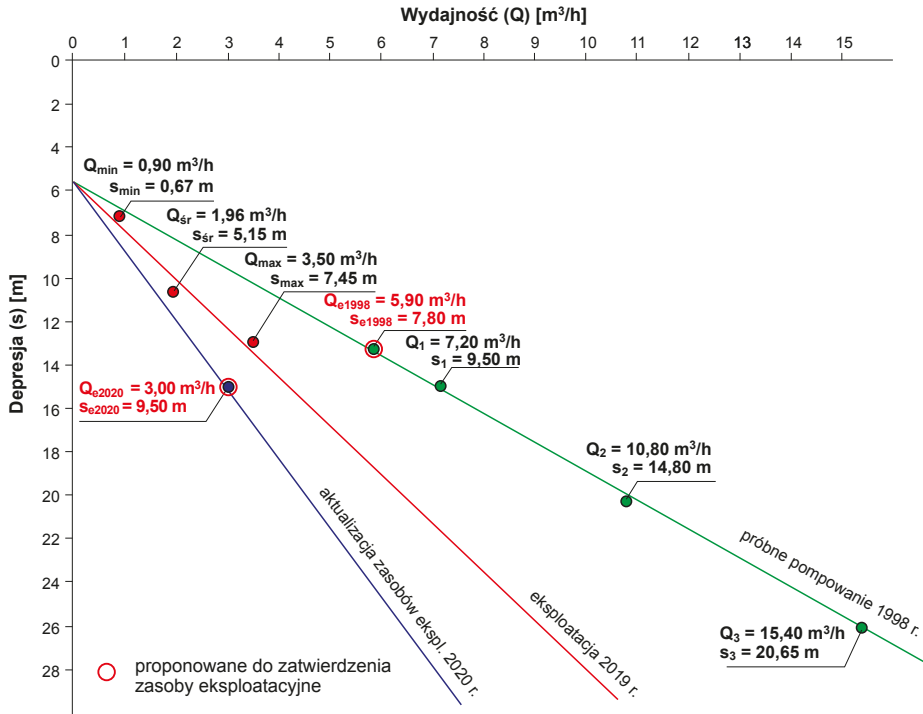


Fig. 8.28. Zależność wydajności od głębokości położenia zwierciadła wody na podstawie obserwacji stacjonarnych w otworze P-III w Powroźniku (na podst. Porwisa i in., 2020, z mod. autorów)

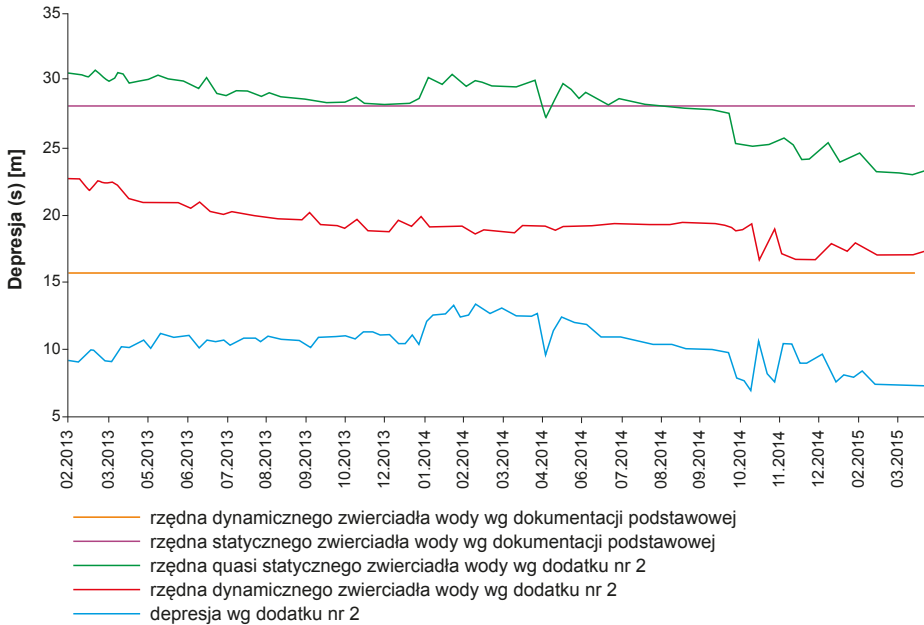


Fig. 8.29. Kształtowanie się zwierciadła wody podczas eksploatacji otworu Dobrowoda G-1 w porównaniu z parametrami wydobywania wody ustalonymi w dokumentacji hydrogeologicznej (na podst. Zardzewialego, 2015, z mod. autorów)

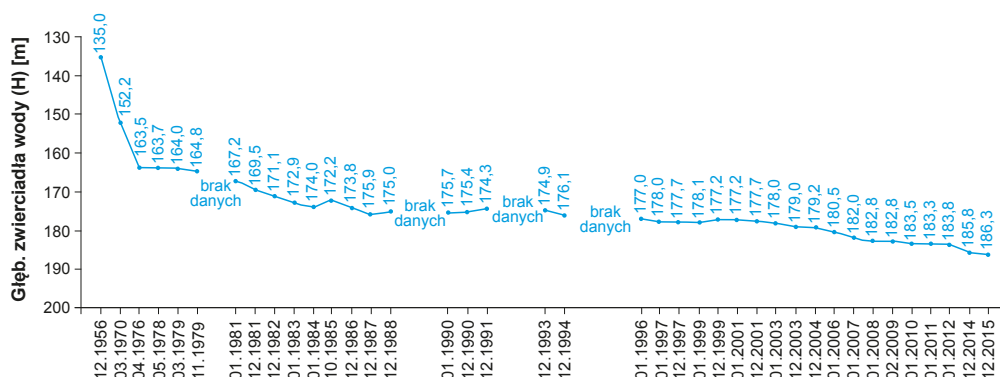


Fig. 8.30. Wykres zmian głębokości zwierciadła statycznego wody w otworze Goczałkowice GN-1 (na podst. Wątor i in., 2016, z mod. autorów)

złożowego (dla wód o zwierciadle napiętym). Zastosowana metoda pozwala na oszacowanie okresu użytkowania otworu.

Tematykę, związaną z oceną zasobów na podstawie eksploatacji ujęcia, szerzej przedstawiono w studium metodycznym *Ocena prognoz zasobów eksploatacyjnych poprzez porównanie szacunków zasobowych z wynikami długotrwałej eksploatacji ujęć wód podziemnych* (Dąbrowski, Przybyłek, 2012). W pracy tej poddano weryfikacji zasoby eksploatacyjne dwudziestu ujęć zwykłych wód podziemnych. Zaledwie w jednym przypadku warunki hydrodynamiczne umożliwiały eksploatację ujęcia zgodnie z prognozą podaną w dokumentacji zasobowej. Fakt ten potwierdza, iż praca ujęcia powinna podlegać cyklicznej analizie, efektem której powinna być ocena zasobów eksploatacyjnych i ich ewentualna aktualizacja.

8.2.2. Źródła i otwory wiertnicze eksploataowane samowypływem

Zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych eksploataowanych samowypływem (źródła i otworów wiertniczych) zostały w większości ustalone w dokumentacjach hydrogeologicznych powstałych w latach 60. i 70. XX w. Obecnie są one rzadko aktualizowane. Metody oceny zasobów eksploatacyjnych stosowane w tych dokumentacjach były różne i uwzględniały zazwyczaj krótki okres prowadzonych obserwacji stacjonarnych. Tak oszacowane zasoby powinny być obecnie zweryfikowane i zaktualizowane, przy zastosowaniu nowo-

czesnych i jednolitych metod oceny ilości wody możliwej do uzyskania, zwłaszcza dotyczy to źródeł.

Dotychczasowe metody szacowania zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych eksploataowanych samowypływem są zróżnicowane w zależności od:

- rodzaju eksploataowanych ujęć (źródła, otwory wiertnicze);
- możliwości uwzględnienia określonej liczby pomiarów wydajności z przyjętego okresu obserwacji;
- zastosowanego sposobu obliczeń i oceny zasobów oraz założeń przyjmowanych przez różnych dokumentatorów, w znacznej części zależnych od specyficznych warunków wydobywania lub współoddziaływania poszczególnych ujęć w obrębie jednego złoża.

Zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych eksploataowanych samowypływem ustalane w dokumentacjach hydrogeologicznych opracowanych w XX w. przeważnie określano jako wydajności minimalne lub obliczone wartości średnie minimalne z kilku lat obserwacji. Częstym sposobem szacowania zasobów było też obliczanie średniej wydajności, zazwyczaj z 2–4 lat wykonywania pomiarów (tab. 8.4).

W wielu przypadkach przyjmowano także pojedyncze wyniki pomiarów wydajności ujęć, głównie ze względu na brak wcześniejszych obserwacji lub techniczne trudności wykonywania pomiaru wydajności. W zależności od przyjętej metody oraz uwzględnianego okresu obserwacji zasoby ustalane w latach 60. i 70. XX w. były zaliczane dodatkowo do kategorii

A, B i C, określających stan ich rozpoznania według ówczesnych przepisów. W przypadku najlepszego rozpoznania zasoby zaliczano do kategorii A. Przykładem takiej kategoryzacji mogą być zasoby eksploatacyjne źródeł: Klaudia, Tytus i Celestyna w Rymanowie-Zdroju (tab. 8.4). Za zasoby udokumentowane w kategorii A przyjęto wówczas minimalne wydajności zmierzone w ciągu 4 lat hydrologicznych, a w kategorii B – średnią wydajność obliczoną na podstawie codziennych pomiarów wykonywanych w tym samym okresie obserwacji (Sławiński, Sokołowski, 1966). W przypadku szacowania zasobów eksploatacyjnych na podstawie pojedynczych pomiarów wydajności zazwyczaj ustalano zasoby eksploatacyjne w kategorii C. Do takiej kategorii zostały zaliczone m.in. zasoby eksploatacyjne źródeł Chrobry i Stare w Łądku-Zdroju (Szarszewska, 1967).

Rzadziej stosowanymi metodami szacowania zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych eksploatowanych samowypływem jest określanie wydajności na podstawie wyników próbnego wydobywania, czy też interpretacji i/lub ekstrapolacji krzywej zmian wydajności w czasie. Takie metody ustalania zasobów są także spotykane w przypadku źródeł i wynikają ze sposobu ujmowania wypływów (np. obudowa studzienna bez możliwości wykonania pomiaru wydajności) lub specyficznych warunków wydobywania, takich jak wpływ eksploatacji innych ujęć w złożu lub wymuszony sposób eksploatacji źródeł („dławienie” samowypływu).

Częstą przyczyną konieczności weryfikacji zasobów eksploatacyjnych jest wykonanie nowych otworów wiertniczych, których eksploatacja wpływa na wcześniej istniejące źródła. Charakter i zakres oddziaływania eksploatacji otworów wykonywanych w drugiej połowie XX w. na wydajności istniejących źródeł był badany m.in. w złożach wód leczniczych w Jeleniej Górze-Cieplicach i Łądku-Zdroju (Ciężkowski, 1980, 1990; Liber-Madziarz, 2001b; Liber-Makowska, 2008, 2011; Liber-Makowska, Ciężkowski, 2018; Kiełczawa, Liber-Makowska, 2018a).

Ostatnie badania dotyczą nowo wykonanych ujęć wód leczniczych w Polanicy-Zdroju. W okresie luty-marzec 2019 r. wykonano tu dwa otwory PL-1 i PL-2, ujmujące wody lecznicze (szczawy) o składzie chemicznym podobnym do wód z ujęć Wielka Pieniawa i Pieniawa Józefa 1. Badania samowypływów z od-

wierconych otworów wykazały współdziałanie między nimi oraz powiązanie hydrauliczne z istniejącymi ujęciami. Wyniki badań hydrogeologicznych przeprowadzonych podczas wiercen oraz bezpośrednio po ich zakończeniu uwzględniono przy ustalaniu zasobów eksploatacyjnych nowych otworów PL-1 i PL-2 oraz aktualizacji zasobów eksploatacyjnych istniejących ujęć Wielka Pieniawa, Pieniawa Józefa 1 i Pieniawa Józefa 2. Podstawą ustalenia zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych były wyniki pomiarów ich wydajności podczas badania zespołowego samowypływów przeprowadzonego w marcu 2019 r. Wykonanie nowych otworów i ujęcie nimi wód leczniczych spowodowało spadek wydajności i zasobów eksploatacyjnych dotychczas eksploatowanych ujęć. Sumaryczne zasoby eksploatacyjne zwiększyły się jednak z dotychczasowych 38,0 do 68,2 m³/h. Największy spadek zasobów (z 8,0 do 2,6 m³/h) dotyczył ujęcia Pieniawa Józefa 2, w którym od wielu lat sukcesywnie zmniejszała się wydajność oraz spadała mineralizacja ogólna wody i zawartość wolnego dwutlenku węgla w wodzie (Poprawski, Kaniewski, 2019). Stosowanie zróżnicowanych metod ustalania zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych wynikało nie tylko ze specyfiki ich eksploatacji, ale często z braku jednolitych zasad oceny zasobów, przy wykorzystaniu wieloletnich pomiarów. Obecnie istnieje możliwość weryfikacji zasobów eksploatacyjnych przy wykorzystaniu znacznej liczby pomiarów wydajności z ostatnich kilkudziesięciu lat obserwacji prowadzonych dla większości ujęć wód leczniczych eksploatowanych samowypływem.

Na podstawie przedstawionego przeglądu stosowanej metodologii oraz wcześniej przeprowadzonych badań dotyczących zmienności wydajności ujęć wód leczniczych (Liber-Madziarz, 2001b; Liber-Makowska, 2011; 2012) proponuje się przyjąć następujący zakres badań, który powinno się wykonać w celu ustalenia/weryfikacji zasobów eksploatacyjnych ujęć eksploatowanych samowypływem:

- określenie ogólnego charakteru zmian wydajności w czasie na podstawie interpretacji wieloletnich obserwacji stacjonarnych;
- identyfikację czynników zewnętrznych – antropogenicznych i naturalnych wpływających na zmiany wydajności ujęć wód leczniczych;

Tab. 8.4. Metody ustalania zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych wydobywanych samowypływem na przykładzie wybranych źródeł i ujęć (na podst. Liber-Madziarz, 2001b i Liber-Makowskiej, 2012, z mod. autorki)

Metoda ustalania zasobów		Źródło	Ujęcie	Dokumentacja hydrogeologiczna
1		2	3	4
Średnia wartość	średnia z kilkuletnich (zazwyczaj 2-4 lata) pomiarów	Rymanów-Zdrój	Klaudia, Tytus, Celestyna (kat. B)	Ślawiński, Sokołowski, 1966
		Lądek-Zdrój	Skłodowska-Curie, Dąbrówka (kat. A)	Szarszewska, 1967
		Żegiestów-Zdrój	Anna (kat. B)	Ślawiński, Sokołowski, 1968
	średnia z wieloletnich (co najmniej 10-letnich) pomiarów	Duszniki-Zdrój	Jan Kazimierz, B-4	Fistek, Fistek, 1998
		Wysowa	Józef I	Radwan i in., 2005
Minimalna wartość	średnia minimalna z kilkuletnich pomiarów	Długopole-Zdrój	Renata, Emilia, Kazimierz (kat. A)	Fistek, 1967
		Lądek-Zdrój	Jerzy, Wojciech (kat. A)	Szarszewska, 1967
		Szczawno-Zdrój	Mieszko, Dąbrówka (kat. A)	Fistek, Tęsiorowska, 1969
	minimalna z kilkuletnich pomiarów	Szczawno-Zdrój	Młynarz, Marta, Ludwika, W Podworcu, Apteczne, W Chodniku (kat. B)	Fistek, Tęsiorowska, 1969
		Rymanów-Zdrój	Klaudia, Tytus, Celestyna (kat. A)	Ślawiński, Sokołowski, 1966
	średnia minimalna z wizualnej oceny wykresu wieloletnich zmian wydajności	Duszniki-Zdrój	Pieniawa Chopina	Fistek, Fistek, 1998
Pojedynczy pomiar	jeden lub kilka pomiarów	Jelenia Góra-Cieplice	Sobieski, Nowe, C-2	Dowgiałło, Fistek, 1998
		Kudowa-Zdrój	K-200 (kat. C)	Tęsiorowska, Fistek, 1971
		Lądek-Zdrój	Chrobry, Stare (kat. C) i L-2 (kat. B)	Szarszewska, 1967; Szarszewska, Madej, 1974
		Polanica-Zdrój	Józef Stary, Żelaziste (kat. C)	Fistek, 1966
		Gorzanów	2, 4b	Grzeškowiak i in., 1994

Tab. 8.4. cd.

1		2	3	4
Inne metody	określone z ekstrapolacji krzywej spadku wydajności	Jelenia Góra-Cieplice	C-1	Dowgiałło, Fistek, 1998
		Horyniec-Zdrój	Róża III	Ciepliński, Kawalec, 1991
	określone z wykresu zależności wydajności i ciśnienia na głowicy	Rymanów-Zdrój	RZ 5	Sokołowski, 1981
	określone na podstawie próbnego wydobywania	Rymanów-Zdrój	RZ 6, RZ 7	Sokołowski, Sokołowski, 2007; Jareniowski, Dyda, 2012
	określone na podstawie próbnego wydobywania ze wszystkich samowypływów w złożu przy uwzględnieniu pomiarów z wielolecia	Polanica-Zdrój	Wielka Pieniawa, Pieniawa Józefa 1, Pieniawa Józefa 2, PL-1, PL-2	Poprawski, Kaniewski, 2019
	określone na podstawie ekstrapolacji wykresu zależności wydajności od depresji przy uwzględnieniu minimalnej z wielolecia	Krzeszowice	Zdrój Główny	Bielec i in., 2017b
	określone na podstawie pomiarów wykonanych w trakcie pompowania otworów W-1 i W-2 przy uwzględnieniu średniej z wielolecia	Wapienne	Marta, Kamila	Porwisz i in., 2012
Metoda statystyczna	obliczone jako wartość średnia z wielolecia wraz z określeniem prawdopodobieństwa wystąpienia wydajności minimalnej i maksymalnej	Krynica-Zdrój	Zdrój Główny, Jan ABC, Józef, Słotwinka, 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 14, 18, 25, 27, Jan 1, Jan 13a	Ciężkowski i in., 1999
		Swoszowice	Źródło Główne, Źródło Napoleon	Krawczyk, Porwisz, 2005
		Szczawnica	Wanda, Magdalena, Jan, Szymon, Józefina, Stefan, Józef, Pitoniakówka A+C+D+G, Pitoniakówka F	Józefko, Bielec, 2002

- ustalenie istnienia i zakresu współzależności pomiędzy zmianami wydajności poszczególnych ujęć w obrębie złoża wód leczniczych;
- określenie naturalnych warunków wypływu wód leczniczych, obejmujące interpretację wszystkich dostępnych wyników obserwacji stacjonarnych, m.in.: wydajności, temperatury i zawartości jonów wskaźnikowych w wodzie;
- obliczenie charakterystycznych wydajności określających zasoby eksploatacyjne z reprezentatywnego wieloletniego okresu eksploatacji ujęcia wód leczniczych, w którym wy-

dajność zmienia się tylko pod wpływem naturalnych czynników;

- ocenę i prognozę trwałości oraz zakresu dopuszczalnych wahań wydajności ujęć eksploatowanych w warunkach ustalonego przepływu wód podziemnych.

W przypadku szacowania zasobów eksploatacyjnych na podstawie wieloletnich wyników obserwacji stanowiących zbiór danych najbardziej odpowiednie jest zastosowanie metody statystycznej. Taką metodą określenia zasobów eksploatacyjnych, przy uwzględnieniu wieloletnich pomiarów wydajności źródeł wód leczniczych, może być metoda

określania prawdopodobieństwa wystąpienia danej wydajności. Metoda ta została zastosowana po raz pierwszy w Polsce w 1999 r. przez Witczaka do ustalenia zasobów eksploatacyjnych źródeł wód leczniczych Krynicy-Zdroju (Ciężkowski i in., 1999). Przykład takiego szacowania zasobów eksploatacyjnych dla źródła Józef przedstawiono w rozdz. 15. Zaproponowane przez Witczaka nazwy charakterystycznych wydajności (minimalnej, maksymalnej i średniej) dobrze charakteryzują możliwe zmiany wydajności ujęć. Przy ocenie zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych z samowypływem proponuje się przyjąć te określenia, rozumiane jako:

- minimalna wydajność jest to graniczna wartość, poniżej której prawdopodobieństwo wystąpienia wydajności niższych jest bardzo niewielkie, dotychczas różnie przyjmowane (Ciężkowski i in., 1999; Krawczyk, Porwisch, 2005);
- maksymalna wydajność określa wydajność, powyżej której możliwość wystąpienia wartości wyższych jest podobnie niewielka (jak wyżej);
- średnia wydajność jest najczęściej występującą wartością, dla której prawdopodobieństwo wystąpienia wynosi 50%.

Zakres występowania wydajności minimalnej i maksymalnej określony na wykresie probabilistycznym przez Witczaka dla źródeł Krynicy-Zdroju wynosił od 1% do 99%. Za okres reprezentatywny uznano ostatni dziesięcioletni okres obserwacji stacjonarnych. Dodatkowo Witczak zaproponował wyznaczenie tzw. wydajności gwarantowanej. Wartość tę dla złoza wód leczniczych w Krynicy-Zdroju określono jako wydajność, która razem z wyższymi trwa przez 90% czasu samoczynnego wydobywania (Ciężkowski i in., 1999).

Prawdopodobieństwo wystąpienia bardzo niskich lub bardzo wysokich wartości zmiennej losowej jest stosunkowo małe. Do oceny wystąpienia takich wartości proponuje się przyjąć prawdopodobieństwo wystąpienia wartości zmiennej losowej powyżej lub poniżej trzech odchyleń standardowych. Zaproponowana tzw. reguła trzech sigm dla danego rozkładu normalnego oznacza, że w przedziale $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$ znajduje się 99,7% wszystkich obserwacji (gdzie μ – wartość oczekiwana, średnia;

σ – odchylenie standardowe). Dzięki tej regule w łatwy sposób można identyfikować obserwacje odstające, które nie należą do tego przedziału. Zaproponowany zakres wystąpienia wartości zmiennej losowej bardziej precyzyjnie określa możliwe naturalne zmiany wydajności ujęć wód leczniczych. Bardziej ograniczony zakres prawdopodobieństwa od 5% do 95% został przyjęty w obliczeniach wydajności charakterystycznych, określających zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych w Krakowie-Swoszowicach (Krawczyk, Porwisch, 2005). Odpowiada to uproszczeniu założenia, że w przedziale $[\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma]$ znajduje się 95,4% obserwacji. Przyjmując bardziej precyzyjną regułę trzech sigm, charakterystyczne wydajności są określone jako następujące wartości:

- minimalna wydajność jest to wartość, poniżej której prawdopodobieństwo wystąpienia wydajności niższych wynosi 0,3%;
- maksymalna wydajność określa wydajność, powyżej której możliwość wystąpienia wartości wyższych wynosi 0,3%, a prawdopodobieństwo wystąpienia wydajności maksymalnej i niższych jest równe 99,7%;
- średnia wydajność jest najczęściej występującą wartością (o prawdopodobieństwie wystąpienia 50%).

Wydajności te, określające naturalne wahania, proponuje się wyznaczyć z ostatniego okresu reprezentatywnego obserwacji. Za okres reprezentatywny proponuje się uznać okres charakteryzujący się ustabilizowanymi warunkami wydobywania. Jedynie pomiary wydajności z takiego okresu obrazują naturalne zmiany wydajności w czasie oraz pod względem statystycznym stanowią jednorodny zbiór danych o rozkładzie zbliżonym do rozkładu normalnego. Dla ujęć stałych, według klasyfikacji Mailleta (Pazdro, Kozerski, 1990), za okres reprezentatywny można uznać co najmniej trzyletni okres (wskaźnik zmienności należy określić dla rozpatrywanego okresu reprezentatywnego), natomiast dla ujęć mało zmiennych należy przyjmować co najmniej sześcioletni okres, a dla ujęć zmiennych co najmniej dziewięcioletni okres obserwacji stacjonarnych. W związku z powyższym dla nowych ujęć zaleca się weryfikację ustalonych zasobów eksploatacyjnych po okresie 3 lat od ich udokumentowania. W zależności od potrzeb użytkownika wód leczniczych moż-

na dodatkowo oszacować wydajność gwarantowaną, która określa wydajności (wraz z wydajnościami wyższymi) o gwarantowanym prawdopodobieństwie wystąpienia. Ustalana indywidualnie dla każdego odbiorcy wielkość gwarantowanego prawdopodobieństwa wystąpienia założonego zakresu wydajności zależy od planowanej do wykorzystywania ilości wody leczniczej lub możliwości jej magazynowania. Ocena wydajności gwarantowanej jest istotna dla źródeł o małej wydajności. Ich naturalny reżim zazwyczaj gwarantuje uzyskanie większej wydajności, niż wynika to z wcześniej obliczonych wartości minimalnych, określających zasoby eksploatacyjne. Przykładem takiego ujęcia są mało zmienne źródła wód leczniczych w Szczawnie-Zdroju. Przykładowe wyniki obliczeń zaproponowanych charakterystycznych wydajności minimalnej, średniej i maksymalnej dla wybranych ujęć wód leczniczych w wydzielonym okresie reprezentatywnym oraz wieloletnim okresie obserwacji przedstawia tab. 8.5.

Wstępną ocenę normalności rozkładu pomiarów wydajności wybranych ujęć wód leczniczych eksploatowanych samowypływem można wykonać poprzez porównanie wartości obserwowanej z oczekiwaną wartością rozkładu normalnego na standardowym wykresie prawdopodobieństwa (np. wykonanym przy użyciu programu Statistica), na którym wartości obserwowane podlegające rozkładowi normalnemu układają się wzdłuż linii prostej. Pomiarów wydajności większości rozpatrywanych ujęć w wytypowanych okresach reprezentatywnych wykazują rozkład zbliżony do normalnego w odróżnieniu od braku takiego rozkładu dla pomiarów wydajności wykonanych w całym okresie obserwacji (tab. 8.5). Pomiarów wydajności ujęcia Wielka Pieniawa w Polanicy-Zdroju z lat 1989–1999 wykazują brak dopasowania do rozkładu normalnego (fig. 8.31), w odróżnieniu od pomiarów wydajności źródła Mieszko w Szczawnie-Zdroju w założonym okresie reprezentatywnym w latach 1981–1999 (fig. 8.32).

Tab. 8.5. Charakterystyczne wydajności dla wybranych ujęć wód leczniczych w wydzielonym okresie reprezentatywnym i wieloletnim okresie obserwacji (na podst. Liber-Makowskiej, 2012, z mod. autorów)

Ujęcie	Okres badań	Liczba danych	Odchylenie standardowe	Charakterystyczne wydajności		
				średnia	minimalna	maksymalna
				[m³/h]		
Świeradów-Zdrój						
1a	1988-1997	2393	0,03	0,83	0,64	0,95
	1986-2015	4134	0,20	0,84*	0,48*	2,52*
Czerniawa-Zdrój						
4	1998-2000	453	0,01	0,43	0,40	0,48
	1985-2015	4625	0,11	0,44*	0,17*	0,93*
Jelenia Góra-Cieplice						
Basenowe Męskie	1978-1993	490	0,02	0,81	0,75	0,90
	1956-2019	4398	0,23	0,94*	0,00*	1,70*
Polanica-Zdrój						
Wielka Pieniawa	1989-1999	1504	1,63	18,66*	9,60*	28,58*
	1967-2018	4718	2,99	19,86*	9,60*	30,64*
Szczawno-Zdrój						
Mieszko	1981-1999	831	0,04	0,28	0,17	0,43
	1967-2017	2555	0,11	0,29*	0,05*	0,86*
Łądek-Zdrój						
Jerzy	1982-2000	861	0,76	14,88	13,63	17,14
	1964-2015	2757	1,57	15,53*	13,63*	19,15*

* wartości niereprezentatywne dla naturalnych zmian wydajności, obliczone na podstawie danych, które nie podlegają rozkładowi normalnemu

W przypadku pomiarów wydajności ujęcia Wielka Pieniawa przyjęty okres nie może być uznany za reprezentatywny. Brak spełnienia warunku jednorodności wyników pomiarów jest związany ze współoddziaływaniem innych ujęć, w tym reakcji badanego ujęcia na rejestrowane w tym czasie awarie w sąsiednim ujęciu Pieniawa Józefa 2.

Obliczona wydajność średnia ($0,83 \text{ m}^3/\text{h}$) ujęcia nr 1a w Świeradowie-Zdroju dla wytypowanego okresu reprezentatywnego jest zbliżona do zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych ($0,81 \text{ m}^3/\text{h}$). W przypadku ujęcia nr 4 (Jan 2) w Czerniawie-Zdroju obliczona średnia wydajność ($0,43 \text{ m}^3/\text{h}$) jest jedyną dotychczasową propozycją oszacowania zasobów eksploatacyjnych dla rzeczywistych warunków wydobywania samowypływem. Zatwierdzone zasoby eksploatacyjne ($1,17 \text{ m}^3/\text{h}$), ustalone na podstawie próbnego pompowania (Fistek, 1973), nie odpowiadają aktualnej wydajności uzyskiwanej z samowypływu. Zatwierdzone zasoby eksploatacyjne źródła Mieszko ($0,19 \text{ m}^3/\text{h}$) w Szczawnie-Zdroju są niższe niż oszacowana średnia wydajność tego ujęcia ($0,28 \text{ m}^3/\text{h}$) z prawie dwudziestoletniego okresu reprezentatywnego. Obliczone średnie wydajności charakterystyczne dla

źródła Basenowe Męskie w Jeleniej Górze-Cieplicach oraz źródła Jerzy w Łądku-Zdroju są niższe niż zatwierdzone zasoby eksploatacyjne. W obu tych przypadkach zasoby eksploatacyjne płytkich ujęć wód leczniczych ustalono (odpowiednio w 1966 r. i 1969 r.) jeszcze przed wykonaniem otworów C-1 i C-2 w 1972 r. oraz otworu L-2 (w 1973 r.), których późniejsza eksploatacja spowodowała istotne zmiany wydajności wszystkich ujęć wód leczniczych w obu złożach.

Zaproponowane i obliczone wydajności charakterystyczne (tab. 8.5) różnią się od zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych dla większości badanych ujęć wód leczniczych. Na tej podstawie można spodziewać się, że niektóre zatwierdzone zasoby eksploatacyjne (ustalone w latach 60. i 70. XX w.) dla innych ujęć wód leczniczych nie odpowiadają również wydajnościom obecnie uzyskiwanym. Dodatkowo zasoby te ustalano często w zmiennych warunkach eksploatacji ujęć, a przy ich szacowaniu stosowano różne metody dla poszczególnych ujęć, nawet w obrębie jednego złoża wód leczniczych. Potwierdza to konieczność weryfikacji i aktualizacji znacznej części zasobów ujęć wód leczniczych eksploatowanych samowypływem.

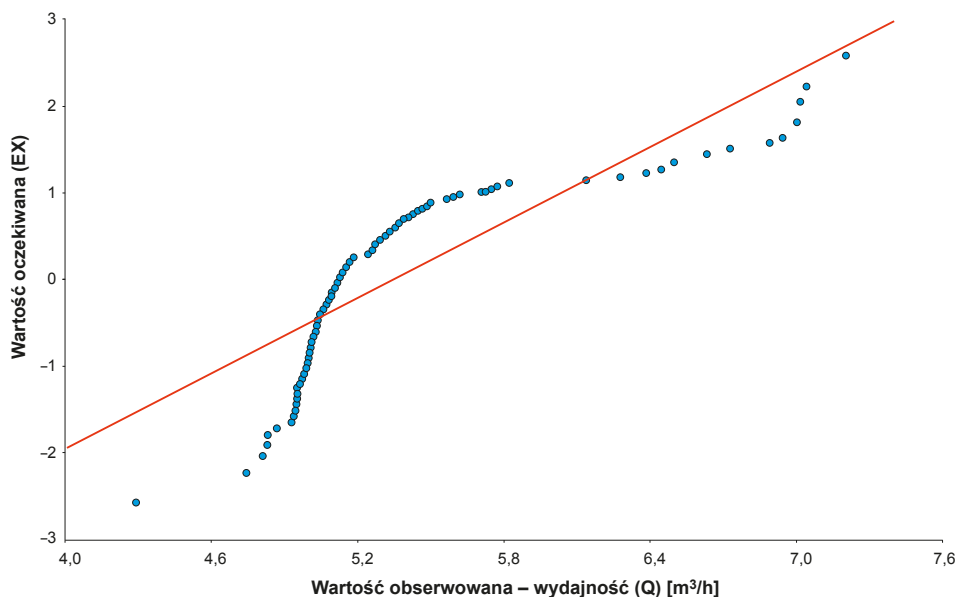


Fig. 8.31. Wykres prawdopodobieństwa rozkładu normalnego wydajności ujęcia Wielka Pieniawa w Polanicy-Zdroju (na podst. Liber-Makowskiej, 2012, z mod. autorów)

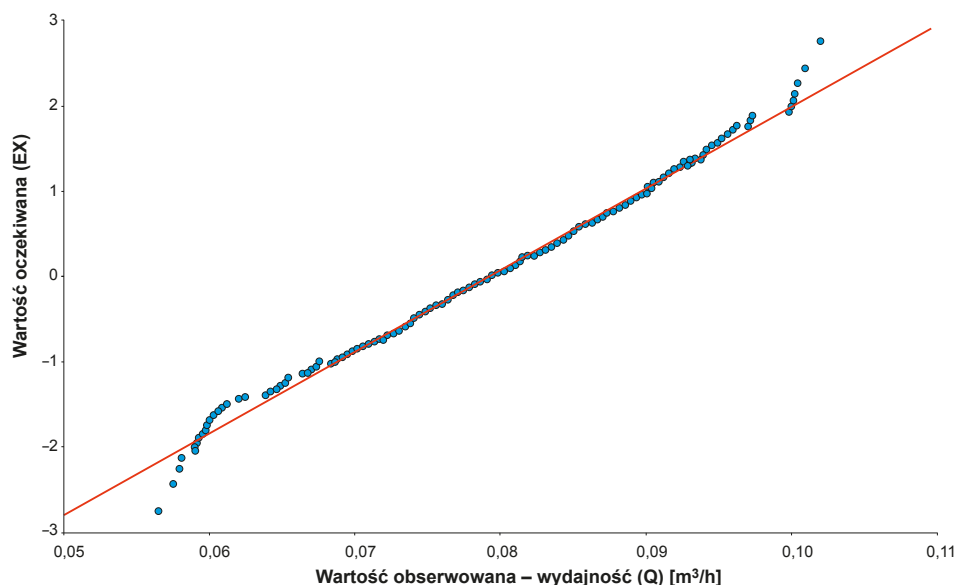


Fig. 8.32. Wykres prawdopodobieństwa rozkładu normalnego wydajności ujęcia Mieszkowice w Szczawnie-Zdroju (na podst. Liber-Makowskiej, 2012, z mod. autorów)

8.2.3. Ujęcia eksploatowane samoczynnie

Wydobycie samoczynne polega na poborze wody z ujęcia przy wykorzystaniu energii złożowej towarzyszącego wodom dwutlenku węgla. Takim sposobem są eksploatowane m.in. otwory Pieniawa Chopina w Dusznikach-Zdroju, Zuber I-IV oraz nr 18 w Krynicy-Zdroju i Grunwald-1 w Muszynie. W wyniku obniżenia ciśnienia złożowego zostaje zaburzona równowaga wodno-gazowa, co może powodować gwałtowne wydzielanie się (erupcje) zawartego w wodach gazu i wyrzuty emulsji wodno-gazowej na powierzchnię. Wydobycie samoczynne ma wiele zalet, przede wszystkim pozwala zachować stałość właściwości fizycznych i składu chemicznego wydobywanych wód (Duliński i in., 1993).

Oceny parametrów hydrogeologicznych otworu w takim przypadku należy dokonać na podstawie testu samoczynnego wypływu wody zgazowanej o regulowanej wydajności z zastosowaniem zwężek redukcyjnych. W tym celu w otworze należy zamontować lej produkcyjny z rurkami wydobywczymi na głębokości gwarantującej samoczynny wypływ wody. Przed ustaleniem zasobów należy obliczyć: ciśnienie nasycenia gazem, ciężar właściwy mieszaniny wod-

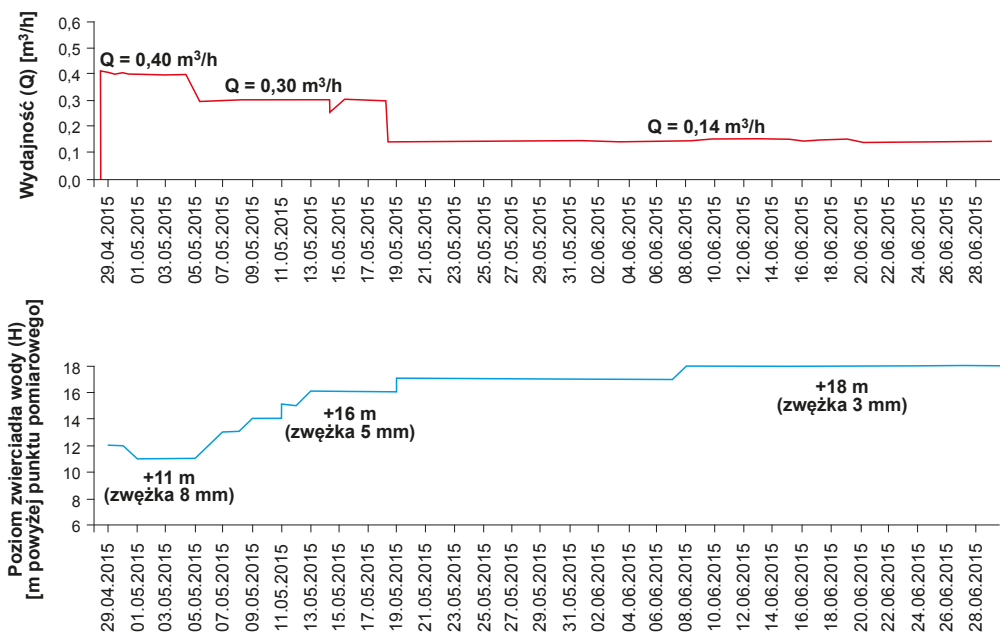
no-gazowej w przewodzie wydobywczym, ciśnienie dynamiczne, prędkość przepływu mieszaniny wodno-gazowej w przewodzie wydobywczym, prędkość minimalną do wyniesienia wody z otworu oraz wysokość podnoszenia się mieszaniny wodno-gazowej w rurach wydobywczych (Ciężkowski, 2002). Dalsze obliczenia hydrogeologiczne powinny być prowadzone w analogiczny sposób jak w przypadku pompowania za pomocą pompy głębinowej. Wielkość zasobów eksploatacyjnych należy odnieść do głębokości zabudowy leja i średnicy zwężki, przy której uzyskano wnioskowaną do zatwierdzenia wydajność (fig. 8.33). Zastosowanie zwężki o zbyt małej średnicy będzie skutkować zanikiem wypływu wody, z kolei przy za dużej średnicy otwór będzie pracował nierównomiernie. Ważnym aspektem samoczynnego wydobywania, wpływającym na równomierny wypływ wody i gazu z otworu, jest dobranie odpowiedniej długości rury wydobywczej (Żak, 2005b).

Decydującą rolę w przyjęciu wydobywania samoczynnego odgrywa wysoka wartość wykładnika gazowego, przekraczająca w przypadku otworów Zuber w Krynicy-Zdroju $100 \text{ m}_n^3/\text{m}^3$. W ujęciach tych występuje wolny CO_2 , pomimo wysokich ciśnień wynikających z dużej głębokości otworów. Przypuszcza

się, że dopływ gazu odbywa się z innych interwałów głębokości w górotworze niż dopływ wód, choć obie strefy zostały wspólnie udostępnione do wydobycia. Pobór wód polega na obniżeniu ciśnienia na głowicy do wartości, przy której poziom wody zostaje wyniesiony przez gaz. Zastosowany system wydobycia jest poparty wynikami wieloletnich obserwacji i specjalistycznych badań złożowych (hydrodynamiczno-gazowych), polegających na doborze zwęzek regulujących przepływ mieszaniny wodno-gazowej (Duliński, Ropa, 1994; Ciężkowski i in., 1999; Duliński i in., 1999). W efekcie przeprowadzonych badań uzyskano stałe parametry eksploatacyjne wydobywanej wody oraz gazu. Z uwagi na systematyczny spadek wydajności przy ciągłym wydobyciu w otworach Zuber II i Zuber IV przyjęto system wydobycia

okresowego (Mardaus-Konicka, Wcześny, 2014). Pozostałe otwory mogą być eksploatowane w sposób ciągły. W otworze Pieniawa Chopina czynnikiem decydującym o przyjęciu wydobycia samoczynnego była duża ilość wydobywającego się CO_2 , związana z dużą wydajnością ujęcia (mały wykładnik gazowy).

W miarę upływu czasu trwania wydobycia samoczynnego obserwuje się spadki ciśnienia w przewodach wydobywczych, związane z dużymi oporami hydraulicznymi, spotęgowanymi wytrącaniem się osadu na wewnętrznych ściankach przewodów. Znaczny wpływ na samoczynne wydobycie może mieć też eksploatacja innych nowych ujęć wykonanych w pobliżu, powodująca spadek ciśnienia piezometrycznego w warstwie wodonośnej, jak to miało miejsce w przypadku otworu Grunwald-1.



Przewód wydobywczy z lejem eksploatacyjnym zabudowany na głębokości 17 m.

Zwierciadło wody statyczne przed badaniem na głębokości 0,3 m.

Poziom zwierciadła wody przedstawiony na podstawie pomiarów ciśnienia odczytanego z manometru zainstalowanego 0,65 m powyżej powierzchni terenu.

Fig. 8.33. Wykres samoczynnej eksploatacji otworu Grunwald-1 w Muszynie
(na podst. Porwisa i in., 2015b, z mod. autorów)

9. WYZNACZANIE ZASIĘGÓW ODDZIAŁYWANIA, OBSZARÓW ZASOBOWYCH ORAZ OBSZARÓW ZASILANIA UJĘĆ

Bogusław Porwisz, Jakub Sokołowski

9.1. ZASIĘG ODDZIAŁYWANIA UJĘCIA

Jakub Sokołowski, Bogusław Porwisz

Zasięg oddziaływania ujęcia, inaczej zasięg leja depresji, dla wszystkich wód leczniczych jest najczęściej wyznaczany stosowanymi powszechnie w dokumentowaniu zwykłych wód podziemnych wzorami empirycznymi, na przykład dla wód o zwierciadle napiętym wzorem Sichardta [12], a dla wód o zwierciadle swobodnym wzorem Kusakina [13]. Dla filtracji nieustalonej stosuje się wzór Theisa [20]. Wzór ten znajduje zastosowanie m.in. w warunkach, gdy dopływ wód do ujęcia następuje z ośrodka szczelinowego, a wydobywanie odbywa się samoczynnie.

Uzyskane wyniki są teoretycznymi zasięgami w postaci okręgów o wyliczonym promieniu, dodatkowo przy założeniu ciągłego poboru wody z wydajnością równą wydajności eksploatacyjnej. Należy mieć jednak na uwadze, że daleko idące uproszczenia w niektórych warunkach sprawiają, że uzyskane wyniki mogą stać w sprzeczności z wynikami pomiarów terenowych. W Karpatach i Sudetach przepływ wód odbywa się głównie szczelinami, a więc zasięg oddziaływania poszczególnych ujęć nie będzie układał się radialnie, lecz będzie nawiązywał kształtem do kierunków przebiegu głównych szczelin – zgodnie z elipsą anizotropii. Pomiary głębokości występowania zwierciadła wody w trakcie pompowania pomiarowego dokumentowanego ujęcia

wykonywane w sąsiednich otworach nie potwierdzają współoddziaływania, podczas gdy wartość otrzymana ze wzoru – przy założeniu stałego wydobywania z maksymalną wydajnością – wskazują na taką możliwość. Ostateczne wyjaśnienie wzajemnego oddziaływania i jego rozmiarów jest możliwe dopiero po kilku latach wydobywania, na podstawie analizy wyników pomiarów stacjonarnych, zwłaszcza gdy zachodzi przypuszczenie, że wraz ze wzrostem wydajności może zostać uruchomiony dopływ z obszarów bardziej oddalonych niż strefa wpływu ukształtowana przy mniejszej wydajności. Na takie zjawisko może wskazywać duża różnica w zasięgu oddziaływania ujęcia pomiędzy poszczególnymi stopniami próbnego pompowania.

Mając na uwadze niedokładność wzorów empirycznych, do wyznaczania zasięgu oddziaływania ujęcia można posłużyć się wzorem [21] uwzględniającym moduł zasobów dyspozycyjnych.

W przypadku zasobów nieodnawialnych wyznaczony w dokumentacji obszar oddziaływania ujęcia jest jedynie obszarem początkowym, który będzie się zwiększał wraz ze wzrostem ilości wydobywanej wody i czasu wydobywania, czego dowodem będzie stałe obniżanie się quasi-statycznego zwierciadła wody i jego niepełna odbudowa (brak powrotu do stanu pierwotnego po zakończeniu pompowania). Początkowo będzie on miał kształt koła, a wraz ze wzrostem czasu wydobywania będzie się powiększał

(proporcjonalnie do czasu wydobycia), aż do objęcia swoim wpływem całej struktury hydrogeologicznej lub do granicy złoża.

Jeśli ujęcia znajdują się w bliskiej odległości od siebie, to istnieje możliwość oszacowania zasięgu i głębokości leja depresji, będącego wypadkową lejów depresji dwóch lub więcej ujęć (fig. 9.1), wykorzystując w tym celu metodę przybliżenia logarytmicznego Theisa-Jacoba dla nieustalonego dopływu wód [22].

9.2. OBSZAR ZASOBOWY I OBSZAR ZASILANIA UJĘCIA

Bogusław Porwisz, Jakub Sokółowski

Wyznaczenie granic obszarów zasobowych, obszarów oddziaływania ujęć i obszarów zasilania ma charakter prognozy hydrodynamicznej, określającej deformacje naturalnego strumienia wód podziemnych (fig. 8.1). Granice obszarów zasobowych i obszarów zasilania w przypadku wód leczniczych mają zazwyczaj charakter przybliżony i są wyznaczane na podstawie obliczeń hydrogeologicznych, a następnie weryfikowane na podstawie wyników prac kartograficznych i analizy materiałów archiwalnych. W przypadku złóż o zasobach odnawialnych obejmują one zwykle zlewnię hydrologiczną, ograniczoną prawdopodobnymi granicami obszaru spływu wody (OSW) do ujęcia, wyznaczonymi głównie na podstawie kryterium morfologicznego,

pola ciśnień piezometrycznych oraz na podstawie badań izotopowych wód, a także bloki strukturalne, a w przypadku złóż o zasobach nieodnawialnych – obszar prognozowanego szczypania wód w założonym okresie eksploatacji ujęć.

9.2.1. Obszar zasobowy ujęcia

Z ustalaniem zasobów eksploatacyjnych wiąże się konieczność wyznaczania obszaru zasobowego ujęcia wód podziemnych. Zgodnie z obowiązującą definicją podaną w Rozporządzeniu z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, obszarem zasobowym jest fragment zbiornika wód podziemnych ograniczony zasięgiem spływu wód podziemnych do ujęcia (obszarem spływu wody do ujęcia), w obrębie którego formuje się co najmniej połowa zasobów eksploatacyjnych tego ujęcia. Obszar zasobowy stanowi więc część obszaru spływu wody do ujęcia. W przypadku złóż o zasobach odnawialnych (struktury SA – tab. 3.1) lub o utrudnionej odnawialności (struktury SB i SC – tab. 3.1) faktycznie są to obszary, w obrębie których kształtuje się znaczna część zasobów wód leczniczych.

Granice obszarów zasobowych są najczęściej wododziały wód podziemnych, granice strukturalne lub granice modeli hydrogeologicznych. W tym drugim przypadku zastosowane warunki brzegowe gwarantują, że w obrębie tak wyznaczonej przestrzeni kształtują się zasoby wystarczające do

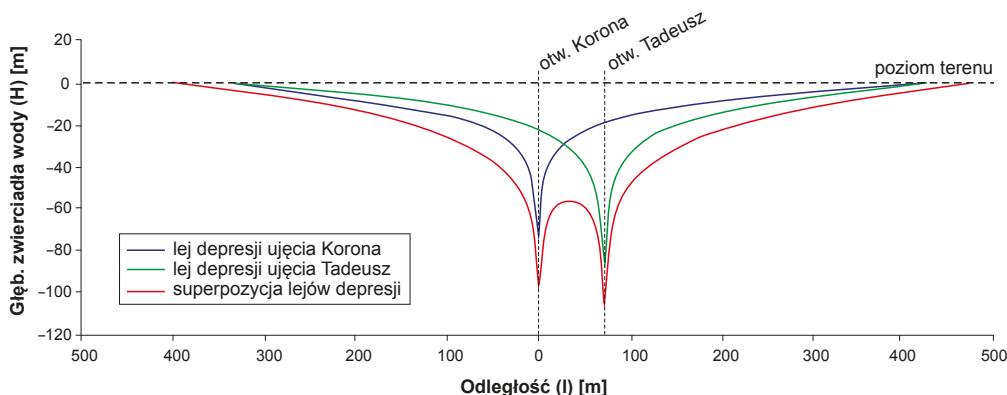


Fig. 9.1. Obliczony lej depresji po 30 latach eksploatacji ujęć Korona i Tadeusz w Zabłociu z wydajnością 0,24 m³/h (na podst. Śląskiego i Chlebika, 2017, z mod. autorów)

zasilania ujęcia. Dla złóż w głębszych, izolowanych warstwach wodonośnych, gdzie strefa zasilania jest znacznie oddalona od ujęcia, obszar zasobowy można wyznaczyć jedynie orientacyjnie, z pomocą przesłanek geologicznych i wyników badań modelowych i ewentualnie izotopowych, tak aby obejmował on co najmniej obszar 25-letniego czasu dopływu wody do ujęcia.

Dla złóż zasilanych infiltracyjnie obszar zasobowy jest wyznaczany w obrębie obszaru spływu wody do ujęcia (OSW). Na ogół OSW wyznacza się metodą Wysslinga (Macioszczyk i in., 1993; Dąbrowski i in., 2004) za pomocą wzorów na szerokość strefy spływu w nieskończenie odległym punkcie [23] i na wysokości ujęcia [24] oraz na odległość od punktu neutralnego [25].

Metoda Wysslinga zakłada jednorodność warstwy wodonośnej i strumienia wód podziemnych, a więc pozwala uzyskać jedynie orientacyjne wyobrażenie o przebiegu granic OSW wzdłuż głównego kierunku przepływu wód do ujęcia, zwłaszcza w ośrodku anizotropowym, z obecnością dużej liczby szczelin. Dlatego też wyznaczony tą metodą obszar spływu należy skorygować na podstawie przesłanek morfologicznych, geologicznych i hydrogeologicznych. Coraz większą popularność przy wyznaczaniu obszarów zasobowych zyskują ostatnio badania modelowe. Ze względu na niewystarczającą liczbę danych, modele te mają na ogół uproszczony charakter, dlatego uzyskane wyniki należy weryfikować wszelkimi innymi, dostępnymi metodami. Przede wszystkim przydatna jest znajomość modułu zasobów dyspozycyjnych, na podstawie którego można obliczyć powierzchnię obszaru zasobowego. Można wykorzystać także metodę graficzną, polegającą na wyznaczeniu OSW na podstawie uprzednio wykreślonego naturalnego układu hydroizohips oraz izoliny depresji dla wydajności eksploatacyjnej. Do prognozowania promienia izoliny depresji można stosować przekształcony wzór Dupuita dla warstw o napiętym [26] i swobodnym zwierciadle wody [27]. Ze względu na to, że wzór ten zakłada minimalną depresję na granicy obszaru (np. 0,01 m), to zasięg tak wyznaczonego obszaru zasobowego można przyjąć także jako zasięg oddziaływania ujęcia.

Powyższa metoda sprawdza się jedynie w prostych przypadkach i nie uwzględnia wielu czynników, m.in. przesiąkania z warstw nadległych, ascenzji z warstw w podłożu, czy obecności granic warstw wodonośnych. Dlatego też tak wyznaczony obszar odznacza się znaczną rozciągłością w górę strumienia wód podziemnych, w przypadku struktur o zasobach nieodnawialnych zasięg ten zbliża się do naturalnych granic hydrodynamicznych lub strukturalnych. Ze względów praktycznych należy wówczas ograniczyć OSW przez wykreślenie granicznej izoliny depresji lub izochrony poziomego dopływu wody do ujęcia. Podobnie jak w przypadku badań modelowych, tak wyznaczone granice OSW należy porównać z modelem zasobów dyspozycyjnych, którego znajomość pozwala na obliczenie powierzchni obszaru zasobowego. Moduł ten jest określany w hydrogeologicznych dokumentacjach regionalnych ustalających zasoby dyspozycyjne wód podziemnych i jest przypisany do konkretnej zlewni bilansowej, jego wartości są także podane na *Mapie hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000*.

W przypadku ujęć wód leczniczych zaleca się, aby wyznaczone granice obszarów zasobowych zmodyfikować, mając na uwadze istnienie odrębnych kierunków przepływu, związanych na przykład z ascenzją (np. gdy ujęcie znajduje się w osi doliny lub w strefie uskoku) lub w strefie uprzywilejowanej drogi przepływu, wzdłuż rozciągłości warstw, a także w strefie tektonicznej stanowiącej barierę filtracyjną. Wyznaczając przebieg granic obszaru zasobowego, należy więc dodatkowo uwzględnić takie elementy jak:

- przebieg osi drenażu zlewni powierzchniowej;
- rozciągłość i upad warstw;
- zmienną ciągłość warstw wodonośnych;
- gęstość, rozwartość i dominujący kierunek spękań lub inne przesłanki anizotropii warstwy wodonośnej (mikroszczeliny);
- przebieg nieciągłości tektonicznych i litologicznych;
- pole hydrodynamiczne obszaru;
- kierunek przepływu wód podziemnych;
- ascenzję i współczynniki przesączania/przesiákania;
- wyniki badań izotopowych wód podziemnych;

- przebieg działu wód podziemnych i powierzchniowych;
- obecność barier filtracyjnych;
- zróżnicowanie morfologiczne terenu;
- parametry meteorologiczne i hydrologiczne.

Podstawę do określania granic obszarów zasobowych może stanowić zasięg występowania dwutlenku węgla w powietrzu glebowym, jak to miało miejsce na przykład w Gorzanowie (Ciężkowski i in., 2016a). Badania powierzchniowych przejawów występowania CO₂ mogą mieć bardzo duże znaczenie dla prowadzenia racjonalnego wydobycia szczaw i wód kwasowęglowych (Żak i in., 2008). Badania takie obejmują najczęściej określenie zawartości CO₂ w powietrzu glebowym do głębokości 1 m oraz określenie natężenia strumienia CO₂.

Skomplikowane warunki przepływu wód leczniczych, duża anizotropia ośrodka skalnego i stosunkowo niewielka ilość danych hydrogeologicznych powodują, że często nie ma możliwości dokładnego wyznaczenia obszaru zasobowego i obszaru spływu wody do ujęcia (np. w Karpatach fliszowych, zapadlisku przedkarpackim – rejon Buska-Zdroju i Sudetach). Zaleca się jednak zilustrować go na mapie hydrogeologicznej, nawet w przybliżeniu, jeśli wyliczenia bazują tylko na wielkości modułu zasobów dyspozycyjnych. Obszar zasobowy dokumentowanego ujęcia może pokrywać się z obszarami zasobowymi innych ujęć, jednak nie należy wprost utożsamiać obszaru zasobowego ze zjawiskiem współoddziaływania ujęć lub zasięgiem leja depresji. Można, z uwagi na bliskie sąsiedztwo innych ujęć, wyznaczyć go łącznie dla grupy otworów w celu zapewnienia ochrony zasobów złoża.

Dla złóż o zasobach praktycznie nieodnawialnych możliwe jest mówienie tylko o przypuszczalnych kierunkach przepływu, na podstawie ogólnych przesłanek. Jeśli struktura hydrogeologiczna jest niewielka to można uznać ją w całości za obszar zasobowy. W przypadku struktur większych, granice obszaru zasobowego można przyjąć poprzez wyznaczenie w obrębie obszaru spływu izochrony 25-letniego poziomego dopływu wody do otworu, stosując wzory Wysslinga [28] [29] lub ograniczyć go pewną minimalną wartością depresji (Rogoż, 2012). Czasem wyznacza się go jako obszar kołowy, przy założeniu że zwierciadło wody w systemie hy-

drogeologicznym w przybliżeniu układa się poziomo. Powierzchnia obszaru zasobowego pokrywa się wówczas w przybliżeniu z zasięgiem leja depresji i jest tożsama z obszarem zasilania. Utożsamianie zasięgu leja depresji z OSW i z obszarem zasobowym jest praktykowane dla wód o zasobach nieodnawialnych, występujących na dużej głębokości, pod bardzo wysokim ciśnieniem. Podejście takie stosuje się także wobec braku rozpoznania odnośnie położenia dokumentowanego otworu w konkretnej strefie hydrodynamicznej (zasilania, tranzytu, drenażu). Dla wód izolowanych od współczesnej infiltracji za obszar zasobowy może być uznany także zasięg maksymalnego, wymuszonego spływu. Przyjmuje się wówczas wielkość zasobów statycznych przewidzianych do szczerpania w ciągu założonego czasu, na przykład 25 lat (taki okres przyjmuje się najczęściej jako ekonomicznie uzasadniony dla planowanych inwestycji wykorzystujących wody lecznicze). Wielkość wydobycia, przy założeniu ciągłego wydobycia z wydajnością równą zasobom eksploatacyjnym w określonym czasie, pozwala obliczyć całkowitą ilość wydobytej wody oraz powierzchnię, na której taka ilość wody występuje.

Sposób wyznaczania obszarów zasobowych oraz kryteria uwzględnione przy określaniu ich granic powinny być szczegółowo opisane w części tekstowej dokumentacji.

9.2.2. Obszar zasilania ujęcia

Przez obszar zasilania ujęcia należy rozumieć część systemu wodonośnego, w której formuje się dopływ wody do ujęcia. Utożsamia się go z obszarem, na którym opady atmosferyczne lub wody powierzchniowe przesiakają bezpośrednio lub pośrednio (przez utwory przykrywające) do poziomu wodonośnego i w którym linie prądu są skierowane ku głębszym partiom warstwy. Obszar ten obejmuje więc nie tylko strefę dopływu wody z ujętej warstwy wodonośnej, lecz także z warstw otaczających, w tym też przesiakających przez utwory słabo przepuszczalne. W przypadku wód leczniczych jednoznaczne określenie takich obszarów jest dużym wyzwaniem, a niekiedy jest to wręcz niemożliwe. Wynika to głównie ze skomplikowanej i zmiennej budowy geologicznej poszczególnych złóż, znacz-

nego zaangażowania tektonicznego, niewystarczającego rozpoznania dróg krążenia wód podziemnych i wzajemnych kontaktów hydraulicznych, na które dodatkowo nakłada się przeważnie słabe, punktowe rozpoznanie hydrogeologiczne, a także zmiany naturalnego pola hydrodynamicznego wywołane działalnością człowieka – na przykład w Wieliczce wskutek działalności górniczej nastąpiło odwrócenie naturalnego kierunku przepływu wód. Coraz częściej w celu określenia obszarów zasilania niezbędna jest wielokryterialna analiza, uwzględniająca wyniki badań izotopowych, pomiarów głębokości zwierciadła wody w otworach obserwacyjnych oraz numeryczne symulacje modelowe.

Dla wód leczniczych pochodzenia infiltracyjnego na obszarach górskich i przedgórskich za obszary zasilania uznaje się przeważnie obszary położone morfologicznie powyżej dokumentowanego ujęcia, z których spływ wód powierzchniowych i podziemnych z dużym prawdopodobieństwem następuje w kierunku ujęcia, zgodnie z kierunkiem ciągłości warstw i spływu wód powierzchniowych, szczelinami oraz fugami międzyławicowymi. Są one więc wyznaczane na podstawie analizy warunków hydrograficznych, hydrogeologicznych i lokalnego ukształtowania terenu w rejonie zlewni morfologicznej. Do wyznaczania obszarów zasilania ujęć wód leczniczych powszechnie wykorzystuje się badania ich składu izotopowego. Pozwalają one na określenie „wieku” wody i orientacyjnej rzędnej obszarów zasilania. Efekt wysokościowy dotyczy tylko obszarów górskich, na których jest możliwe wyznaczenie przypuszczalnych obszarów zasilania. Zagadnienia badań izotopowych wód leczniczych i ich zastosowanie w dokumentowaniu zasobów eksploatacyjnych zostały rozwinięte w dalszej części Poradnika. W niektórych przypadkach złożone warunki hydrogeologiczne i niedostateczne rozpoznanie hydrogeologiczne sprawiają, że w dokumentacjach ustalających zasoby eksploatacyjne ujęć nie wyznacza się tych obszarów.

Dla złóż o zasobach praktycznie nieodnawialnych, charakteryzujących się szczelnym stropem i spągami (np. na obszarach nizinnych lub w zapadisku przedkarpackim), granice zasilania są na ogół znacznie oddalone od ujęć. Obszar zasilania w takiej sytuacji będzie obejmował cały teren nieszczerpa-

nych zasobów statycznych i sprężystych, które w większości tego typu złóż, odznaczających się niewielkim poborem, są praktycznie nieograniczone. Można również przyjąć, że w złożach o zasobach nieodnawialnych brak jest systemu krążenia, a więc i obszaru zasilania, a wody dopływają do ujęcia z obszaru zasobowego.

9.2.3. Przykłady wyznaczania obszarów zasobowych i obszarów zasilania ujęcia

Przykład 1: Wapienne

Wapienne to jedyne karpackie uzdrowisko z wodami leczniczymi typu siarczkowego, położone na rzędnych od 400 do 475 m n.p.m. w Beskidzie Niskim. Wody lecznicze zostały tu ujęte dwoma otworami wiertniczymi W-1 (z głębokości 25,0–45,0 m) i W-2 (z głębokości 58,7–70,2 m) oraz dwoma źródłami Kamila i Marta. Poziom wodonośny występuje w utworach fliszowych, zaliczonych do warstw inoceramowych kredy. Warunki morfologiczne i geologiczne powodują, że w strefie powierzchniowej wody lecznicze współwystępują z wodami zwykłymi. Wody lecznicze Wapiennego zalicza się do wód słabo zmineralizowanych, o zmiennej zawartości siarkowodoru, sięgającej maksymalnie 12,2 mg/dm³. Wody ze źródeł Marta i Kamila są wykorzystywane do celów leczniczych od początku istnienia uzdrowiska, natomiast otwory W-1 i W-2, wykonane w latach 1974–1975, nie są eksploatowane (Chowaniec i in., 2013). Na szkicu hydrogeologicznym (fig. 9.2) przedstawiono obszar zasilania, z którego następuje dopływ wód podziemnych do rejonu ujęć wód leczniczych. Przy jego wyznaczaniu kierowano się morfologią terenu, tektoniką i kierunkami przepływu wód podziemnych. Powierzchnia omawianego obszaru wynosi 2,7 km². W jego obrębie wyznaczono obszar zasobowy o powierzchni około 0,4 km², przy założeniu formowania się w jego obrębie 50% sumarycznych zasobów eksploatacyjnych wszystkich ujęć przy module zasobów dyspozycyjnych wynoszącym 2,0 dm³/s·km². Uwzględniono także warunki hydrogeologiczne, geologiczne i morfologiczne, w szczególności kierunek spływu wód podziemnych, silnie uzależniony od tektoniki i morfologii terenu (Porwisi i in., 2012).

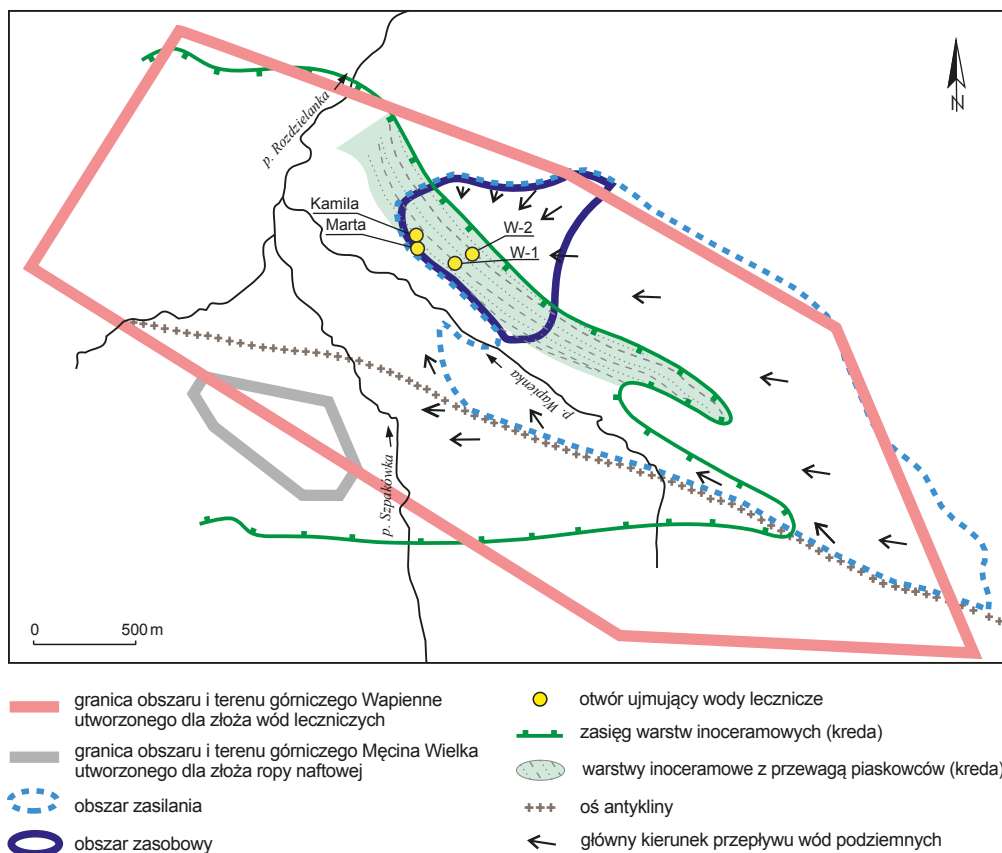


Fig. 9.2. Szkic hydrogeologiczny rejonu Wapiennego (na podst. Chowańca i in., 2013, z mod. autorów)

Przykład II: Piwniczna-Zdrój

Obszary zasilania fliszowego piętra wodonośnego w rejonie złoża wód leczniczych w Piwnicznej-Zdroju, według danych izotopowych i wyników obserwacji stacjonarnych, znajdują się na zachodnich i północno-zachodnich stokach góry Kicarz (703 m n.p.m.) i góry Bucznik (604 m n.p.m.) oraz na zboczach wzgórz oddzielających dolinę Księżego Potoku od potoku Śmigowskiego (Porwisz i in., 2011). Poziom wodonośny w utworach fliszowych jest zasilany przez infiltrację wód opadowych poprzez pokrywą zwietrzelinową. Spływ wód podziemnych odbywa się w kierunkach zbliżonych do kierunku nachylenia stoków i rozciągłości warstw, szczelinami oraz fugami międzyławicowymi. W obrębie obszaru górniczego Piwniczna-Łomnica wyznaczono cztery obszary zasobowe (fig. 9.3), przy założeniu

formowania się w ich obrębie 70% zasobów eksploatacyjnych. Uwzględniono przy tym moduł zasobów dyspozycyjnych w wysokości $12,91 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{km}^2$:

- obszar zasobowy nr I współwystępowania wód leczniczych i zwykłych, wyznaczony dla ujęć wód leczniczych P-1, P-2, P-5, P-6, P-7, P-8, P-9, P-11 i P-18 oraz otworu z wodami zwykłymi P-22 na powierzchni $1,61 \text{ km}^2$;
- obszar zasobowy nr II o powierzchni $0,275 \text{ km}^2$, wyznaczony dla ujęć wód leczniczych P-14 i P-17;
- obszar zasobowy nr III o powierzchni $0,348 \text{ km}^2$, wyznaczony dla ujęcia wód zwykłych P-23;
- obszar zasobowy nr IV o powierzchni $0,145 \text{ km}^2$, wyznaczony dla ujęcia wód leczniczych P-24.

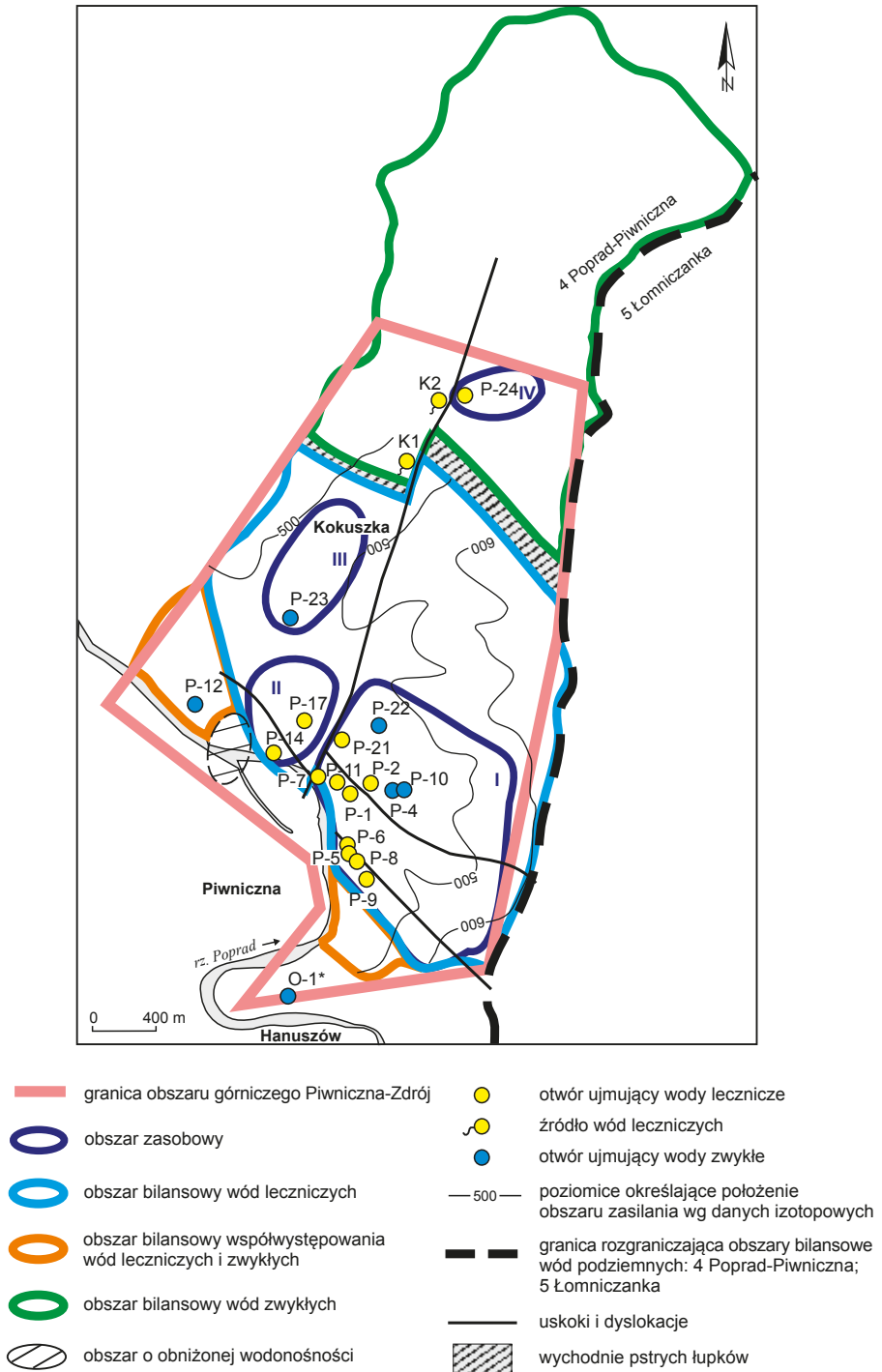


Fig. 9.3. Szkic hydrogeologiczny rejonu Piwnicznej-Zdroju przed poszerzeniem obszaru górniczego o zlewnię Łomniczanki (na podst. Porwisa i in., 2011, z mod. autorów)

Przykład III: Milik i Andrzejówka

W rejonie Milika i Andrzejówki obszary zasilania fliszowego piętra wodonośnego znajdują się w północnej, wyniesionej części zlewni potoków o tych samych nazwach, zbudowanych z piaskowców z Piwnicznej. Wysokości położenia tych obszarów wyznaczono z wykorzystaniem wyników badań izotopowych wody w ramach dokumentacji hydrogeologicznej zasobów rejonu Muszyny-Milika, wykonanej w 2000 r. (Radwan i in., 2000), a następnie zaktualizowanej w 2014 r. w ramach dokumentacji zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych Milika-Andrzejówki (Chowaniec i in., 2014).

Główna strefa zasilania jest położona w północnej części obszaru bilansowego i obejmuje obszar o powierzchni około 3 km². Wyznaczono tu dwa obszary zasobowe (fig. 13.1), odrębne dla ujęć wód leczniczych (A-1, A-2, A-5, A-8, A-9, A-10, A-12, K-2, M-2, M-3, M-4, M-6, M-9, M-11, M-13, O-1, P-7, Źródło Kazimierz) i ujęć wód zwykłych (A-3, A-4, A-6, A-7, M-7, M-1, M-5, M-8, M-10, M-14, S-1).

Przykład IV: Swoszowice

W Swoszowicach obszary zasilania siarczkowych wód leczniczych ujęć Źródło Główne i Źródło Napoleon zostały wyznaczone w 1997 r. i nadal

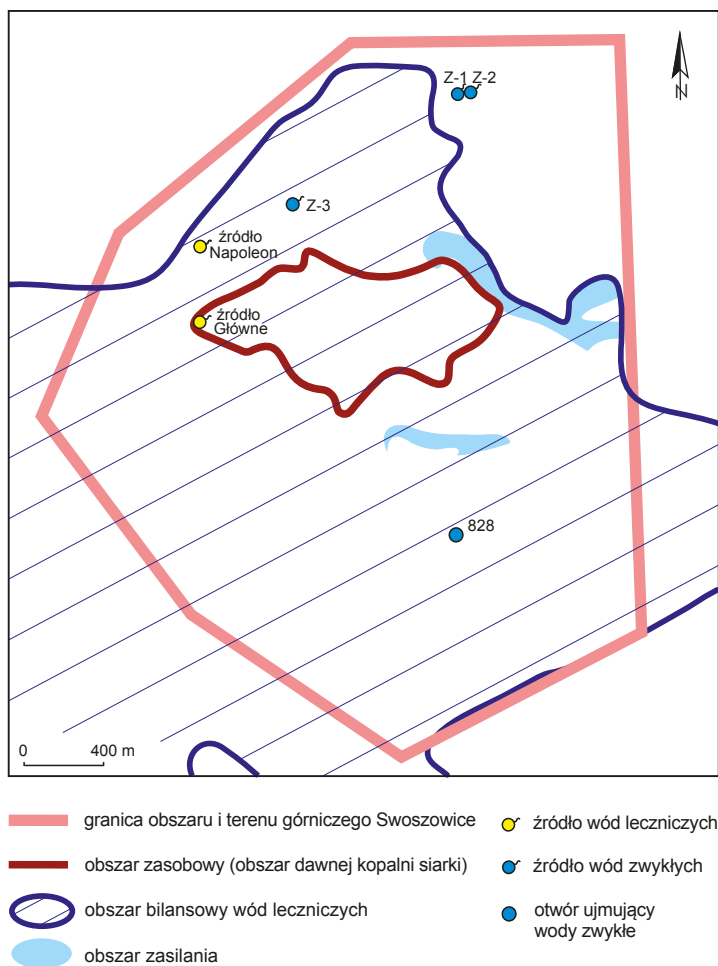


Fig. 9.4. Szkic hydrogeologiczny rejonu Swoszowic
(na podst. Radwana i in., 1997 oraz Krawczyka i Porwisza, 2005, z mod. autorów)

pozostają bez zmian (Radwan i in., 1997). Granice obszarów zasilania rozpoznano wówczas otworami wiertniczymi oraz badaniami geofizycznymi, które umożliwiły prześledzenie zasięgu i głębokości zalegania utworów serii gipsowej, w obrębie wychodni których zachodzi zasilanie zbiornika wód leczniczych oraz stropu utworów mezozoicznych. Oznaczono także stężenia trytu w wodach ze źródeł, co pozwoliło na obliczenie czasu doptywu wody do ujęć i jej „wiek”. Średni czas przepływu wody do Źródła Głównego oceniono na 62 lata, a dla Źródła

Napoleon na 68 lat (Radwan i in., 1997; Krawczyk, Porwisch, 2005).

Za obszar zasobowy ujęć wód leczniczych w siarkonośnych utworach serii gipsowej uznano wyrobiska górnicze dawnej kopalni siarki, poczynszyszy od wychodni serii gipsowej do ujęcia Źródło Główne (fig. 9.4). Źródło Napoleon jest wypływem wody ze starej sztolni odwodnieniowej, stąd znajduje się poza obszarem zasobowym. Zasoby wód leczniczych Swoszowic formują się więc w kompleksie dawnych kopalń siarki (Radwan i in., 1997).

10. ROLA WSKAŹNIKÓW HYDROGEOCHEMICZNYCH ORAZ BADAŃ IZOTOPOWYCH I BAKTERIOLOGICZNYCH W DOKUMENTOWANIU ZASOBÓW EKSPLOATACYJNYCH UJĘĆ WÓD LECZNICZYCH

Arkadiusz Krawiec, Andrzej Sadurski, Maciej Walczak

10.1. WSKAŹNIKI HYDROGEOCHEMICZNE

Arkadiusz Krawiec

Badania chemizmu wód leczniczych pozwalają nie tylko określić typ wody z dokumentowanego ujęcia i wynikające z niego właściwości lecznicze, ale umożliwiają także ocenę stałości ich składu, a także wnioskowanie na temat genezy wód i warunków ich dopływu do ujęcia. Ostatnie z wymienionych jest możliwe dzięki wskaźnikom hydrogeochemicznym, których wartość zależy od składu chemicznego wód podziemnych i warunków jego formowania się, szczególnie wód o podwyższonej mineralizacji. Wskaźniki hydrogeochemiczne, czyli niemianowane wielkości liczbowe, określają stosunki ilościowe składników wód podziemnych, wyrażane jako stosunki wagowe bądź równoważnikowe (wyrażone literą r). Są one najczęściej wykorzystywane w hydrochemicznych pracach regionalnych, przy charakterystyce oraz porównaniach różnego typu wód, a także w poszukiwaniach geologicznych złóż kopalin. Są one także pomocne przy określaniu genezy wód podziemnych lub w ocenach stopnia ich przeobrażenia (Razowska, 1999).

Nie wszystkie rodzaje wskaźników hydrogeochemicznych są zawsze przydatne w interpretacji wyników badań, na przykład w interpretacji pochodzenia wód leczniczych na Niżu Polskim najistotniejsze

znaczenia mają wskaźniki: $r[(Na^+ + K^+) + Mg^{+2}/Cl^-]$, $r[(Na^+ + K^+)/Cl^-]$, $r(Na^+/Cl^-)$ oraz $r[Ca^{+2}/Ca^{+2} + SO_4^{+2}]$. Pozostałe wskaźniki, tj. Cl^-/Br , Br^-/I^- , iloraz $rCl^-/suma\ głównych\ anionów$, $r[(SO_4^{+2} \cdot 100/Cl^-)]$, $r[Na^+/(Na^+ + Cl^-)]$, $r[Mg^{+2}/(Ca^{+2} + Mg^{+2})]$, $r[(Ca^{+2} + Mg^{+2})/SO_4^{+2}]$ oraz $r[Ca^{+2}/(Ca^{+2} + HCO_3^-)]$ były mało przydatne lub wykorzystywane pomocniczo (Krawiec, 2002).

Interpretację wskaźników hydrogeochemicznych należy zawsze traktować jako metodę pomocniczą i posługiwać się nią w powiązaniu z innymi metodami. Zestawienie interpretacji tych wskaźników hydrochemicznych, według różnych autorów, przedstawiono w tab. 10.1.

10.2. BADANIA IZOTOPÓW I GAZÓW SZLACHETNYCH

Arkadiusz Krawiec, Andrzej Sadurski

Znaczenie metod izotopowych w hydrogeologii, w stosunku do innych metod znaczników naturalnych, włączając metody znaczników hydrogeochemicznych, polega na ich związku z badaniami pochodzenia wody oraz na tym, że ze wszystkich dostępnych znaczników, znaczniki izotopowe są najbardziej zachowawczymi (Zuber, 1986). Metody izotopowe pozwalają rozróżniać wody infiltracyjne różnego „wieku” lub wody zasilane na różnych rzędnych terenu lub w różnych odległościach od mórz i oceanów. Za ich pomocą można roz-

Tab. 10.1. Interpretacja wskaźników hydrogeochemicznych (na podst. Appela i Postmy, 1996; Razowskiej, 1999; Krawca, 2002; Macioszczyk i Dobrzyńskiego, 2007)

Wskaźnik	Pochodzenie jonów w wodach podziemnych
$r[(Na^+ + K^+)/Cl^-]$ $r[Na^+ + K^+ + Mg^{2+}/Cl^-]$	>1 – strefa aktywnej wymiany (kontakt z wodami atmosferycznymi) <1 – strefa stagnacji hydrodynamicznej
$r(Na^+/Cl^-)$	>1 – wody młode, współczesne, strefa aktywnej wymiany <1 – wody paleoinfiltracyjne <0,86 – stagnacja hydrodynamiczna, wody reliktowe i synsedymantacyjne
Cl^-/Br^-	295 – wody oceaniczne <300 – wody reliktowe, ługi postsalinarne >300 przy równoczesnej $r(Na^+/Cl^-) \sim 1$ wskazuje na bliskość złóż soli
$r(Cl^-/\text{suma głównych anionów})$	>0,8 przy $M > 500$ – woda morska, solanka lub ewaporaty >0,8 przy $M < 100$ – woda opadowa <0,8 – wietrzenie węglanów, krzemianów lub siarczanów
$r(SO_4^{2-} \cdot 100/Cl^-)$ wskaźnik siarczanowy	10–500 – wody płytkie, strefa aktywnej wymiany z wodami infiltracyjnymi 10,3 – woda morska <1 – wody izolowane, stagnujące, zmetamorfizowane
$r[Na^+/(Na^+ + Cl^-)]$	>0,5 – pochodzenie Na inne niż z halitu (albit lub wymiana jonowa) 0,5 – rozpuszczanie halitu <0,5 – przy $M > 500$ wymiana jonowa <0,5 – przy $M < 50$ woda opadowa <0,5 – przy $50 < M < 500$ niejednoznaczny (możliwy błąd analizy)
$r[(Ca^{+2} + Mg^{+2})/SO_4^{2-}]$	<1 – rozpuszczanie siarczanów >0,8 i <1,2 – możliwa dedolomityzacja
$r[Ca^{+2}/(Ca^{+2} + SO_4^{2-})]$	0,5 – rozpuszczanie gipsu <0,5 przy $pH < 5,5$ – utlenianie pirytu i/lub innych siarczanów <0,5 pH obojętne – usuwanie wapnia wskutek wymiany jonowej lub wytrącania kalcytu >0,5 – pochodzenie wapnia inne niż z rozpuszczania gipsu
$r[Ca^{+2}/(Ca^{+2} + HCO_3^-)]$	0,5 – wietrzenie kalcytu <0,5 – wietrzenie kalcytu i/lub innych węglanów >0,5 – wietrzenie kalcytu, ale też innych minerałów (np. gipsu) >1 – pochodzenie wapnia inne niż z wietrzenia kalcytu

gdzie: r – miligramorównoważnik (mval); M – mineralizacja ogólna wody w g/dm³

różniac wody bezpośrednio infiltrujące (meteoryczne – pochodzące z opadów) od wód infiltrujących z rzek i cieków lub ze zbiorników powierzchniowych. Metody izotopowe pozwalają określać pochodzenie wód znacznie precyzyjniej niż metody hydrochemiczne. Obie kategorie metod bardzo dobrze się uzupełniają, bowiem wyniki metod hydrogeochemicznych są zazwyczaj lepszym informatorem o pochodzeniu składników chemicznych wody.

Metody izotopowe w badaniach wód podziemnych są dzisiaj na świecie, a także w kraju, coraz częściej stosowanymi metodami w praktyce hydro-

geologicznej, których intensywny rozwój rozpoczął się ponad pół wieku temu, już w latach 50. XX w. (Craig, 1961; Dowgiałło, 1970; Fritz, Fontes, 1980; Grabczak, Zuber, 1983 i in.). Wykorzystywane są zarówno izotopy promieniotwórcze: wodoru, węgla, chloru, jodu, bromu, kryptonu i inne, jak i izotopy trwałe, na przykład: tlenu, wodoru, węgla i siarki, nazywane izotopami środowiskowymi lub znacznikami izotopowymi, oznaczane głównie przy pomocy spektrometrii masowej. Służą one wyjaśnieniu genezy i warunków klimatycznych w czasie infiltracji wód opadowych i powierzchniowych do osrodka

skalnego oraz typu mineralizacji wód, która jest wynikiem procesów hydrogeochemicznych zachodzących na kontakcie woda↔skała, jak również są wykorzystywane do analizy procesów mieszania się wód o różnej genezie lub identyfikacji różnych dróg i czasów przepływu. Badania te są także przydatne w określaniu „wieku” wód, czyli czasu przebywania wody w warstwach wodonośnych, co jest wykorzystywane do oceny odporności danego ośrodka skalnego na zanieczyszczenia antropogeniczne, a także oceny procesów sorpcji/desorpcji i wymiany jonowej. Często metody naturalnych i antropogenicznych znaczników, jak freony i sześciofluorek siarki SF_6 , znajdują także zastosowanie podczas kalibracji lub walidacji matematycznych modeli numerycznych przepływu wód oraz migracji zanieczyszczeń.

Skład izotopowy wód jest oznaczany przez porównanie stosunków izotopowych w wodzie oraz ilorazów danego izotopu we wzorcu, co jest nazywane deltą: wodorową, tlenową, węglową i analogicznie w przypadku innych pierwiastków. Przykładem może być delta węglowa $\delta^{13}\text{C}$ wyrażona w promilach, stosunkiem izotopów węgla $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ zgodnie ze wzorem [30].

Wzorcem węgla, nazywanym PDB (*Pee Dee Belemnite*) jest rostrum belemnita z formacji Pee Dee kredy górnej w Stanach Zjednoczonych. Wzorcem izotopowym tlenu – $\delta^{18}\text{O}$ i wodoru – δD w wodach jest średni skład izotopowy wody morskiej SMOW (*Standard Mean Ocean Water*), następnie odniesiony do światowej linii opadów WMWL (*World Meteoric Water Line*), której równanie można zapisać: $\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$ (Zuber, 2007b). Obecnie jest stosowany wzorzec VSMOW zaproponowany przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej w Wiedniu.

Zróźnicowanie izotopowe wody następuje wskutek parowania. Para wodna wzbogacona jest w lekkie izotopy, podczas gdy w zbiorniku wodnym pozostają cięższe izotopy tlenu i wodoru. W klimacie chłodnym wody w zbiornikach wód powierzchniowych są izotopowo lżejsze (niskie parowanie) niż wody zbiorników w strefie klimatu ciepłego, gdzie parowanie jest intensywne i stąd stężenie izotopów ciężkich jest wyższe. Wody morskie/oceaniczne są bogatsze w ciężkie izotopy tlenu

i wodoru w porównaniu z wodami śródlądowymi. Skład izotopowy wody opadowej infiltrującej do warstw wodonośnych zależy zatem od odległości od mórz i oceanów obszarów infiltracji do wód podziemnych oraz od rzędnej terenu, na której mają miejsce opady. Skład ten zmienia się także w zależności od pory roku (zimą dominują opady śniegu, natomiast latem deszczu) oraz zależy od szerokości geograficznej, gdyż w strefie arktycznej i antarktycznej występują opady izotopowo lżejsze.

Izotopy promieniotwórcze wodoru i węgla tworzą się w atmosferze, a ich stężenia są stałe. Pod wpływem kosmicznego promieniowania neutronowego w górnych warstwach atmosfery z azotu powstaje węgiel i tryt: $^{14}\text{N} + n \rightarrow ^{12}\text{C} + ^3\text{H}$.

Promieniotwórczy izotop węgla ^{14}C powstaje również w górnych warstwach atmosfery ziemskiej wskutek oddziaływania neutronowego promieniowania kosmicznego, zgodnie z przemianą: $^{14}\text{N} + n \rightarrow ^{14}\text{C} + ^1\text{H}$.

W hydrogeologii mogą być wykorzystywane również trwałe izotopy siarki: ^{32}S , ^{33}S , ^{34}S i ^{36}S , z których ^{32}S i ^{34}S są stosowane w praktyce. Obliczana jest delta siarkowa według równania [31].

Iloraz $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ zmienia się w przedziale od -20 do +30‰. Wartość ilorazu pozwala wnioskować o pochodzeniu siarczanów w wodach podziemnych i na przykład wskazywać na ługowanie skał gipsowych lub minerałów towarzyszących wysadom soli – gipsu i anhydrytu – utlenianiu siarczków metali lub mieszaniu się wód infiltracyjnych współczesnych z reliktowymi wodami morskimi (synderymentacyjnymi). Wysoka delta siarkowa wskazuje na możliwość redukcji siarczanów przez bakterie siarczkowe. Wzorcem siarki CD jest troilit (siarczek żelaza) z meteorytu w Canyon Diablo – Krater Barringera w USA.

Niewątpliwie znaczący wpływ na przybliżenie metod izotopowych w środowisku hydrogeologów w kraju miał poradnik metodyczny *Metody znacznikowe w badaniach hydrogeologicznych* (Zuber, 2007b), w którym podano szeroki przegląd metod izotopowych stosowanych w badaniach hydrologicznych i hydrogeologicznych. Znaczniki środowiskowe to zarówno znaczniki naturalne, jak i substancje uwalniane do środowiska wskutek

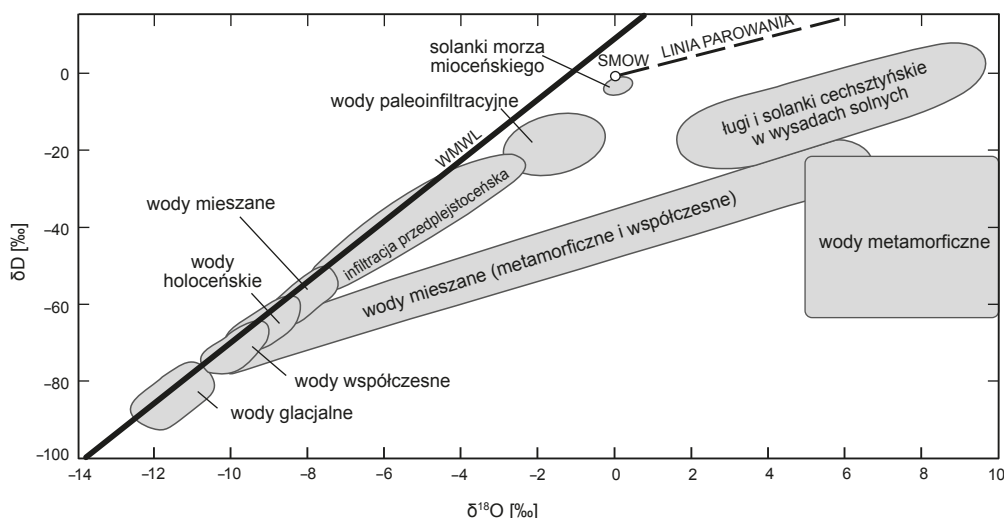


Fig. 10.1. Skład izotopowy wód z obszaru Polski (na podst. Zuber a Grabczak, 1985, z mod. autorów)

działalności człowieka, na przykład freony i SF_6 . Substancje te były masowo stosowane od lat 50. XX w. jako media chłodzące w sprężarkach lodówek. Nie występują natomiast w sposób naturalny w środowisku, stąd są dobrym wskaźnikiem zanieczyszczeń wprowadzonym przez człowieka (Zuber i in., 2005). Ponadto są oznaczane laboratoryjnie przy pomocy spektrometrii gazowej, która jest wykorzystywana w wielu ośrodkach naukowych i jest relatywnie tania.

Do określenia genezy wód podziemnych można zastosować także oznaczenia gazów szlachetnych (Dowgiałło, 1970, 1973; Ciężkowski i in., 1992; Zuber, 2007b; Mochalski i in., 2007). Do oceny wrażliwości warstw wodonośnych na potencjalne zanieczyszczenia antropogeniczne mogą być też wykorzystane wyniki oznaczeń izotopów promieniotwórczych, takie jak: tryt ^3H , radiowęgiel ^{14}C , chlor ^{36}Cl , krypton ^{81}Kr lub na przykład izotopy uranu wyrażone stosunkiem $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ (Polański, 1979; Zuber, 1984; Zuber, Grabczak, 1985; Clark, Fritz, 1997).

Pomocniczo, w celu określenia pochodzenia siarczanów w wodach można wykonać oznaczenia izotopu siarki ^{34}S , a gdy zachodzi potrzeba identyfikacji źródeł azotanów izotopu azotu ^{15}N .

Zestawienie zalecanych metod badań izotopowych wody w procesie dokumentowania zasobów

eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych przedstawiono w tab. 10.2.

Izotopy trwałe

Metoda izotopów trwałych pozwala na określenie pochodzenia wód starszych niż wody powstałe u schyłku plejstocenu. Jest także przydatna, w połączeniu z innymi metodami, w badaniach wód młodych i współczesnych. Rozwój spektrometrii masowej umożliwił przeprowadzenie dokładnych oznaczeń składu izotopowego tlenu i wodoru wchodzących w skład cząstek wody. Stosunki izotopów trwałych tlenu i wodoru w cząsteczkach wody wyrażane są jako względne odchyłki od wzorca o składzie izotopowym zbliżonym do składu wody oceanicznej i podawane w % odpowiednio jako $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$. Składy izotopowe niektórych typowych wód występujących na obszarze Polski na tle światowej linii opadów, zwanej też linią Craiga, pokazano na fig. 10.1. Szczegółowy opis wykorzystania metody stabilnych izotopów tlenu i wodoru można uzyskać w publikacjach Dowgiałły (1970, 1973), Polańskiego (1979), Gata i Gonfiantiniego (1981), Zuber a (2007b) i innych.

Tryt

Stężenie trytu w wodach określa się poprzez jednostkę trytową TU (*Tritium Unit*). Jedna jednostka trytowa jest zdefiniowana jako jeden atom trytu

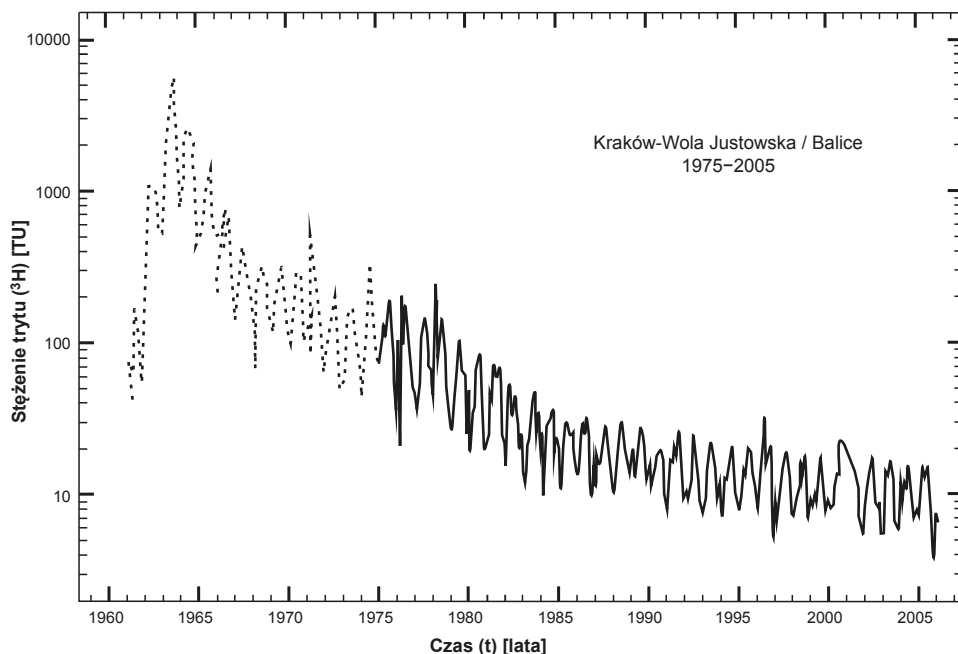


Fig. 10.2. Zmiany stężenia trytu w zależności od czasu w okresie 1960–2006 w opadach miesięcznych na terenie Krakowa (na podst. Zuber, 2007b, z mod. autorów)

Linia przerywana przedstawia zrekonstruowane stężenie trytu w okresie 1960–1974 wg korelacji z danymi z Wiednia (na podst. Dulińskiego i in., 2001)

^3H na 10^{18} atomów izotopu wodoru ^1H . Do oceny „wieku” wody podziemnej stosowany jest także wskaźnik trytowy TR (*Tritium Ratio*). Obecność trytu w wodach podziemnych badano dopiero po 1951 r. Do 1952 r. stężenie trytu w atmosferze (w wodach opadowych) wahało się od 1 do 10 TU w zależności od szerokości geograficznej (Zuber, 1984; Duliński i in., 2001), natomiast wzrosło w latach 60. XX w. do kilku tysięcy TU na półkuli północnej w następstwie prób termojądrowych w atmosferze. Był to tzw. „tryt bombowy”. Od tego czasu następuje powolny spadek stężenia trytu w opadach i wynosi obecnie około 6–16 TU (wartość średnia roczna). Czas półtrwania trytu wynosi 12,4 lat, a zasięg czasowy badanych próbek wody nie przekracza 50–60 lat.

Zmiany stężeń trytu w opadach atmosferycznych na terenie Krakowa przedstawiono na fig. 10.2. Zastosowanie tego izotopu pozwala na oszacowanie „wieku” najmłodszych wód podziemnych, które infiltrowały w latach 60. XX w. Kilkuetnie obserwacje stężenia trytu w wodzie z danego ujęcia pozwa-

lają na zastosowanie prostych modeli do interpretacji ilościowej mieszania się wód i w celu określenia średniego „wieku” wody. Pojedynczy pomiar jest mało wiarygodny, gdyż może być obarczony błędem.

Radiowęgiel

Radiowęgiel przedostaje się do wód gruntowych głównie poprzez rośliny wydzielające CO_2 w strefie korzeniowej i przez rozkład substancji organicznych zawartych w glebie. Po wnikięciu do ośrodka skalnego woda traci kontakt z glebą i nie jest zasilana nowymi porcjami radiowęgla. W konsekwencji ilość ^{14}C w wodorowęglanach wód podziemnych stopniowo zanika. Zanik ten jest miarą czasu jaki upłynął od początku infiltracji wody z warstwy glebowej do systemu wodonośnego, czyli jest miarą „wieku” wód podziemnych (Polański, 1979).

Określenie „wieku” wód metodą radiowęglową jest obarczone błędem (Clark, Fritz 1997; Nowicki, 1999; Zuber, 2007b), głównie ze względu na trudności w określaniu początkowego stężenia (C_0) izotopu ^{14}C .

Zagadnieniem ustalenia wartości stężenia początkowego C_0 i wprowadzenia korekt do ogólnego równania opisującego prawo rozpadu promieniotwórczego zajmowało się wielu badaczy, na przykład Zuber (1986), Róžański (1987), Nowicki (1999) i inni. Metoda radiowęglowa daje zadowalające rezultaty w skałach niewęglanowych, natomiast w skałach węglanowych obserwuje się zazwyczaj zbyt duże wartości „wieku” wód (Zuber i in., 2004). Metoda ^{14}C całkowicie zawodzi w spełnianych i skrasowiałych skałach węglanowych, które charakteryzują się znaczną mikroporowatością (zwłaszcza wapienie, kreda i margle). Ponadto między izotopami węgla w wodach i w matrycy skały węglanowej zachodzi sorpcja i wymiana izotopów, prowadząca do redukcji ^{14}C w wodach podziemnych. Innym ograniczeniem metody radiowęglowej jest obecność „martwego” CO_2 , tzn. dwutlenku węgla pochodzącego z głębi ziemi i nie zawierającego ^{14}C (np. w szczawach). Pomimo zastrzeżeń i ograniczeń, oznaczenia „wieku” wód metodą radiowęglową dostarczają cennych danych (głównie dla wód infiltrujących w holocenie lub w późnym glacie). Metodę radiowęglową najlepiej stosować razem z innymi metodami izotopowymi. Warto także podkreślić, że Zuberem (1986), że często brak radiowęglu jest też cenną informacją, gdyż wskazuje na przedholocenijski „wiek” wody, mimo że skład izotopowy ($\delta^{18}\text{O}$ i δD) jest identyczny ze składem wód infiltrujących w holocenie. Przy zastosowaniu bardziej zaawansowanych metod obliczeniowych, na przykład programów NETPATH lub PHREEQC (Kemp i in., 2000; Plummer, Sprinkle, 2001), uwzględniających chemię węglanów, można znacznie skorygować uzyskane wyniki z badań izotopów.

Gazy szlachetne

Do określenia genezy wód podziemnych stosowane są także oznaczenia gazów szlachetnych (Zuber i in., 2004; Mochalski i in., 2007). W ostatnich latach w Polsce coraz powszechniej są stosowane metody oparte na pomiarze stężenia rozpuszczonych gazów szlachetnych w wodzie (Ciężkowski i in., 1992; Zuber i in., 1995, 2000, 2004, 2005; Krawiec i in., 2000; Jakóbczyk-Karpierz, Kowalczyk, 2012; Krawiec, 2013). Metody interpretacji składu gazów szlachetnych pozwalają na ocenę:

- temperatury na obszarze alimentacji w czasie infiltracji wód przez określenie stężeń Ar, Xe i Kr;
- „wieku” wód ze stężeń ^4He , ^{40}Ar i ^{21}Ne ;
- pochodzenia He ze stosunku $^3\text{He}/^4\text{He}$.

Z wymienionych metod najbardziej wiarygodne są obliczenia temperatury infiltrującej wody „wieku helowego” i pochodzenia helu, pod warunkiem pobrania reprezentatywnych próbek, co nie jest jednoznaczne dla wód zawierających nadmiar stężenia innych gazów, prowadzących do rozdzielania faz w otworze wiertniczym lub na wypływie. Do obliczenia temperatury niezbędne jest wprowadzenie poprawki na wysokość obszaru zasilania nad poziom morza, która oczywiście nie jest znana dla czwartorzędu, a tym bardziej dla wcześniejszych okresów (Zuber i in., 1995). Opis produkcji, uwalniania i migracji gazów szlachetnych w skorupie ziemskiej można znaleźć na przykład w pracach następujących autorów: Weise i Moser (1987), Stute i Schlosser (1993), Ballentine i Burnard (2002), oraz Zuber (2007a, b).

Stężenia Ne, Ar, Kr i Xe w wodach podziemnych zależą nie tylko od równowagi z atmosferą dla danej temperatury i ciśnienia, ale także od tzw. nadmiaru rozpuszczonego powietrza, przy czym stężenia poszczególnych gazów maleją w zróżnicowanym stopniu ze wzrostem temperatury (Mazor, 1972; Stute, Schlosser, 1993; Kipfer i in., 2002). Nadmiar rozpuszczonego powietrza jest obliczany z pomocą stężenia neonu, który wykazuje bardzo słabą zależność rozpuszczalności od temperatury (Zuber, 2007b). Dzięki różnym zależnościom rozpuszczalności gazów w funkcji temperatury wody, pomiar stężenia więcej niż jednego gazu umożliwia określanie temperatury w strefie zwierciadła wód podziemnych w przeszłości w obszarze zasilania (NGT). Pozyskane wartości NGT pomagają określić „wiek” wody w rozumieniu zmian klimatu, w jakim badana woda była zasilana na wejściu do systemu wodonośnego (Zuber, 2007b).

Rozpuszczalność ciężkich gazów szlachetnych (argon, krypton, ksenon) w wodzie zależy również od jej temperatury. Atmosferyczne gazy szlachetne rozpuszczone w wodach podziemnych w procesie infiltracji zawierają informację o temperaturze panującej w stropie warstwy wodonośnej

Tab. 10.2. Zalecane metody określania pochodzenia i „wieku” wód leczniczych, położenia obszarów zasilania ujęć oraz związku wód leczniczych z wodami powierzchniowymi

Struktura hydro-geologiczna	Charakter zasobów	Geneza wód	Znacznik	Ograniczenia metody
SA – otwarta, SB – półotwarta	odnawialne	wody infiltracji współczesnej (holoceńskiej)	^3H	zasilanie po 1952 r.
			SF_6	zasilanie od lat 50. XX w., obecność CO_2 , H_2S , CH_4
			^{18}O	–
			^2H	–
			^{14}C	obecność CO_2 i CH_4 , skały węglanowe i zawierające dużo minerałów węglanowych
		wody infiltracji plejstoceńskiej	^{18}O	–
			^2H	–
			gazy szlachetne	obecność CO_2 , nadmiar rozpuszczonego powietrza, ascenzja wód zasolonych ze strefy aktywnej wymiany
SC – półzakryta	słabo odnawialne	wody paleoinfiltracyjne, wody paleoinfiltracyjno- infiltracyjne (mieszane)	^3H	zasilanie po 1952 r.
			SF_6	zasilanie od lat 50. XX w., obecność CO_2 , H_2S , CH_4
			^{18}O	–
			^2H	–
			^{14}C	obecność CO_2 i CH_4 , skały węglanowe i zawierające dużo minerałów węglanowych
			gazy szlachetne	obecność CO_2 , nadmiar rozpuszczonego powietrza, ascenzja wód zasolonych ze strefy aktywnej wymiany
SD – zakryta	nieodnawialne	wody paleoinfiltracyjne, wody synsedymencyjne, wody dehydracyjne	^{18}O	–
			^2H	–
			gazy szlachetne	obecność CO_2 , ascenzja wód zasolonych ze strefy aktywnej wymiany

o swobodnym zwierciadle wód, która najczęściej odpowiada średniej rocznej temperaturze powietrza (Różański, Zuber, 2000). Tę zasadę wykorzystano w metodzie określania paleotemperatur na podstawie analizy stężenia gazów w wodach infiltracyjnych. Określenie temperatury gazów szlachetnych wprowadził Mazar (1972), a szczegółowo opisali Stute i Schlosser (1993). Określenie „wieku” wód metodą nadmiaru ^4He przedstawili Stute i in. (1992), natomiast zastosowanie stosunku $^3\text{He}/^4\text{He}$ wprowadzili m.in. Weise i Moser (1987).

Temperatura gazów szlachetnych jest wykorzystywana do uzyskiwania informacji paleoklimatycznych lub do potwierdzenia przedholoceńskiego czy przedplejstoceńskiego pochodzenia wód datowanych innymi metodami. W tym znaczeniu można uważać, że wartości NGT pomagają określić „wiek” wody w rozumieniu klimatu, w jakim zachodziło zasilanie badanej wody. Niskie temperatury zasilania wyliczane ze stężenia gazów szlachetnych w wodach podziemnych są uważane za istotny parametr identyfikacyjny wód zasilanych w innych klimatach niż klimat współczesny (w tym wód infiltracji glacialnej).

Nadmiarowe stężenia ^4He i ^{40}Ar pozwalają w sprzyjających warunkach określić „wiek” wód lub przynajmniej jakościowo odróżniać w danym systemie wody starsze od młodszych (Różański, Zuber, 2000).

Metoda helowa wykorzystuje wzrost stężenia ^4He w wodach podziemnych, w wyniku naturalnego rozpadu promieniotwórczego niektórych pierwiastków szeregów uranowych i torowego. Metoda ta pozwala określić „wiek” wody przy założeniu, że nadmiar ^4He w wodach podziemnych może być wywołany jego dyfuzyjnym uwalnianiem i/lub wytworzeniem *in situ* w matrycy skalnej ośrodka wodonośnego (Zuber, 2007b). Należy pamiętać, że nadmiar ^4He może wynikać z dopływu tego izotopu z głębszych warstw geologicznych, z wód znacznie starszych, o wysokich zawartościach ^4He (Zuber i in., 1995, 2000, 2007a; Solomon i in., 1996; Castro i in., 2000).

10.3. BADANIA MIKROBIOLOGICZNE

Arkadiusz Krawiec, Maciej Walczak

Wymagania mikrobiologiczne, jakie musi spełniać woda przeznaczona do spożycia przez ludzi, są zawarte w rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. Jakość wody jest szczególnie istotna w odniesieniu do wód leczniczych, które są przeznaczone do kuracji pitnych, udostępniane do picia na terenie uzdrowisk czy też są butelkowane. Wówczas oznaczenia fizykochemiczne, organoleptyczne oraz bakteriologiczne powinny być wykonywane regularnie. Badania mikrobiologiczne wykonywane w wodach leczniczych i termalnych na terenie Polski wykazały powszechne występowanie mikroorganizmów (Topińska-Luchter, 1951; Gierwielanec, 1968; Ciężkowski i in., 1999; Walczak, Krawiec, 2014; Walczak i in., 2017; Walczak, Rajchel, 2019).

Życie pod powierzchnią terenu rozciąga się znacznie głębiej niż przypuszczano jeszcze 30–40 lat temu. Głęboko pod powierzchnią Ziemi, często w ekstremalnych warunkach (wysokie ciśnienie, temperatura czy mineralizacja wód) żyją mikroorganizmy (Sand, 2003; Sass, Cypionka, 2004). Uważa się, że około 75–94% organizmów prokariotycznych zasiedlających Ziemię występuje głęboko pod jej powierzchnią. Nowsze badania wskazują także, że biomasa organi-

zmów występujących pod powierzchnią Ziemi znacznie przekracza tę znaną z powierzchni (Adhikari, Kallmeyer, 2010). Mikroorganizmy występujące pod powierzchnią ziemi są często w pełni aktywne i wpływają na kierunek oraz tempo przemian geologicznych. Mikroorganizmy zasiedlają wody głębinowe, nawet te izolowane wieloma warstwami nieprzepuszczalnymi, które nie biorą aktywnego udziału w obiegu wód (strefa utrudnionej wymiany).

Badania mikroorganizmów zasiedlających wnętrze Ziemi należą do trudnych i kosztownych. Po raz pierwszy na świecie tego typu badania były przeprowadzone na terenie Polski i dotyczyły mikroorganizmów występujących w solankach kopalni Wieliczka (Namysłowski, 1913). Wówczas po raz pierwszy wykazano, że w solankach mogą normalnie rozwijać się bakterie. Dotychczasowe badania mikroorganizmów wód głębinowych były prowadzone głównie na obszarze Skandynawii, Islandii, Nowej Zelandii, USA, a także Niemiec. Wśród najczęściej wymienianych grup mikroorganizmów dominują bakterie redukujące siarczany oraz żelazo Fe^{+3} , a także mikroorganizmy metanogenne. Badania filogenetyczne tych mikroorganizmów należały do nielicznych. W większości wód głębinowych występują bakterie tlenowe lub fakultatywnie beztlenowe zarówno Gram dodatnie, jak i Gram ujemne. W grupie bakterii Gram dodatnich dominują te należące do gromady Firmicutes, klasa Bacilli oraz Clostridia, gdzie należą zarówno laseczki, jak i ziarniaki (z rodzaju *Salinococcus*, *Nesterenkonia*). Wśród bakterii Gram ujemnych dominują proteobakterie, klasa Gammaproteobacteria, rodzina Halomonadaceae (Wolicka, 2007; De la Haba i in., 2011; Schneckert, 2012). Wyniki prowadzonych prac wskazują, że ogólna liczba mikroorganizmów, oznaczana metodą bezpośredniego liczenia pod mikroskopem, na ogół zawiera się w tych wodach w przedziale od $3,0 \cdot 10^4$ do $70 \cdot 10^4$ komórek/ml. Natomiast liczebność mikroorganizmów zdolnych do wzrostu na pożywkach hodowlanych jest już bardzo różna i zależna tak od rodzaju i składu chemicznego wody, jak i, a może przede wszystkim, od zastosowanych procedur i technik hodowlanych (Walczak, Krawiec, 2014).

Szczątkowa jest wiedza dotycząca wpływu składu chemicznego roztworów na skład biocenozy mikroorganizmów czy udziału mikroorganizmów w katalizowaniu procesów biogeochemicznych, a tym

samym wywieraniu wpływu na skład chemiczny wód podziemnych. Powszechniejsze wykonanie badań z zakresu geomikrobiologii oraz różnorodności i udziału mikroorganizmów w przekształceniach chemicznych zachodzących w wodach leczniczych i termalnych w znaczny sposób może poszerzyć obecny stan wiedzy mikrobiologicznej i hydrogeologicznej. Badania mikrobiologiczne także mogą przyczynić się do wskazania pochodzenia niektórych składników występujących w wodach podziemnych, na przykład oznaczenie bioróżnorodności bakterii uczestniczących w przemianach związków siarki czy żelaza. Mikroorganizmy te często są w pełni aktywne i wpływają na kierunek oraz tempo przemian geologicznych. Z obszaru Polski badania z zakresu geomikrobiologii wód są ubogie. Dotychczas przeprowadzono je na szerszą skalę w nielicznych ujęciach wód leczniczych i termalnych (Rajchel i in., 2002; Guśpiel, 2007; Łebkowska, Karwowska, 2010; Walczak i in., 2011; Żbikowska i in., 2013; Walczak, Krawiec, 2014; Walczak i in., 2017; Krawiec i in., 2018; Deja-Sikora i in., 2019; Walczak, Rajchel, 2019; Kalwasińska i in., 2020).

W próbkach wód leczniczych wykonuje się standardowe badania wynikające z oceny wody pod względem sanitarnym, zgodnie z zapisami Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 13 kwietnia 2006 r. w sprawie zakresu badań niezbędnych do ustalenia właściwości leczniczych naturalnych surowców leczniczych i właściwości leczniczych klimatu, kryteriów ich oceny oraz wzoru świadectwa potwierdzającego te właściwości:

- bakterie grupy coli w 250 ml;
- bakterie coli typu kałowego (*Escherichia coli*) w 250 ml;
- *Pseudomonas aeruginosa* w 250 ml;
- enterokoki w 250 ml (*Streptococcus fecalis*);
- Clostridia redukujące siarczyny w 50 ml (*Clostridium perfringens*);
- ogólna liczba bakterii wyhodowanych na agarze w 22°C po 74 h w 1 ml;
- ogólna liczba bakterii wyhodowanych na agarze w 37°C po 24 h w 1 ml.

Poza nimi warto przeprowadzić takie analizy jak:

- żywotność komórek mikroorganizmów;
- liczebność tlenowych i beztlenowych bakterii heterotroficznych oraz bakterii chemo-autotroficznych;

- występowanie i liczebność bakterii utleniających Fe^{+2} oraz bakterii redukujących siarczany (Walczak, Krawiec, 2014; Krawiec i in., 2018).

Ogólną liczbę mikroorganizmów oznacza się metodą bezpośredniego liczenia pod mikroskopem epifluorescencyjnym. W tym celu określoną objętość wody filtruje się przez filtr membranowy o średnicy porów 0,22 μm . Zatrzymane na powierzchni filtra komórki mikroorganizmów wybarwia się roztworem oranżu akrydyny, a następnie zlicza się je pod mikroskopem epifluorescencyjnym.

Żywotność komórek mikroorganizmów w próbkach wody oznacza się metodą barwienia Live/Dead (Invitrogen). Po przesączeniu próbki wody przez poliwęglanowy filtr membranowy o średnicy porów 0,22 μm zatrzymane na powierzchni filtra komórki mikroorganizmów wybarwia się. Analizę mikroskopową wykonuje się tak jak w przypadku ogólnej liczby mikroorganizmów. Komórki żywe – z integralną błoną komórkową – barwią się na kolor zielony, a martwe (z uszkodzoną błoną komórkową) – na kolor czerwony lub pomarańczowy.

Występowanie i liczebność bakterii utleniających Fe^{+2} oznaczać można metodą najbardziej prawdopodobnej liczby (NPL). Inkubację prowadzi się w temperaturze analogicznej do temperatury wody źródła przez 20 dni. Za wynik dodatni badania przyjmowano wystąpienie rdzawego zabarwienia pożywki, co świadczy o utlenieniu żelaza Fe^{+2} do żelaza Fe^{+3} . Także metodą NPL można oznaczyć występowanie i liczebność bakterii redukujących siarczany. Za wynik dodatni badania przyjmuje się wystąpienie czarnego zabarwienia pożywki, co świadczy o zredukowaniu siarczanów i siarczynów do siarkowodoru, który w połączeniu z jonami żelaza daje czarny siarczek żelaza. Obie te analizy można wykonać nowocześniejszymi metodami z zastosowaniem specyficznych sond oligonukleotydowych, połączonych z barwnikiem fluorescencyjnym (metoda fluorescencyjnej hybrydyzacji *in situ* – FISH, *Fluorescence in situ hybridization*). Metoda ta nie wymaga hodowli i jest znacznie czulsza, co pozwala na oznaczenie nawet pojedynczych komórek lub komórek nieaktywnych. Jest ona jednak znacznie droższa i trudniejsza i raczej nie jest stosowana rutynowo.

Metody mikrobiologiczne pozwalają także na oznaczenie liczebności tlenowych i beztlenowych

bakterii heterotroficznych czy też bakterii chemoautotroficznych. Stosuje się wówczas metodę wysiewu lanego przy użyciu odpowiednich pożywek. Najnowsze metody badawcze pozwalają także na sekwencjonowanie i analizę bakteryjnych genów, na przykład 16S rRNA, co pozwala na zidentyfikowanie grup mikroorganizmów zaangażowanych w transformację różnych związków chemicznych.

Przy dokumentowaniu zasobów ujęć wód leczniczych powinno się wykonywać możliwie szeroki zakres badań mikrobiologicznych, bowiem uzyskane wyniki mogą mieć znaczenie dla ich leczniczego charakteru. Badania wód podziemnych pod kątem mikrobiologicznym mają istotne znaczenie dla poszerzenia wiedzy na temat drobnoustrojów zasiedlających dane środowisko oraz pozwalają zrozumieć zachodzące procesy geomikrobiologiczne. I tak na przykład wykrycie w wodach siarczkowych rejonu Buska-Zdroju całych grup bakterii odpowiedzialnych za redukcję i utlenianie siarki pozwala wnioskować, że aktywność metaboliczna tych mikroorganizmów, przynajmniej w części odpowiada za utrzymanie odpowiedniej puli zredukowanych form siarki i tym samym zachowanie leczniczego charakteru wód (Krawiec i in., 2018; Deja-Sikora i in., 2019).

Stałe monitorowanie składu zbiorowisk bakteryjnych pozwala uchwycić zmiany w bioróżnorodności mikrobiomu, które w przyszłości mogłyby doprowadzić do niekorzystnych zmian we właściwościach wód leczniczych lub nawet do wykluczenia ich w balneoterapii. Obecnie coraz częściej wykonuje się także badania bioróżnorodności zbiorowisk bakteryjnych zasiedlających wody głębinowe metodą sekwencjonowania następnej generacji (NGS, ang. *Next generation sequencing*). W tym celu izoluje się całe DNA z próbki (DNA metagenomowe), a następnie amplifikuje wszystkie geny 16S rRNA. Dalej dokonuje się sekwencjonowania nukleotydów w zamlifikowanych genach i ustala na tej podstawie przynależność taksonomiczną występujących w próbce mikroorganizmów. Metoda ta pozwala na oznaczenie występowania w próbce mikroorganizmów hodowlanych i niehodowlanych oraz tych, które występują w bardzo niskich liczebnościach. Dzięki temu można poznać pełen skład taksonomiczny mikroorganizmów i następnie pośrednio wnioskować o kierunkach przemian biochemicznych. Niewątpliwie obecnie jest to najlepsza metoda do poznania składu mikrobiologicznego danego środowiska i wnioskowania, jakie przemiany związków chemicznych są katalizowane przez mikroorganizmy.

11. WYZNACZANIE OBSZARU GÓRNICZEGO I TERENU GÓRNICZEGO DLA ŻŁÓŻ WÓD LECZNICZYCH

Jakub Sokołowski

Wody lecznicze nie podlegają przepisom ustawy PW i nie ma obowiązku wyznaczania dla nich stref ochronnych, których rolę mają spełniać obszary i tereny górnicze. Zgodnie z obowiązującymi przepisami, propozycję granic obszaru i terenu górniczego powinna zawierać dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęcia wód podziemnych. Brak jest jednak formalnie przyjętych zasad (przepisów wykonawczych), które określałyby sposób ich wyznaczania, a także jasno sformułowanych wymagań, które należy spełnić w celu ochrony ujęć i złóż wód leczniczych. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej mówi tylko, że granice te należy wyznaczyć z uwzględnieniem warunków hydrodynamicznych. Dlatego też w 2011 r. opracowano poradnik metodyczny (Ciężkowski, Kapuściński, 2011), w którym zaproponowano metodykę wyznaczania obszarów i terenów górniczych dla złóż wód leczniczych, termalnych i solanek, uwzględniającą specyfikę wód podziemnych jako szczególnego rodzaju kopaliny. Zalecenia te, jak również wcześniejsze próby uporządkowania omawianego zagadnienia (Sadurski, Sokołowski, 2002) nie mają charakteru obowiązujących wytycznych i mogą być stosowane jedynie dobrowolnie, jednak powinny stanowić dobrą praktykę przy wyznaczaniu granic obszarów i terenów górniczych.

Pierwsze obszary górnicze dla złóż wód leczniczych formalnie utworzono w 1965 r. na mocy Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 30 listopada

1965 r. w sprawie obszarów górniczych (Dz.U. 1965 nr 54 poz. 332), choć ich namiastka istniała już znacznie wcześniej, początkowo jako okręgi ochrony, później okręgi ochrony górniczej. Dla pozostałych kopalin obszary te funkcjonowały już od 1954 r., a dla solanek – od 1959 r. W wyniku zmian prawnych w 1965 r. dotychczasowe okręgi ochrony górniczej uznano za obszary górnicze, a dla nowych złóż wprowadzono wymóg ich wyznaczenia. W latach 60. i 70. ubiegłego stulecia granice obszarów górniczych według nowych zasad wyznaczono jedynie dla niektórych uzdrowisk, w sporządzonych dla nich operatach obszarów górniczych. Dla pozostałych miejscowości przyjęto granice okręgów ochrony górniczej bez weryfikacji zasadności ich wyznaczenia w takim, a nie innym kształcie, często bez merytorycznego uzasadnienia przebiegu granic, z pominięciem aktualnego stanu wiedzy na temat warunków hydrogeologicznych danego złoża. Dodatkowo dokumentacje dotyczące okręgów ochrony górniczej przekształconych w obszary górnicze nie zachowały się w większości przypadków, stąd brak jest obecnie wskazań uzasadniających wielkość i przebieg większości starszych obszarów górniczych. Z biegiem lat propozycje granic obszarów górniczych, wraz z merytorycznym uzasadnieniem, przedstawiano już w dokumentacjach hydrogeologicznych zasobów eksploatacyjnych ujęć, jednak stosowano w tym celu różnorodne kryteria, głównie geologiczne i morfologiczne (powierzchnia zlewni hydrologicz-

nej). W przypadku braku merytorycznego uzasadnienia przyjmowano sztuczne granice, na przykład w zadanej odległości od ujęcia, niezależnie od przebiegu struktur geologicznych, często z pominięciem obszarów nienadających się wprost do zagospodarowania, na przykład terenów zalesionych. W 1977 r. wprowadzono pojęcie terenów górniczych, a dwa lata później określono zasady tworzenia ich dla złóż wód leczniczych. Ze względu na to, że wpływ wydobywania wód leczniczych na środowisko jest niewielki lub żaden, przyjęto, że granice terenów górniczych będą się pokrywać z granicami obszarów górniczych, przy czym mogą być od nich większe lub mniejsze, jeśli jest to uzasadnione względami ochrony środowiska i zagospodarowania złoża. Sytuacja, gdy teren górniczy jest większy niż obszar górniczy, ma miejsce jedynie w sześciu przypadkach (Iwonicz-Zdrój, Kołobrzeg, Rabka-Zdrój, Sopot, Ustroń, Wieniec-Zdrój) i na ogół wiąże się ze zrzutem wód do cieków powierzchniowych, powodującym zmiany ich stanu już poza granicami obszarów górniczych (np. Iwonicz-Zdrój).

Początkowo obszary górnicze dla złóż wód leczniczych ustanawiał Minister Zdrowia i Opieki Społecznej. Ustawa z dnia 23 grudnia 1988 r. o działalności gospodarczej (Dz.U. 1988 nr 41 poz. 324) wprowadziła obowiązek uzyskania koncesji na prowadzenie działalności gospodarczej w zakresie wydobywania kopalin podlegających prawu górniczemu (nie wszystkie kopaliny podlegały wówczas temu prawu) oraz poszukiwania złóż tych kopalin. Od tego momentu granice obszaru i terenu górniczego były już określane w koncesjach, wydawanych najpierw przez ministra właściwego do spraw środowiska, a następnie (do dziś) przez marszałków województw. Zgodnie z ustawą PGI oraz Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 16 października 2014 r. w sprawie rejestru obszarów górniczych i zamkniętych podziemnych składowisk dwutlenku węgla (Dz.U. 2014 poz. 1469), ustanowione obszary górnicze podlegają wpisowi do specjalnego rejestru. Jest on prowadzony przez PIG-PIB, a zawarte w nim dane są powszechnie dostępne i można je przeglądać na stronie internetowej www.pgi.gov.pl. Rejestr obszarów górniczych (ROG) zawiera również dane dotyczące terenów górniczych.

Dotychczas obszary górnicze, w zależności od specyfiki złóż i sposobu wydobywania wody, najczęściej wyznaczano po uwzględnieniu:

- zewnętrznego obrysu urządzeń służących do poboru i przesyłania wody (strefa drenażu);
- zasięgu oddziaływania ujęcia (zasięg leja depresji);
- umownej granicy obniżenia ciśnienia (depresji), skorygowanej przebiegiem sieci hydrograficznej, na przykład wzdłuż dolin rzecznych;
- zasięgu prognozowanego leja depresji, niekiedy skorygowanego w celu uwzględnienia ochrony zasobów ujęć znajdujących się w sąsiedztwie;
- obszaru spływu wody do ujęcia lub jego części, ograniczonej izolacją zmian ciśnienia (depresji) o umownej wartości;
- obszaru zasobowego, wyznaczonego jako część obszaru spływu wody do ujęcia ograniczona izochroną 25 lat dopływu;
- zasady zapewnienia ochrony zasobów, jednak bez uzasadnienia metodycznego, na przykład jako subiektywnie wytyczony wielobok;
- sposobu zagospodarowania terenu, na przykład objęcie terenów, na których planowano w przyszłości budowę nowych ujęć wód leczniczych lub na podstawie granic sąsiednich obszarów górniczych;
- pierwotnie wyznaczonego okręgu ochrony górniczej, zmodyfikowanego na podstawie wyników nowszych badań;
- kierunku dopływu wód;
- przesłanek geologicznych i geomorfologicznych, na przykład izolacji ujętych poziomów wodonośnych i ich miąższości, w celu zabezpieczenia obszarów zasilania i kierunków dopływu wody;
- zlewni hydrologicznej i hydrogeologicznej, na ogół z wyłączeniem terenów niestanowiących zagrożenia dla złóż wód, najczęściej terenów zalesionych.

Jak widać z przytoczonego krótkiego rysu historycznego, kryteria wyznaczania i stopień uzasadnienia przebiegu granic obszarów górniczych były bardzo różnorodne z uwagi na różne, dowolne podejście do ich wyznaczania, brak jednoznacznych

wytocznych oraz ogólnie przyjętej metodyki. Wydany w 2011 r. poradnik metodyczny (Ciężkowski, Kapuściński, 2011), na podstawie którego opracowano niniejszy rozdział, porządkuje omawiane zagadnienie, wskazując zarazem właściwe podejście do wyznaczania granic obszarów górniczych w zależności od warunków hydrodynamicznych panujących w danym złożu.

Obszar górniczy

Zgodnie z definicją zawartą w ustawie PGeG, obszarem górniczym jest przestrzeń, w granicach której przedsiębiorca jest uprawniony do wydobywania kopaliny, podziemnego bezziarnikowego magazynowania substancji, podziemnego składowania odpadów, podziemnego składowania dwutlenku węgla oraz prowadzenia robót górniczych, niezbędnych do wykonywania koncesji. Ponieważ koncesja na wydobywanie wód leczniczych określa zasoby eksploatacyjne ujęć, które mogą być w ramach niej eksploatowane, a te z kolei odnoszą się wprost do jakości wód leczniczych i parametrów eksploatacyjnych (wydajność, depresja), można stwierdzić, że obszar górniczy powinien zabezpieczać złożę przed zmianą właściwości fizyczno-chemicznych wód, spowodowaną wpływem czynników zewnętrznych oraz chronić złożę przed zmianą warunków hydrodynamicznych. Mając na uwadze ochronę jakościową wód leczniczych, można obszar górniczy porównywać do stref ochronnych ujęć wód zwykłych, których zadaniem jest ograniczenie lub wyeliminowanie dopływu zanieczyszczeń z powierzchni terenu i taką też rolę dobrze spełniają wyznaczone dotychczas obszary górnicze. Dla złóż o zasobach słabo odnawialnych lub praktycznie nieodnawialnych ta funkcja obszarów górniczych nie jest aż tak istotna z uwagi na wysoką odporność ujętych poziomów na antropopresję. Drugi z wymienionych wymogów, pośrednio także wpływający na właściwości fizyczno-chemiczne wód, zabezpiecza interes koncesjodawcy. Chroni go przed wpływem wydobywania prowadzonego poza obszarem górniczym, co zapewnia odpowiednią ilość wody poprzez uniemożliwienie lokalizacji w pobliżu ujęć innych podmiotów gospodarczych, których eksploatacja mogłaby doprowadzić do uszczuplenia zasobów określonych koncesją. Zjawisko ewentualnego

współdziałania ujęć bardzo często bowiem wpływa negatywnie na stan jakościowy, co powoduje jego degradację. W większości przypadków nie zachodzi obecnie potrzeba rewizji i modyfikacji granic wszystkich starszych obszarów górniczych. Niekiedy, na przykład dla szcaw sudeckich, można rozszerzyć istniejące obszary o stwierdzone anomalie dwutlenku węgla w powietrzu glebowym (Żak i in., 2008). Dopuszcza się również ich zmniejszenie w sytuacji, gdy długoletnie wydobywanie nie wskazuje na jakiegokolwiek negatywne zmiany, a sposób zagospodarowania terenu wyklucza pojawienie się zagrożenia w przyszłości. Opisana sytuacja miała miejsce w ostatnich latach m.in. w Ciechocinku i Świnoujściu.

Podejście do wyznaczania obszarów górniczych, zaproponowane przez Ciężkowskiego i Kapuścińskiego (2011), uzależnia przebieg granic przede wszystkim od stopnia odnawialności zasobów, a więc na pierwszym miejscu stawia kryterium ochrony ilościowej zasobów. Oczywiście nadal należy mieć na uwadze wiele innych czynników uwzględniających specyfikę danego złoża, na przykład sposób zagospodarowania, otoczenie, podział administracyjny. Poniżej przedstawiono podejście, które powinno być stosowane w praktyce, jednak z pominięciem szczegółowych metod obliczeniowych sporządzania prognoz hydrodynamicznych, które są podstawą wymiarowania obszarów górniczych, a które są dostępne w licznych, powszechnie dostępnych podręcznikach hydrogeologicznych i poradnikach metodycznych (Kapuściński i in., 1997; Ciężkowski i in., 2004; Dąbrowski i in., 2004; Ciężkowski, 2007).

W przypadku złóż o zasobach odnawialnych obszar górniczy powinien obejmować cały obszar zasilania ujęcia (obszar spływu wód do ujęcia) zarówno dla płytkiego, jak i głębokiego systemu krążenia, jeśli oba biorą udział w formowaniu się zasobów złoża. W praktyce oznacza to często, że obszarem górniczym należy objąć całą strukturę hydrogeologiczną, a więc teren o dużej powierzchni, czasami znacznie oddalony od strefy drenażu. Jeśli zastosowanie tej metody nie jest możliwe w praktyce lub gdy obszar zasilania nie jest znany, obszar górniczy powinien obejmować zlewnię cieków powierzchniowych przepływających w okolicy ujęć wód leczniczych. Oczywiście w obu przypadkach obszar górniczy powinien rozciągać się w górę

strumienia wód podziemnych i powinien obejmować w całości zasięg oddziaływania ujęcia, czyli lej depresji, z dodatkowym marginesem w celu zabezpieczenia przedsiębiorcy przed ewentualnym współoddziaływaniem w przyszłości nowo wybudowanych ujęć innych podmiotów gospodarczych tuż poza granicami wyznaczonego obszaru górniczego.

Obecnie wydawane koncesje na wydobywanie wód leczniczych ustanawiają obszar górniczy dla wymienionych w decyzji ujęć, stąd każda zmiana warunków wydobywania, na przykład związana z wykonaniem nowego otworu, położonego bliżej istniejącej granicy obszaru górniczego, powinna skutkować zmianą koncesji i, jeśli będzie to uzasadnione, korektą przebiegu granic obszaru górniczego. Dzięki przewidywaniu kierunku i intensywności zagospodarowania złoża w przyszłości, można z wyprzedzeniem zabezpieczyć niezbędną przestrzeń wewnątrz obszaru górniczego (fig. 11.1). Jest to niezwykle ważne w sytuacji intensywnego wydobywania, gdzie liczne obszary górnicze stykają się ze sobą i brak jest możliwości dalszej ekspansji (np. rejon Muszyny). Podane zasady należy stosować indywidualnie dla poszczególnych złóż, a decyzję o przebiegu granic obszaru górniczego powinien podjąć hydrogeolog dokumentujący na podstawie wieloczynnikowej analizy warunków hydrogeologicznych i oceny stanu zagospodarowania złoża. Nie mają tu zastosowania wzory lub modele

matematyczne, choć w niektórych, nieskomplikowanych przypadkach mogą się one okazać pomocne.

Dla złóż o zasobach słabo odnawialnych lub praktycznie nieodnawialnych obszar górniczy powinien obejmować zasięg oddziaływania ujęcia, czyli obszar leja depresji powiększony o margines bezpieczeństwa, z uwzględnieniem rozwoju leja depresji w miarę okresu wydobywania w przypadku szczyptywania zasobów statycznych (fig. 11.2). Sprawdza się tu reguła dwukrotnego powiększenia obliczonego leja depresji, zwłaszcza gdy przepływ odbywa się w ośrodku szczelinowo-porowym (przepływ systemami szczelin jest szybszy i pochodzi z większego obszaru niż wynika to z założeń obliczeniowych). Jeśli pobór wód odbywa się systemem dwuotworowym (otwór produkcyjny i chłonny) to obszar górniczy powinien obejmować nie tylko lej depresji, lecz także stożek represji w otworze chłonnym, również z zachowaniem marginesu bezpieczeństwa. Obliczony na podstawie obliczeń hydrogeologicznych obszar kołowy zaznacza się jako wielobok dostosowany do warunków zagospodarowania terenu w celu łatwiejszego naniesienia go w dokumentach planistycznych.

Dotychczasowa praktyka pokazuje, że w przypadku złóż reliktowych wód paleoinfiltracyjnych, o słabym zasilaniu współczesnym, 25-letni czas dopływu wody do ujęcia, powiększony o margines bezpieczeństwa, pokrywa się z granicami obszaru zasobowego. Dla

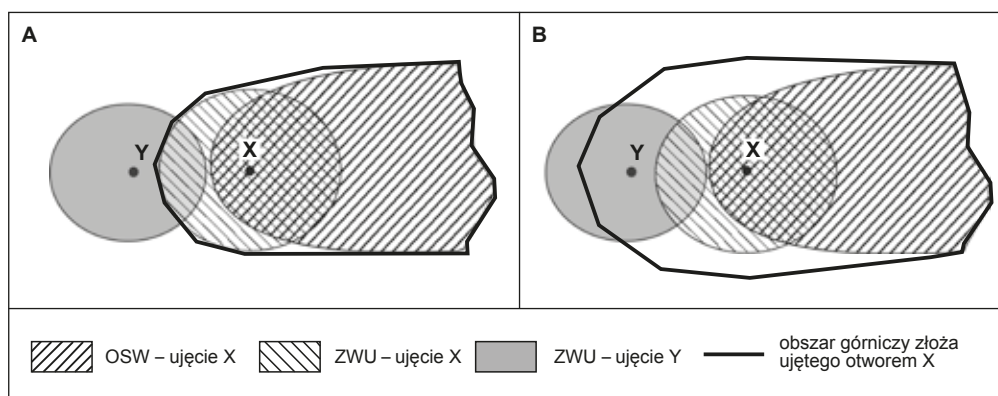


Fig. 11.1. Schemat wyznaczania obszaru górniczego dla złóż wód leczniczych o zasobach odnawialnych (na podst. Ciężkowskiego i Kapuścińskiego, 2011, z mod. autorów)

A – obszar górniczy niezabezpieczający ujęcia X przed wpływem ujęcia Y;
B – obszar górniczy zabezpieczający ujęcie X przed wpływem ujęcia Y

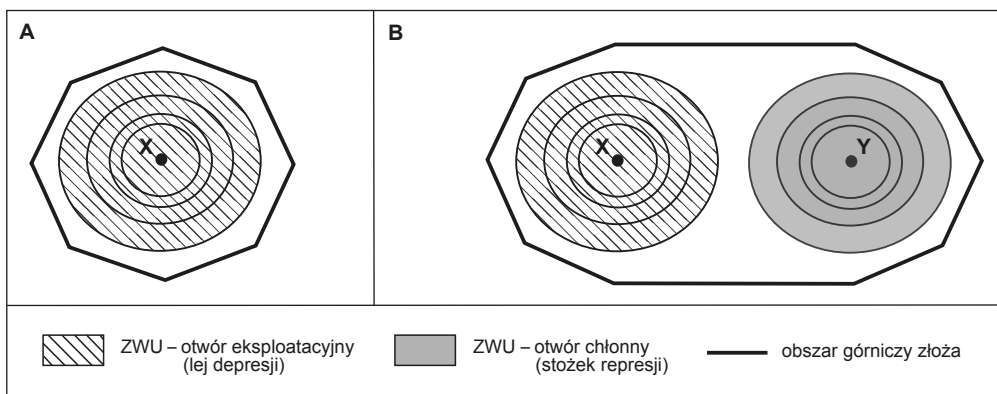


Fig. 11.2. Schemat wyznaczania obszaru górniczego dla złóż wód leczniczych o zasobach słabo odnawialnych (na podst. Ciężkowskiego i Kapuścińskiego, 2011, z mod. autorów)

A – pojedynczy otwór eksploatacyjny, B – otwór eksploatacyjny i chłonny, X – otwór eksploatacyjny, Y – otwór chłonny

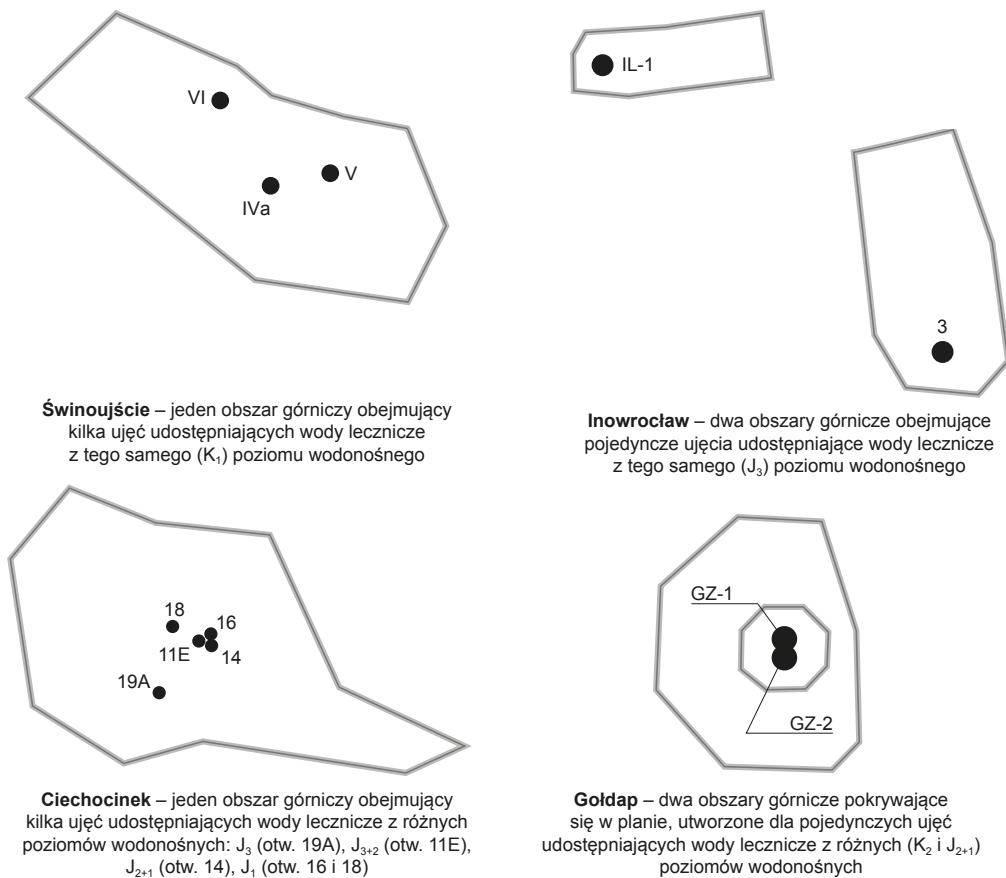


Fig. 11.3. Przykładowe sposoby wyznaczania obszarów górniczych dla złóż wód leczniczych (granice obszarów górniczych na podst. ROG)

zasobów nieodnawialnych (statycznych) przestrzeń będącą pod wpływem oddziaływania ujęcia należy dostosować do prognozowanego rozwoju leja depresji pod koniec okresu wydobycia (obowiązywania koncesji). W przypadku wód stagnujących obszar spływu wód do ujęcia, podyktowany granicami strumienia przepływających wód, nie istnieje.

Przy wyznaczaniu granic obszaru górniczego należy uwzględnić wpływ działalności górniczej prowadzonej w sąsiedztwie złoża wód leczniczych, przykładowo w Goczałkowicach-Zdroju jest to zasięg drenującego wpływu wydobycia prowadzonego przez kopalnię węgla kamiennego. Zbytne zawężenie granic obszaru górniczego wód leczniczych może spowodować nadmierne zbliżenie się oddziaływań związanych z wydobyciem węgla kamiennego, co w konsekwencji może doprowadzić do zniszczenia ujęć. Problematycznym zagadnieniem w tej sytuacji jest określenie zasięgu depresji spowodowanej przez wydobycie węgla – odwodnienia wyrobisk podziemnych. Model warunków hydrogeologicznych złoża w Goczałkowicach-Zdroju jest skomplikowany, znajomość parametrów decydujących o rozwoju zasięgu leja znikoma, a kształtowanie się powierzchni piezometrycznej w otoczeniu kopalni objęte niedostatecznym rozpoznaniem (brak długofalowych i systematycznych obserwacji).

Na zakończenie należy wspomnieć, że obszar górniczy powinien mieć też swoją granicę dolną i górną, wyznaczoną przez strop i spąg utworów wodonośnych, a także nazwę. Dotychczasowa praktyka pokazuje, że także w tym zakresie panuje duża dowolność, bowiem mamy zarówno obszary górnicze obejmujące swoim zasięgiem ujęcia, z których wydobycie jest prowadzone z różnych poziomów wodonośnych, jak i wyznaczone oddzielnie dla każdego z poziomów (fig. 11.3). Nazwa obszaru górniczego powinna nawiązywać do miejscowości (nie użytkownika), a zmianę jego granic, wynikającą na przykład z wykonania nowego otworu, powinna symbolizować kolejna cyfra rzymska.

Teren górniczy

Obowiązujący stan prawny definiuje teren górniczy jako przestrzeń objętą przewidywanymi szkodliwymi wpływami robót górniczych zakładu górniczego. Powinien on być zatem tak wyznaczony, aby zapobiegać powstawaniu szkód w środowi-

sku, w obiektach i urządzeniach w granicach terenu górniczego, przez stosowanie w terminie technicznie możliwym i gospodarczo uzasadnionym odpowiedniej profilaktyki, naprawiania i rekultywacji szkód górniczych. W przypadku wód leczniczych funkcja terenów górniczych nie jest jednak aż tak istotna, ponieważ, poza drobnymi incydentami związanymi z odprowadzaniem wód zużytych, nie zaobserwowano dotychczas szkodliwego wpływu funkcjonowania otworów ujmujących wody lecznicze na środowisko. Do szkodliwego wpływu nie zalicza się jednak obniżenia zwierciadła wody i zmiany ciśnień wód w złożu (Ciężkowski, Kapuściński, 2011), choć mogą one powodować zmiany prędkości i kierunków przepływu, a w konsekwencji doprowadzić do zmiany chemizmu i właściwości fizycznych wód.

Pierwsze wytyczne dotyczące sposobu wyznaczania terenów górniczych określało rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 czerwca 1978 r. w sprawie szczegółowych zasad ochrony terenów górniczych. Ochronna funkcja terenów górniczych miała polegać na profilaktyce inżynieryjno-budowlanej w celu ograniczenia ujemnych skutków działalności górniczej w zagospodarowaniu terenu oraz wprowadzeniu zasad ochrony złoża, umożliwiając racjonalne wydobycie kopaliny przy spełnieniu wymagań ochrony środowiska. Większość nakazów obowiązujących w granicach terenów górniczych dotyczyło się innych kopalni, lecz kilka z nich miało charakter uniwersalny i mogło być brane pod uwagę w odniesieniu do wód leczniczych. Do ważniejszych z nich należały:

- koncentracja robót górniczych i wydobycia do technicznie dostępnej i ekonomicznie uzasadnionej głębokości, jeśli pozwalają na to wymagania ochrony środowiska;
- prowadzenie wydobycia metodami ograniczającymi uciążliwości dla otoczenia;
- ochrona przed zanieczyszczeniem wód;
- rejestrowanie zmian terenu górniczego i środowiska;
- podejmowanie z wyprzedzeniem działań niezbędnych do zapewnienia środków zmierzających do wyrównania strat i szkód;
- stosowanie rekultywacji zapewniającej optymalne ukształtowanie krajobrazu, warunków

środowiska i gospodarczej przydatności terenów przekształconych;

- stosowanie metod ograniczających wielkość odkształceń powierzchni;
- ograniczenie terenów zajmowanych pod obiekty i urządzenia zakładu górniczego (koncentracja na małej powierzchni);
- przeciwdziałanie szkodliwym wpływom na środowisko w postaci hałasu, wibracji, wydzielania gazów szkodliwych dla zdrowia, zanieczyszczania wód i gruntów.

Powyższe zadania ochronne ustalano w tzw. programach ochrony terenów górniczych. Ich zawartość określało wspomniane już rozporządzenie z 1978 r. W ogólnym zarysie zawierały one prognozę wpływu działalności górniczej na przeobrażenia środowiska terenu górniczego oraz określały kierunki przeciwdziałania i usuwania skutków działalności górniczej. Zasady sporządzania programów ochrony terenów górniczych opracowano w Wyższym Urzędzie Górniczym (WUG) w Katowicach w 1985 r. Wymóg opracowywania programów zniesiono w 1994 r. nową ustawą PGiG.

Obecnie, przy braku wpływu wydobywania na środowisko, przyjmuje się, że granice terenów górniczych dla złóż wód leczniczych mogą pokrywać się z granicami obszarów górniczych (Ciężkowski, Kapuściński, 2011), choć, jak już wspomniano, mogą być od nich większe, jeśli szkodliwy wpływ wykracza poza obszar górniczy. Za szkodliwe wpływy należy uważać nie tylko roboty górnicze, ale zmiany hydrodynamiczne i hydrochemiczne, lub mniejsze, jeśli obszar górniczy obejmuje odległe strefy zasilania lub został wyznaczony z uwzględnieniem miejsca pod przyszłe wydobywanie. Szkodliwy wpływ może wystąpić jedynie w części obszaru górniczego.

Mapa obszaru i terenu górniczego

Rozporządzenie w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej wymaga, by proponowane granice obszaru i terenu górniczego zaznaczyć jedynie na planie lub mapie hydrogeologicznej, sporządzonej na podstawie map topograficznych (na podkładzie sytuacyjno-wysokościowym pozyskanym z państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego), obok takich elementów jak: lokalizacja dokumen-

townego ujęcia, granice stref ochronnych A, B i C uzdrowisk (jeśli występują), kierunek przepływu wód podziemnych, granica obszaru spływu wody do ujęcia, zasięg oddziaływania ujęcia i granica obszaru zasobowego. Należy mieć na względzie, że jest to tylko propozycja granic. Szczegółowe granice zaznacza się na mapach górniczych, stanowiących załącznik do PZZ oraz na mapie stanowiącej załącznik do wniosku o wydanie koncesji na wydobywanie wód. Mapa ta stanowi podstawę do wyznaczenia granic obszaru i terenu górniczego przez organ koncesyjny. Jest także niezbędna do wprowadzenia konturów obszaru i terenu górniczego w ROG.

Ustawa PGiG, ani poszczególne rozporządzenia, nie precyzują co powinna zawierać mapa przedstawiająca granice obszaru i terenu górniczego zamieszczana w dokumentacjach hydrogeologicznych, stąd często różnią się one od siebie w poszczególnych opracowaniach, na ogół sposobem opisu granic. Zaleca się, aby mapa obszaru i terenu górniczego zawierała, w skali zapewniającej dokładność i czytelność:

- oznaczenie wnioskodawcy, jego siedzibę i adres;
- granice projektowanego obszaru i terenu górniczego oraz istniejących obszarów i terenów górniczych wraz z podaniem ich nazw;
- wykaz współrzędnych punktów załamania granic projektowanego obszaru i terenu górniczego, określonych w obowiązującym systemie odniesień przestrzennych;
- powierzchnię projektowanego obszaru i terenu górniczego w m^2 z dokładnością do $1 m^2$ (z geodezyjnych programów obliczeniowych lub programów ArcGIS, AutoCad, i innych);
- ujęcia wód zaliczonych do kopalin w granicach obszaru i terenu górniczego i w okolicy (do około 200 m);
- piezometry;
- otwory nieużytkowane przeznaczone do likwidacji;
- otwory chłonne;
- ujęcia wód zwykłych;
- strefy ochronne ujęć wód zwykłych (jeśli zachodzi zjawisko współwystępowania);
- wycinek mapy przeglądowej w skali 1:100 000 o powierzchni $100 km^2$ (10×10 km) z zaznaczo-

- nymi miejscami (granicami) obszaru i terenu górniczego;
- dane administracyjne obszaru i terenu górniczego;
- inne objaśnienia, przede wszystkim dotyczące hydrodynamiki wód podziemnych (np. kierunek przepływu wód podziemnych, granica obszaru spływu wody do ujęcia, zasięg oddziaływania ujęć, granice obszarów zasobowych);
- opis siatki układu współrzędnych (lewego dolnego narożnika) z dokładnością 1 m (w układzie geograficznym do trzech miejsc po przecinku dla sekund).

12. ZMIANY WARTOŚCI PARAMETRÓW FIZYCZNO-CHEMICZNYCH WÓD LECZNICZYCH I ICH PROGNOZOWANIE

Agnieszka Felter, Andrzej Sadurski, Jakub Sokołowski

Zmiany wartości parametrów fizyczno-chemicznych w czasie są typowe dla wód leczniczych, podobnie jak w przypadku pozostałych wód podziemnych. Cecha ta została uwzględniona w definicji wody leczniczej, podanej w ustawie PGiG, zgodnie z którą woda lecznicza oprócz odpowiednio wysokiej zawartości co najmniej jednego z czynnych farmakodynamicznie składników swoistych oraz braku zanieczyszczeń chemicznych i mikrobiologicznych, powinna charakteryzować się naturalną zmiennością właściwości fizyczno-chemicznych. Badania wykazały tymczasem (Ciężkowski i in., 2007), że wody lecznicze charakteryzują się dużym zakresem wahań właściwości fizycznych i składu chemicznego, nawet te wydobywane w sposób naturalny samowypływem. W przypadku składników swoistych i mineralizacji ogólnej wielkość tych wahań sięga do 100%, a dla jonów głównych do około 70%. Jako miarę zmienności przyjęto udział podwójnego odchylenia standardowego od wartości średniej (Ciężkowski i in., 2007). Naturalna zmienność parametrów fizyczno-chemicznych wód leczniczych jest wynikiem dynamiki procesów hydrogeochemicznych zachodzących w złożu – mieszania się wód o różnej genezie, mineralizacji ogólnej i odmiennym składzie chemicznym, pochodzących z różnych systemów krążenia, a także oddziaływania wody z ośrodkiem skalnym, w którym następują procesy rozpuszczania, nukleacji, sorpcji i wymiany jonowej (Kozłowski, 1997; Kiełczawa, 2001a; Ciężkowski, 2002; Rajchel, 2012, 2013; Ciężkowski i in., 2016b). Źródła i płytsze ujęcia może cechować również

zmienność o charakterze sezonowym, stwierdzona m.in. w Dusznikach-Zdroju, Krzeszowicach, Szczawnicy i Szczawnie-Zdroju. Szczególnie złożone warunki formowania się chemizmu oraz zasobów są właściwe dla szczaw, z uwagi na udział składnika gazowego. Na naturalne procesy formowania się składu chemicznego wód oraz wielkości ich zasobów nakładają się zmiany wynikające z szeroko rozumianej antropresji oraz szczególnych zjawisk geogenicznych (rozdz. 4). Ich skutki mogą wpłynąć w sposób trwały lub okresowy na parametry fizyczno-chemiczne wód i ich ilość, prowadząc w skrajnych przypadkach do utraty właściwości leczniczych lub zaniku wód. Już samo ujmowanie wód za pomocą otworów wiertniczych oraz ich wydobywanie, szczególnie prowadzone w warunkach dopływu wymuszonego, powoduje naruszenie naturalnych warunków hydrodynamicznych i hydrochemicznych w złożu. Ustalenie warunków zasilania oraz dopływu wody do nowego ujęcia, a co za tym idzie ustalenie parametrów fizyczno-chemicznych wody leczniczej, jest w przypadku wielokomponentowych wód mieszanych, w tym szczaw, procesem długotrwałym, a bywa również niemożliwe do uzyskania, jak to ma miejsce w ujęciu Franciszek w Wysowej-Zdroju (fig. 12.1). Zakres zmienności właściwości fizyczno-chemicznych wód jest ściśle związany z wielkością wydobycia, dlatego też zalecana jest eksploatacja ujęć wód leczniczych ze stałą wydajnością.

Wyniki badań hydrodynamicznych oraz analiz fizyczno-chemicznych wód pozwalają na udoku-

mentowanie zasobów wód leczniczych o ustalonym typie chemicznym, mineralizacji ogólnej i zawartości składników swoistych, stanowiąc jednocześnie materiał pomocny we wstępnym prognozowaniu trwałości chemizmu tych wód. Później, w trakcie właściwego wydobywania, kontrolę nad stanem zasobów wód leczniczych sprawuje zakład górniczy zorganizowany przez przedsiębiorcę posiadającego koncesję na ich wydobywanie. Kontrola ta, sprawowana m.in. poprzez prowadzenie systematycznych badań stacjonarnych na ujęciu oraz wykonywanie laboratoryjnych analiz właściwości fizyczno-chemicznych wody (wskaźnikowych, „małych” i „dużych”), umożliwia szybkie reagowanie w przypadku stwierdzenia zmian. Wyniki badań, gromadzone w archiwach i bazach danych zakładów górniczych, trafiają również do ogólnokrajowych banków danych prowadzonych przez PSG (Bank Danych Wód Podziemnych Zaliczonych do Kopalin MINERALNE: <http://www.spd.pgi.gov.pl/PSHv8/>) oraz na Politechnice Wrocławskiej. Są one wykorzystywane m.in. do identyfikacji zjawisk wpływających na właściwości fizyczne, skład chemiczny i wielkość zasobów wód, oceny stanu zasobów i ich zagrożeń, a także do prognozowania trwałości badanych parametrów (Kozłowski, 1999b; Kaczor, 2005; Felter i in., 2015b, 2018; Duliński i in., 2017; Kiełczawa, Liber-Makowska, 2018a).

Zmiany chemizmu ujętych wód leczniczych w trakcie wydobywania mogą wskazywać także na błędy popełnione na etapie projektowania i wykonywania otworu wiertniczego oraz ustalania jego zasobów. Mogą one być wynikiem zaprojektowania zbyt płytkiego otworu i zafiltrowania zbyt krótkiego, górnego odcinka warstwy wodonośnej, co objawia się stopniowym zwiększeniem dopływu wód zwykłych i spadkiem mineralizacji wód leczniczych oraz zmniejszeniem ilości obecnego w nich dwutlenku węgla lub zbyt krótkiego czasu prowadzenia pompowania pomiarowego, uniemożliwiając ustabilizowanie się parametrów fizyczno-chemicznych ujętych wód.

Intensywne zagospodarowywanie złóż, budowa nowych ujęć w sąsiedztwie istniejących, prace ziemne w strefach zasilania wód leczniczych oraz, w przypadku szczaw, w strefach migracji dwutlenku węgla, mogą z dużym prawdopodobieństwem oddziaływać

niekorzystnie na parametry jakościowe i ilościowe wód leczniczych. Reakcja ujętych wód leczniczych może przebiegać w różny sposób i z różną dynamiką oraz przejawiać się większą amplitudą wahań parametrów wód, zmianami ich wartości o charakterze skokowym lub kierunkowym (trendy), i mieć charakter odwracalny lub trwały. Niekorzystne oddziaływanie, zależnie od intensywności i podatności poziomów wodonośnych, mogą prowadzić do spadku wydajności ujęć lub zwiększenia depresji eksploatacyjnej oraz do zmian stężenia charakterystycznych składników ujmowanych wód (co skutkuje koniecznością opracowania dodatku do dokumentacji), a nawet do utraty właściwości leczniczych lub całkowitego zaniku wód. Wodom leczniczym występującym w głębokich, dobrze izolowanych zbiornikach, o nieodnawialnych lub słabo odnawialnych zasobach, zagraża przede wszystkim szczerpywanie zasobów statycznych, ujawniające się jako spadek ciśnienia złożowego. Zjawisku temu towarzyszyć mogą zmiany chemizmu wód, również na skutek ascencji wód o odmiennych właściwościach fizyczno-chemicznych z większych głębokości lub brzeżnych części struktur hydrogeologicznych.

Utrzymanie stabilności parametrów fizyczno-chemicznych i eksploatacyjnych ujmowanych wód leczniczych odgrywa zasadniczą rolę w możliwości ich gospodarczego wykorzystywania. Prozdrowotne działanie wód stosowanych w zabiegach balneoterapeutycznych wynika nie tylko z zawartości składników farmakodynamicznie czynnych oraz limitowanej zawartości składników niepożądanych, a także wystarczająco wysokiej temperatury (Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 kwietnia 2006 r. w sprawie zakresu badań niezbędnych do ustalenia właściwości leczniczych naturalnych surowców leczniczych i właściwości leczniczych klimatu, kryteriów ich oceny oraz wzoru świadectwa potwierdzającego te właściwości), lecz również ze stabilności ich składu chemicznego oraz ustalonych proporcji między poszczególnymi jonami. W przypadku wykorzystania wód leczniczych do produkcji wód butelkowanych, poza wymaganiami dotyczącymi jakości wód, istnieje cezurą dopuszczalnego odchylenia zawartości charakterystycznych składników, nieprzekraczająca 20% od stężenia średniego z wielolecia.

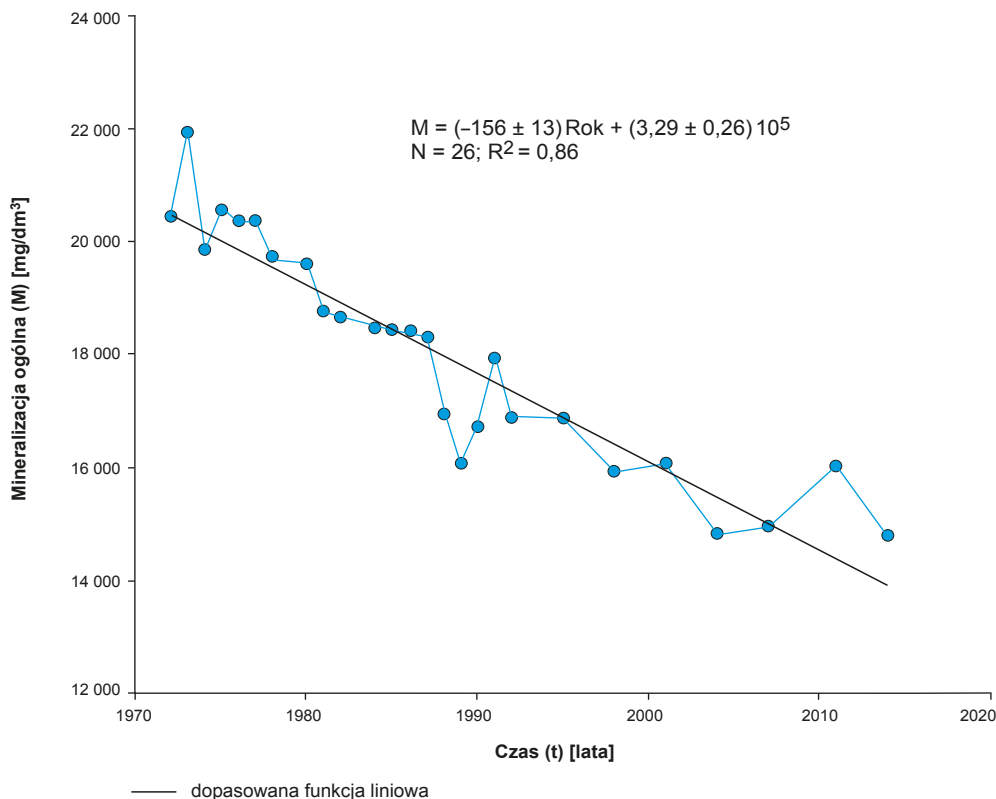


Fig. 12.1. Zmiany mineralizacji ogólnej (wyrażonej sumą składników stałych) wód leczniczych ujętych otworem Franciszek w Wysowej-Zdroju w latach 1972–2016 (na podst. Dulińskiego i in., 2017, z mod. autorów)

12.1. DOPUSZCZALNE WAHANIA PARAMETRÓW FIZYCZNO-CHEMICZNYCH WÓD LECZNICZYCH

Agnieszka Felter

Wahania parametrów fizyczno-chemicznych wód leczniczych wynikają z dynamicznego charakteru procesów hydrochemicznych zachodzących w złożu oraz nakładających się na nie różnego rodzaju presji. Wahania te powinny charakteryzować się jednak ograniczonym zakresem, określonym w ustawie PGiG jako naturalna zmienność (wielkości której przepisy prawa nie określają). Ustalenie zakresu zmienności na poziomie 20% lub 50%, biorąc pod uwagę dużą zmienność właściwości fizyczno-chemicznych wód leczniczych (Ciężkowski i in.,

2007), spowodowałoby wykluczenie niektórych wód z grupy leczniczych. Wobec tego uznaje się, że właściwym rozwiązaniem jest indywidualne ustalanie dopuszczalnego zakresu zmienności dla każdego ze składników wód z poszczególnych ujęć.

Procedura postępowania przy wyznaczaniu dopuszczalnego zakresu wahań parametrów uwzględnionych w charakterystyce hydrochemicznej wód leczniczych (mineralizacja ogólna, jony główne, składniki swoiste) została zaproponowana przez Ciężkowskiego i in. (2007). Granice wahań (przedział ufności) wyznaczone tą metodą przyjmuje się na poziomie wartości dwóch odchyleń standardowych od wartości średniej arytmetycznej [32]. Dolna wartość zakresu nie może być niższa niż wartość progowa analizowanego parametru (podana w ustawie PGiG lub wynosząca 20% mval dla jonów głównych) [33].

Do obliczenia granic zakresu dopuszczalnych wahań jest niezbędne, aby dane wejściowe spełniały następujące warunki:

- charakteryzowały się rozkładem normalnym;
- stanowiły próbę losową;
- nie wykazywały trendu.

Przytoczony poradnik (Ciężkowski i in., 2007), poza opisem sposobu przygotowania danych wejściowych oraz koniecznych do przeprowadzenia obliczeń i testów statystycznych, zawiera informacje na temat zasad interpretacji uzyskanych wyników. Wraz z poradnikiem został udostępniony program w formacie xls, który umożliwia wyznaczanie dopuszczalnych zakresów wahań parametrów wód bez konieczności zapoznawania się z zawiłościami obliczeń statystycznych.

Zbiór danych wejściowych (różnoczasowe oznaczenia wybranego parametru) przed wykonaniem obliczeń powinien zostać odpowiednio przygotowany. Należy odrzucić analizy odbiegające dokładnością i obciążone błędem powyżej 5% oraz wyniki odstające. Tak przygotowany zbiór danych wejściowych powinien liczyć więcej niż 11 rekordów (zbiór statystycznie istotny). Po ich wprowadzeniu do bazy danych programu, obliczane są wartości górnej i dolnej granicy dopuszczalnych wahań danego parametru oraz jest generowana karta kontrolna z zaznaczonymi liniami ostrzegawczymi (linie oznaczone jako dolna i górna granica ostrzegawcza są tożsame z granicami dopuszczalnych wahań) (fig. 12.2).

Jeśli wartości oznaczeń mieszczą się pomiędzy górną i dolną granicą ostrzegawczą (dopuszczalne przekroczenia dla pojedynczych oznaczeń), badany parametr należy uznać za stabilny (fig. 12.3). Szczególny przypadek stanowi sytuacja, kiedy dolna linia kontrolna jest poniżej wartości progowej. Wówczas składnik, pomimo stabilnej zawartości, nie powinien być uznawany za leczniczy lub nie powinien określać typu chemicznego wody (fig. 12.4).

Przekroczenie granicy ostrzegawczej przez dwa na trzy kolejne oznaczenia (fig. 12.4) lub zewnętrzną granicę ostrzegawczą (UCL – *Upper Control Limit* i LCL – *Lower Control Limit* na karcie kontrolnej) przez jedno oznaczenie parametru uwzględnionego w charakterystyce hydrochemicznej wody leczniczej, powinno stanowić sygnał do podjęcia czynno-

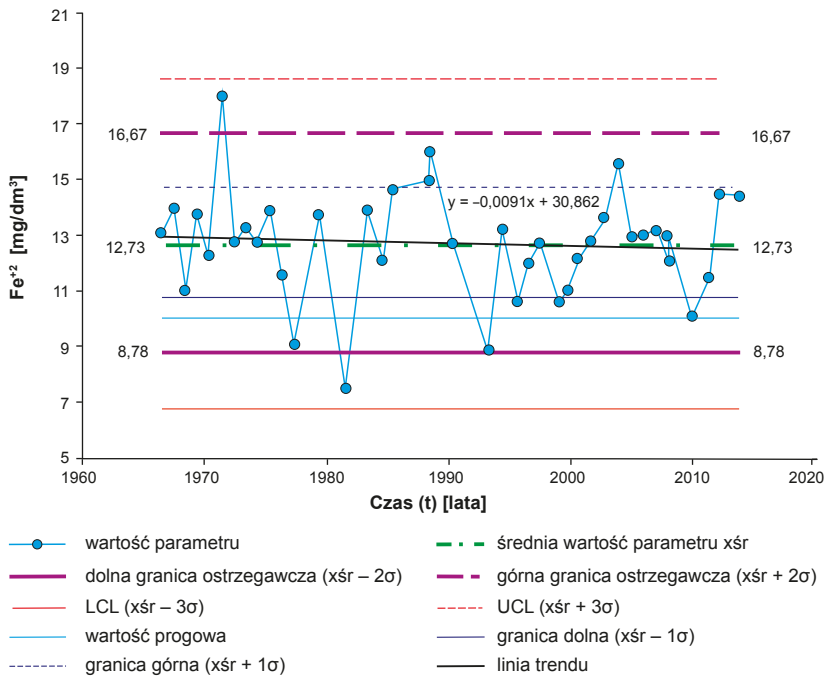
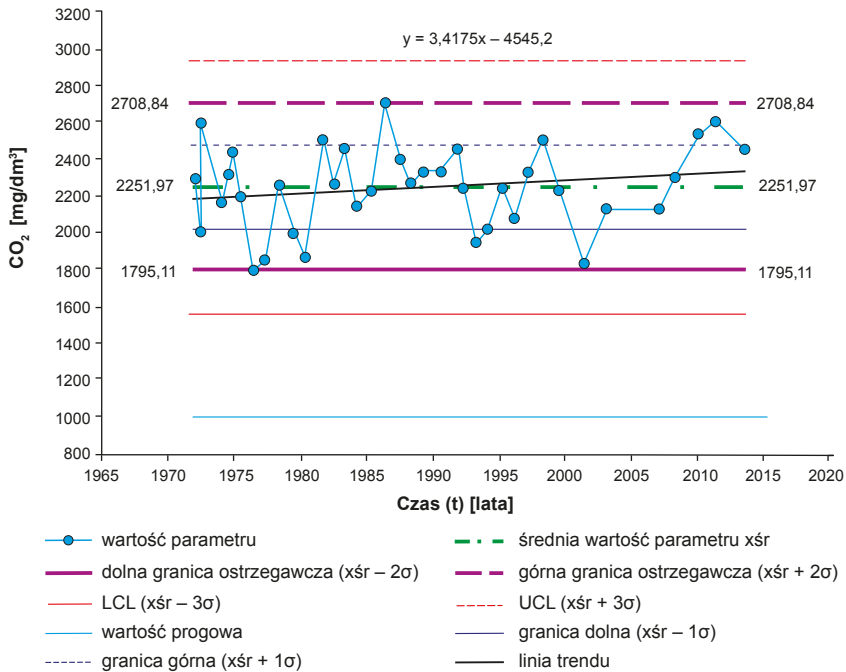
ści zaradczych (Ciężkowski i in., 2007). Czynności te powinny polegać na zwiększeniu częstotliwości wykonywania analiz przez okres 4 lat. W przypadku utrzymywania się stanów przekroczeń linii ostrzegawczych lub pojawienia się istotnego statystycznie trendu, woda powinna utracić rangę wody leczniczej.

Zaleca się, za autorami metody, aby obliczone zakresy wahań corocznie korygować oraz zamieszczać w PZZ lub dodatkach do PZZ i dokumentacjach (dodatkach do dokumentacji) zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych (Ciężkowski i in., 2007).

Opisana metoda nie znajduje zastosowania w przypadku nowych ujęć wód leczniczych z uwagi na brak niezbędnej liczebności zbioru danych wejściowych. Obliczenie dopuszczalnych zakresów wahań dla składników uwzględnionych w typie chemicznym wody jest możliwe dopiero po długotrwałej eksploatacji ujęcia, w trakcie której będą wykonywane analizy laboratoryjne właściwości fizyczno-chemicznych wody. Wyniki oznaczeń jonów głównych i składników swoistych wykonywanych podczas pompowania pomiarowego, choć często odpowiednio liczne, cechują się na ogół dużą zmiennością właściwą w początkowym okresie ustalania się reżimu dopływu wód do ujęcia. Interpretacja tych wyników przy zastosowaniu powyższej metody mogłaby prowadzić do nieprawidłowego wnioskowania. Dlatego też w przypadku nowych ujęć wód leczniczych analizy właściwości fizyczno-chemicznych powinno wykonywać się z częstotliwością cztery razy rocznie w cyklu kwartalnym. Z przytoczonych informacji wynika, iż warunki eksploatacji ujęć wód leczniczych powinny być weryfikowane nie tylko wielkością zasobów eksploatacyjnych, lecz również stabilnością właściwości fizyczno-chemicznych wydobywanych wód, do czego jest niezbędna stała kontrola tych parametrów. W przeciwnym wypadku może dojść do nieodwracalnych lub długotrwałych zmian stanu jakościowego lub ilościowego zasobów.

Poniżej zaprezentowano kilka przykładów kart kontrolnych wraz z komentarzem.

Zakres dopuszczalnych wahań CO_2 w wodzie z ujęcia Jan w Czerniawie-Zdroju (fig. 12.2) wynosi 1795,11–2708,84 mg/dm³. Dolna granica zakresu



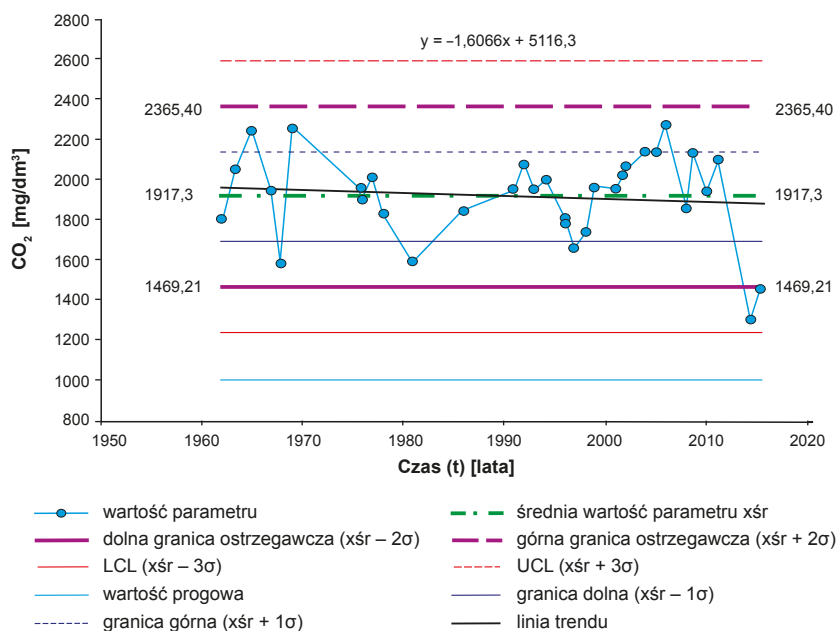


Fig. 12.4. Karta kontrolna zawartości CO₂ w wodzie leczniczej z ujęcia Mieszko w Szczawnie-Zdroju (na podst. Felter i in., 2018, z mod. autorów)

wahań i średnia wartość parametru znajdują się powyżej wartości progowej 1000 mg/dm³. Zawartość CO₂ jest zatem stabilna, a wody z analizowanego ujęcia można zaliczyć do szczaw.

Zakres dopuszczalnych wahań stężeń jonów Fe²⁺ w wodach leczniczych ujętych otworem Pieniąwa Chopina w Dusznikach-Zdroju (fig. 12.3) wynosi od 8,78 do 16,67 mg/dm³. W tym przypadku dolna granica zakresu wahań znajduje się poniżej wartości progowej 10 mg/dm³, a więc woda z ujęcia nie powinna być zaliczana do żelazistych.

Zakres dopuszczalnych wahań dla CO₂ w wodzie ze źródła Mieszko w Szczawnie-Zdroju (fig. 12.4) wynosi 1469,21–2365,40 mg/dm³. Dolna granica zakresu wahań i średnia wartość parametru znajdują się powyżej wartości progowej 1000 mg/dm³, jednak zaobserwowano zachwianą stabilność badanego składnika. Dowodem tego jest sekwencja dwóch punktów pomiarowych na wykresie przekraczających zakres dopuszczalnych wahań. Woda ze źródła Mieszko dalej może być określana jako szczawa, jednak zaleca się zwiększenie częstotliwości badań zawartości CO₂.

12.2. PROGNOZA STABILNOŚCI WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-CHEMICZNYCH WÓD LECZNICZYCH

Agnieszka Felter

Zgodnie z aktualnie obowiązującymi przepisami prawa (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej), dokumentacja ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych powinna zawierać oprócz oceny właściwości fizyczno-chemicznych wód, również prognozę ich trwałości oraz zakres ich wahań. Dokumentatorzy do zagadnień tych podchodzą w różny sposób, co wynika z braku wytycznych, a w przypadku dokumentacji nowych ujęć również braku odpowiednio licznych wyników badań stacjonarnych i laboratoryjnych, które umożliwiłyby względnie wiarygodne wnioskowanie dotyczące stabilności parametrów fizyczno-chemicznych wód obecnie i w przyszłości. Dlatego też umieszczane w dokumentacjach hydrogeologicznych oceny i pro-

gnozy dotyczące jakości wód mają przede wszystkim charakter opisowy i porównawczy. Wykorzystanie do tego celu modelowania hydrogeochemicznego lub zaawansowanych metod analizy statystycznej szeregów czasowych byłoby zbyt czasochłonne i skomplikowane, a ze względu na zróżnicowanie zbiorów danych hydrochemicznych – często niemożliwe.

W przypadku dokumentowania nowych ujęć wnioskowanie dotyczące trwałości chemizmu wód leczniczych jest oparte na ogół na porównaniu wyników laboratoryjnych analiz fizyczno-chemicznych wód (zwykle 2–3), ocenie zmian wartości parametrów uwzględnionych w nazwie typu chemicznego wody, a także odniesieniu ich do wartości progowych poszczególnych składników, jak również analizie zależności zmian parametrów fizycznych lub fizyczno-chemicznych (PEW, pH, CO₂, jony główne oznaczane w analizach wskaźnikowych), w zależności od warunków hydrodynamicznych rejestrowanych w trakcie pompowania pomiarowego. Ponadto jest analizowana możliwość wystąpienia procesów i zjawisk analogicznych do tych zaobserwowanych w innych ujęciach, zlokalizowanych na obszarze złoża lub wynikających z rodzaju kontaktów czy więzi hydraulicznych z innymi wodami podziemnymi i powierzchniowymi.

Cennych przesłanek, pomocnych przy prognozowaniu zmian hydrodynamicznych i hydrochemicz-

nych zachodzących w wyniku kształtowania się reżimu dopływu wód do dokumentowanych ujęć, dostarcza analiza wskaźników hydrogeochemicznych. Różnice pomiędzy wartościami obliczonymi dla różnocoasowych analiz składu chemicznego wód danego ujęcia określają dynamikę i kierunki przebiegu procesów powodujących zmiany chemizmu. Wnioskowanie na podstawie tego rodzaju różnic wartości wskaźników hydrogeochemicznych, obliczonych na podstawie analiz fizyczno-chemicznych próbek wód pobranych na kolejnych stopniach pompowania pomiarowego, zastosowano m.in. w trakcie dokumentowania ujęcia wód siarczkowych Misericordia w Krakowie (Józefko i in., 2017). Z badań przeprowadzonych w trakcie pompowania pomiarowego wynika, że wraz ze wzrostem wydajności na kolejnych jego stopniach wzrastała również mineralizacja wód. Potwierdzają to terenowe pomiary przewodności (PEW) oraz wyniki chemicznych badań laboratoryjnych wód świadczące o wzroście udziału jonów siarczanowych i sodowych, wynikającym prawdopodobnie z usunięcia podczas pompowania składowej wód zwykłych. Na podstawie wartości obliczonych wskaźników (tab. 12.1) ustalono, że dokumentowane wody lecznicze występują w strefie aktywnej wymiany ($rSO_4^{2-}/rCl^- > 1$), jednak warunki tej wymiany są utrudnione ($rNa^+ + rK^+/rCl^- < 1$ i $rNa^+/rCl^- < 1$), co wynika z występowania warstw izolujących. Niewielki, choć zauważalny wzrost wskaźnika $rSO_4^{2-} + rHCO_3^-/rCl^-$ oraz spadek $rCl^-/rHCO_3^-$, obserwowany podczas trzeciego stopnia pompowania, może sugerować zwiększenie głębokości krążenia i wymiany wód leczniczych. Więcej informacji na temat wskaźników hydrogeochemicznych i ich zastosowania znajduje się w rozdz. 10.1.

Podsumowując, ocenę i prognozę trwałości właściwości fizyczno-chemicznych wód leczniczych, dla których istnieją odpowiednio liczebne zbiory wyników badań, proponuje się przeprowadzać na podstawie metody wyznaczania dopuszczalnych wahań parametrów wód leczniczych zaproponowanej przez Cieżkowskiego i in. (2007). Jeśli dla analizowanego składnika jest możliwe wyznaczenie przedziału dopuszczalnych wahań (co oznacza, że w zakresie $\bar{x} - 2\sigma$, $\bar{x} + 2\sigma$ mieści się 95,4% wyników zbioru, a pojedyncze wartości spoza tego przedziału

Tab. 12.1. Zmienność wskaźników hydrogeochemicznych w wodach leczniczych z ujęcia Misericordia w Krakowie (na podst. Józefko i in., 2017)

Wskaźnik hydrogeochemiczny	Wartość
$r(Ca^{+2}/Mg^{+2})$	3,50–3,12
$r[(Ca^{+2} + Mg^{+2})/HCO_3^-]$	3,62–3,83
$r(Na^+/Cl^-)$	0,38–0,42
$r[(Na^+ + K^+)/Cl^-]$	0,43–0,49
$r[Na^+ + K^+ + Mg^{+2}/Cl^-]$	1,86–1,98
$r(Na^+/Ca^{+2})$	0,08–0,09
$r(Cl^-/HCO_3^-)$	0,63–0,62
$r[(SO_4^{2-} + HCO_3^-)/Cl^-]$	5,19–5,74
$r(SO_4^{2-}/Cl^-)$	3,61–4,14

tu nie przekraczają $\bar{x} - 3\sigma$, $\bar{x} + 3\sigma$), należy przyjąć, że zawartość tego składnika charakteryzuje się stabilnością. Biorąc pod uwagę czas, w którym wyniki oznaczeń dla składnika były stabilne, można przyjąć, że będą stabilne w przyszłości, przy założeniu braku zmian warunków zewnętrznych. Stabilnością tego rodzaju charakteryzowała się zawartość dwutlenku węgla w szczawach z ujęcia Jan w Czerniawie-Zdroju (fig. 12.2). Przykładem nieco odmiennej sytuacji jest rozkład czasowy zawartości dwutlenku węgla będącego składnikiem gazowym szczaw ujmowanych źródłem Mieszko w Szczawnie-Zdroju (fig. 12.4). Dwa kolejne oznaczenia (sygnał sekwencyjny) z końca szeregu obserwacji przyjęły wartość mniejszą od dolnej granicy przedziału, co wskazuje na występowanie niekorzystnych tendencji. Zawartość tego składnika można uznać za stabilną, ale w prognozie nie można wykluczyć utrzymywania się tej tendencji. Brak możliwości wyznaczenia granic dopuszczalnych wahań dotyczy m.in. sytuacji, gdy rozkład czasowy zawartości analizowanego składnika wskazuje na istnienie trendu. W takim przypadku eksploatacja ujęcia, zgodna z ustaleniami w dodatku do dokumentacji (nową wielkością zasobów eksploatacyjnych), powinna spowodować stabilizację stężenia składnika. W przypadku braku odpowiedniego zbioru danych w celu oceny i prognozy trwałości właściwości fizyczno-chemicznych wód leczniczych zaleca się analizę wskaźników hydrochemicznych na poszczególnych stopniach próbnego pompowania pomiarowego.

12.3. MODELOWANIE GEOCHEMICZNE (SPECJACYJNE)

Andrzej Sadurski, Jakub Sokołowski

Właściwości lecznicze wody podziemne zawierają przede wszystkim obecności składników swoistych w ośrodku skalnym. Stałość składu chemicznego tych wód zależy od równowag jonowych i fazowych, temperatury, ciśnienia złożowego oraz czasu ich przebywania w warstwach wodonośnych, a także zawartości gazów.

Według Dobrzyńskiego (2006a) model geochemiczny jest abstrakcyjnym obiektem opisanym przez układ równań matematycznych zawierających różnorodne dane: chemiczne, termodynamiczne, mine-

ralogiczne, kinetyczne, które pozwalają na symulację naturalnych procesów zachodzących w rozpatrywanym układzie. Danymi wejściowymi są dane obserwacyjne pochodzące z monitoringu lub badań terenowych i laboratoryjnych, natomiast dane wyjściowe powinny odtwarzać stan rzeczywisty w systemie wodonośnym. Poprawność modelu jest weryfikowana zgodnością prognoz z danymi z obserwacji. Modelowanie geochemiczne wykonuje się z wykorzystaniem programów komputerowych, w których stosowane są prawa termodynamiki chemicznej (Appelo, Postma, 2005). Do procesów kształtujących chemizm wód podziemnych należy mieszanie się wód różnej genezy lub dopływ substancji zanieczyszczających z pól uprawnych, obiektów przemysłowych, komunalnych i składowisk odpadów. Podział modeli geochemicznych wynika z ich możliwości symulacyjnych procesów i reakcji. Stąd wyróżnia się modele specjacyjne, nazywane też modelami specjacyjno-rozpuszczalściowymi, modele bilansu masy (modele odwrotne), modele wprost – dróg reakcji oraz modele reaktywnego transportu masy (Dobrzyński, 2006a,b). Modelowanie geochemiczne wód leczniczych w Polsce było przedmiotem licznych badań (Wiktorowicz, 2004, 2009, 2010; Kielczawa, Wiktorowicz, 2006; Wiktorowicz, Kielczawa, 2007; Wiktorowicz, Karwacka, 2009; Witczak, Świąder, 2010; Lipiec, Wiktorowicz, 2010, 2015; Gała, 2011; Czop i in., 2014; Wątor, Kmiecik, 2017).

Zastosowanie modelu geochemicznego odwrotnego bilansu masy podała Kostka (2013) na przykładzie Gór Kamiennych w Sudetach. Ocenę stanu równowagi wód podziemnych występujących w dolnopermskich skałach wulkanicznych (trachyandezytach i tufach ryolitowych) względem faz mineralnych przeprowadzono z zastosowaniem wskaźników nasycenia SI. Otrzymano duże niedosycenie wód względem większości pierwotnych minerałów krzemianowych, natomiast równowagę względem skalenia potasowego. Badane wody były przesycone względem minerałów o najmniejszej rozpuszczalności, a w stanie równowagi z wybranymi minerałami ilastymi: beidellitem, illitem i montmorylonitem. Modelowanie odwrotne przeprowadzono przez symulację hipotetycznych (założonych) faz mineralnych z wodami opadowymi oraz wodami ze źródeł, oceniając transfer masy z rozpatrywa-

nego obszaru. Ustalono na podstawie wskaźników nasycenia, że minerałami dostarczającymi w wyniku ługowania związki Si i Al do wód podziemnych są skalenie, talk i chloryty, czyli skład chemiczny wód drenowanych przez źródła jest kształtowany przez hydrolizę krzemianów.

Wskaźnik nasycenia SI (*saturation index*) pozwala na ocenę zdolności wód do rozpuszczania wybranej fazy mineralnej przez infiltrującą, przesiąkającą lub przepływającą wodę. Róžkowski i in. (2011) wykonali obliczenia SI dla wód podziemnych wychodni gipsów w rejonie Skorocic, wskazując na tendencję do rozpuszczania gipsu i bassanitu w strefie przypowierzchniowej, a w przypadku dłuższego kontaktu z wodą stwierdzili stan równowagi. Analogicznie w stanie równowagi znajduje się celestynit, podczas gdy w głębszym systemie wodonośnym wystąpił stan niedosycenia względem kalcytu oraz amorficznej krzemionki.

Procesowi transportu masy towarzyszą: parowanie, rozpuszczanie/ługowanie faz mineralnych, ultrafiltracja, wymiana jonowa, a w przypadku regionu objętego zamarzliną w czasie głacjalów także zamrażanie. W przypadku solanek zachodzi intensywne oddziaływanie jonowe, utożsamiane z wartością współczynnika aktywności (Leśniak, 2005). Wzrost współczynnika aktywności określony jest w równaniu Debye'a-Hückela. W modelowaniu geochemicznym wyróżniane są modele asocjacyjne i interakcyjne w zależności od mineralizacji wód podziemnych. W stężonych solankach zmiany aktywności jonów uwzględnione są w modelu Pitzera (1973), który znajduje zastosowanie w programach numerycznych: PHRQPITZ (Plummer i in., 1988) lub FREZCHEM (Marion, 2001).

Badania fizyczno-chemiczne wód leczniczych polegają na oznaczeniu ogólnej zawartości poszczególnych składników w postaci pierwiastkowej lub jonowej i nie obejmują określenia formy występowania danego pierwiastka w wodzie, z wyjątkiem żelaza Fe^{+3} i łatwiej przyswajalnego Fe^{+2} , które są możliwe do rozdzielenia za pomocą stosunkowo prostych metod analitycznych. Określenie specjacji nie jest elementem wymaganym przy ustalaniu zasobów eksploatacyjnych ujęcia, jednak dzięki upowszechnieniu programów do modelowania geochemicznego (Dobrzyński, 2006b; Macioszczyk,

Dobrzyński, 2007), zaleca się jego wykonanie. Może być ono ważne zwłaszcza w przypadku wód siarczkowych, dla których zawartość związków siarki dwuwartościowej przelicza się umownie na zawartość siarkowodoru. Modelowanie specjacyjne pozwala nie tylko określić formy jonowe, w przypadku wód siarczkowych S^{2-} , lecz także pary jonowe, związki kompleksowe i cząsteczki niezdysocjowane. Wymaga ono jednak znajomości odczynu wody i jej potencjału utleniająco-redukcyjnego, oznaczonego bezpośrednio na wy pł ywie z ujęcia metodami polowymi. Wyniki dotychczasowych badań (Witczak, Świąder, 2010; Wątor, Kmiecik, 2017) pokazują, iż w wodach siarczkowych w rejonie Buska-Zdroju siarka występuje w ponad 20 specjacjiach: HS^- , H_2S^0 , S_5^{6-} , S_6^{2-} , S_4^{2-} , $Cu(HS)_3^-$, $Zn(HS)_2^0$, $Fe(HS)_2^0$, $Fe(HS)_3^-$, $Pb(HS)_2^0$, $Zn(HS)_3^-$, S^{2-} , S_3^{2-} , $Ag(HS)_2^-$, $Cd(HS)_2^0$, $Pb(HS)_3^-$, $AgHS(S_4)^{-2}$, $AgHS^0$, S_2^{2-} , $Cd(HS)_3^-$, $Cd(HS)_4^{-2}$, $Ag(S_4)^{-3}$. Do głównych form występowania związków siarki dwuwartościowej w całym rejonie Buska-Zdroju i Solca-Zdroju zalicza się H_2S^0 (22–62% udziału wszystkich specjacji), HS (38–76%), S_5^{6-} (0,1–0,5%), S_6^{2-} (0,1–0,5%), S_4^{2-} (0,1–0,3%), $Fe(HS)_2^0$ (0,2–1,0%), $Fe(HS)_3^-$ (0,1%) i $Cu(HS)_3^-$ (<0,1%). Każda z wymienionych specjacji ma inne oddziaływanie farmakodynamiczne na organizm człowieka.

Uzyskane wyniki pokazują, iż wody lecznicze wykazują dużo większe zróżnicowanie składu chemicznego niż wynikałoby to ze standardowej fizyczno-chemicznej analizy laboratoryjnej. Przy ustalaniu zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych znajomość aktywności danej formy badanego składnika oraz wskaźnika nasycenia nim wody pozwala na określenie kierunku reakcji w systemie woda $\leftrightarrow$ skała i ocenę trwałości chemizmu wód wraz z prognozowaniem jego ewentualnych zmian. Modelowanie specjacyjne może też być pomocne jako dodatkowa metoda badawcza przy określaniu genezy strumienia wód podziemnych napływającego do ujęcia. Przykładem mogą być wyniki opublikowane w pracy Czopa i in. (2014) dotyczące genezy wód chlorkowych i solanek Karpat oraz brzeżnej części zapadliska przedkarpackiego. Dla zbioru 1152 wyników analiz chemicznych, udostępnionego autorom przez Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo, opracowano wykorzystując program AquaChem szczegółową interpretację zależności mineralizacji

od głębokości poboru próbki wody, natomiast modelowanie formowania się ich chemizmu przeprowadzono z zastosowaniem programu Geochemist's Workbench autorstwa Bethke (2008). Założono, że pierwotnie w warstwach fliszu karpackiego istniały wody synsedymacyjne pochodzenia morskiego, które podlegały z czasem wystodzeniu przez infiltrujące wody opadowe. W obszarach utrudnionego przesiąkania powstały wody o mineralizacji ogólnej niższej od 35 g/dm^3 typu Cl-Na, w których systematycznie wzrastał udział jonów HCO_3^- i Ca^{+2} , podczas gdy solanki w strefach o utrudnionym przepływie powstały głównie w następstwie efektu membranowego – ultrafiltracji z głębokich warstw fliszu do warstw przypowierzchniowych. Stąd obserwowana skokowa zmiana słabo zmineralizowanych wód zasilanych w następstwie ultrafiltracji w warstwach bliższych powierzchni terenu i szybki wzrost mineralizacji wód w głębszych partiach górotworu, poniżej serii ilastych fliszu. Autorzy oceniają, że reliktove solanki o bardzo dużej mineralizacji ogólnej $>150 \text{ g/dm}^3$ w Karpatach stanowią jedynie 2,5% zasobów statycznych.

Wody lecznicze w licznych złożach odznaczają się podwyższoną temperaturą i do ich rozpoznania i ocen zasobów są stosowane programy bazujące na kryteriach równowag termodynamicznych systemu woda↔skała, w którym zachodzą procesy ługowania, nukleacji, sorpcji, wymiany jonowej w zależności od głębokości występowania wód, czyli ich temperatury, zawartości gazów, składu mineralnego i ciśnienia złożowego. W kraju najbar-

dziej rozpowszechniony do modelowania hydrogeochemicznego jest komercyjny program PHREEQC, który może być stosowany do wód zwykłych i słonawych, w których współczynniki aktywności jonów mogą być pomijane. Ocena procesów kształtujących skład chemiczny wody leczniczej oraz prognoza ewentualnych zmian chemizmu może być wykonana przez dostępne na rynku oprogramowanie: PHREEQCI, SEAWAT, HYDROTHERM, WATEQ4F (Dendys i in., 2014). W cytowanej pracy są podane również programy stosowane do prognozowania zachowania głębokich systemów wodonośnych, zawierających płyny wielofazowe o różnej gęstości, lepkości i entalpii. Można tu wymienić programy/symulatory numeryczne, jak: STAR (Pritchett, 1995); CHILLER (Reed, 1988); SHEMAT (Wellman i in., 2012) i inne. Jak podkreśla Leśniak (2005) najpoważniejszym problemem w korzystaniu z oprogramowania jest wiarygodność analiz archiwalnych i wiarygodność analityczna. Błąd pojedynczych oznaczeń głównych jonów nie może być większy niż 1%.

Wykonanie modelowania geochemicznego zależy przede wszystkim podczas dokumentowania zasobów eksploatacyjnych ujęć wód siarczkowych z uwagi na dużą ilość specjacji, w jakich występuje siarka dwuwartościowa, oraz w przypadku silnie zmineralizowanych wód metamorficznych. Wyniki tego modelowania mogą być pomocne do oceny trwałości chemizmu wód oraz sformułowania prognoz w zakresie jego możliwych zmian. Mogą też wskazywać na genezę wód leczniczych (składników swoistych).

13. OCENA ZAGROŻENIA ZŁÓŻ WÓD LECZNICZYCH

Barbara Kiełczawa, Bogusław Porwisz

Ocenę zagrożenia złóż/struktur hydrogeologicznych wód leczniczych, w tym ocenę ich wrażliwości na zanieczyszczenia, a także propozycje działań zapobiegawczych w celu ochrony zasobów takich wód, przeprowadzono na przykładach pochodzących z dokumentowania zasobów eksploatacyjnych wybranych ujęć (Radwan i in., 2001; Porwisz, Radwan, 2007; Chowaniec i in., 2014; Ciężkowski i in., 2016a; Bielec i in., 2019).

Przykład I: Zagrożenie ilości zasobów wód leczniczych

Dla obszaru bilansowego Milik-Andrzejówka wielkość zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych wyznaczono na podstawie analiz modelowych (Chowaniec i in., 2014). Obszar ten jest położony pomiędzy Żegiestowem-Zdrój, a Muszyną, w zachodniej części obszaru i terenu górniczego Muszynianka III. Pod względem hydrogeologicznym jest to struktura Milika-Andrzejówki, stanowiąca zbiornik typu szczelinowego, półotwarty, w którym w obrębie formacji piaskowców z Piwnicznej, współwystępują wody zwykłe i lecznicze. Umowną granicę zasobową pomiędzy wodami zwykłymi i leczniczymi omawianej zlewni Popradu pokazuje szkic hydrogeologiczny (fig. 13.1). Dopyływ CO_2 do ujęć odbywa się w rejonie doliny Popradu z obszaru Słowacji i jest możliwy dzięki obecności głębokich stref uskoku (Rajchel, 2012). Obszary zasilania, o powierzchni około 3 km², znajdują się w północnej, wyniesionej części zlewni, zbudowanej z piaskowców z Piwnicznej. Obszary te zostały wyznaczone z wykorzysta-

niem wyników badań izotopowych wód (Radwan i in., 2000; Chowaniec i in., 2014).

Na podstawie ustawy o uzdrowiskach z 1922 r. dla źródeł wód mineralnych (leczniczych) w Miliku ustalono okręg ochrony górniczej, którego zasięg naniesiono na fig. 13.1. Pierwsze otwory w Miliku wykonano w 1999 r. (otwór K-1) i w Andrzejówce w 2000 r. (otwór A-1). Obecnie w Miliku jest zlokalizowanych osiem, a w Andrzejówce siedem ujęć wód kwasowęglowych i szczaw.

Suma zasobów eksploatacyjnych poszczególnych ujęć wód leczniczych wynosi 671,52 m³/d (Porwisz i in., 2020), a zasoby dyspozycyjne omawianej jednostki wynoszą 760,0 m³/d (Chowaniec i in., 2014). Z powyższego zestawienia wynika, że w obszarze bilansowym Milik-Andrzejówka można zagospodarować jeszcze niewielką rezerwę zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych w ilości 3,69 m³/h (88,48 m³/d), co w warunkach karpaccich oznacza możliwość zatwierdzenia zasobów eksploatacyjnych jednego-dwóch ujęć. Ustalenie zasobów eksploatacyjnych wszystkich ujęć znajdujących się w obszarze bilansowym w łącznej ilości przekraczającej zasoby dyspozycyjne grozi „przeeksploatowaniem” złóż. W takiej sytuacji wstępną prognozę zasobową należałoby przedstawić już w projekcie robót geologicznych, wskazując później, na etapie sporządzania dokumentacji, ewentualne rozwiązania pozwalające uniknąć przekroczenia dostępnej rezerwy zasobów, na przykład ograniczenie zasobów ujęć już istniejących, należących do tego samego przedsiębiorcy.

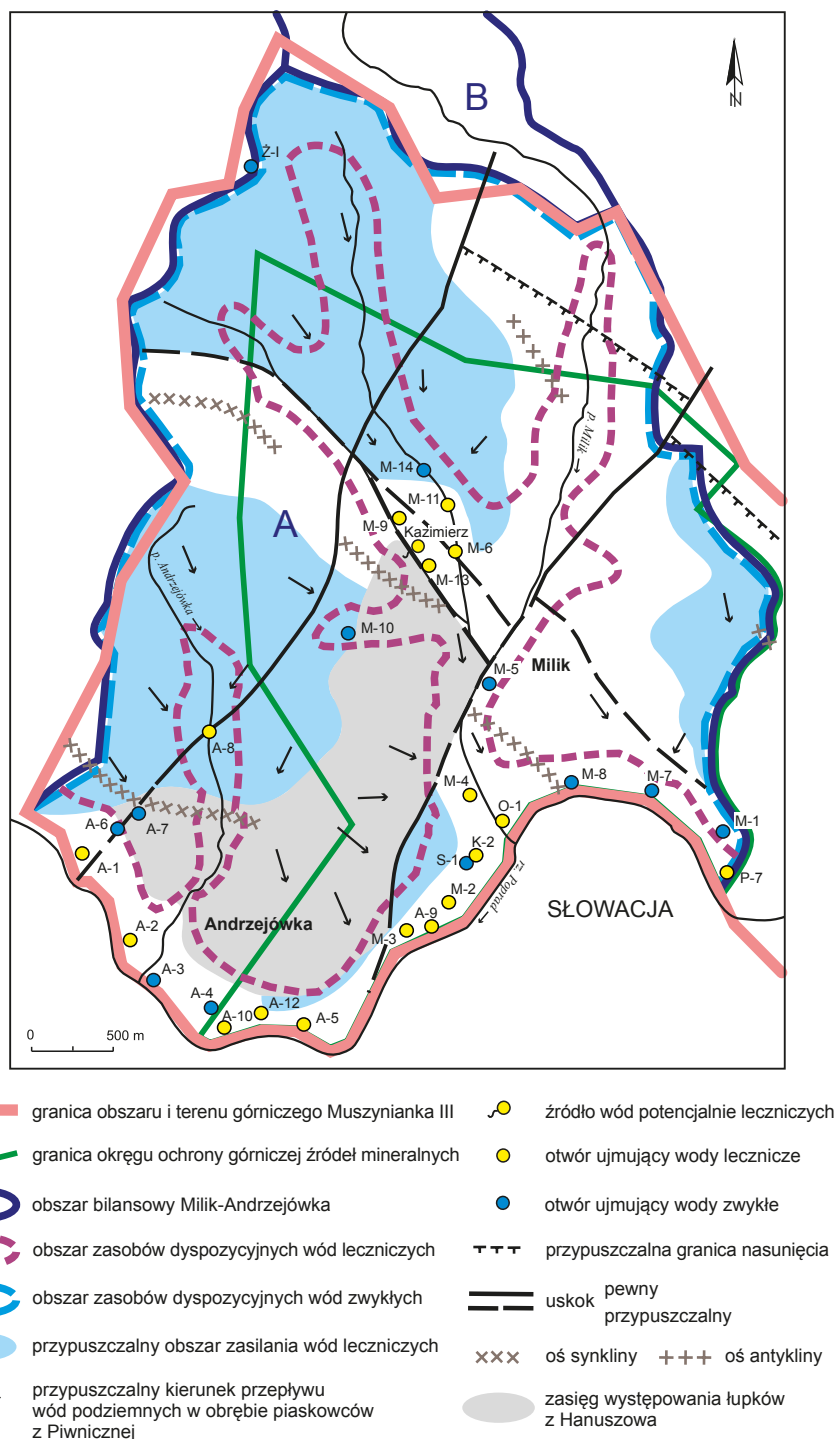


Fig. 13.1. Szkic hydrogeologiczny rejonu Milika i Andrzejówki
(na podst. Radwana i in., 2000 oraz Chowańca i in., 2014, z mod. autorów)

Przykład II: Ocena stopnia zagrożenia jakości wód leczniczych

Aby ocenić stopień zagrożenia jakości wód leczniczych, należy obliczyć czas przesiąkania wód z powierzchni terenu poprzez utwory strefy aeracji na podstawie czasu wymiany wody poprzez strumień wód pochodzący z infiltracji opadów. W 2001 r., po rozpoznaniu potencjalnych ognisk zanieczyszczeń w rejonie zlewni potoków Muszynka i Jastrzębik (obecnie obszar górniczy Galicjanka II), dokonano oceny zagrożeń jakości wód leczniczych na podstawie analizy czasu pionowego przesiąkania przez strefę aeracji (Radwan i in., 2001). Czas przesiąkania t_a dla rejonów poszczególnych otworów wiertniczych obliczono na podstawie przybliżonego profilu geologicznego według wzoru [34] podanego przez Witczaka i Żurek (1994, 1999).

Wielkość wskaźnika infiltracji i przeciętną wilgotność objętościową dla poszczególnych utworów przyjęto z danych zamieszczonych w literaturze (Witczak, Żurek, 1994, 1999). Stosując tę metodę należy pamiętać, iż ocena czasu pionowej filtracji w strefie aeracji zakłada stałą wilgotność objętościową. Inne rozwiązanie, bazujące na założeniu, że przepływ wynika z istnienia gradientu wilgotności, a dokładniej ciśnienia ssania w strefie niepełnego nasycenia, zakłada formuła Richardsa (Liszkowska, 2017) wyprowadzona dla homogenicznego i izotropowego porowatego ośrodka glebowego. Na terenach o niskim stopniu rozpoznania czas pionowego przesiąkania przyjęto poprzez analogię do obszarów dostatecznie rozpoznanych pracami wiertniczymi,

kartowaniem geologicznym i hydrogeologicznym. Klasyfikację stopnia zagrożenia wód podziemnych na podstawie czasu pionowego przesiąkania wód przez strefę aeracji do warstwy wodonośnej zaproponował Kleczkowski (1991) w ramach projektu wyznaczania Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce. Na tej podstawie przedstawiono ocenę stopnia potencjalnego zagrożenia jakości wód podziemnych na omawianym obszarze (tab. 13.1).

Do klasy zagrożenia A1, wód bardzo silnie zagrożonych, dla których czas przesiąkania wynosi poniżej 2 lat, zaliczono obszary rozciętych erozyjnie den dolin potoków, wypełnionych przeważnie osadami czwartorzędowymi o małej miąższości. Do klasy zagrożenia A2, wód silnie zagrożonych, o czasie przesiąkania 2–5 lat, zaliczono rejon, w których utwory fliszowe zalegają pod pokrywami zwietrzelinowymi, tj. tarasy akumulacyjne w dolinach Muszynki, Kryniczanki oraz częściowo potoku Jastrzębik i Szczawicznych Potoków. Obszary występowania materiału koluwalnego w granicach utworów fliszowych zaliczono do klasy zagrożenia B (wody średnio zagrożone, czas przesiąkania 5–10 lat), podobnie jak zbudowane z utworów czwartorzędowych tarasy erozyjno-akumulacyjne Muszynki, Kryniczanki, potoku Jastrzębik, Szczawicznych Potoków i potoku Młynnego. Dłuższym czasem przesiąkania (10–25 lat) odznaczają się utwory soliflukcyjno-deluwialne występujące na omawianym terenie na stokach wzniesień opadających ku dolinom oraz częściowo materiał osuwiskowy. Klasy zagrożenia C i D w obrębie analizowanego obszaru nie występują.

Tab. 13.1. Stopień zagrożenia wód podziemnych obszaru górniczego Galicjanka II

Orientacyjny czas pionowego przesiąkania przez strefę aeracji do zbiornika wód podziemnych t_a [lata]	Stopień zagrożenia wód podziemnych na podstawie czasu przesiąkania wody przez strefę aeracji*	
	stopień zagrożenia	klasa zagrożenia
Poniżej 2	bardzo silnie zagrożone	A1
2–5	silnie zagrożone	A2
5–25	średnio zagrożone	B
25–100	słabo zagrożone	C
Powyżej 100	praktycznie niezagrożone	D

* na podst. Kleczkowskiego, 1991

Potencjalne ogniska zanieczyszczeń wód podziemnych są rozmieszczone na badanym terenie w sposób nierównomierny. Najbardziej niebezpieczne dla wód podziemnych są ogniska zlokalizowane w granicach terenu zaliczonego do klasy zagrożenia A1 (bardzo silne zagrożenie). Do takich obszarów można zaliczyć utwory tarasu potoku Jastrzębik w miejscowości Jastrzębik. Na przeważającej części obszarów zasilania, rozumianych tu jako obszary zasobowe ujęć, występują osady zaliczone do klasy zagrożenia A2. Są to pokrywy zwietrzelinowe utworów fliszowych wraz ze stropową partią fliszu (piaskowce krynickie oraz warstwy z Zarzecza). Stosunkowo niewielką powierzchnię w granicach omawianych obszarów zasilania (zasobowych) zajmuje klasa zagrożenia A1 w wąskich dolinach potoków rozcinających utwory fliszowe oraz klasa zagrożenia B (utwory deluwialne i soliflukcyjne występujące na stokach dolin).

Przykład III: Wyznaczanie stref ochrony ujęć wód podziemnych

W Piwnicznej-Zdroju w 2018 r., w obrębie obszaru górniczego Piwniczna-Łomnica, wykonano otwór P-22. Celem wiercenia było poszukiwanie wód leczniczych, jednak ostatecznie otworem ujęto wody zwykłe. Z uwagi na możliwość wykorzystania zastosowanej metody oceny czasu przenikania zanieczyszczeń z powierzchni terenu do warstwy wodonośnej do wstępnej oceny stopnia zagrożenia wód leczniczych zdecydowano się zamieścić ten przykład w Poradniku.

W rejonie Piwnicznej-Zdroju wody lecznicze i zwykłe wody podziemne współwystępują ze sobą we fliszowym poziomie wodonośnym, pozostającym w kontakcie hydraulicznym z leżącym powyżej poziomem wodonośnym w tarasowych utworach czwartorzędowych Popradu. Otwór P-22 jest zlokalizowany we wspólnym obszarze bilansowym dla wód leczniczych i zwykłych (Bielec i in., 2019), szerzej opisanym w rozdz. 9.2.3. Fliszowy system wodonośny w ujęciu regionalnym tworzy jedną strukturę wodonośną zasilaną przez infiltrację wód opadowych, jednak zaburzenia tektoniczne sprawiają, iż miejscami kontakt hydrauliczny pomiędzy poszczególnymi strefami zawodnionymi może być utrudniony. Prowadzi to do lokalnego zróżnicowania warunków

hydrogeologicznych, na które dodatkowo nakłada się obecność lub brak migrującego z większych głębokości dwutlenku węgla. W ten sposób na niewielkim obszarze, w różnych strefach głębokościowych, mogą występować obok siebie zarówno szczywy i wody kwasowęglowe, jak i zwykłe wody podziemne.

Zamierzony sposób wykorzystania wód do butelkowania nałożył na użytkownika obowiązek ustanowienia strefy ochronnej w postaci TOB. Zgodnie z zapisami dokumentacji hydrogeologicznej strefa ta została ogrodzona i oznakowana tablicą informacyjną, a w jej obrębie wprowadzono zakazy, nakazy i ograniczenia służące ochronie wód podziemnych, takie jak:

- zakaz użytkowania gruntów do celów niezwiązanych z eksploatacją ujęcia wody;
- nakaz odprowadzenia wód opadowych w sposób uniemożliwiający ich przedostawanie się do urządzeń służących do poboru wody;
- nakaz zagospodarowania terenu zielenią;
- ograniczenie do niezbędnych potrzeb przebywania w jej obrębie osób niezatrudnionych do obsługi urządzeń wodnych.

Potencjalny czas przesiąkania wód z powierzchni terenu poprzez utwory strefy aeracji do zbiornika wód podziemnych został oszacowany zgodnie z równaniem [35] na podstawie czasu wymiany wody w gruntach tej strefy poprzez strumień wód pochodzących z infiltracji opadów atmosferycznych (Bielec i in., 2019).

Czas przesiąkania przez strefę aeracji wyniósł $t_a = 31,9$ lat. Z uwagi na obliczony czas przesiąkania oraz zabudowanie w otworze dwóch kolumn rur okładzinowych, izolujących ujętą warstwę wodonośną od płytszych poziomów, nie będzie obowiązku utworzenia TOP. Otwór P-22 nie został dotychczas zagospodarowany.

Inny sposób wyznaczania strefy ochronnej ujęcia, w podobnych warunkach hydrogeologicznych, jak w Piwnicznej-Zdroju, zastosowano w Powroźniku. W obrębie obszaru górniczego Galicjanka II utworzonego dla wód leczniczych otworami M-4 i M-6 ujęto wody zwykłe. Dla otworów tych dokonano obliczeń izochrony 25-letniego dopływu wód do ujęcia z wykorzystaniem metody Wysslinga (Porwisz, Radwan, 2007). Metoda ta została szerszej omówiona w rozdz. 9.2.1. Parametry strefy spływu wód do otworów wyznaczono wzorami na odległość do punktu neu-

tralnego w dół strumienia [25], prędkość efektywną przepływu wód [28] i odległość odpowiadającą zakładanemu czasowi przepływu [29].

Odległości odpowiadające zakładanym czasom przepływu S_0 dla otworów M-4 i M-6 są większe od zasięgu obszarów zasilania tych ujęć, określonych na podstawie badań izotopowych. Czasy dopływu wód do tych otworów są w obydwu przypadkach mniejsze od 25 lat, a zatem granica TOP powinna uwzględniać warunki geologiczne i hydrograficzne terenu (fig. 13.1).

Dokumentowane otwory znajdują się w obrębie Popradzkiego Parku Krajobrazowego, na obszarze wyniesionym morfologicznie, z którego odbywa się spływ wód powierzchniowych. Kierunek przepływu wód podziemnych w utworach fliszowych pokrywa się ze spływem wód powierzchniowych. Teren ten stanowią wyłącznie lasy, brak jest zabudowań i innych obiektów inżynierskich mogących wpływać na jakość wód podziemnych. Poziom wodonośny ujęty w osadach fliszowych odizolowano kolumnami rur okładzinowych postawionymi wodoszczelnie na głębokości 15 m. Przytoczone powyżej informacje stały się podstawą do odstąpienia od utworzenia TOP.

Przykład IV: Proponowane granice obszaru i terenu górniczego

Wyznaczanie obszaru i terenu górniczego dla złóż wód leczniczych pokazano na przykładzie złóż wód leczniczych Gorzanów. W rejonie tej miejscowości wody lecznicze występują w dwóch poziomach wodonośnych, w obrębie piaskowców i margli kredy górnej. W latach 2015–2016 wykonano w Gorzanowie trzy nowe otwory wiertnicze (obok 10 już istniejących), z których dwoma (M-9 i M-10) ujęto wody lecznicze. Jest to złożo tworzące strukturę otwartą, zasilane w obrębie wychodni warstw tworzących tzw. fleksurę Równi Łomnickiej w zachodniej części rowu górnej Nysy Kłodzkiej, położonych około 4–5 km na zachód od Gorzanowa (fig. 13.2). Z obszarów zasilania wody przepływają w kierunku północno-wschodnim, co potwierdza przebieg hydroizohips, tak górnego, jak i dolnego poziomu wodonośnego w osadach kredy górnej (fig. 13.3).

Przy wyznaczaniu granic obszaru i terenu górniczego złóż wód leczniczych Gorzanowa wzięto pod uwagę przebieg hydroizohips zwierciadła wody

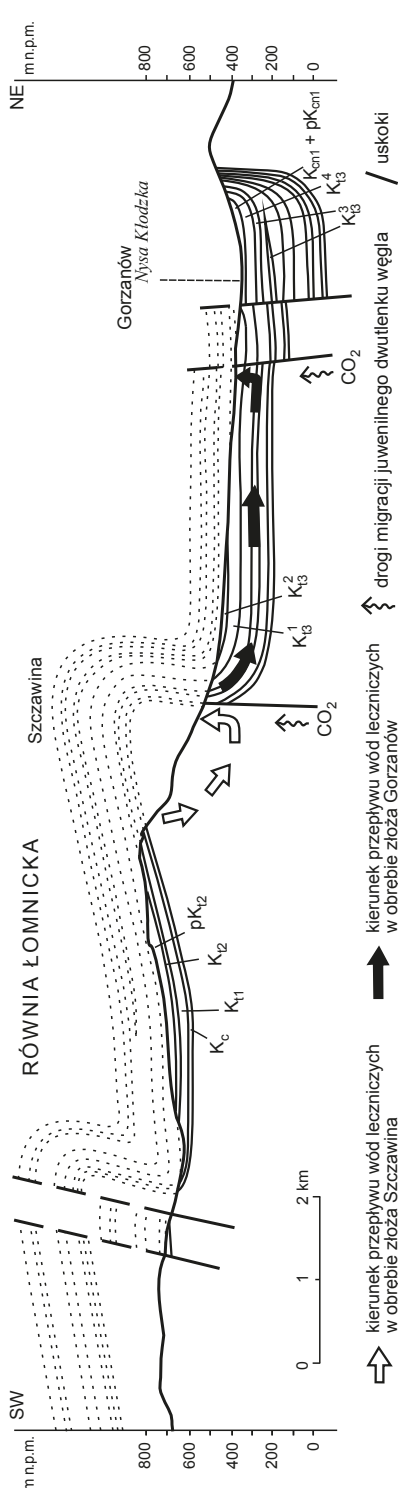


Fig. 13.2. Zasilanie wodami infiltracyjnymi oraz juvenilnym dwutlenkiem węgla ujęć wód Gorzanowa i Szczawiny (na podst. Cieżkowskiego, 1990, z mod. autorów)

K_c – cenoman (zlepienie, piaskowce); K_{t1} – turon dolny (zlepienie, margle); K_{t2} – turon środkowy (piaskowce, margle); K_{t3} – turon górny (margle, dolne); K_{t4} – turon górny (piaskowce); K_{t5} – turon górny (margle); K_{t6} – turon górny (margle); K_{t7} – turon górny (margle); K_{t8} – turon górny (margle); K_{t9} – turon górny (margle); K_{t10} – turon górny (margle); K_{t11} – turon górny (margle); K_{t12} – turon górny (margle); K_{t13} – turon górny (margle); K_{t14} – turon górny (margle); K_{t15} – turon górny (margle); K_{t16} – turon górny (margle); K_{t17} – turon górny (margle); K_{t18} – turon górny (margle); K_{t19} – turon górny (margle); K_{t20} – turon górny (margle); K_{t21} – turon górny (margle); K_{t22} – turon górny (margle); K_{t23} – turon górny (margle); K_{t24} – turon górny (margle); K_{t25} – turon górny (margle); K_{t26} – turon górny (margle); K_{t27} – turon górny (margle); K_{t28} – turon górny (margle); K_{t29} – turon górny (margle); K_{t30} – turon górny (margle); K_{t31} – turon górny (margle); K_{t32} – turon górny (margle); K_{t33} – turon górny (margle); K_{t34} – turon górny (margle); K_{t35} – turon górny (margle); K_{t36} – turon górny (margle); K_{t37} – turon górny (margle); K_{t38} – turon górny (margle); K_{t39} – turon górny (margle); K_{t40} – turon górny (margle); K_{t41} – turon górny (margle); K_{t42} – turon górny (margle); K_{t43} – turon górny (margle); K_{t44} – turon górny (margle); K_{t45} – turon górny (margle); K_{t46} – turon górny (margle); K_{t47} – turon górny (margle); K_{t48} – turon górny (margle); K_{t49} – turon górny (margle); K_{t50} – turon górny (margle); K_{t51} – turon górny (margle); K_{t52} – turon górny (margle); K_{t53} – turon górny (margle); K_{t54} – turon górny (margle); K_{t55} – turon górny (margle); K_{t56} – turon górny (margle); K_{t57} – turon górny (margle); K_{t58} – turon górny (margle); K_{t59} – turon górny (margle); K_{t60} – turon górny (margle); K_{t61} – turon górny (margle); K_{t62} – turon górny (margle); K_{t63} – turon górny (margle); K_{t64} – turon górny (margle); K_{t65} – turon górny (margle); K_{t66} – turon górny (margle); K_{t67} – turon górny (margle); K_{t68} – turon górny (margle); K_{t69} – turon górny (margle); K_{t70} – turon górny (margle); K_{t71} – turon górny (margle); K_{t72} – turon górny (margle); K_{t73} – turon górny (margle); K_{t74} – turon górny (margle); K_{t75} – turon górny (margle); K_{t76} – turon górny (margle); K_{t77} – turon górny (margle); K_{t78} – turon górny (margle); K_{t79} – turon górny (margle); K_{t80} – turon górny (margle); K_{t81} – turon górny (margle); K_{t82} – turon górny (margle); K_{t83} – turon górny (margle); K_{t84} – turon górny (margle); K_{t85} – turon górny (margle); K_{t86} – turon górny (margle); K_{t87} – turon górny (margle); K_{t88} – turon górny (margle); K_{t89} – turon górny (margle); K_{t90} – turon górny (margle); K_{t91} – turon górny (margle); K_{t92} – turon górny (margle); K_{t93} – turon górny (margle); K_{t94} – turon górny (margle); K_{t95} – turon górny (margle); K_{t96} – turon górny (margle); K_{t97} – turon górny (margle); K_{t98} – turon górny (margle); K_{t99} – turon górny (margle); K_{t100} – turon górny (margle).

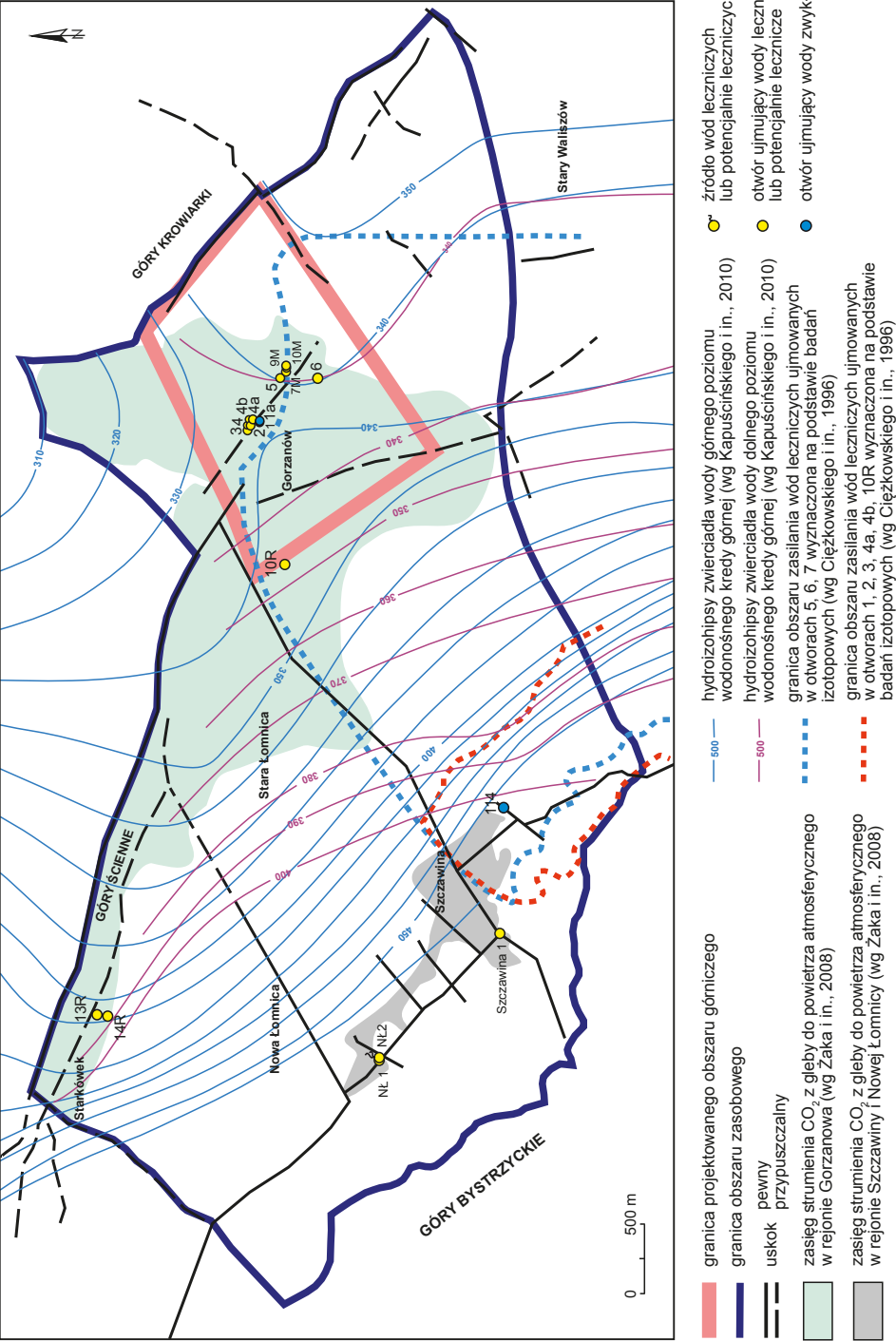


Fig. 13.3. Zasięg obszaru i terenu górniczego złóż wód leczniczych (na podst. Ciężkowskiego i in., 2016a, z mod. autorów)

dolnego poziomu wodonośnego kredy górnej, warunki hydrogeologiczne, tektonikę obszaru, przebieg stref dopływu CO_2 oraz częściowo morfologię terenu. Zaproponowane granice obszaru i terenu górniczego wyznaczono więc zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 18 lipca 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, z uwzględnieniem warunków hydrodynamicznych. Niestety, ze względu na rozległość stref zasilania omawianego złoża, okonturowanie ich granicami obszaru górniczego okazało się niemożliwe. Skupiono się zatem na możliwie maksymalnym ograniczeniu potencjalnych zagrożeń jakie mogą powstać w wyniku ewentualnego, niekontrolowanego wydobywania wód w rejonach ich napływu. Ze względu na warstwowo-szczelinowy charakter złoża kontrola eksploatacji ujęć w sąsiedztwie nowych otworów M-9 i M-10 ma zabezpieczyć wody lecznicze przed ich kontaktami z wodami o niższej mineralizacji. W związku z powyższym zaproponowano obszar górniczy o powierzchni 5 505 412 m² (Ciężkowski i in., 2016a), obejmujący strefę drenażu złoża wód leczniczych Gorzanowa, większość obszaru występowania anomalnie wysokich stężeń dwutlenku węgla w powietrzu glebowym, a także rejon, w którym znajdują się prawie wszystkie ujęcia gorzanowskie (fig. 13.3).

W kredowym piętrze wodonośnym w rejonie Gorzanowa wody lecznicze współwystępują z wodami zwykłymi. Piętro to jest zasilane bezpośrednio infiltracją wód opadowych i odznacza się jedną, wspólną powierzchnią piezometryczną dla poszcze-

gólnych poziomów wodonośnych. Udział wód zwykłych w mieszaninie wód występujących w złożu może wynosić maksymalnie ponad 75%. Dlatego też przy wyznaczaniu obszaru górniczego istotne było poprowadzenie jego granic w taki sposób, aby ograniczyć niekontrolowaną eksploatację wód podziemnych w rejonie ich napływu do gorzanowskich ujęć. Takie podejście umożliwia ochronę zasobów złoża, jednak prowadzi do konfliktów pomiędzy użytkownikami ujęć wód leczniczych i zwykłych.

Przykład Gorzanowa i innych złóż sudeckich, pokazuje jak duże znaczenie w ochronie ilościowej szczaw ma monitorowanie ilości wydobywającego się CO_2 . Prace badawcze, w efekcie których określono naturalny strumień dwutlenku węgla (Żak i in., 2008), pozwolą w przyszłości ochronić zasoby tych wód przed sčerpaniem. Intensywne wydobywanie wód zawierających CO_2 wywołuje wzmożony dopływ tego gazu, co z czasem może doprowadzić do wyczerpania jego zasobów. Rezultaty dotychczasowych prac pokazują, że badaniami należałoby objąć nie tylko rejon występowania szczaw, ale również obszary wzdłuż stref tektonicznych, którymi następuje migracja CO_2 .

Reasumując treść niniejszego rozdziału można stwierdzić, że większość złóż wód leczniczych stanowi odrębną strukturę hydrogeologiczną, zarówno pod względem budowy geologicznej, reżimu hydrogeologicznego, jak i wrażliwości na potencjalne zagrożenia. Wymaga to zatem indywidualnej analizy każdego ze złóż pod kątem zagrożeń i ochrony.

14. WNIOSEK ZASOBOWY

Bogusław Porwisz, Jakub Sokołowski

Wniosek zasobowy jest końcowym etapem zrealizowanych prac i robót geologicznych. Jego sporządzenie wiąże się z powiązaniem kilku aspektów omówionych w dokumentacji, m.in. wielkości wydajności eksploatacyjnej, wartości dopuszczalnej depresji, właściwości fizyczno-chemicznych wody, warunków dopływu wody do ujęcia, warunków technicznych eksploatacji i współoddziaływania z ujęciami sąsiednimi (fig. 14.1). Jest on wymagany również Rozporządzeniem Ministra Środowiska w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej. Procedura prawna wiąże także z zasobami eksploatacyjnymi pojęcie zasobów dyspozycyjnych obszaru bilansowego, nakazując określenie w jego granicach dostępnej rezerwy zasobów dyspozycyjnych, co również powinno być elementem wniosku zasobowego.

Podejście obowiązujące przy dokumentowaniu zasobów eksploatacyjnych ujęć wód zwykłych jest w praktyce zbieżne z zasadami formułowania wniosku zasobowego dla ujęć wód leczniczych. W obu przypadkach decydujące znaczenie dla określenia wielkości zasobów eksploatacyjnych powinno mieć zapotrzebowanie na wodę i możliwość jej pozyskania, limitowana wieloma czynnikami, wśród których do najważniejszych należą ograniczenia wynikające z maksymalnej depresji (głębokości dynamicznego zwierciadła wody), która nie powinna być większa niż $\frac{1}{3}$ wysokości słupa wody w otworze, rozdysponowania dostępnych zasobów dyspozycyjnych, z eksploatacji ujęć sąsiednich, a także

ograniczenia wynikające z wymogów ochrony środowiska, czy konieczność uzyskania ściśle określonych parametrów fizyczno-chemicznych wody i utrzymanie ich w procesie wydobywania (Dąbrowski i in., 2004). Powyższe zasady określania wielkości zasobów eksploatacyjnych dla ujęć wód leczniczych są ściślej powiązane z chemizmem wód, który musi gwarantować ich przydatność dla lecznictwa i/lub butelkowania, a także z warunkami wydobywania. Ujęcia pompowane, z których woda jest wykorzystywana na potrzeby rozlewnictwa są zazwyczaj eksploatowane stale z krótkotrwałymi przerwami, natomiast jeśli woda jest wydobywana na potrzeby balneoterapii, to czas pracy ujęcia jest często ograniczony do kilku godzin na dobę.

Wniosek zasobowy powinien zawierać następujące informacje:

- wielkość zasobów eksploatacyjnych w m^3/h i m^3/d ;
- wielkość depresji dla podanych zasobów eksploatacyjnych w m;
- głębokość poziomu wydobywania, czyli głębokość poziomu dynamicznego zwierciadła wody w m;
- rzędną poziomu wydobywania, czyli rzędną poziomu dynamicznego zwierciadła wody w studni w m n.p.m.;
- czas pracy ujęcia;
- typ ujętej wody, określony dla wydajności wnioskowanej do zatwierdzenia jako zasoby eksploatacyjne;

- mineralizację ogólną w mg/dm^3 ujętej wody, określoną dla wydajności wnioskowanej do zatwierdzenia jako zasoby eksploatacyjne;
- wartość wykładnika gazowego w dm^3/dm^3 (jeśli był badany) dla wydajności wnioskowanej do zatwierdzenia jako zasoby eksploatacyjne;
- temperaturę wody na wypływie przy wydajności wnioskowanej do zatwierdzenia jako zasoby eksploatacyjne (w przypadku wód leczniczych o podwyższonej temperaturze).

Informacje te, wraz z podaniem powierzchni obszaru zasobowego i powierzchni proponowanego obszaru górniczego (w km^2), należy zamieścić także w karcie informacyjnej, która powinna zostać umieszczona na początku każdej dokumentacji ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia wód podziemnych. Karta ta wymaga uzupełnienia o informacje dotyczące wielkości zasobów dyspozycyjnych w obszarze bilansowym, wielkości zasobów eksploatacyjnych wszystkich ujęć wód leczniczych w obszarze bilansowym, wielkości poboru wód (w przypadku aktualizacji zasobów), typu struktury hydrogeologicznej i odnawialności zasobów. Informacje te, w większości możliwe do pozyskania z baz danych PIG-PIB, są niezwykle istotne z punktu widzenia ochrony zasobów złóż wód leczniczych i racjonalnego ich wykorzystania.

Zaleca się, aby wniosek zasobowy zweryfikować po okresie kilkuletniej eksploatacji ujęcia, na podstawie prowadzonych obserwacji stacjonarnych, które umożliwią dokładniejsze określenie parametrów eksploatacyjnych w zależności od charakteru i czasu pracy ujęcia, przy ustalonych warunkach dopływu wody do otworu. Okres, po którym postuluje się aktualizację zasobów eksploatacyjnych ujęcia, powinien być uzależniony od warunków hydrodynamicznych i zmienności obserwowanych parametrów. Proponuje się, aby nie był on krótszy niż 3 lata. W przypadku aktualizacji zasobów eksploatacyjnych należy przytoczyć dotychczasowe informacje zawarte w obowiązującym jeszcze wniosku zasobowym i wskazać różnice oraz przyczynę zmian.

Wielkość zasobów eksploatacyjnych przedstawianych do zatwierdzenia może być mniejsza niż wskazywałyby na to wyniki próbnego pompowania.

Jak już wspomniano ograniczenie to może wynikać m.in. z niedużej rezerwy dostępnych zasobów dyspozycyjnych zbiornika/struktury hydrogeologicznej. W rejonach intensywnego wydobycia, znajdujących się w obrębie wyznaczonych obszarów bilansowych, na przykład w dolinie Popradu, redukuje się zasoby istniejących ujęć, tak aby było możliwe zatwierdzenie zasobów eksploatacyjnych nowych ujęć. Oczywiście w przypadku naturalnych wypływów nie ma możliwości zwiększenia zasobów wywołanych rosnącym zapotrzebowaniem na wodę, ani ich zmniejszenia, gdyż nadmiar niewykorzystanej wody musi zostać odprowadzony. Należy jednak mieć na uwadze fakt, że woda z dokumentowanego ujęcia znajdującego się w obszarze bilansowym może mieć inne pochodzenie niż wody, dla których ustalono zasoby dyspozycyjne, a zatem nie zawsze można porównywać wielkość obu rodzajów zasobów. Przykładowo, woda ujęta otworem Misericordia w Krakowie-Łagiewnikach ma inną genezę niż woda ze złoża Mateczny, w którego granicach obszaru bilansowego się znajduje (Józefko i in., 2017). Ograniczenie wielkości zasobów we wniosku może też nastąpić po przeprowadzeniu próbnego wydobycia, jeśli próbne pompowanie pomiarowe było niemiernodajne, na przykład z uwagi na brak stabilizacji depresji.

We wniosku zasobowym należy też określić, czy ujęcie może być eksploatowane w sposób ciągły. W strukturach półotwartych, gdzie następuje dopływ lateralny z innych struktur, pobór wody do pewnej ilości może nie naruszać zasobów sprężystych, tj. nie powodować spadku quasi-statycznego zwierciadła wody. Zwiększenie wydobycia prowadzi natomiast do naruszenia zasobów sprężystych, a w dalszej kolejności statycznych, i spadku głębokości położenia zwierciadła wody, wzrostu depresji i rozwoju jej leja. Wielkość zasobów sprężystych zależy od wielkości struktury wodonośnej (inna będzie w stosunkowo niedużych, izolowanych blokach zapadliska przedkarpackiego rejonu Buska-Zdroju i Solca-Zdroju, inna w utworach miocenu na Śląsku), zdolności do odkształceń szkieletu mineralnego, zmiany objętości porów i sprężystego odkształcenia wody, wywołanych na przykład ciśnieniem nagromadzonych, nierozpuszczonych gazów zawartych w wodach. Zasoby statyczne są zależne od pojemności wodnej struktury wodonośnej i zdolności do

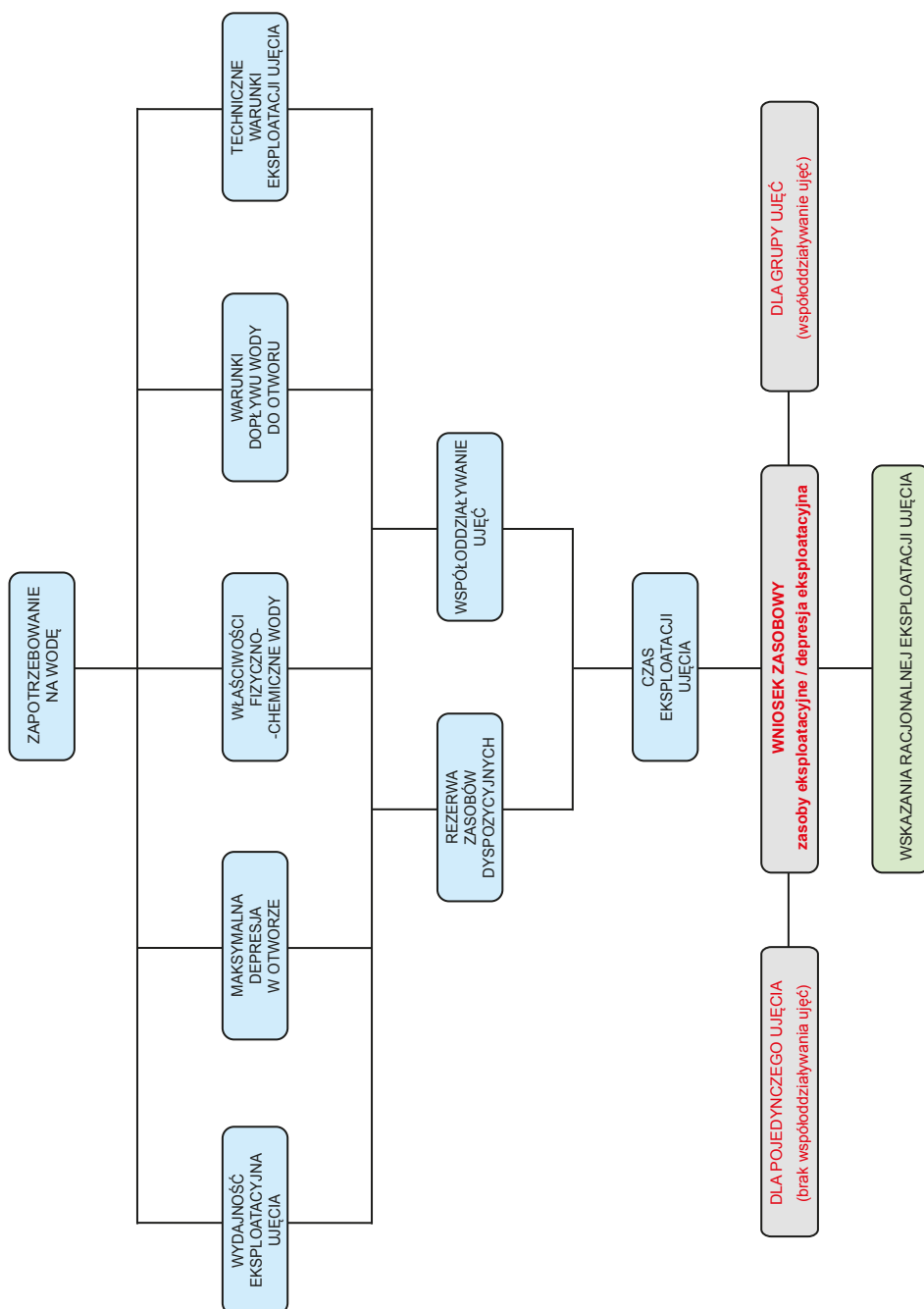


Fig. 14.1. Elementy wniosku zasobowego

odsączania wody, dlatego w Zabłociu ich szczypanie jest niezauważalne (Śląski, Chlebiak, 2017), a w okolicach Buska-Zdroju już tak (Lisik, 2010; Lisik, Szczepański, 2014, 2018; Gągulski i in., 2018). W Wełninie po kilkunastu latach wydobywania ciśnienie wód na głowicy spadło o około 0,9 b (Zardzewiały, 2017), przy czym ujęcie było eksploatowane przy rocznym wydobywaniu na poziomie nieprzekraczającym 10% rocznych zasobów eksploatacyjnych. Podobne zjawisko zaobserwowano w Dobrowodzie, gdzie depresja wzrosła o 13 m przy 50-procentowym stopniu wykorzystania (Zardzewiały, 2017). Natomiast w Lesie Winiarskim proces ten zachodzi tylko w niewielkim stopniu (Lisik, Szczepański, 2018). Dla zasobów nieodnawialnych ustalenie optymalnych parametrów eksploatacyjnych jest procesem długotrwałym. W Busku-Zdroju zostały one ustalone dopiero po dziesiętkach lat wydobywania, czego efektem było zahamowanie spadku quasi-statycznego zwierciadła wody. Obecnie, w wyniku zwiększonego wydobywania, następuje dalsze obniżanie się statycznego zwierciadła wody. Przyjęcie zasobów eksploatacyjnych na poziomie istotnie niższym niż wydajność dopuszczalna, na podstawie interpolacji wykresu $Q = f(s)$, będzie także wpływać korzystnie na żywotność otworu. Pobieranie zbyt dużej ilości wody może w krótkim czasie doprowadzić do zniszczenia konstrukcji filtra, a w konsekwencji do unieruchomienia otworu. W przypadku głębokich otworów, w warunkach bardzo wysokiego ciśnienia złożowego wód, oznacza to w praktyce brak możliwości renowacji ujęcia.

W przypadku niepełnego rozpoznania warunków hydrogeologicznych, zwłaszcza w sytuacji domniemanego współoddziaływania ujęć, zasoby eksploatacyjne dokumentowanego otworu/źródła powinny zawierać się w już ustalonej wielkości zasobów całego ujęcia wielootworowego, jak to ma miejsce w przypadku wód siarczkowych w Busku-Zdroju, Lesie Winiarskim i Wełninie. Jeśli otwory pracują w niezależnym reżimie hydrogeologicznym, mimo niewielkiej odległości, ich zasoby powinny zostać ustalone osobno, jeżeli jest to możliwe (Lisik, Szczepański, 2018).

W sytuacji gdy dokumentowane otwory (wchodzące w skład wielootworowego ujęcia) znajdują się w niewielkiej odległości od siebie zaleca się przyjęcie wydajności na takim poziomie, aby depresje w tych otworach były zbliżone. Efektem takiego działania będzie superpozycja dystalnych stref lejów depresji. Otwory mogą być wówczas eksploatowane naprzemiennie lub wspólnie.

W przypadku wód leczniczych o podwyższonej temperaturze, gdy jej wartość ma znaczenie dla przyszłego sposobu wykorzystania wody, przy ustalaniu ostatecznej wielkości zasobów eksploatacyjnych należy mieć na uwadze, że wydajność ujęcia wpływa na wielkość temperatury (wraz ze wzrostem wydajności wzrasta temperatura wody).

Wniosek zasobowy powinien być uzupełniony wskazaniem dotyczącym racjonalnej eksploatacji ujęcia. Zbiór najważniejszych wskazań w tym zakresie przedstawiono w dodatku VI.

15. PRZYKŁADY OCENY ZASOBÓW EKSPLOATACYJNYCH UJĘĆ WÓD LECZNICZYCH

Jakub Sokołowski, Elżbieta Liber-Makowska, Bogusław Porwisz

Przykład I: Krynica Morska

- struktura zakryta (SD)
- prowincja platformy prekambryjskiej (A)
- ujęcie jednootworowe (pompowanie jednootworowe bez obserwacji w piezometrach)
- dopływ turbulentny (fluacja)
- woda 3,82% typu Cl-Na,I

Sposób dokumentowania zasobów eksploatacyjnych wód leczniczych występujących w zakrytych strukturach geologicznych omówiono na przykładzie złoża w Krynicy Morskiej (Waligóra i in., 2016). Złoże znajduje się w obrębie syneklizy perybałtyckiej (obniżenia bałtyckiego), będącej strukturalną depresją w obrębie prekambryjskiej platformy wschodnioeuropejskiej. Krystaliczne podłoże, którego strop zalega na głębokości około 3000–3500 m, jest przykryte pokrywą osadową, w której wyróżnia się dwa kompleksy strukturalne: wendyjsko-staropaleozoiczny o miąższości około 2000 m oraz permsko-mezozoiczny o miąższości około 1500 m (fig. 15.1). Na powierzchni terenu zalegają osady kenozoiczne osiągające miąższość około 150 m.

Złoże rozpoznano jednym otworem wiertniczym Krynica Morska IG-1 wykonanym w 1969 r. do głębokości całkowitej 1800 m. Ostatecznie, po zafiltrowaniu, głębokość ujęcia wynosi 894 m. Najstarszymi, rozpoznanymi utworami są iłowce z wkładkami mułowców i piaskowców w stropie, których strop nawiercono na głębokości około 1600 m. Powyżej

nich występują utwory permu: anhydryty i sole kamienne z przewarstwieniami mułowców i wapieni o miąższości około 340 m. Profil utworów mezozoicznych rozpoczynają osady triasu, których strop stwierdzono na głębokości około 730 m. Jest on reprezentowany głównie przez osady pstrego piaskowca o miąższości około 534 m, wykształconych jako iłowce i mułowce z przewarstwieniami piaskowców. Osady jurajskie, udokumentowane w głębokości 565–731 m, są reprezentowane przez piaski z przewarstwieniami iłów oraz mułowce. Profil mezozoiku kończą osady kredy, nawiercone na głębokości około 142 m. Są one wykształcone w facji węglanowej (margle z wkładkami wapieni), poniżej której występują piaski, mułki i mułowce. Łączna miąższość utworów kredy wynosi około 423 m. Do paleogenu zaliczono nawiercone na głębokości 105 m margle, iły i mułki. Na powierzchni terenu występują osady czwartorzędowe, głównie glacialne, fluwioglacjalne i zastoiskowe oraz rzeczne, a także eoliczne i morskie, reprezentowane przez piaski o różnej granulacji oraz gliny zwałowe, iły, mułki, mady i torfy o miąższości wynoszącej około 100 m.

Wyniki opróbowań sąsiednich, głębokich otworów wiertniczych wykonanych w rejonie Zatoki Gdańskiej (otw. Frombork IGH-1, Sopot IG-1) wskazują, iż najkorzystniejsze warunki hydrogeologiczne dla ujęcia wód leczniczych panują w utworach triasu dolnego (pstrego piaskowca górnego i środkowego) i jury. Utwory syluru nie wykazują właściwości

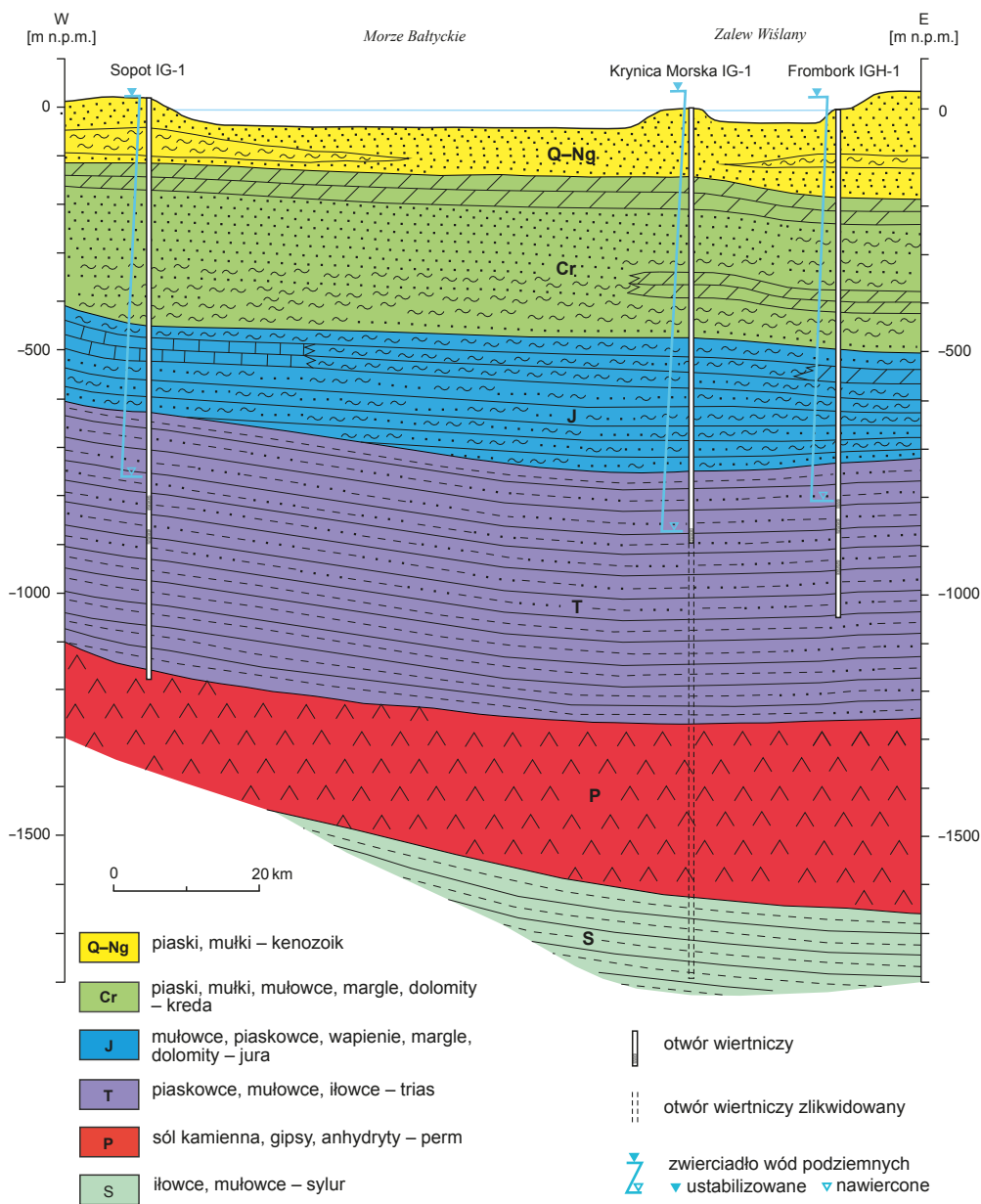


Fig. 15.1. Przekrój geologiczny przez rejon Krynicy Morskiej (na podst. Waligóry i in., 2016, z mod. autorów)

zbiornikowych, natomiast w utworach cechsztynu występują poziomy węglanowe, z których niekiedy uzyskano niewielkie (<1 m³) dopływy solanek. Kredowy poziom wodonośny w obrębie złoża nie został rozpoznany. Otworem Krynica Morska IG-1 ujęto wody lecznicze z drobno- i średnioziarnistych piaskowców

triasu występujących na głębokości 854-894 m. Temperatura wody na wypływie z ujęcia wynosiła 24°C. W udostępnionym do wydobywania poziomie wodonośnym panują warunki artezyjskie. Zwierciadło wody, nawiercone na głębokości 854 m, ustabilizowało się 39 m powyżej poziomu terenu. Wydajność

eksploatacyjną otworu (przy samowypływie) określono początkowo w wysokości 44,7 m³/h przy depresji 39,0 m. Triasowe piętro wodonośne w rejonie Krynicy Morskiej jest dobrze odizolowane od warstw wodonośnych innych pięter. Rolę utworów izolujących najczęściej pełnią mułowce i iłowce, występujące powszechnie w stropowej części osadów triasu oraz jury, podrzędnie mułki i margle. Łączna miąższość osadów słaboprzepuszczalnych występujących powyżej warstw wodonośnych triasu jest szacowana na ponad 450 m. Otwór Krynica Morska IG-1 od chwili wykonania nie był eksploatowany.

Główny użytkowy poziom wodonośny występuje w plejstoceno-holocenijskich piaskach drobno- i średnioziarnistych, lokalnie rozdzielonych mułkami, namułami czy torfami. Poziom ten występuje w formie soczewy pomiędzy zasolonymi wodami Zatoki Gdańskiej i Zalewu Wiślanego i jest zasilany na drodze infiltracji opadów atmosferycznych. W wodach piętra czwartorzędowego w Krynicy Morskiej obserwuje się jednak podwyższone stężenia chlorków, dochodzące do 80 mg/dm³, choć w latach 90. XX w. sięgały one 170 mg/dm³. Zasolenie to było związane z intensywnością poboru, wywołującą dopływ słonych wód morskich. Obecnie pobór wód na Mierzei Wiślanej został ograniczony, co wpływa korzystnie na stan ilościowy zasobów zwykłych wód podziemnych.

Wody lecznicze występujące na omawianym obszarze nie mają udokumentowanych zasobów dyspozycyjnych. W wyniku rekonstrukcji otworu Krynica Morska IG-1 zaszła konieczność aktualizacji jego zasobów eksploatacyjnych. W tym celu przeprowadzono badania wielkości samowypływu na trzech stopniach hydrodynamicznych. Przed rozpo-

częciem testu pomiarowego otwór poddano samooczyszczeniu przez okres kilku dni, dzięki czemu na wypływie uzyskano czystą i klarowną wodę. Podczas testów wykonywano pomiary ciśnienia głowicowego oraz temperatury wody na wypływie z ujęcia. Na pierwszym stopniu hydrodynamicznym wydajność wynosiła 13,5 m³/h przy depresji 4,0 m (tj. ciśnieniu na głowicy 3,4 b). Na drugim stopniu przyjęto wydajność 27,0 m³/h przy depresji 18,0 m (ciśnienie na głowicy 2,1 b). Trzeci stopień prowadzono przy wydajności 40,5 m³/h, której odpowiadała depresja 34,0 m (ciśnienie na głowicy 0,2 b). Po każdym stopniu hydrodynamicznym następowała 24-godzinna przerwa i stabilizacja zwierciadła wody. Temperatura wody na wypływie z ujęcia przez cały okres badań wynosiła od 23,5°C do 23,9°C. Pod koniec badań pobrano próby wody do analizy fizyczno-chemicznej, radiologicznej oraz mikrobiologicznej. Wyniki badań hydrodynamicznych w otworze zestawiono w tab. 15.1.

Dopływ wód do ujęcia ma charakter turbulentny (fluacja), współczynnik fluacji obliczono zatem wzorem Krasnopolskiego [7] na podstawie wyników badań terenowych uzyskanych podczas testów hydrodynamicznych prowadzonych bez otworów obserwacyjnych oraz przy założeniu bardzo małego promienia studni w stosunku do promienia obszaru oddziaływania ujęcia. Średni współczynnik fluacji wynosi 4,91 · 10⁻⁵ m/s. Wartość ta uwzględnia stopień zmniejszenia wynikający z mineralizacji ogólnej wody, wynoszący 0,79 (Turek, 1971). Uzyskany wynik jest zbliżony do wartości otrzymanych na podstawie analizy granulometrycznej przy zastosowaniu wzoru amerykańskiego. Dopuszczalną prędkość wlotową w strefie filtra wyznaczono wzorem Truelsena (Dąbrowski i in., 2004) dla ujęć planowanych do wieloletniej eksploatacji przeznaczonych do zaopatrzenia

Tab. 15.1. Zestawienie wyników testów hydrodynamicznych w otworze Krynica Morska IG-1 (na podst. Waligóry i in., 2016)

Stopień hydrodynamiczny	Wydajność [m ³ /h]	Depresja [m]	Wydajność jednostkowa [m ³ /h·1 m s]	Czas trwania [h]
I	13,5	4,0	3,4	12
II	27,0	18,0	1,5	12
III	40,5	34,0	1,2	12

przemysłu w wodę. Następnie obliczono dopuszczalną wydajność ujęcia, która wynosi $12,8 \text{ m}^3/\text{h}$. Maksymalna wydajność ujęcia jest niższa niż wielkość samowypływu przyjętego na I stopniu testów hydrodynamicznych, a zatem należy ją traktować jako szacunkową. Zasięg oddziaływania ujęcia, wynoszący w zaokrągleniu 714 m, obliczono za pomocą wzoru Sichardta dla wód o zwierciadle napiętym [12]. Brak badań zespołowych w hydrowężle (brak innych otworów ujmujących wody badanego poziomu) uniemożliwił zastosowanie schematu obliczeniowego dla dopływu nieustalonego (schematu Theisa-Jacoba). Wcześniej, dwukrotnie w latach 70. XX w., w otworze wykonywano jedynie typowe testy hydrodynamiczne polegające na obserwacji wielkości samowypływu, temperatury wody na wypływie i wielkości ciśnienia na głowicy.

W warunkach trwałego wydobywania wody z ujętego poziomu nie można wykluczyć uruchomienia ascenzji wód o wyższej mineralizacji ogólnej z niższych poziomów wodonośnych lub dopływu z dalszego otoczenia otworu, w konsekwencji ingresji zasolonych wód morskich do użytkowego poziomu wodonośnego. Aby nie spotęgować przesączania wód z poziomów nadległych, zasoby eksploatacyjne ustalono w wysokości zaledwie $1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ (wielkość mniejsza od przyjętej na I stopniu testów hydrodynamicznych) przy depresji 12,8 m. Przy takiej wielkości zasobów ujęcie będzie eksploatowane przy samowypływie, a więc zwierciadło wód podziemnych nie zostanie obniżone poniżej powierzchni terenu, a także poniżej przewidywanych linii ciśnień piezometrycznych w poziomach wodonośnych jury i kredy. Uwzględniając powyższe założenia zasięg oddziaływania ujęcia, utożsamiany z obszarem zasobowym, wyznaczono w formie okręgu o promieniu 269 m. Wykonane badania wykluczyły możliwość negatywnego oddziaływania eksploatacji otworu Krynica Morska IG-1 na inne ujęcia wód podziemnych.

Ujętą wodę scharakteryzowano jako 3,82% wodę typu Cl-Na,I. Wstępna analiza składu chemicznego wód z poziomu wodonośnego triasu w rejonie Krynicy Morskiej wykazała, że skład chemiczny wód jest względnie stały i trwały i podlega nieznacznym (naturalnym) wahaniom. W warunkach ciągłego wydobywania wody z tego poziomu może nastąpić w przeciągu kilku lat nieznaczna zmiana minerali-

zacji ogólnej wody oraz mogą występować nieznaczne zmiany stężenia chlorków i sodu na poziomie maksymalnie do $\pm 5\%$ oraz jodków do kilkunastu procent. Zmiany te nie spowodują jednak utraty właściwości leczniczych przez ujęte wody.

Granice obszaru i terenu górniczego zaproponowano zgodnie z zasięgiem leja depresji, przyjmując wyznaczoną z obliczeń hydrogeologicznych wartość $R = 269 \text{ m}$, dodatkowo powiększoną półtorakrotnie w celu zapewnienia marginesu bezpieczeństwa oddziaływania ujęcia (Ciężkowski, Kapuściński, 2011). Ostatecznie granice obszaru i terenu górniczego zostały wyznaczone za pomocą ośmioboków opisanych na okręgu o średnicy 405 m, którego środkiem jest otwór Krynica Morska IG-1 (fig. 15.2). Dolną i górną granicę obszaru górniczego stanowi spąg i strop warstwy wodonośnej. Ze względu na brak w sąsiedztwie innych ujęć wód podziemnych zafiltrowanych w utworach triasu oraz brak, w warunkach naturalnych, łączności z użytkowym poziomem wodonośnym w utworach czwartorzędowych nie było konieczne wydzielanie wewnętrznych podobszarów w obrębie obszaru górniczego, co z kolei uzasadnia wyznaczenie zasięgu terenu górniczego jako tożsamego z zasięgiem obszaru górniczego.

Złoże wód leczniczych występuje w utworach typu szczelinowego, a zatem podczas eksploatacji ujęcia może dojść do zmian zarówno ilości, jak i właściwości fizyczno-chemicznych wód. W związku z powyższym zalecono prowadzenie w ujęciu regularnych obserwacji, pomiarów i badań hydrogeologicznych, przede wszystkim w początkowej fazie wydobywania, w celu umożliwienia w przyszłości ewentualnej korekty zatwierdzonych zasobów. Ponadto planowane wieloletnie wydobywanie umożliwi stabilizację warunków hydrodynamicznych (dopływu wody do ujęcia). W najbliższym otoczeniu otworu Krynica Morska IG-1 brak jest ujęć, które mogłyby spełniać kryteria dla monitoringu osłownego, stąd w dokumentacji hydrogeologicznej zaproponowano wykonywanie co 5 lat oznaczeń składu izotopów stabilnych tlenu i wodoru w wodach z ujęcia. Badania te będą także pomocne dla określenia w wodach leczniczych udziału wód infiltrujących z Morza Bałtyckiego lub wpływu ascendujących solanek z głębszych poziomów wodonośnych.



Fig. 15.2. Szkic hydrogeologiczny rejonu Krynicy Morskiej (na podst. Waligóry i in., 2016, z mod. autorów)

Przykład II: Stara Łomnica

- struktura otwarta (SA)
- prowincja sudecka (C)
- ujęcie wielootworowe (pompowanie zespołowe)
- dopływ laminarny
- szczawy i wody kwasowęglowe 0,03–0,13% typu $\text{HCO}_3\text{--Ca}$

Podejście stosowane przy dokumentowaniu zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych występujących w Sudetach omówiono na przykładzie złoża w Starej Łomnicy (Poprawski, Kaniewski, 2020). Stara Łomnica znajduje się w rowie górnej Nysy, przy krawędzi z niecką śródsudecką, w strefie kontaktowej z krystalinikiem Gór Bystrzyckich wzdłuż tzw. fleksury rowu górnej Nysy. Fleksura ta jest do-

datkowo pocięta uskokami, z których największym jest uskok Szczawinki. Tektonika obszaru ma charakter uskokowy, a sieć uskoków prawdopodobnie sięga w głębokie podłoże krystaliczne, co tłumaczy genezę CO_2 nadającego wodom podziemnym leczniczy charakter. W budowie geologicznej omawianego obszaru biorą udział utwory staropaleozoicznego podłoża krystalicznego (gnejsy i łupki hornblendowe) oraz utwory kredy górnej, tworzące w rejonie złoża obniżenie Polanicy-Zdroju, będące synklinalnym zagłębieniem o rozciągłości NW-SE, ograniczonym od południa i północy Górami Bystrzyckimi i Stołowymi (fig. 15.3). Pod względem litologicznym utwory kredy górnej są wykształcone jako piaskowce i zlepnieńce cenomanu oraz piaskowce, mułowce, łupki ilaste i margle turonu i koniak. Na powierzchni terenu występują utwory czwartorzędowe reprezentowane

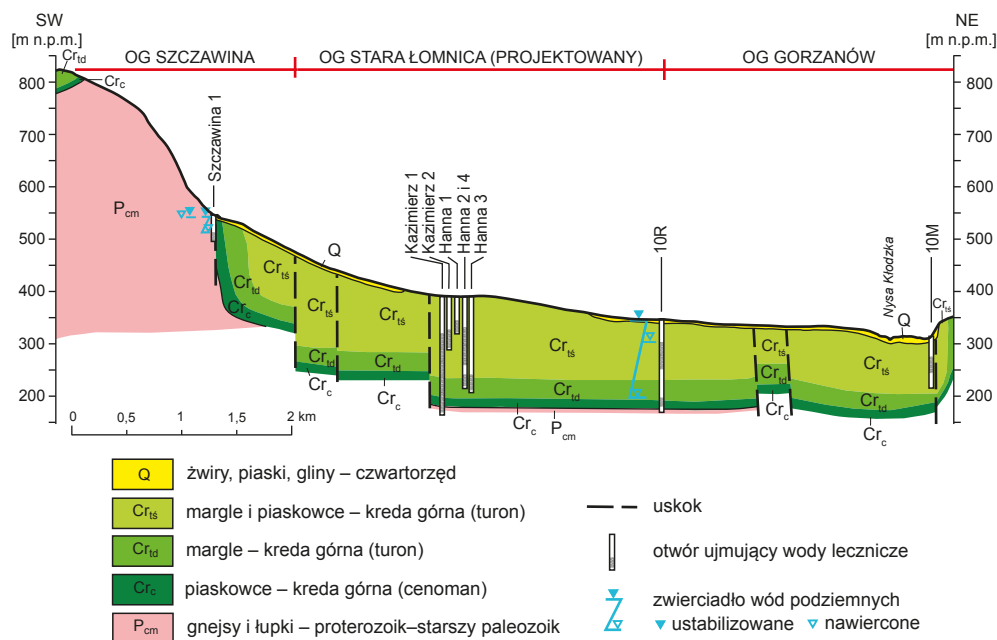


Fig. 15.3. Przekrój geologiczny przez rejon Starej Łomnicy
 (na podst. Poprawskiego i Kaniewskiego, 2020, z mod. autorów)

przez osady glacialne i rzeczne (piaski i żwiry tarasów rzecznych) oraz utwory zwietrzelinowe, wykształcone jako gliny piaszczyste. Miąższość tych osadów wynosi kilka metrów, a ich rozprzestrzenienie ogranicza się głównie do dolin rzecznych oraz pokryw stokowych.

Występowanie wód leczniczych jest ściśle związane z najważniejszymi dyslokacjami, takimi jak strefa uskoku Pstrężna–Gorzanów oraz uskoki północny Bystrzycy Kłodzkiej. Jak już wspomniano strefy uskoku stanowią dogodne drogi migracji CO₂, zarówno zawartego w wodach podziemnych, jak i w postaci gazowej (ekshalacje). Dwutlenek węgla przedostaje się uskokami poprzecznymi do wymienionych stref w utworach kredy górnej, gdzie miesza się z wodami współczesnej infiltracji, tworząc szczawiny wypływające w licznych źródłach wzdłuż kontaktu uskoku z powierzchniami wcięć erozyjnych, na przykład w Dolinie Szczawinki. Warunki hydrogeologiczne w rejonie złoża są stosunkowo dobrze rozpoznane, choć znacznie skomplikowane. Rozpoznano tu trzy piętra wodonośne: czwartorzędowe, górnokredowe i staropaleozoiczne. Czwartorzędowe piętro wodonośne jest zwią-

zane przede wszystkim z rzeczными osadami piaszczysto-żwirowymi i rozprzestrzenia się głównie w dolinach rzek. Nieciągłe poziomy wodonośne występują również w utworach zwietrzelinowych. Wody lecznicze występują w kredowym piętrze wodonośnym o charakterze szczelinowo-porowym, związanym z różnoziarnistymi piaskowcami oraz marglami dolnego i środkowego turonu. Zasobność wodna poziomu zależy od zaangażowania tektonicznych utworów. Strefy dyslokacyjne i uskoku stanowią uprzywilejowane rejony gromadzenia się wód podziemnych. W Starej Łomnicy utwory te są zawadnione w kilku strefach głębokościowych: około 60 m, 70 m, 90 m i 130–150 m (fig. 15.4). Zwierciadło wody ma najczęściej charakter subartezyjski, na części obszaru panują warunki artezyjskie. Staropaleozoiczne piętro wodonośne jest związane ze spękanymi i szczelinowatymi skałami metamorficznymi (gnejsami i łupkami łuszczkowymi). Jego strop występuje na głębokości 160 m. W rejonie Starej Łomnicy piętro to posiada łączność hydrauliczną z piętrzem kredowym, tworząc wspólny system wodonośny. Zwierciadło wody stabilizuje się na głębokości około 40 m. Parametry hydrogeo-

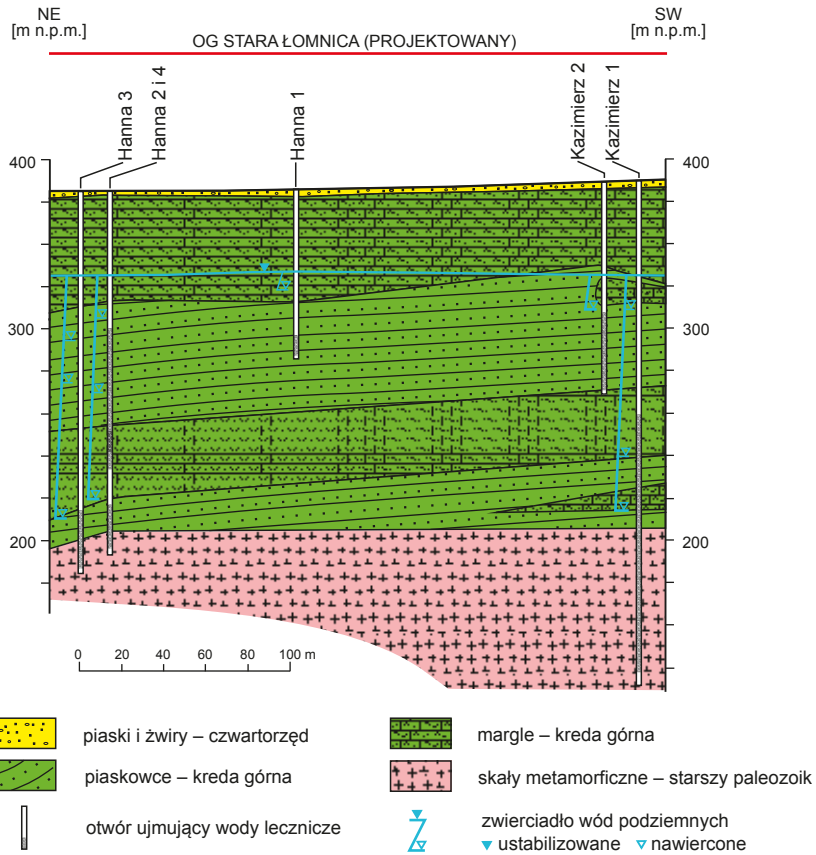


Fig. 15.4. Przekrój hydrogeologiczny przez złożo wód leczniczych w Starej Łomnicy (na podst. Poprawskiego i Kaniewskiego, 2020, z mod. autorów)

logiczne warstwy wodonośnej nie zostały określone, gdyż piętro to zostało ujęte łącznie z utworami piętra kredowego.

Złożo rozpoznano sześcioma otworami wiertniczymi (w nawiasach podano głębokość otworu): Kazimierz 1 (gł. 238 m), Kazimierz 2 (gł. 99,5 m), Hanna 1 (gł. 80 m), Hanna 2 (gł. 171 m), Hanna 3 (gł. 180 m) i Hanna 4 (gł. 132 m). Projekt robót geologicznych przewidywał ujęcie wód zwykłych do celów technologicznych rozlewni „Długopolanka”, jednak w wyniku prac wiertniczych stwierdzono dopływ wód o właściwościach leczniczych. Podstawą obliczenia zasobów eksploatacyjnych było próbne pompowanie pomiarowe poszczególnych otworów (tab. 15.2), a następnie pompowanie zespołowe przeprowadzone na jednym, maksymalnym stopniu depresji (tab. 15.3). W trakcie próbnych pompowań pobierano próby wód

do badań laboratoryjnych: fizyczno-chemicznych, bakteriologicznych, a także izotopowych (izotopy stabilne tlenu i wodoru oraz tryt).

Do obliczeń przyjęto następujący schemat dopływu: studnia zupełna, dopływ ustalony, filtracja laminarna, warstwa o zwierciadle naporowym, schemat obliczeniowy Dupuita. Średni współczynnik filtracji, obliczony wzorem Dupuita [1], wynosi od $3,60 \cdot 10^{-7}$ do $6,36 \cdot 10^{-5}$ m/s. Dopuszczalną prędkość wlotową wyznaczono wzorem Abramowa (Turek, 1971) dla ujęć przewidzianych do stałej eksploatacji w okresie kilku lat. Następnie obliczono dopuszczalną wydajność poszczególnych ujęć, która wynosi 24,1–125,7 m³/h. Zasięg leja depresji obliczono dla całego ujęcia składającego się z sześciu otworów, wykorzystując metodę wielkiej studni. Jako promień zastępczy wielkiej studni przyjęto połowę odległo-

Tab. 15.2. Zestawienie wyników pompowań pomiarowych ujęć wód leczniczych w Starej Łomnicy (na podst. Poprawskiego i Kaniewskiego, 2020)

Nazwa ujęcia	Wydajność [m³/h]	Depresja [m]	Wydajność jednostkowa [m³/h·1 m s]	Czas trwania [h]
Hanna 1	14,0	1,2	11,7	26
Hanna 2	9,5	1,1	8,6	28
Hanna 3	14,0	1,8	7,8	24
Hanna 4	16,0	4,9	3,3	44
Kazimierz 1	6,3	49,6	0,1	22
Kazimierz 2	17,0	14,3	1,2	26

Tab. 15.3. Zestawienie wyników pompowania zespołowego ujęć wód leczniczych w Starej Łomnicy (na podst. Poprawskiego i Kaniewskiego, 2020)

Nazwa ujęcia	Wydajność [m³/h]	Depresja [m]	Wydajność jednostkowa [m³/h·1 m s]	Czas trwania [h]
Hanna 1	12,0	3,2	3,7	80
Hanna 2	26,0	6,6	3,9	
Hanna 3	26,0	5,4	4,8	
Hanna 4	14,0	5,7	2,5	
Kazimierz 1	6,3	49,6	0,1	
Kazimierz 2	17,0	14,3	1,2	

ści pomiędzy skrajnymi otworami. Obliczenia wykonano przy pomocy wzoru Sichardta dla wód o zwierciadle napiętym [12] podstawiając do wzoru średnie wartości parametrów hydrogeologicznych z sześciu otworów. Promień leja depresji dla całego ujęcia wyniósł 351 m.

Łączną wielkość zasobów eksploatacyjnych ujęć przyjęto na podstawie wyników próbnego pompowania zespołowego jako suma wydajności eksploatacyjnych poszczególnych otworów, tj. w ilości 101,3 m³/h przy depresji 3,2–49,6 m. Rejon Starej Łomnicy znajduje się w granicach obszaru zasobowego Gorzanów o powierzchni 45,7 km², dla którego ustalono zasoby dyspozycyjne wód leczniczych z pięter kredowego i staropaleozoicznego w ilości 13 296 m³/d, tj. 554 m³/h. Suma dotychczas zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych w obszarze zasobowym Gorzanów wynosi 318 m³/h, tj. 7632 m³/d, co stanowi 57,4%

zasobów dyspozycyjnych. Po uwzględnieniu zasobów Starej Łomnicy suma zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych wynosi 419,3 m³/h (10 063,2 m³/d), a więc 75,7% zasobów dyspozycyjnych.

Ujęte wody scharakteryzowano jako szczawiny i wody kwasowęglowe typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ i $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ o mineralizacji ogólnej od 304 do 1304 mg/dm³. Wyniki badań izotopowych wskazują, iż są to wody infiltracyjne, zasilane w przypadku otworów Hanna 2, Hanna 3, Kazimierz 1 i Kazimierz 2 przed 1952 r. W przypadku otworów Hanna 1 i Hanna 4 „wiek” wód jest szacowany na około 20–30 lat. Obszary zasilania są położone prawdopodobnie w dużej odległości od otworów, na kontakcie skał metamorficznych Gór Bystrzyckich ze skałami osadowymi rowu górnej Nysy. Dokładne określenie ich lokalizacji jest jednak niemożliwe z uwagi na skomplikowane drogi krążenia wód i dwutlenku węgla w szczelinowym

systemie wodonośnym. Obszar zasobowy dla wielootworowego ujęcia wykreślono na podstawie przebiegu lokalnych hydroizohips kredowego piętra wodonośnego oraz zasięgu obszaru spływu wody do ujęcia, wyznaczonego metodą analityczną Wysslinga. Proponowane granice obszaru górniczego, pokrywające się z granicami terenu górniczego, wyznaczono kierując się lokalizacją ujęć, położeniem złoża względem już istniejących obszarów górniczych (Gorzanów i Szczawina), budową geologiczną, regionalnymi i lokalnymi kierunkami przepływu wód podziemnych w kredowym piętrze wodonośnym, zasięgiem leja depresji ujęcia, obszarem spływu wody do ujęcia, a także potrzebami i możliwościami aktywnej ochrony złoża wód leczniczych (fig. 15.5).

Przykład III: Muszyna

- struktura otwarta (SA)
- prowincja karpacka (D)
- ujęcie jednootworowe (pompowanie jednootworowe z obserwacjami w innych ujęciach)
- dopływ laminarny
- szczawiny 0,39–0,87% typu $\text{HCO}_3\text{-Mg}$

Kolejny przykład obrazuje sposób dokumentowania zasobów eksploatacyjnych otworów ujmujących wody lecznicze z utworów fliszowych Karpat Zewnętrznych. Omawiany przypadek dotyczy oddziaływania eksploatacji muszyńskich ujęć Antoni oraz P-3 w latach 1999–2006. Otwory te znajdują się w obrębie krynickiej strefy tektoniczno-facjalnej, w centralnej części płaszczowiny magurskiej. Obecność

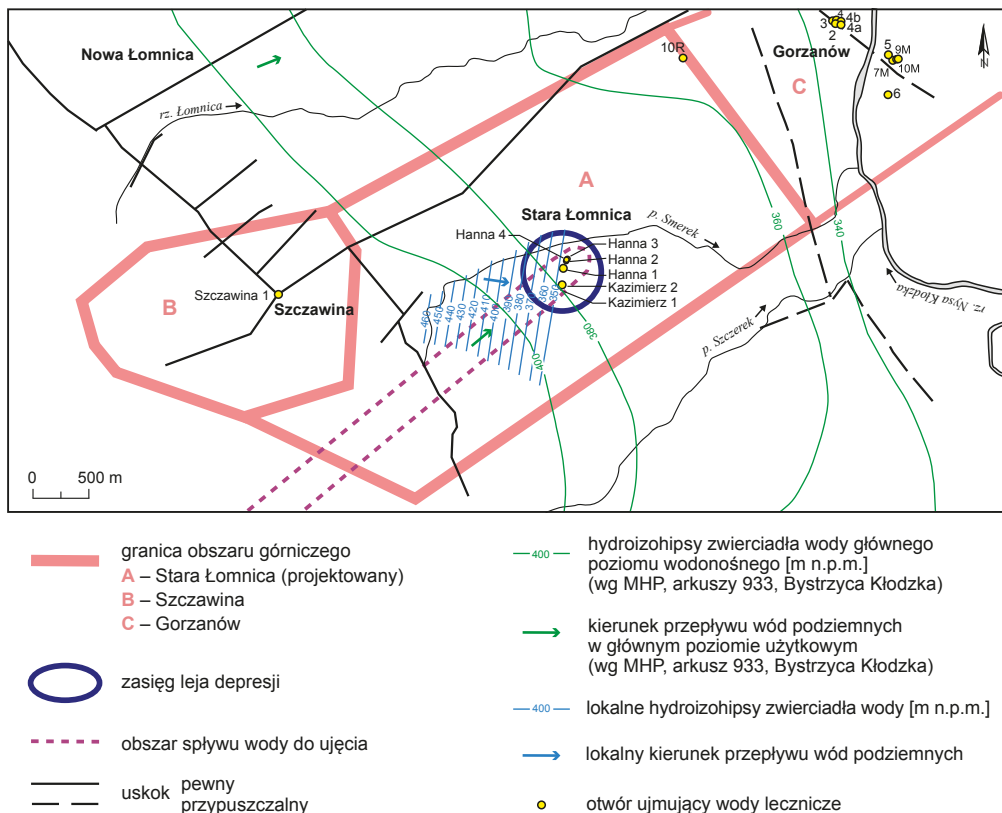


Fig. 15.5. Szkic hydrogeologiczny rejonu złoża wód leczniczych w Starej Łomnicy (na podst. Poprawskiego i Kaniewskiego, 2020, z mod. autorów)

licznych uskoków sprawia, iż model budowy geologicznej ma charakter blokowo-fałdowy. Struktury fałdowe są niesymetryczne – skrzydła o nachyleniu południowym są zwykle bardziej połogie od tych o nachyleniu północnym. Dodatkowo zaburzenia tektoniczne odpowiadają za rozerwanie i przesunięcie osi poszczególnych struktur fałdowych, co skutkuje różnicowaniem warunków hydrogeologicznych w poszczególnych blokach. W strefach uskokowych są obserwowane liczne ekshalacje CO_2 i źródła wód leczniczych. W profilu utworów fliszowych rejonu Muszyny dominuje ogniwo piaskowców z Piwnicznej formacji magurskiej (eocen). Występują tu także piaskowce krynickie (eocen) i warstwy z Zarzecza (paleocen–eocen). Pod względem litologicznym ogniwo piaskowców z Piwnicznej jest wykształcone jako gruboławicowe piaskowce różnoziarniste, najczęściej średnioziarniste, i zlepienie, tworzące pakiety o miąższości do kilkudziesięciu metrów, poprzedzielane warstwami łupkowo-piaskowcowymi o grubości kilku metrów, podrzędnie łupkami pstryimi. Miąższość tych utworów wynosi od około 500–600 m do 2000 m. W skład warstw z Zarzecza wchodzi cienko- i średnioławicowe, drobnoziarniste piaskowce przedzielone pakietami łupków ilasto-marglistych. Piaskowce krynickie są reprezentowane przez gruboławicowe piaskowce tworzące kompleksy o miąższości dochodzącej do 100 m, przewarstwione cienkimi warstwami łupków ilastych i piaszczystych. Warstwy z Zarzecza i piaskowce krynickie występują jedynie na niewielkim obszarze obszaru górniczego Muszynianka III. Ogólnie omówione warstwy zapadają ku zachodowi i taki jest też zasadniczy kierunek dopływu wód podziemnych do omawianych otworów. Nowy model budowy geologicznej, zaprezentowany przez Oszczypkę (W: Haładus i in., 2004), wskazuje na możliwość występowania lokalnej antykliny z osią w rejonie otworów P-3 i Antoni. W jądrze antykliny prawdopodobnie występują w przewadze łupki formacji z Zarzecza. Na powierzchni terenu występują utwory czwartorzędowe reprezentowane przez osady aluwialne tarasów zalewowych, kamieńców i tarasów nadzalewowych (holocen) oraz tarasów erozyjno-akumulacyjnych (plejstocen). Poza dolinami rzecznyymi występują deluwia oraz pokrywy zwietrzelinowe o miąższości 1–3 m. Wśród utworów pochodzenia

rzecznego największą miąższość osiągają osady tarasów rzeki Poprad, wykształcone jako piaski, żwiry i otoczaki przemieszane z glinami i pyłami.

Duże zaangażowanie tektoniczne oraz intensywne procesy wietrzeniowe odpowiadają za znaczne spękanie masywu skalnego, co z kolei sprzyja występowaniu wód podziemnych. Przyjmuje się, że miąższość strefy silnych spękań wietrzeniowych wynosi około 50–70 m. W części przypowierzchniowej część szczelin z intensywnego wietrzenia jest wypełniona materiałem piaszczysto-ilastym, zaś głębsze szczeliny typu tektonicznego zazwyczaj kalcytem. Pory praktycznie nie biorą udziału w przepływie wód podziemnych ze względu na małe rozmiary i częściowe wypełnienie spoiwem. Litologia utworów fliszu karpackiego oraz urozmaicona tektonika komplikują warunki krążenia wód, prowadząc do utrudnienia lub przerwania kontaktów hydraulicznych pomiędzy poszczególnymi zespołami warstw, choć stanowią one jeden system hydrogeologiczny. Poziom wodonośny ujęty otworami Antoni i P-3 występuje w utworach ogniwa piaskowców z Piwnicznej, głównie w ławicach piaskowców. Wodonośność poziomu fliszowego zmienia się w zależności od ilości i miąższości ławic piaskowców. Pod względem genetycznym są to wody infiltracyjne, będące mieszaniną wód przesiąkających do systemu wodonośnego w różnych okresach, zarówno współcześnie, jak i u schyłku ostatniego zlodowacenia. Średni „wiek” wód ujętych otworami P-3 i Antoni, według badań izotopowych, wynosi 80 lat (Haładus i in., 2004). Na omawianym obszarze obserwuje się zazwyczaj pionową zmienność hydrochemiczną, wyrażającą się wzrostem mineralizacji ogólnej wód wraz z głębokością przy równoczesnej zmianie ich chemizmu i na ogół spadku wydajności. Cechą charakterystyczną fliszowego poziomu wodonośnego jest współwystępowanie wód leczniczych i zwykłych wód podziemnych. Zasadniczą rolę w procesie mineralizacji wód odgrywa dwutlenek węgla pochodzenia głębinowego, który, przenikając do wód, nadaje im agresywnego charakteru względem ośrodka skalnego.

Dla otworu P-3 początkowo ustalono zasoby eksploatacyjne w ilości 1,95 m³/h przy depresji 35,8 m (2000 r.). Szczawa o charakterze 0,59% HCO_3^- – Mg – Ca , Fe była przeznaczona do butelkowania. Na podstawie analizy wyników obserwacji stacjonar-

nych z okresu trzyletniego wydobycia w 2004 r. udokumentowano wzajemne oddziaływanie ujęć Antoni i P-3. Szeroka interpretacja wyników, dokonana m.in. przez Witczaka (W: Haładus i in., 2004), doprowadziła do aktualizacji zasobów eksploatacyjnych obu ujęć – P-3 i zrekonstruowanego ujęcia Antoni (po 34 latach jego eksploatacji). W przypadku otworu Antoni zasoby eksploatacyjne ograniczono z 1,8 m³/h do 0,85 m³/h (szczawa typu 0,77–0,87% HCO₃–Mg), a dla otworu P-3 zasoby zmniejszo-

no z 1,95 m³/h do 0,50 m³/h (szczawa typu 0,39–0,67% HCO₃–Mg). Wyniki pompowań i próbnego wydobycia w obu otworach zestawiono w tab. 15.4 i 15.5.

Obydwa otwory interferują ze sobą w układzie hydrodynamicznym z poduszką gazową, stąd w dokumentacji hydrogeologicznej wyznaczono maksymalne obniżenie słupa wody do głębokości 66,0 m (rzędna 378,4 m n.p.m.) dla otworu P-3 oraz do 72,0 m (rzędna 376,6 m n.p.m.) dla otworu Antoni (fig. 15.6).

Tab. 15.4. Zestawienie wyników badań hydrodynamicznych w otworze P-3 w Muszynie (na podst. Banku Danych Wód Podziemnych Zaliczonych do Kopalini)

Stopień hydrodynamiczny	Wydajność [m ³ /h]	Depresja [m]	Wydajność jednostkowa [m ³ /h·1 m s]	Czas trwania
1999 r.				
I	2,54	14,9	0,17	736 godzin
II	3,60	20,2	0,18	1026 godzin
2000 r.				
I	1,95	35,8	0,05	6 miesięcy

Tab. 15.5. Zestawienie wyników badań hydrodynamicznych w otworze Antoni w Muszynie (na podst. Banku Danych Wód Podziemnych Zaliczonych do Kopalini)

Stopień hydrodynamiczny	Wydajność [m ³ /h]	Depresja [m]	Wydajność jednostkowa [m ³ /h·1 m s]	Czas trwania
1964 r.				
I	0,60	b.d.	b.d.	b.d.
II	1,20	b.d.	b.d.	b.d.
III	1,80	b.d.	b.d.	b.d.
1978 r.				
I	0,48	27,0	0,02	b.d.
1999 r.				
I	0,00*	12,7	–	736 godzin
II	0,00*	16,3	–	1026 godzin
2000 r.				
I	0,21	37,3	0,006	6 miesięcy

* nie pompowano, otwór pełnił rolę obserwacyjnego podczas próbnej eksploatacji ujęcia P-3

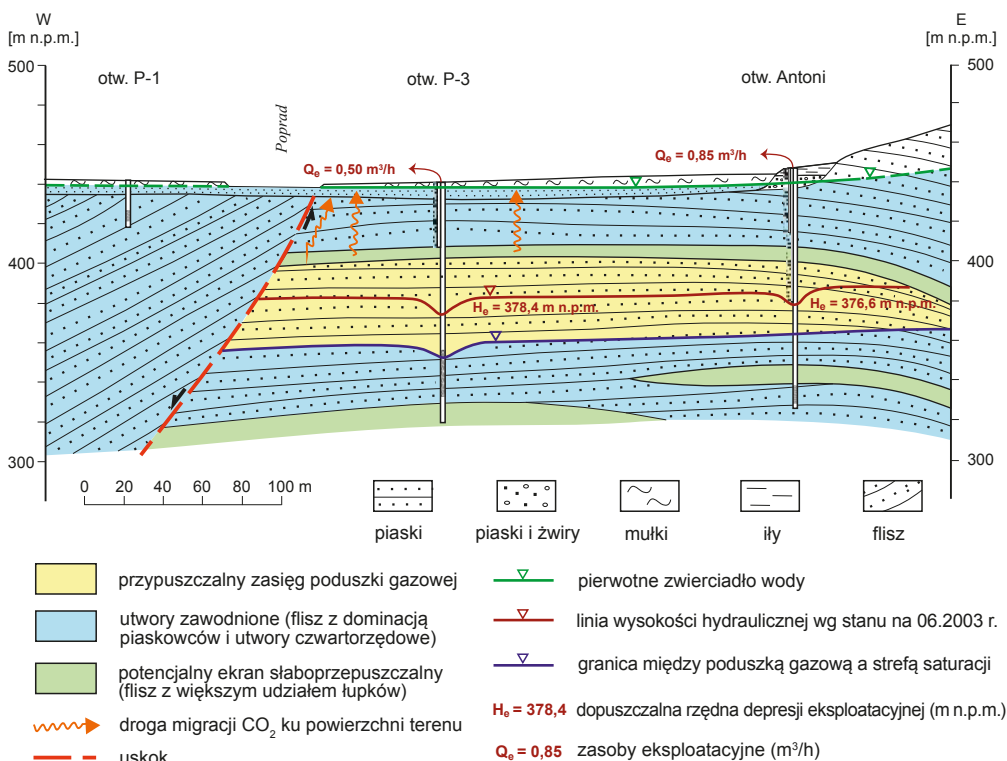


Fig. 15.6. Przekrój hydrogeologiczny przez otwory Antoni i P-3 w Muszynie
(na podst. Haładusa i in., 2004, z mod. autorów)

Otwory Antoni i P-3 znajdowały się w obrębie obszaru zasobowego o powierzchni około $1,02 \text{ km}^2$, który wydzielono na lewym brzegu Popradu (fig. 15.7). Po prawej stronie rzeki znajduje się drugi obszar zasobowy, obejmujący większą część ujęć należących do „Muszynianki”. Oba te obszary są rozdzielone strefą uskoku Muszyny–Góry Parkowej (Radwan i in., 2000).

Otwór P-3 był eksploatowany z przerwami, związanymi z awariami pomp głębinowych, do października 2006 r. W 2011 r., w związku z trudnościami w eksploatacji spowodowanymi dużą ilością wolnego CO_2 oraz dalszym, negatywnym oddziaływaniem na sąsiednie ujęcie wody leczniczej Antoni, otwór P-3 zlikwidowano.

Dla omawianego rejonu oszacowano zasoby dyspozycyjne (Kościcz i in., 2014). Otwór Antoni jest zlokalizowany w obszarze bilansowym nr 14 Poprad–Leluchów o powierzchni $34,6 \text{ km}^2$. Informacje o otwo-

rach wiertniczych, którymi ujęto wody lecznicze, w obrębie tego obszaru zestawiono w tab. 15.6.

Łączne zasoby eksploatacyjne tych ujęć wynoszą $27,55 \text{ m}^3/\text{h}$ ($661,2 \text{ m}^3/\text{d}$), zaś zasoby dyspozycyjne $28,84 \text{ m}^3/\text{h}$ ($692,2 \text{ m}^3/\text{d}$). Z porównania zasobów dyspozycyjnych obszaru bilansowego nr 14 z zestawionymi zasobami eksploatacyjnymi ujęć wynika, że rezerwa zasobów eksploatacyjnych w okresie dokumentowania (2014 r.) Na tym obszarze wynosi $31 \text{ m}^3/\text{d}$.

Jak już wspomniano omawiany obszar znajduje się w rejonie intensywnego wydobywania wód leczniczych. W niewielkiej odległości od otworu Antoni znajduje się ujęcie P-2, eksploatowane od 1974 r., na przykładzie którego poniżej pokazano weryfikację prognoz zasobowych. W obrębie wspólnego obszaru zasobowego (fig. 15.7) są obecnie zlokalizowane następujące ujęcia wód leczniczych: P-2, P-6, P-7, WK-1, P-1A i przeznaczony do likwidacji otwór Łukas.

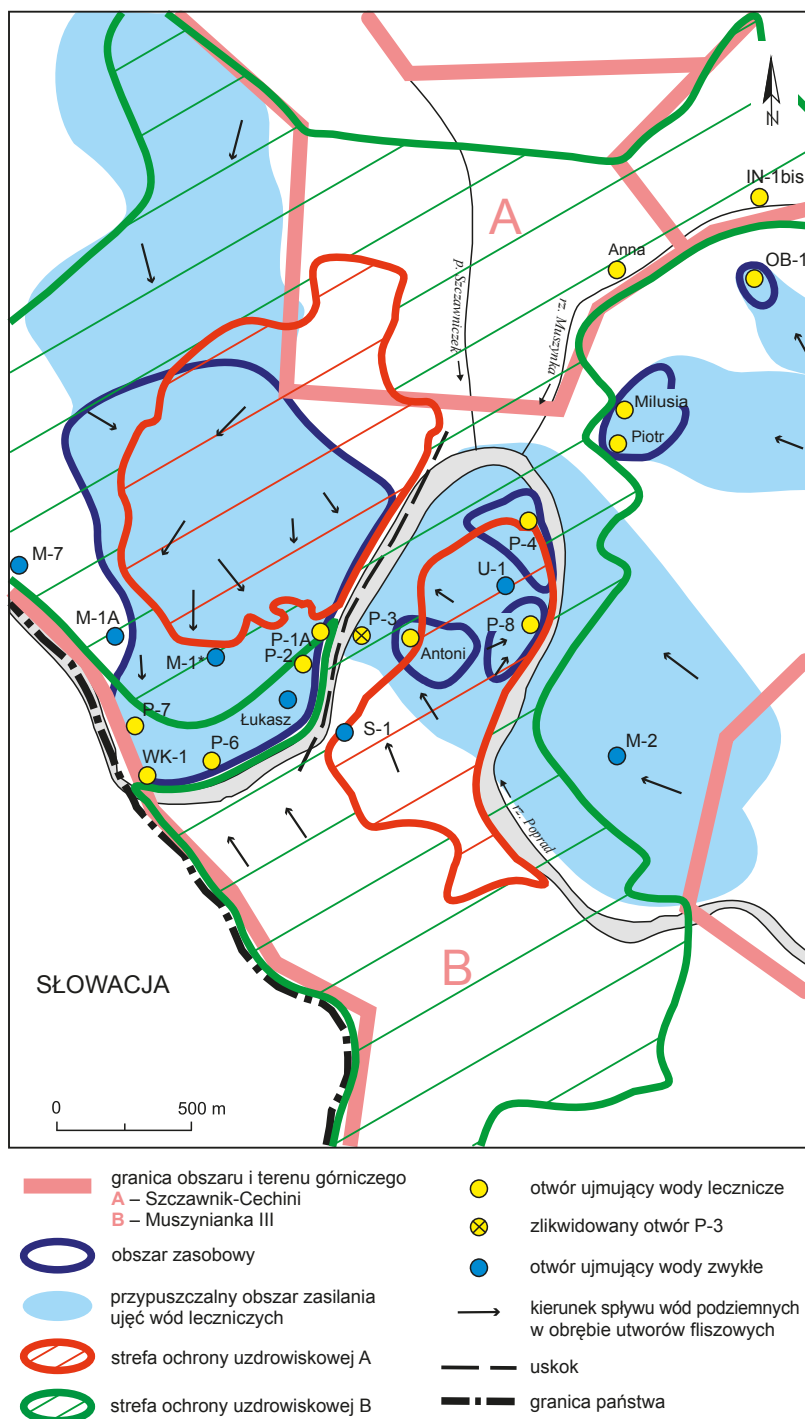


Fig. 15.7. Szkic hydrogeologiczny zachodniej części obszaru górniczego Muszynianka III (na podst. Radwana i in., 2000 oraz Porwisza i in., 2015a, z mod. autorów)

Tab. 15.6. Zestawienie zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych w obrębie obszaru bilansowego nr 14 Poprad–Leluchów (na podst. Banku Danych Wód Podziemnych Zaliczonych do Kopalin)

Ujęcie	Zasoby dyspozycyjne		Zasoby eksploatacyjne	Depresja	Uwagi
	[m³/h]	[m³/d]	[m³/h]	[m]	
P-8	28,84	692,20	1,50	67,02	–
P-6			2,20	52,22	–
P-7			2,40	14,50	–
WK-1			1,40	15,10	–
P-1A			0,85	6,03	–
P-2			3,70	27,30	–
P-4			1,20	42,84	–
O-1			1,50	1,58	–
Antoni			0,85	72,00	–
Milusia			0,90	23,80	–
Piotr			0,50	68,00	–
W-2			3,60	14,45	otwór niezagospodarowany
W-3			0,55	45,00	otwór niezagospodarowany
L-4			0,40	70,00	otwór niezagospodarowany
W-1			1,00	53,80	otwór przewidziany do likwidacji
Łukasz			5,00	18,00	otwór przewidziany do likwidacji

Ich zasoby eksploatacyjne były dokumentowane bądź aktualizowane w różnym czasie w kilku odrębnych dokumentacjach hydrogeologicznych. Najstarsze ujęcie P-2 od 45 lat jest eksploatowane na potrzeby rozlewni wody „Muszynianka”.

Otwór P-2 wykonano w 1974 r. do głębokości 100,0 m (Radwan, 1975). Ze strefy głębokościowej 22–100 m ujęto nim 0,26% szczawu HCO_3^- -Mg-Ca,Fe. Ustalono wówczas zasoby eksploatacyjne otworu wynosiły 9,12 m³/h przy depresji 14,3 m. Eksploatację otworu rozpoczęto w 1975 r. i prowadzono ją do końca 1992 r. z przeciętną wydajnością 32,8 m³/d (1,36 m³/h) przy średnim obniżeniu dynamicznego zwierciadła wody do głębokości 11,1 m. W 1993 r. zasoby eksploatacyjne zostały skorygowane do 7,5 m³/h przy depresji 27,3 m. Do listopada 1999 r. otwór eksploatowano ze średnimi wydajnościami

od 1,36 do 5,30 m³/h, maksymalnie do 6,25 m³/h, przy obniżeniu dynamicznego zwierciadła wody do głębokości 30,0 m. Wykonane w listopadzie 1999 r. kontrolne pompowanie zespołowe ujęć Antoni, P-1, P-2 i P-3 wykazało stabilizację wydajności, depresji oraz mineralizacji wody leczniczej na poziomie niższym o około 31% w stosunku do 1974 r. i o około 14% niższym w stosunku do 1993 r. W związku ze spadkiem wydajności i mineralizacji ogólnej wody w 2000 r. zmniejszono zasoby eksploatacyjne do 5,5 m³/h, a depresję pozostawiono bez zmian (Radwan i in., 2000). W 2005 r. wykonano rekonstrukcję otworu P-2, polegającą na wyciągnięciu w całości z otworu skorodowanego filtra stalowego o średnicy 225 mm i zabudowaniu w jego miejsce nowego filtra PCV o średnicy 165 mm. Po rekonstrukcji w 2011 r. woda z otworu została określona jako 0,19% szcza-

wa HCO_3 –Mg–Ca. W 2015 r. po raz kolejny ograniczono zasoby eksploatacyjne do $3,70 \text{ m}^3/\text{h}$ przy niezmienionej depresji, wynoszącej $27,3 \text{ m}$ (tab. 15.7).

Mając na uwadze konieczność zapewnienia ochrony zasobów wód leczniczych, wyznaczono jeden wspólny obszar zasobowy dla otworów: P-2, P-6, P-7, WK-1 i P-1A, usytuowany w obrębie obszaru zasilania wyznaczonego w 2000 r. (fig. 15.7). Obszar zasobowy o łącznych zasobach eksploatacyjnych $10,55 \text{ m}^3/\text{h}$ dla wymienionych otworów wyznaczono przy założeniu formowania się w jego obrębie 50% zasobów eksploatacyjnych przy module zasobów dyspozycyjnych równym $3,78 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$ (początkowo moduł ten wynosił $5,68 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$; wg Radwana i in., 2000). Całkowita powierzchnia obszaru zasobowego wynosi $1,4 \text{ km}^2$.

Granica południowa obszaru zasobowego opiera się o zasięgi oddziaływania poszczególnych otworów. Granicę zachodnią i wschodnią poprowadzono zgodnie z zasięgiem działu wodnego. Granica północna ogranicza obszar zasobowy do powierzchni $1,4 \text{ km}^2$.

W 2000 r. wydzielono obszary zasilania NW i SE (Radwan i in., 2000) położone po przeciwnych stronach Popradu (fig. 15.7). Rozdzielone są one strefą uskokuwą Muszyny–Góry Parkowej. Panują w nich odmienne warunki hydrogeologiczne, co objawia się zróżnicowaniem pod względem wydajności ujęć, właściwości fizyczno-chemicznych wód oraz ich „wieku” określonego badaniami trytowymi. Obszar zasilania NW o powierzchni około $2,9 \text{ km}^2$ został wówczas potraktowany jako obszar zasobowy firmy „Muszynianka” i objął swoim zasięgiem zlewnię Milickiego Potoku, zlewnię potoku Mikowego wraz

z fragmentami przyrzecza Popradu. Na obszarze tym współwystępują wody lecznicze i wody zwykłe o średnim „wieku” wynoszącym $15,6 \text{ lat}$. Późniejsze zmiany dotyczące granic obszaru zasobowego były określane już przy niższym module zasobów dyspozycyjnych, tj. $3,78 \text{ dm}^3/\text{s}\cdot\text{km}^2$, z uwzględnieniem metodyk zaproponowanych w opublikowanych poradnikach. Wysokość położenia obszarów zasilania jest trudna do oszacowania ze względu na zarówno małą dokładność efektu wysokościowego w Karpatach, jak i możliwy udział w badanych ujęciach wód znacznie starszych, zasilanych w chłodniejszym klimacie. Przy założeniu zasilania wszystkich badanych wód w tym samym współczesnym klimacie podano (tab. 15.8) średnie wysokości położenia obszarów zasilania nad poziomem morza (Radwan i in., 2000).

Poza otworem Antoni, ujmującym wodę pozbawioną trytu, najprawdopodobniej pochodzącą z zasilania w chłodniejszym klimacie, w pozostałych ujęciach wykazano obecność trytu pochodzącą przypuszczalnie z infiltracji lokalnej, wywołanej depresjami spowodowanymi wydobywaniem. Tak więc, najkrótsze czasy dopływu są związane z lokalną infiltracją, co oznacza konieczność szczególnej ochrony terenów w pobliżu poszczególnych ujęć. Przypuszczalnie obszary zasilania znajdują się poniżej najniższych wartości rzędnej terenu podanych w tab. 15.8.

Przytoczony przykład obrazuje podejście przy dokumentowaniu zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych w obszarach intensywnej eksploatacji, w warunkach współoddziaływania ujęć między sobą. Wykonanie nowych otworów w sąsied-

Tab. 15.7. Weryfikacja zasobów eksploatacyjnych otworu P-2 w Muszynie w latach 1974–2020 (na podst. Banku Danych Wód Podziemnych Zaliczonych do Kopalni)

Rok	Zasoby eksploatacyjne	Depresja eksploatacyjna	Typ chemiczny wody
	$[\text{m}^3/\text{h}]$	$[\text{m}]$	
1974	9,12	14,30	0,26% szczawa HCO_3 –Mg–Ca,Fe
1993	7,50	27,30	0,21% szczawa HCO_3 –Mg–Ca
2000	5,50	27,30	0,19% szczawa HCO_3 –Mg–Ca
2015	3,70	27,30	0,19% szczawa HCO_3 –Mg–Ca

Tab. 15.8. Średnie wysokości położenia obszarów zasilania ujęć wód leczniczych Antoni, P-1, P-2 i P-3 (wg metody regionalnej oraz lokalnych linii Krynicy-Zdroju; na podst. Radwana i in., 2000)

Ujęcie	Rzędna terenu	Głębokość otworu	Głębokość zwierciadła nawierconego	Głębokość zwierciadła ustalonego	Metoda regionalna		Metoda lokalna	
					wg $\delta^{18}O$	wg δ^2H	wg $\delta^{18}O$	wg δ^2H
	[m n.p.m.]	[m]			[m n.p.m.]			
Antoni	450,1	120,0	ok. 80,0	20,0	1160	1230	880	890
P-1	461,5	18,2	10,0	2,5	-	-	740	690
P-2	443,8	100,0	22,8	2,9	770	870	740	690
P-3	450,0	71,0	70,0	19,0	-	-	790	710

twie ujęć już istniejących sprawia, iż często obserwuje się pomiędzy nimi interferencję lejów depresji. W takiej sytuacji ustalenie zasobów eksploatacyjnych na podstawie pojedynczego pompowania pomiarowego nie powinno być praktykowane. Mając na względzie wymagania ochrony środowiska oraz racjonalną gospodarkę zasobami złoża, ustalając zasoby eksploatacyjne takich ujęć, zaleca się przeprowadzenie pompowania zespołowego. Przyjęcie zasobów eksploatacyjnych w wysokości uzyskanej w trakcie takiego pompowania pozwoli ograniczyć wzajemny wpływ ujęć na siebie. W przypadku gdy korekta zasobów eksploatacyjnych któregoś ze współoddziałujących ujęć spowoduje, że jego dalsza eksploatacja będzie nieuzasadniona ekonomicznie, zaleca się jego likwidację.

Przykład IV: Busko-Zdrój

- struktura półotwartą (SB)
- prowincja karpacka (D)
- ujęcie wielotworowe (pompowanie jedno-otworowe z obserwacjami w innych ujęciach)
- dopływ laminarny
- wody siarczkowe, jodkowe 0,20–1,50% typu Cl-Na

Prezentowany przykład obrazuje metodykę określania zasobów eksploatacyjnych zastosowaną przy dokumentowaniu otworu B-16b w Busko-Zdroju, ujmującego wody lecznicze z utworów kredowych zapadliska przedkarpackiego (Krawczyk,

Maniecka, 2018). Busko-Zdrój znajduje się na południowo-zachodnim skłonie masywu świętokrzyskiego, w południowo-wschodniej części niecki miechowskiej. Obszar ten charakteryzuje się silnym zaangażowaniem tektonicznym, objawiającym się blokowo-fałdowym stylem budowy geologicznej. Poszczególne struktury blokowo-fałdowe są poprzecinane szeregiem dyslokacji podłużnych, poprzecznych i skośnych. Jednym z głównych elementów tektonicznych w rejonie Buska-Zdroju jest elewacja Pińczów-Wójcza, będąca wyniesieniem jurajsko-kredowego podłoża o rozciągłości NW-SE. Strop osadów jurajskich w dokumentowanym otworze stwierdzono na głębokości 162 m. Od północnego wschodu elewacja ta graniczy wzdłuż uskoku Radzanowa z rowem tektonicznym Busko-Brzeście, zaś od południowego zachodu z rowem tektonicznym Kobylnik. Najstarszymi utworami stwierdzonymi otworami wiertniczymi w rejonie Buska-Zdroju są osady jurajskie, reprezentowane przez wapienie skaliste, piaszczyste lub margliste jury górnej. Ich strop występuje na zróżnicowanej głębokości, od 97 do 295 m. Powyżej zalegają utwory kredy o łącznej miąższości od około 30 m do 140 m, miejscami są one całkowicie zredukowane. Poza granicami elewacji Pińczów-Wójcza miąższość utworów kredy wzrasta do blisko 300 m w depresji Kobylnik i ponad 600 m w depresji Buska (złoże Busko-Północ). Profil kredy rozpoczynają piaski i piaszkowce glaukonitowe z wkładkami margli piaszczystych cenomanu o miąższości zazwyczaj 10–45 m.

Powyżej nich zalegają margle i wapienie margliste zaliczane do turonu i koniak, o niewielkiej miąższości wynoszącej około 10–30 m. Sukcesję kredową kończą osady santonu i kampanu, wykształcone jako opoki i margle. Na różnych ogniwach mezozoiku zalegają utwory miocenu (baden), wśród których wyróżnia się poziom podlitotamniowy zbudowany z margli, poziom litotamniowy utworzony przez wapienie oraz poziom nadlitotamniowy, wykształcony jako utwory piaszczysto-ilasto-margliste (warstwy baranowskie), gipsy (poziom gipsowy) oraz margle, iły, łupki i wapienie (poziom nadgipsowy). Bezpośrednio pod utworami czwartorzędowymi, lub na powierzchni terenu, występują osady sarmatu: wapienie i osady ilaste, łupkowe, z wkładkami piasków i żwirów (tzw. iły krakowieckie). Utwor-

ry czwartorzędowe występują niemal na całej powierzchni omawianego obszaru, choć są one silnie zredukowane i osiągają zazwyczaj miąższość kilku metrów. Głównie są to gliny zwałowe z wkładkami piasków i żwirów (plejstocen) oraz, w dolinach rzecznych, mady i piaski (holocen). W formie graficznej styl budowy geologicznej rejonu Buska-Zdroju pokazano na przekroju hydrogeologicznym (fig. 15.8).

Warunki hydrogeologiczne w rejonie Buska-Zdroju są skomplikowane, co wynika w głównej mierze z zaangażowania tektonicznego tego obszaru. W rejonie omawianego złoża występują cztery piętra wodonośne: czwartorzędowe, neogeńskie, kredowe i jurajskie, przy czym wody lecznicze występują w piętrach mezozoicznych. W piętrze kredowym występują wody siarczkowe typu Cl-Na

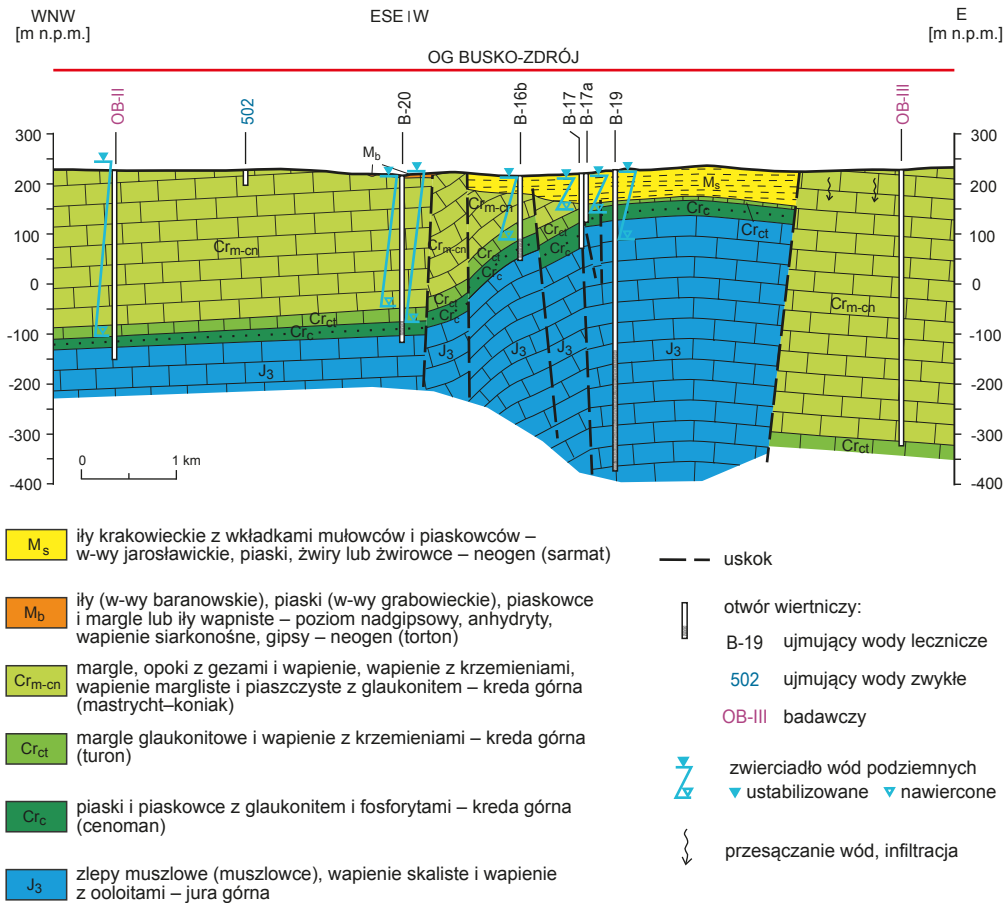


Fig. 15.8. Przekrój hydrogeologiczny przez rejon Buska-Zdroju (na podst. Krawczyka i Manieckiej, 2018, z mod. autorów)

o zwierciadle subartezyjskim, lokalnie artezyjskim. Piętro wodonośne jest związane z pozostającymi między sobą w łączności hydraulicznej piaskami i piaszczakami cenomanu oraz wapieniami i marglami senonu, przy czym nagromadzenie wód siarczkowych w skałach węglanowych senonu ma charakter wtórny (ascenzja wód z utworów cenomanu). W piętrze kredowym występują także zwykłe wody podziemne, jednak dotychczasowe badania hydrogeologiczne nie wykazały współoddziaływania otworów ujmujących oba rodzaje wód. Możliwe jest natomiast ascenzyjne zasilanie piętra kredowego z wapieni jurajskich, w których występują wody jodkowe typu Cl-Na o wyższej mineralizacji ogólnej i większym stężeniu jonów chlorkowych i sodowych niż w wodach piętra kredowego. Wody piętra jurajskiego charakteryzują się także znacznie niższą zawartością, lub brakiem, siarkowodoru. Decydujący wpływ na warunki hydrodynamiczne rejonu Buska-Zdroju, także na kształtowanie się właściwości fizyczno-chemicznych wód, ma tektonika. Liczne uskoki i towarzyszące im sieci szczelin oraz okna litologiczne mogą stanowić zarówno dogodne drogi migracji wód podziemnych, stwarzając możliwość mieszania się wód różnych pięter wodonośnych, jak i stanowić szczelną granicę, utrudniającą swobodny przepływ wód. Rozkład ciśnień piezometrycznych oraz wyniki badań składu izotopowego wód wskazują na zasilanie infiltracyjne przed holoce-nem przy udziale współczesnej infiltracji, przy czym lokalizacja obszarów zasilania nie została jednoznacznie ustalona. Dotychczasowe rozpoznanie hydrogeologiczne nie pozwala na sformułowanie ostatecznych wniosków, umożliwiających jed-

noznaczne określenie kierunków przepływu wód leczniczych i roli poszczególnych uskoków w kształtowaniu hydrodynamiki obszaru. Wyjaśnienie powyższych kwestii jest kluczowe dla określenia dopuszczalnej wielkości wydobycia, bowiem zwiększony w ostatnich latach pobór wód siarczkowych w rejonie Buska-Zdroju powoduje stałe obniżanie się zwierciadła wody. Szkic hydrogeologiczny okolic Buska-Zdroju pokazano na fig. 15.9.

Wody siarczkowe w Busku-Zdroju były udostępnione do wydobycia siedmioma otworami: B-4b (Aleksander), B-8b (Michał), B-13 (Anna), B-16a (Wiesława), B-17 (Ignacy), B-20 (Andrzej) i B-21 (Piotr). Otwór B-16b, wraz z drugim otworem B-17a, zostały wykonane w 2018 r. jako ujęcia zastępcze dla otworów B-16a i B-17. Zasoby eksploatacyjne ujęcia B-16b ustalono na podstawie próbnego pompowania pomiarowego, które miało charakter jednostopniowych testów hydrodynamicznych przeprowadzonych na czterech stopniach dynamicznych z przerwami na odbudowę ciśnienia. Badanie to wykonano w warunkach nieustalonego dopływu wód do otworu. Wyniki próbnego pompowania przedstawiono w tab. 15.9.

Obniżenie zwierciadła wody w otworze pompowanym na IV stopniu dynamicznym nie przekroczyło dopuszczalnej rzędnej dynamicznego zwierciadła wody, ustalonej dla otworu B-16a na poziomie 172,0 m n.p.m. Podczas pompowania otworu B-16a prowadzono obserwacje quasi-ustalonego zwierciadła wody w otworach B-4b i B-8b, stwierdzając ich wzajemne oddziaływanie. Pomiaru głębokości zwierciadła wody wykonywano także w wyłączonym z eksploatacji otworze B-16a.

Tab. 15.9. Zestawienie wyników testów hydrodynamicznych w otworze B-16b w Busku-Zdroju (na podst. Krawczyka i Manieckiej, 2018)

Stopień hydrodynamiczny	Wydajność [m ³ /h]	Depresja [m]	Wydajność jednostkowa [m ³ /h·1 m s]	Czas trwania [h]
I	3,9	4,5	0,87	8
II	8,1	10,1	0,80	8
III	11,9	16,3	0,73	8
IV	15,9	26,2	0,60	77

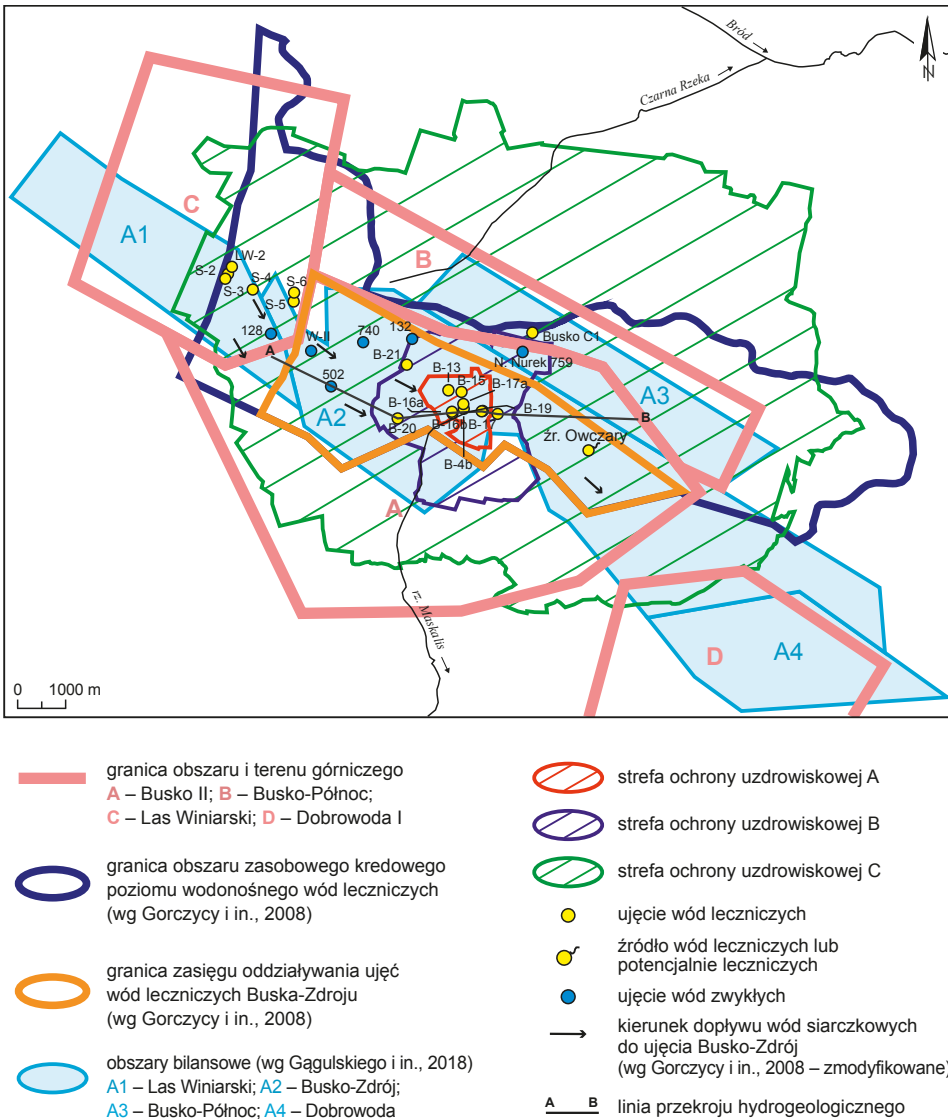


Fig. 15.9. Szkic hydrogeologiczny rejonu Buska-Zdroju
 (na podst. Krawczyka i Manieckiej, 2018, z mod. autorów)

W trakcie pompowania wykonywano analizy wskaźnikowe wody, obejmujące określenie jej temperatury, PEW, potencjału redoks oraz stężenia chlorków i wodorowęglanów, a także zawartości siarkowodoru. Pod koniec pompowania na III stopniu pobrano próbkę wody do skróconej analizy fizyczno-chemicznej, zaś pod koniec całego testu

pobrano próbki wody do pełnej analizy fizyczno-chemicznej, do badań bakteriologicznych oraz izotopowych. Badaną wodę scharakteryzowano jako Cl-Na o mineralizacji ogólnej 12,4 g/dm³. Składniki swoiste, nadające wodzie charakteru leczniczego, występują w ilości: siarkowódor – 23,3 mg/dm³, jodki – 1,2 mg/dm³.

Do interpretacji wyników testów hydrodynamicznych wykorzystano algorytmy obliczeniowe programu AquiferTest. Obliczenia przeprowadzono dla warunków nieustalonych metodą Theisa. Ocenę parametrów hydrogeologicznych przeprowadzono dla każdego ze stopni dynamicznych oraz, dodatkowo, na podstawie obserwacji wzniosu zwierciadła wody po zakończeniu pompowania metodą Agarwala. Średnia wartość współczynnika filtracji wynosi $8,14 \cdot 10^{-6}$ m/s. Jako wydajność eksploatacyjną otworu przyjęto wyniki uzyskane na IV stopniu pompowania, tj. $15,9 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji 26,2 m. Rzędna dynamicznego zwierciadła wody dla tak określonych warunków wydobywania wynosi 186,7 m n.p.m.

Stan ilościowy zasobów eksploatacyjnych ujęć wód siarczkowych w obrębie złoża Busko II nie uległ zmianie. Otwór B-16b będzie eksploatowany bowiem łącznie z innymi ujęciami wód siarczkowych, w warunkach współdziałania z częścią z nich, w ramach łącznych zasobów eksploatacyjnych wynoszących $350 \text{ m}^3/\text{d}$. Przy wydobywaniu z maksymalną, dopuszczalną wydajnością eksploatacyjną zasięg leża depresji – wyznaczony dla zespołu ujęć metodą wielkiej studni – będzie wynosił 5373 m. Zastosowane podejście, polegające na określeniu zasobów eksploatacyjnych łącznie dla wszystkich ujęć wód siarczkowych, wynika z warunków wydobywania: zmiennej, sumarycznej, dobowej wielkości wydobywania, zmiennego zasięgu oddziaływań poszczególnych otworów podczas eksploatacji oraz obniżonego poziomu zwierciadła wody wskutek oddziaływania na siebie sąsiednich ujęć. Ponieważ otwór B-16b będzie pełnić rolę zastępczego dla istniejącego otworu B-16a – planowanego do likwidacji – jego eksploatacja nie będzie miała istotnego wpływu na zmianę warunków hydrodynamicznych, a zatem dotychczasowe granice obszaru i terenu górniczego pozostały niezmienione.

Przykład V: Ocena zasobów eksploatacyjnych ujęć eksploatowanych samowypływem

Przykłady dotychczas stosowanych metod oceny zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych eksploatowanych samowypływem dla większości złóż w Polsce przedstawiono w tab. 8.4, a także opisano dla wybranych ujęć w rozdz. 8.2.2. Zaproponowany zakres czynności oraz metoda oceny zasobów eksploatacyjnych, polegająca na określe-

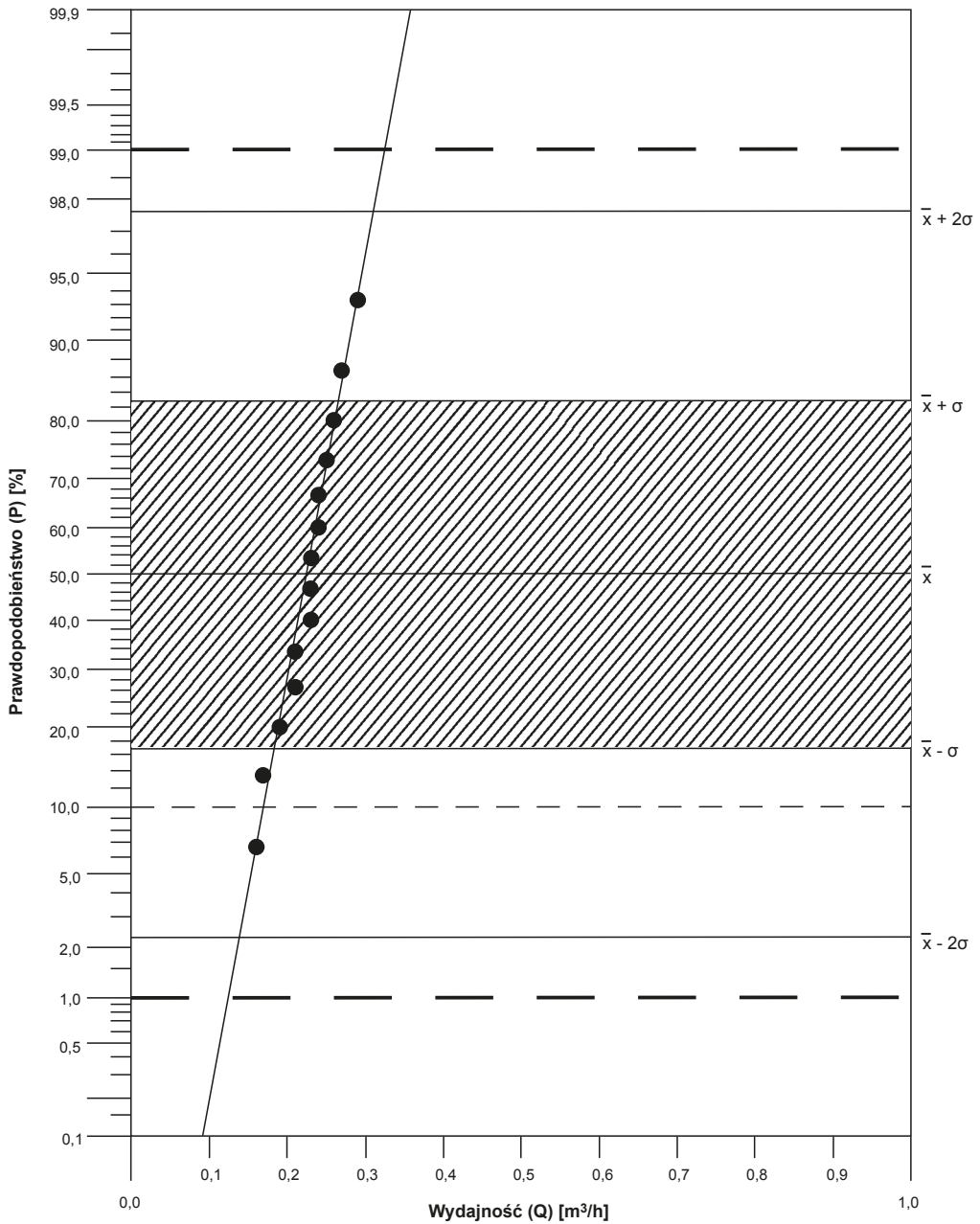
niu prawdopodobieństwa założonej wydajności została zastosowana po raz pierwszy w 1999 r. przez Witczaka do ustalenia zasobów eksploatacyjnych źródeł wód leczniczych Krynicy-Zdroju (Ciężkowski i in., 1999). Oceną zasobów i ich weryfikacją objęto następujące źródła: Źródło Główne, Jan, Józef, Słotwin-ka oraz Słoneczne 16a i Słoneczne 16b.

Weryfikację zasobów eksploatacyjnych krynlickich źródeł oparto na szczegółowej analizie i interpretacji ponad trzydziestoletnich obserwacji stacjonarnych ze szczególnym uwzględnieniem wydajności oraz stopnia trwałości cech fizyczno-chemicznych wody. Poddano ocenie zmienność parametrów eksploatacyjnych oraz powiązania tych zmian z wpływem warunków naturalnych i antropogenicznych na jakość i zasoby wód leczniczych.

Zasoby eksploatacyjne źródeł określono jako wartość średnią z okresu obserwacji ostatniego dziesięciolecia (1989–1998), który uznano za reprezentatywny, tj. zgodny z naturalnym reżimem. Dla tego okresu sporządzono wykresy probabilistyczne częstości występowania określonych wydajności źródeł. Przykład takiego wykresu sporządzonego dla źródła Józef przedstawiono na fig. 15.10.

Sporządzone wykresy probabilistyczne pokazują procent czasu trwania określonej wydajności źródła wraz z mniejszymi wydajnościami. Na tej podstawie określono charakterystykę naturalnej zmienności sezonowej wydajności źródeł oraz wartość gwarantowaną przez 90% czasu wydobywania. Określono także granice naturalnej zmienności zasobów eksploatacyjnych, zdefiniowane na wykresach probabilistycznych w granicach od 1% (wydajność minimalna) do 99% (wydajność maksymalna) (Ciężkowski i in., 1999).

Taki sam sposób oceny zasobów eksploatacyjnych, polegający na określaniu prawdopodobieństwa założonej wydajności średniej, minimalnej i maksymalnej, zastosowano do ustalenia zasobów eksploatacyjnych wszystkich źródeł w Szczawnicy (tab. 8.4) (Józefko, Bielec, 2002). Podobny sposób, oparty na analizie prawdopodobieństwa, zastosowano również do oceny zasobów eksploatacyjnych ujęć Źródło Główne i Źródło Napoleon w Krakowie-Swoszowicach. Zakres prawdopodobieństwa występowania wydajności minimalnej i maksymalnej został w tym przypadku określony w granicach od



Wyznaczone zasoby eksploatacyjne średnie: $Q_{es} = 0,23 m^3/h$.
 Zasoby gwarantowane (gwarancja 90%): $Q_{eg} = 0,17 m^3/h$.
 Naturalna zmienność wydajności źródła:
 - wydajność minimalna (prawdopodobieństwo mniejszych <1%) $Q_{1\%} = 0,12 m^3/h$;
 - wydajność maksymalna (prawdopodobieństwo większych <1%) $Q_{99\%} = 0,32 m^3/h$.

Fig. 15.10. Wykres sumowanych częstotliwości wydajności źródła Józef w Krynicy-Zdroju na podstawie pomiarów z dziesięciolecia 1989–1998 (na podst. Ciężkowskiego i in., 1999, z mod. autorów)

5% do 95%. Przykładowy histogram i cechy statystyczne rozkładu wydajności Źródła Głównego przedstawia fig. 15.11.

Zbiór obserwacji wydajności Źródła Głównego wykazuje rozkład zbliżony do normalnego (fig. 15.11), co świadczy o tym, że analizowana zmienna ma charakter losowy. Z założonym w tej metodzie prawdopodobieństwem wystąpienia 95% można oczekiwać wydajności powyżej 3,8 m³/h oraz wydajności poniżej 8,0 m³/h. Z prawdopodobieństwem od 95% do 5% można oczekiwać wydajności od 3,8 m³/h do

6,0 m³/h. Minimalne wydajności od 2,7 do 3,8 m³/h występują z prawdopodobieństwem 5%. Za wydajność eksploatacyjną możliwą do osiągnięcia z ujęcia Źródło Głównie uznano wielkość wydajności samowypływu równą średniej z wielolecia, tj. 6,0 m³/h. Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej i analizy zmienności czasowej wydajności samowypływu Źródła Napoleon spadek jego wydajności uznano za trwały. Za wydajność eksploatacyjną możliwą do osiągnięcia z tego ujęcia uznano wielkość 0,16 m³/h (Krawczyk, Porwisz, 2005).

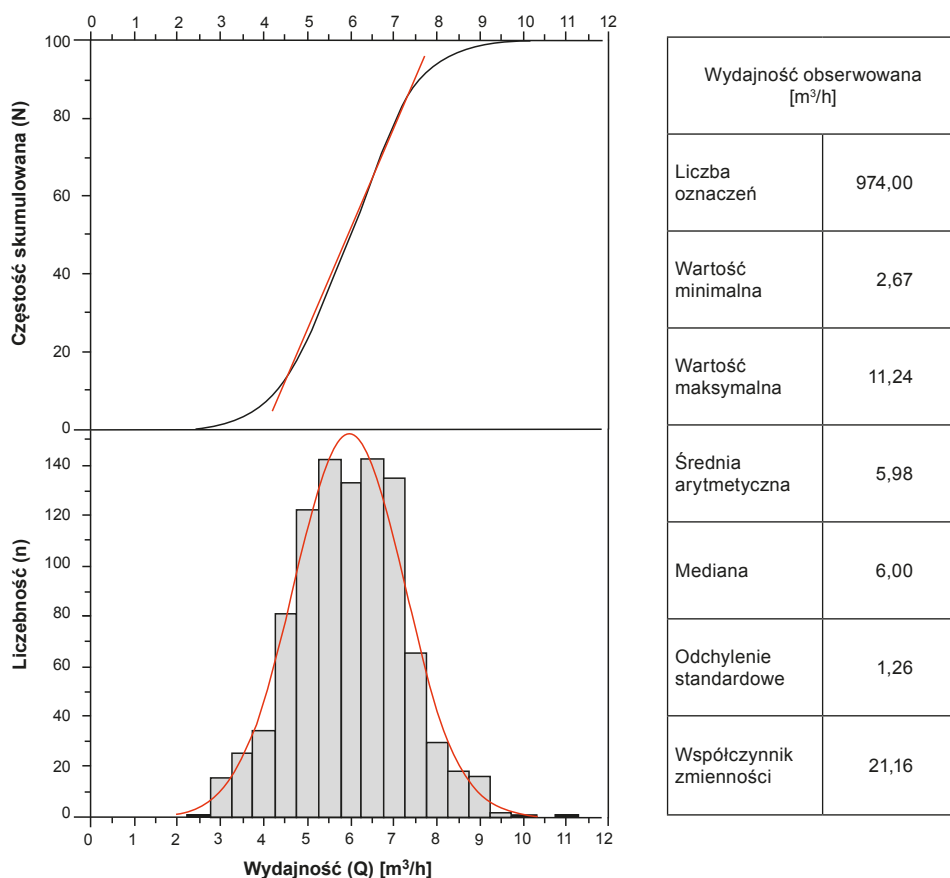


Fig. 15.11. Histogram i cechy statystyczne rozkładu wydajności Źródła Głównego w Swoszowicach (na podst. Krawczyka i Porwisha, 2005, z mod. autorów)

PODSUMOWANIE

W trakcie realizacji Poradnika zgromadzono wiele informacji, obejmujących m.in. zagadnienia formalno-prawne, wyniki próbnych pompowań pomiarowych i obserwacji z wieloletniej eksploatacji ujęć wód leczniczych, a także dotyczących zmienności właściwości fizyczno-chemicznych wód leczniczych, wielkości ich wydobywania oraz problemów ochrony zasobów tych wód. Aktualne zasoby eksploatacyjne dużej części ujęć wód leczniczych, zwłaszcza w uzdrowiskach, pochodzą z okresu ponad 50 lat. Zostały one zatwierdzone na podstawie wyników różnych badań, a zatem ocena zasobów ma różną dokładność i wiarygodność. Utrudnia to, przy braku ogólnokrajowej sieci monitoringu wód leczniczych, sporządzanie prognoz ewentualnych zmian ilości oraz chemizmu i właściwości balneoterapeutycznych tych wód. Dodatkowym utrudnieniem jest rosnąca antropopresja, przejawiająca się m.in. zabudową obszarów zasilania ujęć wód leczniczych i rozwojem w ich obrębie infrastruktury turystyczno-rekreacyjnej. Budowanych jest także wiele nowych ujęć wód leczniczych, przede wszystkim na potrzeby rozlewni wód butelkowanych, z których wielkość poboru wielokrotnie przewyższa ilość wód wydobywanych na potrzeby lecznictwa uzdrowiskowego. Wzrastające wydobywanie wód leczniczych przy jednoczesnym braku kontroli nad gospodarowaniem zasobami złóż wód leczniczych utrudnia ich skuteczną ochronę.

Dużo miejsca w Poradniku poświęcono współwystępowaniu wód leczniczych i zwykłych wód podziemnych oraz regulacjom prawnym dotyczą-

cym tych wód. Poszukiwanie, dokumentowanie i wydobywanie wód leczniczych podlega przepisom ustawy PGiG, natomiast zasady korzystania ze zwykłych wód podziemnych określają przepisy ustawy PW, a kontrolę nad stosowaniem się do zapisów tej ustawy pełnią jednostki administracji wodnej (Wody Polskie, Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Regionalne Zarządy Gospodarki Wodnej, Zarządy Zlewni, Nadzory Wodne). Pomiedzy wymienionymi rodzajami wód podziemnych (leczniczymi i zwykłymi) istnieją związki hydrogeochemiczne i hydrodynamiczne, co pociąga za sobą konieczność holistycznego podejścia do gospodarowania jednymi i drugimi. Obecny stan prawny utrudnia racjonalną gospodarkę wodami podziemnymi, bowiem przepisy obu ustaw nie uzupełniają się, a raczej stwarzają możliwość podejmowania decyzji administracyjnych niekorzystnych dla ochrony zasobów wód leczniczych.

Większość aktów prawnych nie uwzględnia naturalnej zmienności cech fizyczno-chemicznych wód leczniczych na drodze ich przepływu, a także faktu, iż zasoby te są w różnym stopniu odnawialne. Pojęcie naturalnej zmienności także wymyka się jednoznaczному opisowi, co zostało szerzej opisane w Poradniku. W efekcie mamy do czynienia z trudnościami w określaniu granic złóż wód leczniczych, co jest niezwykle istotne nie tylko z punktu widzenia sprostania zapisom prawa, lecz także ze względu na ich ochronę, m.in. poprzez czynną realizację ochrony złóż kopalin w planach zagospodarowania przestrzennego. Niedoprecyzowanie obowiązujących

aktów prawnych sprawia, iż w przyszłości powinny one ulec modyfikacji. Jest to niezwykle istotne w kontekście ochrony zasobów wód leczniczych i racjonalnego gospodarowania nimi, zwłaszcza w rejonach intensywnego wydobycia (dolina Popradu, rejon Buska-Zdroju).

Wydaje się, że zmiany legislacyjne są wskazane także w kontekście stref ochronnych ujęć, aktualnie wyznaczanych jedynie dla zwykłych wód podziemnych. Ustawa PGiG nie reguluje zagadnienia ustanawiania stref ochronnych dla ujęć wód leczniczych. Brak jest przy tym podstawy prawnej, aby w tym zakresie do wód leczniczych stosować przepisy ustawy PW, które wprowadza obowiązek ustanowienia terenów ochronnych ujęć wód podziemnych. Potrzeba takiej formy ochrony zasobów wód leczniczych nie budzi wątpliwości, zwłaszcza jeśli wody lecznicze będą wykorzystywane na potrzeby rozlewni do produkcji wód butelkowanych lub w innych zakładach wymagających ich wysokiej jakości. W przypadku wykorzystywania wód leczniczych w rozlewniach do produkcji wód butelkowanych lub w zakładach wymagających ich wysokiej jakości, należałoby ustanawiać strefy ochronne, przynajmniej teren ochrony bezpośredniej. Proponowane w dokumentacji hydrogeologicznej zalecenia racjonalnej eksploatacji ujęć mają na ogół na celu zapewnienie stałości składu chemicznego wody ujętej konkretnym otworem oraz wydłużenie żywotności ujęcia i w wielu przypadkach są niewystarczające do oceny zagrożeń i wrażliwości złóż na zanieczyszczenia, zarówno antropogeniczne, jak i geogeniczne. Wskazanie środków ochrony ujęcia/złoża wód leczniczych przed zanieczyszczeniami (propozycje ograniczeń, nakazów, zakazów) może wymagać dodatkowych, specjalistycznych badań, analiz, opinii, ekspertyz, których nie przewiduje zakres dokumentacji hydrogeologicznej. Wynika z tego, że przyjmowanie dokumentacji hydrogeologicznej jako podstawowego dokumentu, na podstawie którego jest określany zasięg obszaru ochronnego dla ujęć i złóż wód leczniczych, tj. obszaru górniczego, może być niewystarczające. Potwierdzają to przykłady z dorzecza Popradu, gdzie w jednym obszarze bilansowym prowadzone jest wydobycie przez kilku przedsiębiorców posiadają-

cych własne obszary górnicze. Wzorem zwykłych wód podziemnych – niezbędną byłaby proponowana w PW obowiązkowa analiza ryzyka, która powinna zawierać analizę czynników negatywnie wpływających na parametry fizyczno-chemiczne i ilościowe danego ujęcia/złoża, przeprowadzoną na podstawie badań hydrogeologicznych, oraz analizę zagospodarowania terenu i inwentaryzację ognisk zanieczyszczeń.

Racjonalna gospodarka złożami kopalin, w tym wód leczniczych, polega nie tylko na ochronie ich zasobów, lecz także na całościowym, pełnym wykorzystaniu zasobów złoża. Zgodnie z założeniami zrównoważonego rozwoju, należy dążyć do wykorzystania wszystkich wydobywanych kopalin, również towarzyszących i współwystępujących, optymalizując ich zagospodarowanie. W tym kontekście wydaje się, że w przyszłości wody lecznicze, a także solanki i wody termalne, można by traktować jako kopaliny wielosurowcowe, co musiałoby zostać także uwzględnione w procesie dokumentowania ich zasobów. Efektem takiego podejścia musiałaby być zmiana założeń metodyki dokumentowania zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych. Z punktu widzenia interesu społecznego w przyszłości system prawny powinien sprzyjać takiemu rozwiązaniu.

W procesie dokumentowania zasobów eksploatacyjnych ujęć znacznie większą wagę niż dotychczas należałoby przywiązywać do zasobów dyspozycyjnych obszarów bilansowych, a więc możliwej do zagospodarowania rezerwy zasobów w skali regionalnej. Obszary bilansowe mają wyznaczone naturalne granice i oszacowane w nich zasoby odnawialne, a zatem ich wyznaczenie jest jednym z najważniejszych elementów czynnej ochrony złóż wód leczniczych. Ustalenia takich dokumentacji powinny być wiążące i obligować organy administracji geologicznej do kontroli pozostającej do dyspozycji ilości zasobów. Ustalenia regionalnych dokumentacji zasobowych są często podstawą do rewizji dotychczasowych, utartych poglądów na budowę strukturalną złóż i warunki ich zasilania, co z kolei stanowi podstawę do aktualizacji warunków prowadzenia wydobycia i weryfikacji wielkości ustalonych zasobów eksploatacyjnych poszczególnych ujęć.

Rozpoznanie budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych większości złóż ma charakter punktowy i wysoce niedostateczny dla rozpoznania układu hydrodynamicznego, roli nieciągłości tektonicznych w przepływie wód podziemnych, więzi hydraulicznej poszczególnych poziomów wodonośnych między sobą, a także ich kontaktów z wodami powierzchniowymi, identyfikacji obszarów zasilania i określenia stopnia odnawialności zasobów. Dlatego też ważne jest, aby projektowane prace i roboty geologiczne pozwalały nie tylko spełnić zakładany cel inwestycyjny, lecz także dostarczały wyników pogłębiających dotychczasowy stan wiedzy. Stąd często projektuje się badania nie tylko w planowanym do wykonania otworze wiertniczym, ale także na okolicznym obszarze. W tym miejscu należy wyraźnie podkreślić, iż stosowane w praktyce wymuszanie ograniczeń przez inwestorów, polegające na przykład na rezygnacji z badań geofizycznych czy obserwacji lub pompowań w otworach sąsiednich, a nawet w dokumentowanym otworze (rdzeniowanie, badania izotopowe) są praktyką niedopuszczalną i nie powinny być akceptowane. Takie działania wymuszają przy obliczaniu wielkości zasobów eksploatacyjnych stosowanie kolejnych ekstrapolacji i założeń upraszczających, rzutujących w efekcie na dokładność i wiarygodność otrzymywanych wyników. Należy również zwrócić uwagę na rolę i odpowiedzialność geologa nadzorującego roboty geologiczne. Do najważniejszych zadań dozoru i nadzoru geologicznego podczas dokumentowania zasobów eksploatacyjnych należy korygowanie zatwierdzonego projektu robót geologicznych w dostosowaniu do bieżących wyników wiercenia (w zakresie dopuszczonym w projekcie robót geologicznych) oraz zgłaszanie potrzeby ewentualnych zmian projektu (w formie dodatku) w nawiązaniu do stwierdzonych rzeczywistych warunków hydrogeologicznych, na przykład podjęcie decyzji o prowadzeniu pomiarów zwierciadła wody w otworach obserwacyjnych lub o konieczności przeprowadzenia pompowania zespołowego.

Naturalne procesy formowania się składu chemicznego wód leczniczych oraz wielkości ich zasobów są lokalnie zmienione przez oddziaływanie czynników antropopresji oraz mobilizowane przez

nie szczególne zjawiska geogeniczne. Ich skutki mogą wpłynąć w sposób trwały lub okresowy na parametry fizyczno-chemiczne wód i ich zasoby, prowadząc w skrajnych przypadkach do utraty właściwości leczniczych lub zaniku wód. Już samo ujmowanie wód za pomocą otworów wiertniczych oraz ich wydobywanie, szczególnie prowadzone w warunkach dopływu wymuszonego, powoduje naruszenie naturalnych warunków hydrodynamicznych i hydrochemicznych w złożu. Ustalenie warunków zasilania nowego ujęcia jest w przypadku wielokomponentowych wód mieszanych, w tym szczaw, procesem długotrwałym, a bywa również niemożliwe do uzyskania. Podobnie długotrwałym procesem jest stabilizacja warunków hydrochemicznych ujmowanych wód. Dlatego też zaleca się, aby ustalenia dokumentacji hydrogeologicznych określających zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych były aktualizowane w określonych, wieloletnich cyklach. Często przyczyną weryfikacji zasobów eksploatacyjnych jest wykonanie nowych otworów wiertniczych, których eksploatacja wpływa na ujęcia już istniejące. Wykonanie nowych otworów i ujęcie nimi wód leczniczych powoduje najczęściej spadek wydajności i zasobów eksploatacyjnych dotychczas eksploatowanych ujęć.

Bardzo istotnym problemem w przypadku dokumentowania zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych jest określenie genezy wód i warunków formowania się ich składu chemicznego oraz pochodzenie zawartych w nich gazów. Związana jest z tym przynależność wód do systemów krążenia, lokalnych lub regionalnych, odnawialność zasobów oraz czas przebywania wód w ośrodku skalnym. Czas ten jest różny i wynosi od kilku miesięcy do tysięcy lat, a w przypadku wód praktycznie stagnujących, wyłączonych z obiegu, sięga nawet setek tysięcy lat. Jedynie znajomość genezy wód leczniczych pozwala na poprawną ocenę zjawiska współoddziaływania różnych rodzajów wód.

Fakt zaliczenia wód leczniczych do kopalin i niejednoznaczność zapisów prawnych pociągą za sobą wiele skutków, począwszy od problemów formalno-prawnych związanych z nazewnictwem złóż i wyznaczaniem ich granic, a skończywszy na kłopotach

z określeniem naturalnej zmienności ich właściwości fizyczno-chemicznych. Niniejszy Poradnik porządkuje kwestie związane ze sporządzaniem projektów robót geologicznych oraz dokumentacji geologicznych (hydrogeologicznych i innych) w zakresie dotyczącym wód leczniczych, jednak wydaje się, iż konieczne jest opracowanie terminów, klasyfikacji i zasad oceny zasobów złóż spójnych dla geologii złożowej i hydrogeologii. Przede wszystkim należałoby określić jednolite zasady wyznaczania granic złóż, uwzględniając przy tym zasięg struktur hydrogeologicznych, w których wody te występują i stopień odnawialności ich zasobów, a następnie sformułować wytyczne pozwalające konsekwentnie stosować te założenia w praktyce.

Rosnące wydobycie wód leczniczych, zwłaszcza na potrzeby rozlewni wód oraz presja wywoływana rozwojem infrastruktury turystycznej w miejscowościach uzdrowiskowych, sprawiają, iż ochrona złóż wód leczniczych staje się koniecznością, a zagrożenia stanu jakościowego i ilościowego realnym problemem. Niniejszy Poradnik i płynące z niego wnioski oraz zalecenia z pewnością będą służyć pomocą, przede wszystkim w procesie dokumentowania zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych, ale także w skutecznej ochronie zasobów i prowadzeniu racjonalnej gospodarki złożowej.

Andrzej Sadurski, Jakub Sokołowski

SPIS LITERATURY I WYKORZYSTANYCH MATERIAŁÓW

PUBLIKACJE I MATERIAŁY ARCHIWALNE

- Adhikari R. R., Kallmeyer J., 2010 – Detection and quantification of microbial activity in the subsurface. *Chemie der Erde – Geochemistry*, 70: 135–143.
- Appelo C. A. J., Postma D., 2002 – Geochemistry, groundwater and pollution. A. A. Balkema, Rotterdam.
- Ballentine C. J., Burnard P. G., 2002 – Production, release and transport of noble gases in the continental crust. *Rev. Mineral. Geochem.*, 47 (1): 481–538.
- Bethke C. M., 2008 – Geochemical and Biogeochemical Reaction Modeling. Cambridge Univ. Press., New York.
- Bielec B., 2018a – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wód leczniczych ujętych otworem IN-5 w Muszynie, powiat nowosądecki dla potrzeb ZPHU „INEX” Sp. z o.o. ZPHU „INEX” Sp. z o.o., Inwałd (niepubl.).
- Bielec B., 2018b – Dodatek do dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne wód leczniczych ujętych otworem nr K-10 w Krynicy-Zdroju dla potrzeb ZPHU „INEX” Sp. z o.o. wykonany w związku z aktualizacją poziomu eksploatacji. ZPHU „INEX” Sp. z o.o., Inwałd (niepubl.).
- Bielec B., Hołojuch G., 2011 – Pompowanie testowe w dokumentowaniu zasobów wód termalnych. *Tech. Posz. Geol., Geoterm., Zrówn. Rozw.*, 1/2: 319–328.
- Bielec B., Miecznik J., 2012 – Efekt termiczny w obliczeniach przewodności hydraulicznej w otworach ujmujących wodę termalną. *Tech. Posz. Geol., Geoterm., Zrówn. Rozw.*, 2: 45–54.
- Bielec B., Operacz A., Rygiel P., 2015 – Dodatek do dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne wody leczniczej z utworów trzeciorzędowych ujęć Z-2 i Z-3a w miejscowości Zubrzyk. A. Operacz Vena, Kraków (niepubl.).
- Bielec B., Bystrzeń K., Mróz M., 2017a – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wód leczniczych ujętych otworem K-2 w miejscowości Powroźnik, gm. Muszyna dla potrzeb ZPHU „INEX” Sp. z o.o. ZPHU „INEX” Sp. z o.o., Inwałd (niepubl.).
- Bielec B., Plata J., Wątor K., 2017b – Dodatek nr 1 do dokumentacji hydrogeologicznej w kat. A+B ujęcia siarczkowych wód leczniczych Zdrój Główny w Krzeszowicach, gmina Krzeszowice dla potrzeb Ośrodka Rehabilitacji Narządu Ruchu „Krzeszowice” SP ZOZ. B. Bielec, J. Plata, K. Wątor, Kraków (niepubl.).
- Bielec B., Operacz A., Hajduga M., 2019 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wody zwykłej ujętej otworami P-22 i P-23 w miejscowości Piwniczna-Zdrój. A. Operacz Vena, Kraków (niepubl.).
- Biernat H., Noga B., Kosma Z., 2012 – Przegląd konstrukcji archiwalnych i nowych otworów wiertniczych wykonanych na Niżu Polskim w celu pozyskiwania energii geotermalnej. *Modelowanie Inżynierskie*, 13 (44): 21–28.
- Bojarski L., 1965 – Uwagi w sprawie wykorzystania analiz hydrochemicznych z głębokich wierceń. *Prz. Geol.*, 13 (5): 213–214.
- Bojarski L., Pazdro J., 1973 – Uwagi w sprawie wykorzystania pomiarów hydrodynamicznych wykonywanych w głębokich otworach wiertniczych. *Prz. Geol.*, 21 (3): 138–142.
- Bojarski L., Sadurski A., 2000 – Wody podziemne głębokich systemów krążenia na Niżu Polskim. *Prz. Geol.*, 48 (7): 587–595.
- Bojarski L., Sokołowski A., Sokołowski J., 2011 – Wyniki badań hydrogeologicznych. W: Grudziądz IG 1 (red. K. Leszczyński). *Profil Głęb. Otw. Wiert.*, 129: 114–126.

- Bujakowski W., 2015 – Rekonstrukcja odwiertu Mszczonów IG-1 na tle innych, wybranych rekonstrukcji otworów geotermalnych. *Tech. Posz. Geol., Geoterm., Zrówn. Rozw.*, 54 (1): 17–34.
- Bujakowski W., Balcer M., Barbacki A.P., Bielec B., Tomaszewska B., Pająk L., Skrzypczak R., Dendys M., Kasztelewicz A., Dajek B., 2017 – Otwór geotermalny Mszczonów IG-1 – rekonstrukcja i wieloletnia eksploatacja. *Studia, Rozprawy, Monografie*, 206: 1–99.
- Buszta K., Szklarczyk T., 2015 – Numeryczny model przepływu wód podziemnych na potrzeby oceny zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych i zwykłych na przykładzie zlewni potoków Milika i Andrzejówki. *Prz. Geol.*, 63 (10/1): 628–634.
- Castro, M. C., Stute M., Schlosser P., 2000 – Comparison of ^4He ages and ^{14}C ages in simple aquifer systems: implications for groundwater flow and chronologies. *Applied Geochemistry*, 15 (8): 1137–1167.
- Chowaniec J., 2009 – Studium hydrogeologii zachodniej części Karpat Polskich. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 434, ser. *Hydrogeologia*, 8: 1–98.
- Chowaniec J., Najman J., Olszewska B., Zuber A., 2009 – Pochodzenie i wiek wody mineralnej w Dobrowodzie k. Buska Zdroju. *Prz. Geol.*, 57 (4): 286–293.
- Chowaniec J., Duliński M., Najman J., Mochalski P., Śliwka I., Zuber A., 2010 – Water ages in thermal system of the Podhale Basin (Inner Carpathians, southern Poland). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 441: 7–18.
- Chowaniec J., Hajduga M., Porwisz B., Radwan J., 2013 – Najmniejsze i jedyne uzdrowisko karpackie z wodami siarczkowymi w miejscowości Wapienne koło Gorlic. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 436: 75–80.
- Chowaniec J., Freiwald P., Gągulski T., Gorczyca G., Michalski A., Operacz T., Patorski R., Szklarczyk T., Buszta K., 2014 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych (leczniczych i zwykłych) w obrębie zlewni potoków Milik i Andrzejówka (miejscowość Andrzejówka, Milik). Państw. Inst. Geol.–Państw. Inst. Badaw., Kraków (niepubl.).
- Chowaniec J., Gągulski T., Gorczyca G., Operacz T., 2015a – Główne założenia badawcze oceny zasobów dyspozycyjnych złóż wód leczniczych na przykładzie Buska-Zdroju i Solca-Zdroju. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 465: 195–202.
- Chowaniec J., Gorczyca G., Gągulski T., Patorski R., 2015b – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód leczniczych antykliny Iwonicza-Zdroju–Rudawki Rymanowskiej. Państw. Inst. Geol.–Państw. Inst. Badaw., Warszawa (niepubl.).
- Chowaniec J., Gągulski T., Gorczyca G., 2016 – Geneza wód leczniczych w utworach jurajskich rejonu Buska-Zdroju i Solca-Zdroju. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 466: 33–42.
- Chudy K., Worsa-Kozak M., 2017 – Pierwiastki użyteczne w solankach dopływających do wyrobisk kopalń rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 469: 93–103.
- Ciepliński P., Kawalec B., 1991 – Aneks do dokumentacji hydrogeologicznej zasobów wód leczniczych z utworów miocenskich w kat. B dla otworu Róża III w Horyńcu Zdroju, opracowanej przez RZPE i ZRiWWW Elwów Rzeszów w 1971 r. wraz ze sprawdzeniem z odwiercenia otworu awaryjnego Róża IV. Przeds. Zaopatr. Rol. w Wodę Wodrol, Rzeszów (niepubl.).
- Ciężkowski W., 1980 – Hydrogeologia i hydrochemia wód termalnych Łądko-Zdroju. *Problemy Uzdrawiskowe*, 4 (150): 125–193.
- Ciężkowski W., 1983 – Wody termalne Łądko-Zdroju. W: II Ogólnopolskie Sympozjum „Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej”, 13–16.10.1982, Łądek-Zdrój. UWR, Wrocław: 30–40.
- Ciężkowski W., 1990 – Studium hydrogeochemii wód leczniczych Sudetów polskich. *Pr. Nauk. Inst. Geotechn. PWR*, 60, ser. *Monografie*, 19: 1–133.
- Ciężkowski W. (red.), 2002 – Występowanie, dokumentowanie i eksploatacja endogenicznego dwutlenku węgla w Polsce. Wr. Tow. Nauk., Wrocław.
- Ciężkowski W. (red.), 2007 – Współoddziaływanie wód zwykłych i leczniczych – zasady dokumentowania, ochrony i gospodarki wodnej. Oficyna Wydaw. PWR, Wrocław.
- Ciężkowski W., Kapuściński J., 2011 – Wyznaczanie granic obszaru i terenu górniczego dla złóż wód podziemnych uznanych za kopaliny. Poradnik metodyczny. Min. Środ., Warszawa.
- Ciężkowski W., Rosińska-Wilczek G., 1997 – Powódź z lipca 1997 r. a złoża wód leczniczych Polski południowej. W: Szkolenie Służby Geologicznej Resortu Zdrowia i Opieki Społecznej, 8–10.12.1997 r., Krynica-Zdrój: 40–42 (niepubl.).
- Ciężkowski W., Szarszewska Z., 1978 – O zjawisku mieszania się wód leczniczych z wodami ich otoczenia na przykładzie uzdrowisk sudeckich. *Problemy Uzdrawiskowe*, 6 (128): 167–173.
- Ciężkowski W., Zuber A., 1996 – Niepewności w określaniu wieku wód metodą trytową na przykładzie wód leczniczych Sudetów. W: Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław: 255–262.

- Ciężkowski W., Zuber A., 1997 – Wstępne dane o wodach glacialnych w niektórych ujęciach wód leczniczych Beskidu Sądeckiego. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. VIII (red. J. Kryza i in.). Wydaw. WIND, Wrocław: 327–329.
- Ciężkowski W., Grabczak J., Zuber A., 1985 – Pochodzenie wód termalnych Cieplic Śląskich Zdroju i ich eksploatacja w świetle badań izotopowych. *W: Aktualne problemy hydrogeologii* (red. A. S. Kleczkowski). AGH, Kraków: 225–231.
- Ciężkowski W., Gröning M., Leśniak P. M., Weise S. M., Zuber A., 1992 – Origin and age of thermal waters in Cieplice Spa, Sudeten, Poland, inferred from isotope, chemical and noble gas data. *Journal of Hydrology*, 140, 1–4: 89–117.
- Ciężkowski W., Doktor S., Graniczny M., Kabat T., Liber-Madziar E., Przylibski T., Teisseyre B., Wiśniewska M., Zuber A., 1996 – Próba określenia obszarów zasilania wód leczniczych pochodzenia infiltracyjnego w Polsce na podstawie badań izotopowych. Zakł. Bad. Uzd. Zdroje, Wrocław (niepubl.).
- Ciężkowski W., Jackowicz-Korczyński J., Stachowiak T., 1998 – Ochrona złóż wód leczniczych. *W: Ochrona środowiska na terenach górniczych*. III Konferencja Nauko-Techniczna, Ustroń Jaszowiec 3–5.06.1998 (red. J. Ostrowski). Wydaw. SITG, Katowice: 149–154.
- Ciężkowski W., Józefko I., Schmalz A., Witczak S., 1999 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wód leczniczych i dwutlenku węgla (jako kopaliny towarzyszącej) ze złoża w uzdrowisku Krynica oraz ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych (zwykłych oraz leczniczych i o właściwościach leczniczych) w zlewni Kryniczanki. PWR, Wrocław (niepubl.).
- Ciężkowski W., Kiełczawa B., Mazurek P., Teisseyre B., 2002a – Ekspertyza dotycząca możliwości ograniczenia eksploatacji wód leczniczych z ujęć w Dusznikach-Zdroju w aspekcie wprowadzenia opłat eksploatacyjnych. Raport SPR nr W6/I-11/S-33/2002. PWR, Wrocław (niepubl.).
- Ciężkowski W., Kiełczawa B., Mazurek P., Teisseyre B., 2002b – Ekspertyza dotycząca możliwości ograniczenia eksploatacji wód leczniczych z ujęć w Polanicy-Zdroju w aspekcie wprowadzenia opłat eksploatacyjnych. Raport SPR nr W6/I-11/S-34/2002. PWR, Wrocław (niepubl.).
- Ciężkowski W., Porwisz B., Zuber A., 2003 – Geneza i wiek wód siarczkowych Horyńca-Zdroju i Latoszyna. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. XI, cz. 2 (red. B. Kozerski, B. Jaworska-Szulc). PGd, Gdańsk: 95–102.
- Ciężkowski W., Jackowicz-Korczyński J., Kiełczawa B., 2004 – Sporządzanie projektów zagospodarowania złóż dla wód leczniczych. Poradnik metodyczny. Min. Środ., Warszawa.
- Ciężkowski W., Liber E., Kiełczawa B., Latour T., Przylibski T., Sziwa D., Żak S., 2007 – Dopuszczalne wahania eksploatacyjnych i fizyczno-chemicznych parametrów wód leczniczych. Zasady ustalania. Oficyna Wydaw. PWR, Wrocław.
- Ciężkowski W., Chowaniec J., Górecki W., Krawiec A., Rajchel L., Zuber A., 2010 – Mineral and thermal waters of Poland. *Prz. Geol.*, 58 (9/1): 762–774.
- Ciężkowski W., Marszałek H., Wąsik M., 2011a – Metody badawcze w poszukiwaniu i rozpoznawaniu złóż wód termalnych w sudeckim regionie geotermalnym. *Tech. Posz. Geol., Geoterm., Zrówn. Rozw.*, 50 (1/2): 51–59.
- Ciężkowski W., Michniewicz M., Przylibski T. A., 2011b – Wody termalne na Dolnym Śląsku. *W: Mezozoik i kenozoik Dolnego Śląska* (red. A. Żelazniewicz i in.). Wydaw. WIND, Wrocław: 107–120.
- Ciężkowski W., Kiełczawa B., Mazurek P., 2016a – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych 9M i 10M w Gorzanie. PWR, Wrocław (niepubl.).
- Ciężkowski W., Kiełczawa B., Liber-Makowska E., Przylibski T. A., Żak S., 2016b – Wody lecznicze regionu sudeckiego – wybrane problemy. *Prz. Geol.*, 64 (9): 671–682.
- Clark I. D., Fritz P., 1997 – Environmental isotopes in hydrogeology. Lewis Publishers, New York.
- Craig H., 1961 – Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133 (3465): 1702–1703.
- Czabaj W., Klich J., 2005 – Badanie związku eksploatacji wałbrzyskich kopalń węgla kamiennego z mineralizacją wód leczniczych Szczawnia Zdroju. *Prz. Geol.*, 53 (3): 230–236.
- Czerski M., Fistek J., Rafalski Z., Wojtkowiak A., 1990 – Aneks do dokumentacji zasobów termalnej wody mineralnej w kategorii C w Grabinie (otwór Odra 5/I). Państw. Inst. Geol., Warszawa (niepubl.).
- Czop M., Dembska P., Rajchel L., 2014 – Modelowanie warunków formowania się składu chemicznego wód podziemnych w obrębie Karpat i brzeżnej części zapadliska przedkarpackiego. *W: Modele matematyczne w hydrogeologii* (red. A. Sadurski, A. Krawiec). UMK, Toruń: 161–168.
- d’Obryn K., Grabczak J., Zuber A., 1997 – Mapy składów izotopowych infiltracji holoceniowej na obszarze Polski. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. VIII. Wydaw. WIND, Poznań: 331–335.

- d'Obyrn K., Rajchel L., 2015 – Balneoterapeutyczne wykorzystanie solanek w uzdrowisku Kopalni Soli „Wieliczka”. *Prz. Geol.*, 63 (10/2): 981–984.
- Damsé S., 1956 – Zadania służby ochronnej źródeł (OZ) w uzdrowiskach. *Wiadomości Uzdrowiskowe*, 1: 7–18.
- Damsé S., 1961 – Pomiary stacjonarne źródeł mineralnych. *Problemy Uzdrowiskowe*, 4 (11): 169–176.
- Dąbrowski S., Przybyłek J., 2005 – Metodyka próbných pom-powań w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych. Poradnik metodyczny. Min. Środ., Warszawa.
- Dąbrowski S., Przybyłek J., 2012 – Ocena prognoz zasobów eksploatacyjnych poprzez porównanie szacunków zasobowych z wynikami długotrwałej eksploatacji ujęć wód podziemnych (Studium metodyczne). Min. Środ., Warszawa.
- Dąbrowski S., Górski J., Kapuściński J., Przybyłek J., Szczepański A., 2004 – Metodyka określania zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych – poradnik metodyczny. Borgis Wydaw. Med., Warszawa.
- Dąbrowski S., Kapuściński J., Nowicki K., Przybyłek J., Szczepański A., 2010 – Metodyka modelowania matematycznego w badaniach i obliczeniach hydrogeologicznych. Bogucki Wydaw. Nauk., Poznań.
- De la Haba R. R., Sanchez-Porro C., Marquez M. C., Ventosa A., 2011 – Taxonomy of Halophiles. *W: Extremophile Handbook* (red. K. Horikoshi). Springer, Tokyo, Dordrecht, Heidelberg, London, New York: 255–308.
- Deja-Sikora E., Gołębiewski M., Kalwasińska A., Krawiec A., Kosobucki P., Walczak M., 2019 – *Comamonadaceae* OTU as a remnant of an ancient microbial community in sulfidic waters. *Microbial Ecology*, 78 (1): 85–101.
- Dembaska-Sięka P., Pelc A., Rajchel L., 2020 – The origin and chemical composition of Carpathians chloride CO₂-rich waters in the light of stable chloride isotope studies (³⁷Cl and ³⁵Cl). *Geol. Quart.*, 64 (1): 197–204.
- Dendys M., 2018 – Hydrodynamiczne uwarunkowania krążenia wód termalnych i leczniczych w utworach cenomanu niecki miechowskiej i środkowej części zapadliska przedkarpackiego. *Studia, Rozprawy, Monografie*, 208: 1–110.
- Dendys M., Tomaszewska B., Pająk L., 2014 – Modelowanie numeryczne jako narzędzie wspomagające badania systemów geotermalnych. *W: Modele matematyczne w hydrogeologii* (red. A. Sadurski, A. Krawiec). UMK, Toruń: 199–206.
- Dobrzyński D., 2006a – Modelowanie geochemiczne narzędziem poznania geochemii systemów wód podziemnych. Przykłady zastosowań, aktualny stan w Polsce. *Prz. Geol.*, 54 (11): 976–980.
- Dobrzyński D., 2006b – Modelowanie geochemiczne. *W: Podstawy hydrogeologii stosowanej* (red. A. Macioszczyk). Wydaw. PWN, Warszawa: 280–304.
- Dowgiałło J., 1970 – Zastosowanie badań izotopów trwałych w hydrogeologii. *Postępy Nauk Geologicznych*, 1: 35–69.
- Dowgiałło J., 1971 – Studium genezy wód zmineralizowanych w utworach mezozoicznych Polski północnej. *Biul. Geol. Univ. Warsz.*, 13: 133–234.
- Dowgiałło J., 1973 – Wyniki badań składu izotopowego tlenu i wodoru w wodach podziemnych Polski południowej. *Biul. Inst. Geol.*, 277: 319–338.
- Dowgiałło J., 1980 – Poligenetyczny model karpackich wód chlorkowych i niektóre jego konsekwencje. *W: Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej*. T. I. Wydaw. Geol., Warszawa: 275–290.
- Dowgiałło J., 2001 – Sudecki region geotermiczny (SRG) – określenie, podział, perspektywy poszukiwawcze. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. X, cz. 1 (red. T. Bocheńska, S. Staśko). Wydaw. Sudety, Wrocław: 301–308.
- Dowgiałło J., 2005 – Wody „niezwykłe” w pracach Komisji Dokumentacji Hydrogeologicznych. *Prz. Geol.*, 53 (10/1): 818–820.
- Dowgiałło J., 2007 – Prowincja platformy prekambryjskiej *W: Hydrogeologia regionalna Polski*. T. 2. Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalniane (red. B. Paczyński, A. Sadurski). Państw. Inst. Geol., Warszawa: 34–37.
- Dowgiałło J., Fistek J., 1998 – Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych w Jeleniej Górze-Cieplicach. Inst. Nauk. Geol. Pol. Akad. Nauk, Warszawa (niepubl.).
- Dowgiałło J., Fistek J., 2003 – New findings in the Wałbrzych-Kłodzko geothermal sub-region Sudetes, Poland). *Geothermics*, 32: 689–699.
- Dowgiałło J., Fistek J., 2007 – Prowincja sudecka. *W: Hydrogeologia regionalna Polski*. T. 2. Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalniane (red. B. Paczyński, A. Sadurski). Państw. Inst. Geol., Warszawa: 57–78.
- Dowgiałło J., Kulikowska J., 1972 – Hydrogeologiczne badania stacjonarne ujęć wód leczniczych w uzdrowiskach polskich. *Problemy Uzdrowiskowe*, 1 (61): 109–158.
- Dowgiałło J., Nowicki Z., 1999 – Ocena „wieku” wód podziemnych na podstawie wybranych metod izotopowych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 388: 61–78.
- Dowgiałło J., Nowicki Z., 2007 – Typy genetyczne i chemiczne wód podziemnych. Poglądy ośrodka warszawskiego. *W: Hydrogeologia regionalna Polski*. T. 2. Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalniane (red. B. Paczyński, A. Sadurski). Państw. Inst. Geol., Warszawa: 43–52.
- Dowgiałło J., Paczyński B., 2002 – Podział regionalny wód leczniczych Polski. *W: Ocena zasobów dyspo-*

- zycyjnych wód potencjalnie leczniczych. Poradnik metodyczny (red. B. Paczyński). Państw. Inst. Geol., Warszawa: 16–24.
- Dowgiałto J., Sławiński A., 1978 – Remarks on the origin of saline ground waters at Rabka. *W: Hydrogeochemistry of Mineralized Waters*. Wydaw. Geol., Warszawa: 195–203.
- Dowgiałto J., Tongiorgi E., 1972 – The isotopic composition of oxygen and hydrogen in some brines from the Mesozoic in north-west Poland. *Geothermics*, 1: 67–69.
- Dowgiałto J., Karski A., Potocki I., 1969 – Geologia surowców balneologicznych. Wydaw. Geol., Warszawa.
- Dowgiałto J., Hałas S., Lis J., Szaran J., Żuk W., 1973 – The isotopic composition of carbon and the origin of CO₂ in some Sudetic acidulous waters. *Bull. Pol. Acad. of Sci. Earth Sci.*, 21 (2): 89–97.
- Dowgiałto J., Florkowski T., Grabczak J., 1974a – Tritium and ¹⁴C dating of Sudetic thermal waters. *Bull. Pol. Acad. of Sci. Earth Sci.*, 12 (2): 101–109.
- Dowgiałto J., Płochniński Z., Szpakiewicz M., 1974b – Mapa wód mineralnych Polski w skali 1:1 500 000. Inst. Geol., Warszawa.
- Dowgiałto J., Kleczkowski A. S., Macioszczyk T., Różkowski A. (red.), 2002 – Słownik hydrogeologiczny. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- Duliński M., 1999 – Problem składu izotopowego dwutlenku węgla w wodach leczniczych Krynicy. *Prz. Geol.*, 47 (6): 567–570.
- Duliński M., 2001 – Próba oceny przesunięcia składu tlenu w wodach typu zuber w Krynicy wskutek wymiany izotopowej z gazowym dwutlenkiem węgla. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. X, cz. 2 (red. T. Bocheńska, S. Staśko). Wydaw. Sudety, Wrocław: 327–332.
- Duliński M., Florkowski T., Grabczak J., Różański K., 2001 – 25 lat systematycznych pomiarów składu izotopowego opadów na terenie Polski. *Prz. Geol.*, 49 (3): 250–256.
- Duliński M., Demska-Sięka P., Rajchel L., Gorczyca Z., 2017 – Zmienność parametrów chemicznych i izotopowych wody z odwiertu Franciszek w Wysowej-Zdroju. *Prz. Geol.*, 65 (11/1): 951–955.
- Duliński W., Ropa C., 1994 – Badania hydrodynamiczne w odwiertach Zuber II i Zuber IV w Krynicy. *Zesz. Nauk. AGH, ser. Górnictwo*, 4: 281–289.
- Duliński W., Ropa C., 2005 – Analiza techniczno-energetyczna zagospodarowania dwutlenku węgla w uzdrowisku Krynica Zdrój. *Wiertnictwo, Nafta, Gaz*, 22 (2): 531–541.
- Duliński W., Ropa C., 2008 – Analiza i ustalenie parametrów eksploatacyjnych dla odwiertów wód mineralnych w zależności od wykładnika gazowego. *Wiertnictwo, Nafta, Gaz*, 25 (2): 243–249.
- Duliński W., Florkowski T., Grabczak J., Węclawik S., Reško D., Zuber A., 1987 – Ochrona wód mineralnych Krynicy w świetle wstępnych badań izotopowych. *W: 25 lat Górnictwa Uzdrowskiego*. AGH, Kraków: 119–134.
- Duliński W., Reško D., Ropa C., Szarek W., 1993 – Badania hydrodynamiczne w odwiertach wód mineralnych kąpielowych w Krynicy. *W: Geologia uzdrowskowa*. Balneotechnika (red. J. Sielicka, T. Stachowiak). Min. Zdr. i Op. Społ., Warszawa: 49–60.
- Duliński W., Witczak S., Ropa C., Reško D., Szarek W., Schmalz A., 1999 – Badania złożowe w odwiertach Zuber w Krynicy oraz problem odsiarczania dwutlenku węgla z tych ujęć. *Prz. Geol.*, 47 (6): 584–590.
- Felter A., Skrzypczyk L., Socha M., Sokołowski J., Stożek J., Gryczko-Gostyńska A., 2015a – Mapa zagospodarowania wód podziemnych zaliczonych do kopalin w Polsce w skali 1:1 000 000. Państw. Inst. Geol.–Państw. Inst. Badaw., Warszawa.
- Felter A., Stożek J., Sokołowski J., Socha M., 2015b – Analiza zmienności właściwości fizyczno-chemicznych wód leczniczych uzdrowisk polskich wraz z oceną stanu zagrożeń ich jakości i zasobów. Część 1. Państw. Inst. Geol.–Państw. Inst. Badaw., Warszawa (niepubl.).
- Felter A., Skrzypczyk L., Socha M., Sokołowski J., Stożek J., Gryszkiewicz I., Gryczko-Gostyńska A., 2017 – Mapa zagospodarowania wód podziemnych zaliczonych do kopalin w Polsce. Tekst objaśniający. Państw. Inst. Geol.–Państw. Inst. Badaw., Warszawa.
- Felter A., Stożek J., Sokołowski J., Socha M., 2018 – Analiza zmienności właściwości fizyczno-chemicznych wód leczniczych uzdrowisk polskich wraz z oceną stanu zagrożeń ich jakości i zasobów. Etap II. Państw. Inst. Geol.–Państw. Inst. Badaw., Warszawa (niepubl.).
- Felter A., Filippovits E., Gryszkiewicz I., Lasek-Woroszkievicz D., Skrzypczyk L., Socha M., Sokołowski J., Sosnowska M., Stożek J., 2021 – Mapa zagospodarowania wód podziemnych zaliczonych do kopalin w Polsce 2020 w skali 1:1 000 000 wraz z objaśnieniami. Państw. Inst. Geol.–Państw. Inst. Badaw., Warszawa.
- Fistek J., 1966 – Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych Polanicy Zdroju. Przeds. Państw. Obsł. Tech. Uzdr., Warszawa (niepubl.).
- Fistek J., 1967 – Aneks do dokumentacji hydrogeologicznej wód leczniczych Długopola-Zdroju. Przeds. Państw. Obsł. Tech. Uzdr., Warszawa (niepubl.).
- Fistek J., 1973 – Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych Czerniawy Zdroju. Biuro Proj. i Usł. Tech. Br. Uzdr. Balneoprojekt, Warszawa (niepubl.).
- Fistek J., Dowgiałto J., 1962 – Zagadnienia projektowania granic ochrony górniczej i sanitarnej źródeł wód

- i gazów leczniczych. *Problemy Uzdrawiskowe*, 1/2 (8-9): 101-109.
- Fistek J., Fistek A., 1998 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów eksploatacyjnych wód leczniczych (szczaw) Dusznik-Zdroju. Ust. Proj. i Bad., Geol.-Hydrogeol. Fistek J., Wrocław (niepubl.).
- Fistek J., Fistek A., 2012 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód leczniczych ujęć Wielka Pieniawa, Pieniawa Józefa 1 i 2 w miejscowości Polanica Zdrój. Ust. Proj. i Bad., Geol.-Hydrogeol. Fistek J., Wrocław (niepubl.).
- Fistek J., Tęsiorowska H., 1969 – Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych Szczawna Zdroju. Przeds. Państw. Obsł. Tech. Uzdr., Warszawa (niepubl.).
- Fritz P., Fontes J. Ch. (red.), 1980 – Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Vol. 1. The Terrestrial Environment A. Elsevier, Amsterdam.
- Gała I., 2011 – Wstępne rozpoznanie i charakterystyka siarczkowych wód termalnych w otworze Busko C-1. *Tech. Posz. Geol., Geoterm., Zrówn. Rozw.*, 50 (1/2): 339-348.
- Gat J. R., Gonfiantini R. (red.), 1981 – Stable Isotope Hydrology, Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle. Technical Reports, 210. Int. Atomic Energy Agency, Vienna.
- Gągułski T., Chowaniec J., Gorczyca G., Operacz T., Tott M., Patorski R., Śmietaniński L., Kozłara T., Strojna K., Gryczko-Gostyńska A., Felter A., 2018 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód leczniczych, siarczkowych w rejonie Buska-Zdroju i Solca-Zdroju. Państw. Inst. Geol.-Państw. Inst. Badaw. Warszawa-Kraków (niepubl.).
- Gierwielaniec J., 1968 – Łądek Zdrój i jego wody mineralne. *Kwart. Geol.*, 12 (3): 680-692.
- Gonet A., Macuda J., Zawisza L., Duda R., Porwisz J., 2011 – Instrukcja obsługi wiercen hydrogeologicznych. AGH, Kraków.
- Gorczyca G., Krawczyk J., Fiszer J., Tott M., 2008 – Dodatek nr 2 do dokumentacji hydrogeologicznej zasobów wód siarczkowych do celów leczniczych z utworów kredowych w Busku-Zdroju. Przeds. Geol., Kraków (niepubl.).
- Gorczyca G., Bielec B., Krawczyk J. i in., 2016 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód leczniczych zlewni Wilgi – rejon Mateczny. Państw. Inst. Geol.-Państw. Inst. Badaw., Warszawa (niepubl.).
- Grabczak J., Zuber A., 1983 – Isotope composition of waters recharged during the Quaternary in Poland. *Freiberger Forschungshefte*, C388: 93-108.
- Grzeškowiak W., Limisiewicz P., Wąsik M., 1994 – Dokumentacja hydrogeologiczna ujęcia wód podziemnych z utworów kredowych dla rozlewni wód mineralnych w Gorzanowie (otwory 2 i 4b). Przeds. Prod.-Ust.-Handl. Hydrogeol. Wrocław (niepubl.).
- Guśpiel A., 2007 – Geotermalne życie. *Tech. Posz. Geol., Geoterm., Zrówn. Rozw.*, 46 (2): 45-47.
- Hajto M., 2011 – Potencjał geotermalny w rejonie zewnętrznych Karpat Zachodnich. *Tech. Posz. Geol., Geoterm., Zrówn. Roz.*, 1/2: 37-49.
- Haładus W., Witczak S., Duliński W., Gorczyca R., 2004 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód leczniczych z utworów trzeciorzędowych ujętych otworami Antoni i P-3 w Muszynie. Przeds. Hydrogeol. Hydropol, Kraków (niepubl.).
- Instrukcja w sprawie zasad i sposobu ustalania zasobów wód podziemnych dla celów leczniczych. Centr. Urz. Geol., Warszawa, 1965 r.
- Jakóbczyk-Karpierz S., Kowalczyk A., 2012 – Możliwości i ograniczenia zastosowania SF₆ do oceny czasu przebywania wód w ośrodkach węglanowych na przykładzie GZWP Gliwice. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 451, ser. *Hydrogeologia*, 13: 91-99.
- Jareniowski J., Dyda J., 2012 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne otworu wiertniczego RZ 7 ujmującego wody lecznicze z utworów trzeciorzędu (eoceńskich) w Rymanowie-Zdroju. Z-d. Wiertn.-Geol. Hydroel, Zagórzany (niepubl.).
- Jaworski M., Uliasz A., 2006 – Źródła i zdroje rymanowskie. *Rocz. Rymanowa-Zdroju*, IX: 19-60.
- Józefko I., Bielec B., 2002 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wód leczniczych w Szczawnicy. Przeds. Bad. Geol. Geoprofil, Kraków (niepubl.).
- Józefko I., Kukuła M., 2015 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęcia wód leczniczych „Wiktor” w Żegiestowie. Przeds. Bad. Geol. Geoprofil, Kraków (niepubl.).
- Józefko I., Kukuła M., Kosiek K., 2016 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęcia wód leczniczych „Marcin II” w miejscowości Złockie. Przeds. Bad. Geol. Geoprofil, Kraków (niepubl.).
- Józefko I., Kukuła M., Kosiek K., 2017 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęcia wód leczniczych „Misericordia” w Krakowie. Przeds. Bad. Geol. Geoprofil, Kraków (niepubl.).
- Józefko I., Kukuła M., Kosiek K., 2018 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęcia wód leczniczych „Damian” w Muszynie. Przeds. Bad. Geol. Geoprofil, Kraków (niepubl.).
- Kaczor D., 2005 – Charakterystyka czasowej zmienności mineralizacji solanek mezozoiku w ujęciach uzdrowiskowych północno-zachodniej Polski. *W: Współ-*

- czesne problemy hydrogeologii. T. XII (red. A. Sadurski, A. Krawiec). UMK, Toruń: 797-801.
- Kalwasińska A., Krawiec A., Deja-Sikora E., Gołębiowski M., Kosobucki P., Swiontek Brzezińska M., Walczak M., 2020 – Microbial diversity in deep subsurface hot brines of the North West Poland: from a community structure to isolate characteristics. *Applied and Environmental Microbiology*, 86 (10): 1-18.
- Kania J., Józefko I., Witczak S., 2009a – Metodyka oceny zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych rejonu Muszyny na podstawie modelowania w systemie ArcGIS i GMS. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 436 (9/1): 205-214.
- Kania J., Oszczypko N., Witczak S., 2009b – Wielowarstwowy regionalny model rejonu Muszyny zintegrowany w systemie ArcGIS i GMS. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 436 (9/1): 215-221.
- Kapuściński J., 1997 – Modelowanie matematyczne w procesie dokumentowania wód termalnych dla ciepłowni w Pyrzycach (woj. szczecińskie). *Prz. Geol.*, 45 (2): 179-181.
- Kapuściński J., Nagy S., Długosz P., Biernat H., Bentkowski A., Zawisza L., Macuda J., Bujakowska K., 1997 – Zasady i metodyka dokumentowania zasobów wód termalnych i energii geotermalnej oraz sposoby odprowadzania wód zużytych. Poradnik metodyczny. Min. Ochr. Środ., Zas. Nat. i Leśn., Warszawa.
- Kapuściński J., Szymańska E., Hulboj A., Połujan-Kowalczyk M., Kubiczek I., Niewiarowicz J., Pijewski G., Krawczyk J., Gągulski T., Gorczyca G., Tott M., Kos J., Fiszer J., Kondel G., Pytel A., 2010 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód leczniczych i potencjalnie leczniczych Ziemi Kłodzkiej i obszaru jeleniogórskiego. Przeds. Geol. Polgeol, Warszawa (niepubl.).
- Kawecki M. W., 1995 – Correction for temperature effect in the recovery of a pumped well. *Ground Water*, 33 (6): 917-926.
- Kemp W. J. M., Appelo C. A. J., Walraevens K., 2000 – Inverse modelling and radiocarbon dating of palaeogroundwaters: The Tertiary Ledo-Paniselian aquifer in Flanders, Belgium. *Water Resources Research*, 38 (5): 1277-1287.
- Kielczawa B., 2001a – Zjawisko mieszania się wód Gorzanowa na tle złóż wód rowu górnej Nysy Kłodzkiej. *Pr. Nauk. Inst. Gór. PWR*, 92 (29): 85-93.
- Kielczawa B., 2001b – Wody zmineralizowane Gorzanowa. Rozprawa doktorska. PWR, Wrocław (niepubl.).
- Kielczawa B., Liber-Makowska E., 2018a – Zmienność wybranych parametrów ilościowych i jakościowych termalnych wód leczniczych Cieplic. *Tech. Posz. Geol. Geoterm. Zrówn. Rozw.*, 57 (1): 61-72.
- Kielczawa B., Liber-Makowska E., 2018b – Factors affecting changes in quality parameters of medicinal waters in Szczawnno-Zdroj (Sudety Mountains, Poland). *W: 18th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference SGEM 2018: Conference proceedings. Vol. 18, Water resources. Forest, marine and ocean ecosystems. Iss. 3.1, Hydrology and water resources. 2-8 July 2018, Albena, Bulgaria, Sofia. STEF92 Technology, cop. 2018: 313-320.*
- Kielczawa B., Wiktorowicz B., 2006 – Model hydrogeochemiczny formowania się szczaw rejonu uskoku Pstrążna-Gorzanów. *W: Hydrogeochemia'06. X Międzynarodowa Konferencja Aktualne problemy hydrogeochemii, Sosnowiec-Złoty Potok 23-24.06.2006: 42-44.*
- Kielczawa B., Wojtkowski P., Filbier P., 2008 – Wybrane zagadnienia zagrożeń wód leczniczych Szczawnno-Zdroju. *Pr. Nauk. Inst. Gór. PWR*, 123, ser. *Studia i Materiały*, 34: 115-123.
- Kipfer R., Aeschbach-Hertig W., Peeters F., Stute M., 2002 – Noble gases in lakes and ground waters. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 47 (1): 615-700.
- Kleczkowski A. S. (red.), 1991 – Ochrona wód podziemnych w Polsce. Stan i kierunki badań. Publikacja CPBP 04.10, 56. Szk. Gł. Gosp. Wiejs.-Akad. Rol., Warszawa-Kraków.
- Kolago C., 1971 – Mapa wód mineralnych Polski w skali 1:1 000 000. Wydaw. Geol., Warszawa.
- Kolago C., Płochniewski Z., 1977 – Charakterystyka wód mineralnych w przystropowej strefie ich występowania na obszarze Polski północno-wschodniej. *Kwart. Geol.*, 21 (2): 345-351.
- Kolago C., Pich J., Płochniewski Z., 1970 – Mapa hydrochemiczna (wody mineralne) w skali 1:2 000 000. *W: Atlas mineralogiczny Polski (red. R. Osika). Wydaw. Geol., Warszawa.*
- Kostka A., 2013 – Chemizm wód podziemnych w dolnopermskich skałach wulkanicznych masywu Dzikowca i Lesistej Wielkiej (Góry Kamienne, Sudety) w świetle wyników modelowania geochemicznego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 456, ser. *Hydrogeologia*, 14/1: 305-312.
- Koślacz R. i in., 2014 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych w obszarach bilansowych współwystępujących wód leczniczych i zwykłych wód podziemnych w wydzielonym rejonie Karpat – zlewnia Popradu. IMS, Wrocław; Przeds. Geol., Kraków; SEG-AT, Warszawa (niepubl.).
- Kozłowski J., 1997 – Zjawisko mieszania się wód na przykładzie wybranych złóż wód leczniczych w Polsce. *W: Współczesne problemy hydrogeologii. T. VIII (red. J. Górski, E. Liszkowska). Wydaw. WIND, Wrocław: 347-352.*

- Kozłowski J., 1999a – Mieszanie się wód jako podstawowe zjawisko kształtowania się ostatecznego składu chemicznego wód leczniczych Polski południowej. Praca doktorska. PWR, Wrocław (niepubl.).
- Kozłowski J., 1999b – Wieloletnie wahania składu chemicznego wód mineralnych Krynicy a pojęcie wód leczniczych w prawie geologicznym i górniczym. *Prz. Geol.*, 47 (10): 933–936.
- Krawczyk J., Porwisz B., 2005 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wód leczniczych ujęcia „Źródło Główne” i „Źródło Napoleon” w Krakowie-Swoszowicach. Przeds. Geol., Kraków (niepubl.).
- Krawczyk J., Maniecka A., 2018 – Dodatek nr 4 do dokumentacji hydrogeologicznej zasobów wód siarczkowych do celów leczniczych z utworów kredowych w Busku-Zdroju (otwór zastępczy B-16b). Przeds. Geol., Kraków (niepubl.).
- Krawiec A., 1999 – Nowe wyniki badań izotopowych i chemicznych wód leczniczych Ciechocinka. *Prz. Geol.*, 47 (3): 255–260.
- Krawiec A., 2002 – Studium hydrogeologiczne wód leczniczych antyklinorium kujawsko-pomorskiego. Praca doktorska. UMK, Toruń (niepubl.).
- Krawiec A., 2005 – Wyniki badań izotopowych i hydrochemicznych z otworu wiertniczego Piła IG-1 w Kotuniu. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. XII (red. A. Sadurski, A. Krawiec). UMK, Toruń: 815–818.
- Krawiec A., 2011 – Wody lecznicze z otworu wiertniczego Grudziądz IG 1. *W: Grudziądz IG 1* (red. K. Leszczyński). *Profile Głęb. Otw. Wiert.*, 129: 127–131.
- Krawiec A., 2012 – Therapeutic waters as geotourism values of the Polish Baltic sea coast. *Geoturystyka*, 1/2 (28–29): 3–12.
- Krawiec A., 2013 – Pochodzenie anomalii chlorkowych w wodach podziemnych polskiego wybrzeża Bałtyku. UMK, Toruń.
- Krawiec A., Rübél A., Sadurski A., Weise S. M., Zuber A., 2000 – Preliminary hydrochemical, isotope, and noble gas investigations on the origin of salinity in coastal aquifers of Western Pomerania, Poland. *W: Hydrogeology of the Coastal Aquifers* (red. A. Sadurski). UMK, Toruń.
- Krawiec A., Deja-Sikora E., Kalwasinska E., 2018 – Bakterie uczestniczące w przemianach związków siarki w wodach leczniczych rejonu Buska-Zdroju. *Acta Balneologica*, 60 (4): 245–252.
- Kucharski M., 1995 – 40 lat Biura Projektów „Balneoprojekt”. Biuro Proj. i Usł. Tech. Br. Uzdr. Balneoprojekt, Warszawa.
- Kucharski M., Sokołowski A., 1981 – Metodyka badań wód leczniczych w otworach wiertniczych i źródłach. Wydaw. Geol., Warszawa.
- Kucharski M., Sokołowski A., Walczak-Sy A., 2017 – Dodatek nr 1 do dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych z utworów kredy dolnej Swinoujściu. A. Sokołowski, Warszawa (niepubl.).
- Kukuła M., Kapuściński J., Bystron K., Guty Ł., Długosz P., Noga B., 2019 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęcia wód termalnych „Turek GT-1” w Turku. Pro-Invest Solutions, UOS Drilling, HPC Polgeol, Kraków (niepubl.).
- Kulma R., 1995 – Podstawy obliczeń filtracji wód podziemnych. AGH, Kraków.
- Kulma R., Zdechlik M., 2009 – Modelowanie procesów filtracji. AGH, Kraków.
- Leśniak P. M., 1979 – Pochodzenie wód zmineralizowanych płaszczowiny magurskiej w rejonie Wysowej w świetle badań chemicznych i izotopowych. Inst. Nauk Geol. Pol. Akad. Nauk, Warszawa (niepubl.).
- Leśniak P. M., 1980 – The origin of chloride waters at Wysowa, West Carpathians. Chemical and isotopic approach. *Acta Geol. Pol.*, 30 (4): 519–550.
- Leśniak P. M., 1985 – Open CO₂-underground water system in the West Carpathians (south Poland) – chemical and isotopic evidence. *Chem. Geol.*, 49 (1–3): 275–286.
- Leśniak P. M., 2005 – Solanki, pochodzenie i niektóre metody ich badania. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. XII (red. A. Sadurski, A. Krawiec). UMK, Toruń: 19–24.
- Liber A., Liber E., 2005 – Zmiany wydajności ujęć wód leczniczych w Łądku-Zdroju i Szczawnie-Zdroju w świetle nowych metod badań. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. XII (red. A. Sadurski, A. Krawiec). UMK, Toruń: 453–460.
- Liber-Madziarz E., 1997 – Charakterystyka wydajności ujęć wód termalnych Łądku-Zdroju. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. VIII (red. J. Górski, E. Liszkowska). Wydaw. WIND, Wrocław: 357–360.
- Liber-Madziarz E., 2001a – Zmienność wydajności ujęć wód leczniczych eksploatowanych samoczynnie ze złóż sudeckich. Praca doktorska. PWR, Wrocław (niepubl.).
- Liber-Madziarz E., 2001b – Zmienność wydajności wód leczniczych eksploatowanych samoczynnie ze złóż sudeckich. Praca doktorska. *Raporty Inst. Gór. PWR*, ser. PRE 3: 1–169.
- Liber-Madziarz E., 2003a – Modelowanie wydajności ujęć termalnych wód leczniczych eksploatowanych samoczynnie w Łądku-Zdroju przy zastosowaniu sieci neuronowych. *W: II Sympozjum Modelowanie i symulacja komputerowa w technice*, Łódź: 111–114.
- Liber-Madziarz E., 2003b – Analiza fałkowa wydajności ujęć wód leczniczych w Łądku-Zdroju. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. XI, cz. 1 (red.

- H. Piekarek-Jankowska, B. Jaworska-Szulc). PGd, Gdańsk: 377-380.
- Liber-Makowska E., 2008 – The dynamic changes of thermal waters modifying their admissible volume extracted from intakes in Cieplice Śląskie Zdrój. *Tech. Posz. Geol.*, 47 (1/2): 17-38.
- Liber-Makowska E., 2011 – Dynamiczne oddziaływanie pomiędzy ujęciami wód termalnych Łądką-Zdroju. *Tech. Posz. Geol., Geoterm., Zrówn. Roz.*, 50 (1/2): 71-79.
- Liber-Makowska E., 2012 – Propozycja metody ustalania zasobów eksploatacyjnych ujęć wód leczniczych eksploatowanych samowypływem. *Pr. Nauk. Inst. Gór. PWR*, 135 (42): 75-84.
- Liber-Makowska E., Ciężkowski W., 2018 – Dodatek nr 1 do dokumentacji hydrogeologicznej wód leczniczych w Jeleniej Górze-Cieplicach. PWR, Wrocław (niepubl.).
- Lipiec I., Wiktorowicz B., 2010 – Modelowanie hydrogeochemiczne formowania się składu chemicznego wód siarczkowych rejonu Solca-Zdroju. *W: IV Konferencja Naukowa Modelowanie przepływu wód podziemnych*, Gdańsk 15-16.11.2010: 26-28.
- Lipiec I., Wiktorowicz B., 2015 – Charakterystyka hydrogeochemiczna wód siarczkowych rejonu Solca-Zdroju. *Prz. Geol.*, 63 (10/2): 908-911.
- Lisik R. (red.), 2010 – Wody siarczkowe w rejonie Buska-Zdroju. Hydrogeotechnika, Kielce.
- Lisik R., Szczepański A., 2014 – Siarczkowe wody lecznicze w części zapadliska przedkarpackiego. Hydrogeotechnika, Kielce.
- Lisik R., Szczepański A., 2018 – Siarczkowe wody lecznicze w części zapadliska przedkarpackiego. Część 2: 2014-2018. Hydrogeotechnika, Kielce.
- Liszkowska E., 2017 – Nieprawidłowości przy ocenie czasu przesączania zanieczyszczeń przez strefę aeracji na podstawie formuł obliczeniowych stosowanych w praktyce hydrogeologicznej. *Prz. Geol.*, 65 (11/1): 1109-1114.
- Łebkowska M., Karwowska E., 2010 – Mikroorganizmy występujące w wodach siarczkowych. *Acta Balneologica*, 52 (1): 60-63.
- Macioszczyk A., Dobrzyński D., 2007 – Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa.
- Macioszczyk T., Rodzoch A., Frączek E., 1993 – Projektowanie stref ochronnych źródeł i ujęć wód podziemnych. Poradnik metodyczny. Min. Ochr. Środ., Zas. Nat. i Leśn., Warszawa.
- Małoszewski P., Zuber A., 1996 – Lumped parameter models for the interpretation of environmental tracer data. *W: Manual on Mathematical Models in Isotope Hydrology*. IAEA-TECDOC-910, Int. Atomic Energy Agency, Vienna: 9-58.
- Mardaus-Konicka E., Wcześny S., 2014 – Samoczynna eksploatacja głębokich odwiertów typu zuber. *W: Resortowe Szkolenie Służ. Geologiczno-Górnicych, Krynica-Zdrój 11-13 grudnia 2014 r. Uzdrowisko Krynica-Żegiestów, Krynica-Zdrój* (niepubl.).
- Marion G. M., 2001 – Carbonate mineral solubility at low temperatures in the Na-K-Mg-Ca-H-Cl-SO₄-OH-HCO₃-CO₃-H₂O system. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65 (12): 1883-1896.
- Mazor E., 1972 – Paleotemperatures and other hydrological parameters deduced from noble gases dissolved in groundwaters, Jordan Rift Valley, Israel. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 36 (12): 1321-1336.
- Michalik A., 1973 – Wody mineralne w Polskiej części Karpat Zachodnich. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 277: 279-291.
- Migaszewski Z., Gałuszka A., 2019 – Pierwiastki ziem rzadkich w kwaśnych wodach kopalnianych – zarys problematyki. *Prz. Geol.*, 67 (2): 105-114.
- Mochalski P., Śliwka I., Łasa J., 2007 – Chromatograficzna metoda jednoczesnego oznaczania Ne, Ar, SF₆, freonu 11 i freonu 12 w wodach podziemnych. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. XIII, cz. 2 (red. A. Szczepański i in.). AGH, Kraków: 285-292.
- Motyka J., Porwisz B., Rajchel L., Zuber A., 2003 – Wody mineralne Krzeszowice. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. XI, cz. 1 (red. H. Piekarek-Jankowska, B. Jaworska-Szulc). PGd, Gdańsk: 129-135.
- Namysłowski B., 1913 – Über unbekannte halophile microorganismen aus dem inneren des salzbergwerkes Wieliczka. *Bull. Int. l'Academie des Sciences de Cracovie*, ser. B, (3/4): 88-104.
- Nieć M., 1994 – Kopaliny towarzyszące. *Prz. Geol.*, 42 (5): 330-334.
- Nieć M., 2010 – Złoże – kopalina – surowiec mineralny. Podstawowe terminy geologii gospodarczo-złożowej i potrzeba ich uwzględnienia w przepisach prawa geologicznego i górniczego. *Prz. Geol.*, 58 (8): 672-678.
- Nowicki Z., 1999 – Skład izotopów trwałych wód infiltrujących w późnym plejstocenie i holocenie na obszarze Polski centralnej. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. IX (red. S. Krajewski, A. Sadurski). Państw. Inst. Geol., Warszawa: 259-266.
- Oficjańska H., Grochowska M., Dobkowska A., Krawczyński J., Bestyński Z., Starościk A., Żmijewski Ł., Gontarz Z., Rodzoch A., Muter K., Karwacka K., 2009 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód leczniczych Rabki-Zdroju. SEGI-AT, Warszawa (niepubl.).
- Operacz T., Bielec B., Krawczyk J. i in., 2015 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód leczniczych Żlewni Wilgi – rejon Swoszowice. Państw. Inst. Geol.-Państw. Inst. Badaw., Warszawa-Kraków; Inst. Gosp. Sur. Min. i Ener. Pol. Akad. Nauk, Kraków (niepubl.).

- Oszczypko N., Zuber A., 2002 – Geological and isotopic evidence of diagenetic waters in the Polish Flysch Carpathians. *Geologica Carpathica*, 53 (4): 257–268.
- Paczyński B. (red.), 2002 – Ocena zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych i potencjalnie leczniczych. Poradnik metodyczny. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- Paczyński B., Płochniński Z., 1996 – Wody mineralne i lecznicze Polski. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- Paczyński B., Sadurski A. (red.), 2007 – Hydrogeologia regionalna Polski. T. 2. Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalniane. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- Pałys J., 1966 – O genezie solanek w górnym karbonie na Górnym Śląsku. *Rocznik Pol. Tow. Geol.*, 36 (2): 121–154.
- Pazdro Z., Kozerski B., 1990 – Hydrogeologia ogólna. Wydaw. Geol., Warszawa.
- Piecuch A., 2018 – Dokumentacja geologiczna wykonana w związku z likwidacją otworu P-16 w miejscowości Piwniczna-Zdrój oraz otworu Pł-10 w miejscowości Łomnica-Zdrój. A. Piecuch, Piwniczna-Zdrój (niepubl.).
- Pitzer K. S., 1973 – Thermodynamics of electrolytes. I. Theoretical basis and general equations. *Journal of Physical Chemistry*, 77 (2): 268–277.
- Plummer L. N., Sprinkle C. L., 2001 – Radiocarbon dating of dissolved inorganic carbon in groundwater from confined parts of the Upper Floridan aquifer, Florida, USA. *Hydrogeology Journal*, 9: 127–150.
- Plummer L. N., Parkhurst D. L., Fleming G. W., Dunkle S. A., 1988 – A computer program incorporating Pitzer's equations for calculation of geochemical reactions in brines. US Geological Survey: 88–4153.
- Pluta I., Zuber A., 1995 – Origin of brines in the Upper Silesian Coal Basin (Poland) inferred from stable isotope and chemical data. *Applied Geochemistry*, 10: 447–460.
- Polański A., 1979 – Izotopy w geologii. Wydaw. Geol., Warszawa.
- Poprawski L., Filbier P., 1997 – Analiza możliwości wznowienia eksploatacji wód leczniczych w uzdrowisku Jedlina w świetle nowych badań hydrogeologicznych. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. VIII (red. J. Górski, E. Liszkowska). Wydaw. WIND, Wrocław: 375–379.
- Poprawski L., Kaniewski R., 2019 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów eksploatacyjnych wód leczniczych ujęć Wielka Pieniawa, Pieniawa Józefa 1 i Pieniawa Józefa 2, PL-1 i PL-2 w Polanicy-Zdroju. Proj. i Doradztwo Poprawska J., Wrocław (niepubl.).
- Poprawski L., Kaniewski R., 2020 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów eksploatacyjnych wód leczniczych ujęcia w Starej Łomnicy (otwory Hanna 1, Hanna 2, Hanna 3, Hanna 4, Kazimierz 1, Kazimierz 2). Ekoraport, Wieruszów (niepubl.).
- Poprawski L., Józefko I., Bielec B., 1995 – Wody lecznicze Uzdrawiska Szczawnica. Zmiany wybranych elementów reżimu hydrogeologicznego źródeł. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. VII, cz. 1 (red. J. Szczepańska i in.). Wydaw. Profil, Kraków: 395–403.
- Poprawski L., Biniak G., Gurwin J., Jasiak T. i in., 1997 – Dokumentacja zasobów dyspozycyjnych i eksploatacyjnych wód podziemnych (zwykłych i leczniczych) na obszarze gmin uzdrowiskowych Krynica, Muszyna i Piwniczna. Przeds. Prod.-Ust.-Handl. Hydrogeo, Wrocław (niepubl.).
- Porowski A., 2001a – Charakterystyka czasoprzestrzennej zmienności chemizmu wód zmineralizowanych antykliny iwonickiej. *Prz. Geol.*, 49 (4): 317–325.
- Porowski A., 2001b – Chemical composition and origin of ionic ratios in the Iwonicz anticline mineralized groundwaters (Polish Outer Carpathians). *Ann. Soc. Geolog. Pol.*, 71 (2): 125–134.
- Porowski A., 2004 – Isotopic evidence of the origin of mineralized waters from the Central Carpathian Synclinorium, SE Poland. *Environ. Geol.*, 46 (5): 661–669.
- Porowski A., 2006 – Origin of mineralized waters in the Central Carpathian Synclinorium, SE Poland. *Studia Geol. Pol.*, 125, ser. *Hydrogeology and Hydrogeochemistry*, part I: 5–67.
- Porowski A., Kaczor-Kurzała D., 2016 – Pierwiastki ziem rzadkich (REE) w wodach termalnych: występowanie, pochodzenie, znaczenie i perspektywę badań w Polsce. *Tech. Posz. Geol., Geoterm., Zrówn. Rozw.*, 55 (1): 89–102.
- Porwisch B., Mądry J., 2000 – Dokumentacja hydrogeologiczna określająca granice występowania złoża wód siarczkowych w rejonie Buska-Zdroju, warunków zasilania oraz ochrony jakości i zasobów tych wód (II etap). Przeds. Geol., Kraków (niepubl.).
- Porwisch B., Radwan J., 2002 – Ocena zasobów dyspozycyjnych wód mineralnych w rejonie Andrzejówki-Milika w gminie Muszyna. Zakł. Ust. Hydrogeol., Kraków (niepubl.).
- Porwisch B., Radwan J., 2007 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wód podziemnych z utworów trzeciorzędowych otworów M-4 i M-6 w miejscowości Powroźnik (dolina Potoku Młynne). Zakł. Ust. Hydrogeol., Kraków (niepubl.).
- Porwisch B., Radwan J., Zuber A., 1999 – Zasilanie ujęć wód podziemnych rejonu Tylicza. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. IX (red. S. Krajewski, A. Sadurski). Państw. Inst. Geol., Warszawa: 287–292.
- Porwisch B., Chowaniec J., Górczyca G., Kowalski J., 2002 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych i towarzyszących im lub współwystępujących odrębnie wód potencjalnie

- leczniczych na obszarze Karpat i zapadliska przedkarpackiego. Przeds. Geol., Kraków (niepubl.).
- Porwisz B., Radwan J., Chowaniec J., Zuber A., 2011 – Wody podziemne Piwnicznej-Zdroju, ich wiek i obszary zasilania, według danych izotopowych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 445, ser. *Hydrogeologia*, 12/2: 485–494.
- Porwisz B., Radwan J., Hajduga M., 2012 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wody leczniczej z utworów kredowych otworów W-1 i W-2 oraz źródeł Kamila i Marta w Uzdrowisku Wapienne. Zakł. Ust. Hydrogeol., Kraków (niepubl.).
- Porwisz B., Grządziel A., Hajduga M., 2015a – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wody leczniczej z utworów paleogeńskich otworów P-6, P-7 wraz z aktualizacją zasobów ujęć WK-1, P-1A i P-2 w Muszynie. Zakł. Ust. Hydrogeol., Kraków (niepubl.).
- Porwisz B., Hajduga M., Mroczo-Porwisz A., 2015b – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wody leczniczej z utworów paleogeńskich otworu Grunwald-1 w Muszynie. Zakł. Ust. Hydrogeol., Kraków (niepubl.).
- Porwisz B., Pyrdoł P., Hajduga M., 2016a – Dokumentacja hydrogeologiczna zlikwidowanego źródła Grunwald w miejscowości Muszyna. Sp. Pr. Muszynianka, Muszyna (niepubl.).
- Porwisz B., Pyrdoł P., Hajduga M., 2016b – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wody leczniczej z utworów paleogeńskich otworu P-8 w Muszynie. Sp. Pracy Muszynianka, Milik (niepubl.).
- Porwisz B., Chmielowski T., Hajduga M., Pyrdoł K., 2018 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wody leczniczej z utworów paleogeńskich otworów A-9, A-12 wraz z aktualizacją zasobów eksploatacyjnych ujęć A-1, A-5, M-3 w Andrzejówe oraz M-2 w Miliku. Sp. Pracy Muszynianka, Muszyna (niepubl.).
- Porwisz B., Hajduga M., Pyrdoł K., Chmielowski T., 2020 – Dodatek nr 1 do dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne wód leczniczych ujętych otworem P-IV wraz z aktualizacją poziomu eksploatacyjnego otworu P-III w Powroźniku, w związku z aktualizacją zasobów eksploatacyjnych ujęć P-III i P-IV w Powroźniku. Sp. Muszynianka, Krynica-Zdrój (niepubl.).
- Porwisz B., Hajduga M., Chmielowski T., Gacek S., 2021 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wody leczniczej z utworów paleogeńskich otworu K-2 w miejscowości Milik. Muszynianka Sp. z o.o., Krynica-Zdrój (niepubl.).
- Pritchett J. W., 1995 – STAR: A geothermal reservoir simulation system. Proc. World Geothermal Congress 1995. Florence, 18-31 May 1995: 2959–2963.
- Przybyłek J., Brylska E., Dąbrowski S., 1977 – Zasady obliczeń filtracji nieustalonej według wzorów Theisa i Hantusha. Wydaw. Geol., Warszawa.
- Przylibski T. A., 2005 – Radon. Składnik swoisty wód leczniczych Sudetów. Oficyna Wydaw. PWR, Wrocław.
- Przylibski T. A. (red.), 2007 – Studium możliwości rozpoznania nowych wystąpień wód zmineralizowanych, swoistych i termalnych na obszarze bloku przedsuddeckiego. Raporty Inst. Gór., ser. SPR 1-11/S-5/2007. PWR, Wrocław.
- Przylibski T. A., 2013 – Wody radonowe. W: Mapa zagospodarowania wód podziemnych zaliczonych do kopalin występujących na obszarze Ziemi Kłodzkiej w skali 1:50 000 wraz z objaśnieniami (A. Felter, T. A. Przylibski, L. Skrzypczyk, M. Socha, J. Sokołowski, J. Stózek, A. Gryczko-Gostyńska). Państw. Inst. Geol.–Państw. Inst. Badaw., Warszawa (niepubl.).
- Ptak M., Paraszczuk K., 2017 – Ochrona złóż wód leczniczych w zagospodarowaniu przestrzennym terenów górniczych. *Bezp. Pr. i Ochr. Środ. w Górn.*, 3 (271): 25–30.
- Radwan J., 1975 – Dokumentacja hydrogeologiczna ujęcia wody mineralnej P-2 z utworów eoceńskich w Muszynie. Przeds. Geol., Kraków (niepubl.).
- Radwan J., Porwisz B., Mądry J., Kowalski J., 1997 – Dokumentacja hydrogeologiczna obszarów alimentacji złoża wód leczniczych „Swozowice”. Przeds. Geol., Kraków (niepubl.).
- Radwan J., Porwisz B., Zuber A., Kowalski J., Szarek W., 2000 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów eksploatacyjnych wód leczniczych i o właściwościach leczniczych z utworów trzeciorzędowych ujęć eksploatowanych przez ZEWM „Muszynianka” wraz z obszarami zasilania i oceną zasobów wód podziemnych rejonu Muszyny-Milika. Zakł. Ust. Hydrogeol., Kraków (niepubl.).
- Radwan J., Porwisz B., Zuber A., Szarek W., 2001 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów eksploatacyjnych wód leczniczych i o właściwościach leczniczych z utworów trzeciorzędowych „Galicjanki Ltd” PPHU Sp. z o.o. wraz z obszarami zasilania i oceną zasobów wód podziemnych rejonu Powroźnika-Jastrzębika. Zakł. Ust. Hydrogeol., Kraków (niepubl.).
- Radwan J., Porwisz B., Zuber A., Kowalski J., Piecuch A., 2005 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych z utworów kredowych i trzeciorzędowych dla „Uzdrowiska Wysowa” S.A. Zakł. Ust. Hydrogeol., Kraków (niepubl.).
- Rafalski Z., 1994 – Sprawozdanie z przeprowadzonej rekonstrukcji ujęć źródeł wody leczniczej „Tytus”, „Klaudia”

- i „Celestyna” w Rymanowie-Zdroju w latach 1993/94. Biuro Proj. i Ust. Tech. Br. Uzdr. Balneoprojekt, Szczawno-Zdrój (niepubl.).
- Rajchel L., 2000 – Źródła wód siarczkowych w Karpatach polskich. *Kwart. AGH*, 26, ser. *Geologia*, 3: 309–373.
- Rajchel L., 2012 – Szczawy i wody kwasowęglowe Karpat polskich. AGH, Kraków.
- Rajchel L., 2013 – Występowanie, chemizm oraz geneza szczaw i wód kwasowęglowych Karpat Polskich. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 456, ser. *Hydrogeologia*, 14/2: 501–505.
- Rajchel L., Rajchel J., Wołowski K., 2002 – Microorganisms in selected sulphuric springs of the Polish Carpathians. *Geol. Quart.*, 46 (2): 189–198.
- Rajchel L., Zuber A., Duliński M., Rajchel J., 2004 – Występowanie i geneza wód chlorkowych Soli. *Prz. Geol.*, 52 (12): 1179–1186.
- Razowska L., 1999 – Wskaźniki hydrochemiczne – mało przydatne czy niedoceniane? *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. IX (red. S. Krajewski, A. Sadurski). Państw. Inst. Geol., Warszawa: 15–17.
- Reed M. H., 1988 – Calculation of simultaneous chemical equilibria in aqueous-mineral-gas systems and its application to modelling hydrothermal process. *W: Techniques in Hydrothermal ore Deposits Geology. Review in Economic Geology* (red. J. P. Richards, P. B. Larson): 109–124.
- Rogoż M., 2012 – Metody obliczeniowe w hydrogeologii. Wydaw. Nauk. Śląsk, Katowice.
- Ropa C., Duliński W., 1999 – Ocena możliwości samoczynnego wydobywania i zagospodarowania nągazowanej wody mineralnej z odwiertu K-4a w Krynicy. *Inżynieria Środowiska*, 4 (1): 95–102.
- Różański K., 1987 – Izotopy trwałe tlenu i wodoru w atmosferycznej części cyklu hydrologicznego. *Zesz. Nauk. AGH*, 1098, ser. *Fizyka*, 10: 1–100.
- Różański K., Zuber A., 2000 – Wody infiltracji glacialnej w Europie – mit czy rzeczywistość. *Prz. Geol.*, 48 (9): 796–803.
- Różkowski A., 2001 – Środowisko hydrogeologiczne wód geotermalnych w utworach karbonu produktywnego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Tech. Poszuk. Geol.*, 40 (5): 51–62.
- Różkowski A., 2003 – Warunki hydrogeologiczne Górnośląskiego Zagłębia Węglowego *W: Hydrogeologia polskich złóż kopalin i rejonów górniczych*. T. 1 (red. Z. Wilk). AGH, Kraków: 42–145.
- Różkowski J., Różkowski A., 2010 – Pochodzenie mineralizacji wód siarczkowych Buska – ich paleogeneza. *W: Wody siarczkowe w rejonie Buska-Zdroju* (red. R. Lisik). Hydrogeotechnika, Kielce: 151–184.
- Różkowski J., Józwiak K., Andrejczuk V., 2011 – Chemizm wód podziemnych serii gipsonośnej badenu w północnej części zapadliska przedkarpackiego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 445, ser. *Hydrogeologia*, 12/2: 573–582.
- Sadowska M., 1989 – Zmiany parametrów hydrochemicznych w złożu wód mineralnych spowodowane wadliwą eksploatacją na przykładzie odwiertu J-150 w Jeleniowie. *W: Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski*, 18–20.09.1989 r., Szklarska-Poreba. *Pr. Nauk. Inst. Geotech. PWR*, 58, ser. *Konferencje*, 29: 375–380.
- Sadurski A., Skrzypczyk L., 2018 – Badania hydrogeologiczne w drugim 50-leciu istnienia Państwowego Instytutu Geologicznego na tle ich starszej historii. *Prz. Geol.*, 66 (10): 604–614.
- Sadurski A., Sokołowski A., 2002 – Zasady wyznaczania granic obszarów i terenów górniczych dla eksploatowanych wód leczniczych. *W: Ocena zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych i potencjalnie leczniczych. Poradnik metodyczny* (red. B. Paczyński). Państw. Inst. Geol., Warszawa: 70–76.
- Sand W., 2003 – Microbial life in geothermal waters. *Geothermics*, 32 (4–6): 655–667.
- Sapińska-Śliwa A., Dudek M., Wiśniowski M., Jaszczur M., Śliwa T., 2016 – Pozyskiwanie surowców mineralnych z wód termalnych w Polsce. *Przemysł Chemiczny*, 95 (8): 1524–1528.
- Sass H., Cypionka H., 2004 – Isolation of sulfate-reducing bacteria from the terrestrial deep subsurface and description of *Desulfobivrio cavernae* sp. nov. *Systematic and Applied Microbiology*, 27 (5): 541–548.
- Schneegurt M. A., 2012 – Media and conditions for the growth of halophilic and halotolerant bacteria and archaea. *W: Advances in Understanding the Biology of Halophilic Microorganisms* (red. R. H. Vreeland). Springer: 35–58.
- Skrzypczyk L., Sokołowski J., 2016 – Solanki, wody lecznicze i termalne. *W: Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2015 r.* (red. M. Szuflicki i in.). Państw. Inst. Geol. – Państw. Inst. Badaw., Warszawa: 459–473.
- Skrzypczyk L., Sokołowski J., 2019 – Solanki, wody lecznicze i termalne. *W: Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2018 r.* (red. M. Szuflicki i in.). Państw. Inst. Geol. – Państw. Inst. Badaw., Warszawa: 474–489.
- Ślawiński A., Sokołowski A., 1966 – Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych z utworów eocenu wraz z projektem badań hydrogeologicznych w rejonie Rymanowa Zdroju. Przeds. Państw. Obsł. Tech. Uzdr., Warszawa (niepubl.).

- Ślawiński A., Sokołowski A., 1968 – Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych Żegiestowa-Zdroju. Przeds. Państw. Obsł. Tech. Uzd., Warszawa (niepubl.).
- Siwek Z., Mańkowski M., 1981 – Wyznaczanie parametrów hydraulicznych ujęcia wód podziemnych na podstawie próbnych pompowań. Wydaw. Geol., Warszawa.
- Sokołowski A., 1981 – Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych ujętych odwiertem 5 II w Rymanowie Zdroju. Biur. Proj. i Ust. Tech. Br. Uzd. Balneoprojekt, Warszawa (niepubl.).
- Sokołowski A., Sokołowski J., 2007 – Dodatek nr 1 do dokumentacji hydrogeologicznej wód leczniczych ujętych odwiertem RZ-5 II w miejscowości Rymanów-Zdrój. Kraj. Izba Gosp. Przemysł Rozlewniczy, Warszawa (niepubl.).
- Sokołowski J., Skrzypczyk L., 2020a – Solanki, wody lecznicze i termalne. *W: Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2019 r.* (red. M. Szuflicki i in.). Państw. Inst. Geol.–Państw. Inst. Badaw., Warszawa: 478–494.
- Sokołowski J., Skrzypczyk L., 2020b – Wody lecznicze. *W: Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski* (red. K. Szamałek). Państw. Inst. Geol.–Państw. Inst. Badaw., Warszawa: 400–404.
- Sokołowski J., Skrzypczyk L., 2021 – Solanki, wody lecznicze i termalne. *W: Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2020 r.* (red. M. Szuflicki i in.). Państw. Inst. Geol. – Państw. Inst. Badaw., Warszawa: 488–505.
- Sokołowski J., Socha M., 2015 – Dokumentowanie wód termalnych – procedury i aspekty praktyczne. *Prz. Geol.*, 63 (12/1): 1397–1402.
- Solomon D. K., Hunt A., Poreda J., 1996 – Source of radiogenic helium 4 in shallow aquifers: implications for dating young groundwater. *Water Resources Research*, 32 (6): 1805–1813.
- Staśko S., Michniewicz M., 2007 – Subregion Sudetów. *W: Hydrogeologia regionalna Polski. T. I: Wody słodkie* (red. B. Paczyński, A. Sadurski). Państw. Inst. Geol. – Państw. Inst. Badaw., Warszawa: 306–326.
- Stefaniuk M., Czerwiński T., Klityński W., Wojdyła M., 2008 – Zastosowanie metody magnetotellurycznych profilowań ciągłych w badaniach strukturalnych. *Geologia*, 34 (1): 43–68.
- Stefaniuk M., Ostrowski C., Sada M., Cygał A., 2017 – Zastosowanie badań geofizycznych do rozpoznawania warunków geologicznych otoczenia złoża hydrogeotermalnego w masywie krystalicznym w rejonie Łąka-Zdroju. *Tech. Posz. Geol., Geoterm., Zrówn. Rozw.*, 56 (2): 131–146.
- Stute M., Schlosser P., 1993 – Principles and applications of the noble gas paleothermometer. *W: Climate change in continental isotopic records* (red. P. K. Swart i in.). *Geophysical Monograph Series*, 78. American Geophysical Union: 89–100.
- Stute M., Sonntag C., Deak J., Schlosser P., 1992 – Helium in deep circulating groundwater in the Great Hungarian Plain: Flow dynamics and crustal and mantle helium fluxes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56 (5): 2051–2067.
- Szamałek K., 2016 – Dokumentowanie wody jako kopaliny wielosurowcowej – potrzeba dyskusji i zmian. *Górnictwo Odkrywkowe*, 57 (2): 47–49.
- Szarszewska Z., 1967 – Dokumentacja hydrogeologiczna złoża wód leczniczych Łąka Zdroju. Przeds. Państw. Obsł. Tech. Uzd., Warszawa (niepubl.).
- Szarszewska Z., Madej E., 1974 – Dokumentacja hydrogeologiczna złoża wód leczniczych z utworów prekambriu ujętych odwiertem L-2 (700 m) w Łądku Zdroju. Biur. Proj. i Ust. Tech. Br. Uzd. Balneoprojekt, Warszawa (niepubl.).
- Szczepański A., Rózkowski A., 2007 – Wody kopalniane w obszarach intensywnej eksploatacji górniczej. *W: Hydrogeologia Polski. T. II. Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalniane* (red. B. Paczyński, A. Sadurski). Państw. Inst. Geol., Warszawa: 146–180.
- Szczepański A., Szklarczyk T., 2005 – Konieczność zmian przepisów w zakresie gospodarowania zasobami współwystępujących wód leczniczych, naturalnych wód mineralnych i zwykłych. *Kopaliny*, 61 (4): 24–29.
- Szewczyk J., 2007 – Warstwy wodonośne w utworach mezozoicznych i paleozoicznych na Niżu Polskim. *W: Hydrogeologia regionalna Polski. Tom II. Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalniane* (red. B. Paczyński, A. Sadurski). Państw. Inst. Geol., Warszawa: 20–24.
- Szymanko J., 1980 – Koncepcje systemu wodonośnego i metod jego modelowania. Wydaw. Geol., Warszawa.
- Śląski R., Chlebek M., 2017 – Dodatek nr 2 do dokumentacji geologicznej ustalającej zasoby wód podziemnych, leczniczych z odwiertów „Tadeusz” i „Korona” w Zabłociu, aktualizacja zasobów eksploatacyjnych wód leczniczych ujętych otworami „Korona” i „Tadeusz”, ujmujących złoża wód leczniczych „Zabłocie” w Zabłociu. Solanka z Zabłocia, Zabłocie (niepubl.).
- Tęsiorowska H., Fisteck J., 1971 – Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych Kudowy Zdroju. Biur. Proj. i Ust. Tech. Br. Uzd. Balneoprojekt, Warszawa (niepubl.).
- Topińska-Luchter A., 1951 – Zagadnienie zależności pomiędzy mikroflorą a chemizmem wód w źródłach siarczynowych. *Pr. Kom. Farm. Pol. Akad. Umiejętności*, 3: 225–299.
- Turek S. (red.), 1971 – Poradnik hydrogeologa. Wydaw. Geol., Warszawa.

- Turek S., 1977 – Mapa wód mineralnych w skali 1:2 000 000. *W: Atlas hydrochemiczny Polski* (red. S. Turek). Wydaw. Geol., Warszawa.
- Uliasz-Misiak B., 2016 – Wody towarzyszące złożom węglo-wodorów jako potencjalne źródło jodu, litu i strontu. *Gosp. Sur. Mineral.*, 32 (2): 31–44.
- Walczak M., Krawiec A., 2014 – Mikroorganizmy w solankach mezozoiku. *Prz. Geol.*, 62 (8): 420–423.
- Walczak M., Rajchel L., 2019 – Mikroorganizmy wybranych wód chlorkowych Karpat Polskich. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 475 (16): 221–228.
- Walczak M., Krawiec A., Lalke-Porczyk E., 2011 – Przeżywalność bakterii w wodach geotermalnych. *Tech. Posz. Geol., Geoterm., Zrówn. Rozw.*, 50 (1/2): 413–423.
- Walczak M., Deja-Sikora E., Karwasińska A., Polatowski M., Krawiec A., 2017 – Distribution of bacteria in the mineral waters of the Polish Lowlands. *Geol. Quart.*, 61 (1): 177–185.
- Walendzik K., 2014 – Oczyszczanie ścieków wytwarzanych w uzdrowiskach w wyniku udzielania zabiegów. Informacja o wynikach kontroli Naj. Izby Kontr., Warszawa (niepubl.).
- Waligóra J., Krawiec A., Kolber E., Kiełczawa B., 2016 – Dodatek nr 1 do dokumentacji hydrogeologicznej wód leczniczych ujętych otworem „IG-1” w Krynicy Morskiej. Geologus, Miłówka (niepubl.).
- Waligóra J., Oszczytko N., Spinczyk A., Popczyk R., Mardaus-Konicka E., 2017 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wód leczniczych ujętych otworem nr 29, planowanym wstępnie, jako ujęcie awaryjne Słotwinka-1 dla źródła „Słotwinka” w Krynicy-Zdroju. Geokrak, Kraków (niepubl.).
- Wątor K., Kmiecik E., 2017 – Formy występowania składników swoistych w wodach wykorzystywanych w balneologii w rejonie Buska-Zdroju. *Acta Balneologica*, 59 (3): 241.
- Wątor L., Maciejowski J., Puszkiewicz M., 2016 – Dodatek nr 5 do dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych uzdrowiska „Goczałkowice-Zdrój”. Nambud, Czechowice-Dziedzice (niepubl.).
- Weise S., Moser H., 1987 – Groundwater dating with helium isotopes. *W: Isotope Techniques in Water Resource Development*. Int. Atomic Energy Agency, Vienna: 105–126.
- Wellman J. F., Croucher A., Regenauer-Lieb K., 2012 – Python scripting libraries for subsurface fluid and head flow simulation with TOUGH2 and SHEMAT. *Computers & Geosciences*, 43: 197–206.
- Węclawik S., 1991 – Kompleksowa metodyka badań ochrony surowców balneologicznych przed oddziaływaniem przemysłu. *Studia i Rozprawy*, 11: 1–88.
- Wiktorowicz B., 2004 – Wstępna ocena stanu równowagi hydrogeochemicznej szczaw Ziemi Kłodzkiej przy zastosowaniu modelowania geochemicznego. *Prz. Geol.*, 52 (11): 1071–1075.
- Wiktorowicz B., 2009 – Hydrogeochemia szczaw zapadli-ska Kudowy. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 436: 523–528.
- Wiktorowicz B., 2010 – Hydrogeochemia szczaw termalnych dusznickiego systemu hydrogeotermicznego. *Tech. Posz. Geol., Geoterm., Zrówn. Rozw.*, 1/2: 173–181.
- Wiktorowicz B., Karwacka K., 2009 – Charakterystyka hydrogeochemiczna wód leczniczych Rabki-Zdroju. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 436: 529–534.
- Wiktorowicz B., Kiełczawa B., 2007 – Hydrogeochemia szczaw i wód kwasowęglowych Ziemi Kłodzkiej. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. XIII, cz. 2 (red. A. Szczepański i in.). AGH, Kraków: 213–222.
- Winid B., Chruszcz-Lipska K., Uliasz-Misiak B., Soleccki M. L., Fąfara Z., Matuła R., 2018 – Występowanie jodu oraz bromu w solankach monokliny przedsudeckiej. *Przemysł Chemiczny*, 97 (6): 914–917.
- Witczak S., Świąder A., 2010 – Analiza składników swoistych wód siarczkowych rejonu Buska-Zdroju. *W: Wody siarczkowe w rejonie Buska-Zdroju* (red. R. Lisik). Hydrogeotechnika, Kielce: 245–266.
- Witczak S., Żurek A., 1994 – Wykorzystanie map glebowo-rolniczych w ocenie ochronnej roli gleb dla wód podziemnych. *W: Metodyczne podstawy ochrony wód podziemnych* (red. A. S. Kleczkowski). AGH, Kraków.
- Witczak S., Żurek A., 1999 – Obliczenia zasięgu stref ochronnych ujęć wód podziemnych przy uwzględnieniu różnych typów porowatości. *Nacz. Org. Tech., Częstochowa*.
- Witczak S., Duńczyk L., Motyka J., Oszczytko N., 2002 – Regionalny wielowarstwowy model pola hydrodynamicznego w utworach fliszu karpackiego na przykładzie zlewni Krynicyzanki. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 404, ser. *Hydrogeologia*, IV: 263–290.
- Witczak S., Kania R., Kmiecik E., 2013 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. *Bibl. Mon. Środ. Wydaw. Państw. Insp. Ochr. Środ.*, Warszawa.
- Witczak S., Górka J., Rajchel L., Szybist A., Biedroński G., 2014 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wód leczniczych z wypływu W-VI-32 (komora Z-32) zlokalizowanego na poziomie VI i z wypływu W-VII-16 (komora Layer, d. Fornalska 2) zlokalizowanego na poziomie VII w Kopalni Soli „Wieliczka”. *Krak. Przeds. Geolog. ProGeo*, Kraków (niepubl.).

- Wolicka D., 2007 – Geomikrobiologia – nowy kierunek badań. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 31: 512–516.
- Wyrwicki R., 2002 – Kopalina główna, towarzysząca a współkopalina. *Górnictwo Odkrywkowe*, 44 (2/3): 32–33.
- Zamojcin J., 2012 – Analiza możliwości wykorzystania solanek jodkowo-bromkowych towarzyszącym złożom ropno-gazowym. *Nafta-Gaz*, 12: 976–981.
- Zamojcin J., 2014 – Możliwość wykorzystania istniejących odwiertów do produkcji jodu z solanek jodkowo-bromkowych. *Nafta-Gaz*, 5: 283–292.
- Zardzewiały M., 2015 – Dodatek nr 2 do dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia wód leczniczych „Dobrowoda G-1” w miejscowości Dobrowoda. M. Zardzewiały, Busko-Zdrój (niepubl.).
- Zardzewiały M., 2017 – Dodatek nr 3 do dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia wód leczniczych „Dobrowoda G-1” w miejscowości Dobrowoda. M. Zardzewiały, Busko-Zdrój (niepubl.).
- Zdechlik R., Drzymała M., Wątor K., 2013 – Praktyczne aspekty opróbowania wód w systemie monitoringu wód podziemnych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 456, ser. *Hydrogeologia*, 14/2: 659–664.
- Zmarła A., Żurek A., 2013 – Warunki współwystępowania wód zwykłych i mineralnych w zlewni Szczawicznego Potoku koło Krynicy (Beskid Sądecki). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 456, ser. *Hydrogeologia*, 14/2: 671–677.
- Zuber A., 1984 – Metody znacznikowe w badaniach zasobów i ochrony wód podziemnych. *W: Sympozjum Metody badania wód podziemnych, ich użytkowania i ochrony, 8-10.05.1984, Tuczno* (red. J. Malinowski i in.). Wydaw. Geol., Warszawa: 203–211.
- Zuber A., 1986 – Zastosowanie metod znacznikowych w zagadnieniach ochrony wód podziemnych. Część I. Metody znacznikowe. Katalog wybranych podstawowych parametrów migracji niezbędnych przy wyznaczaniu stref ochronnych – instrukcja metodyczna. Inst. Fiz. Jądrowej, Kraków.
- Zuber A., 1987 – O pochodzeniu wód typu zuber. *W: 25 Lat Górnictwa Uzdrowiskowego*. AGH, Kraków: 37–51.
- Zuber A., 2007a – Metoda helowa datowania wód podziemnych. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. XIII, cz. 2 (red. A. Szczepański i in.). AGH, Kraków: 381–388.
- Zuber A. (red.), 2007b – Metody znacznikowe w badaniach hydrogeologicznych. Poradnik metodyczny. Oficyna Wydaw. PWR, Wrocław.
- Zuber A., Chowaniec J., 2009 – Diagenetic and other highly mineralized waters in the Polish Carpathians. *Applied Geochemistry*, 24 (10): 1889–1900.
- Zuber A., Ciężkowski W., 1997 – Regional parameters of some fissured aquifers in the Bohemian Massif obtained from environmental tracer data. *Acta Universitatis Wratislaviensis*, 2052, ser. *Hydrogeology*: 181–197.
- Zuber A., Ciężkowski W., 1999 – Parametry systemów wód podziemnych w Górach Bystrzyckich. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. IX (red. S. Krajewski, A. Sadurski). Państw. Inst. Geol., Warszawa: 373–378.
- Zuber A., Grabczak J., 1985 – Pochodzenie niektórych wód mineralnych Polski południowej w świetle dotychczasowych badań izotopowych. *W: Aktualne problemy hydrogeologii* (red. A. S. Kleczkowski). AGH, Kraków: 135–148.
- Zuber A., Grabczak J., 1991 – O pochodzeniu solanek mezozoiku Polski centralnej i północnej. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. V (red. S. Krajewski i in.). Szk. Gł. Gosp. Wiejs.-Akad. Rol., Warszawa: 202–208.
- Zuber A., Osenbrück K., Wiese S. M., Grabczak J., Ciężkowski W., 1993 – Gazy szlachetne i ich stosunki izotopowe w wodach termalnych Łądko-Zdroju i Cieplic Śląskich-Zdroju. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*. T. VI (red. L. Poprawski, T. Bocheńska). Oficyna Wydaw. Sudety, Wrocław: 151–156.
- Zuber A., Wiese S. M., Grabczak J., Ciężkowski W., 1995 – Age and recharge area of thermal waters in Łądek Spa (Sudeten, Poland), deduced from environmental isotope and noble gas data. *Journal of Hydrology*, 167: 327–349.
- Zuber A., Wiese S. M., Osenbrück K., Mateňko T., 1997 – Origin and age of saline waters in Busko Spa (southern Poland) determined by isotope, noble gas, and hydrochemical methods: Evidence of interglacial and pre-Quaternary recharge. *Applied Geochemistry*, 12: 643–660.
- Zuber A., Ciężkowski W., Grabczak J., Duliński M., 1999 – Wiek i położenie obszarów zasilania wód mineralnych Krynicy oszacowane ze zmian czasowych stężeń trytu oraz wartości $\delta^{18}\text{O}$ i δD . *Prz. Geol.*, 47 (6): 574–583.
- Zuber A., Sadurski A., Wiese S. M., Rübél A., Osenbrück K., Grabczak J., 2000 – Isotope and noble gas data of the Gdańsk Cretaceous Aquifer, Northern Poland. *W: Hydrogeology of the Coastal Aquifers* (red. A. Sadurski). UMK, Toruń: 181–186.
- Zuber A., Wiese S. M., Motyka J., Osenbrück K., Różański K., 2004 – Age and flow pattern of groundwater in a Jurassic limestone aquifer and related Tertiary sands derived from isotope, noble gas and chemical data. *Journal of Hydrology*, 286 (1): 87–112.

- Zuber A., Witczak S., Róžański K., Śliwka I., Opoka M., Mochalski P., Kuc T., Karlikowska J., Kania J., Jackowicz-Korczyński M., Duliński M., 2005 – Groundwater dating with ^3H and SF_6 in relation to mixing patterns, transport modeling and hydrochemistry. *Hydrological Processes*, 19 (11): 2247–2275.
- Zuber A., Chowaniec J., Porwisz B., Najman J., Mochalski P., Śliwka I., Duliński M., Mateńko T., 2010 – Pochodzenie i wiek wód mineralnych rejonu Buska-Zdroju, określone na podstawie znaczników środowiskowych. *W: Wody siarczkowe w rejonie Buska-Zdroju* (red. R. Lisik). Hydrogeotechnika, Kielce: 125–150.
- Żak S., 2005a – Oznaczanie zawartości dwutlenku węgla w wodzie za pomocą aparatu karat. *Pr. Nauk. Inst. Górn. PWR*, 113, ser. *Studia i Materiały*, 31: 207–218.
- Żak S., 2005b – Modelowanie samowypływu szczaw z odwiertów. *W: Współczesne problemy hydrogeologii. T. XII* (red. A. Sadurski, A. Krawiec). UMK, Toruń: 749–754.
- Żak S., 2009 – Wydzielanie się gazów z wód podziemnych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 436 (9/2): 583–588.
- Żak S., 2011a – Uwagi do metodyki określania składu gazowego wód leczniczych. Kopaliny lecznicze w polskich uzdrowiskach. *W: Resortowe szkolenie służb geologiczno-górnictwowych. Uzdrawisko Kołobrzeg*, Kołobrzeg: 65–76.
- Żak S., 2011b – Oznaczanie stężeń gazów w wodach podziemnych w warunkach statycznych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 445, ser. *Hydrogeologia*, 12/2: 737–744.
- Żak S., Przylibski T. A., Ciężkowski W., 2008 – Określenie zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym w Sudetach w rejonach występowania szczaw. Oficyna Wydaw. PWR, Wrocław.
- Żbikowska E., Walczak M., Krawiec A., 2013 – Distribution of *Legionella pneumophila* bacteria and *Naegleria* and *Hartmannella* amoebae in thermal saline baths used in balneotherapy. *Parasitology Research*, 112 (1): 77–83.
- Żurek A., Mochalski P., 2010 – Wykorzystanie metody chromatografii gazowej do oceny procesu denitryfikacji w wodach trójsowego zbiornika wód podziemnych rejonu Opola. *Geologia*, 56 (1): 135–148.
- Żróbek M., 2014 – Hydrogeologiczny model dopływu wód do ujęcia W VII-16 i W VI-32 w Kopalni Soli „Wieliczka” w świetle nowych badań. *W: Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wód leczniczych z wypływu W-VI-32 (komora Z-32) zlokalizowanego na poziomie VI i z wypływu W-VII-16 (komora Layer, d. Fornalska 2) zlokalizowanego na poziomie VII w Kopalni Soli „Wieliczka”* (Witczak S., Górka J., Rajchel L., Szybist A., Biedroński G.). Krak. Przedś. Geolog. ProGeo, Kraków (niepubl.).

AKTY PRAWNE

Dyrektywy europejskie

- Dyrektywa 91/676/EWG Rady z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego. Dziennik Urzędowy L 375.
- Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej. Dziennik Urzędowy L 327, 22/12/2000.
- Dyrektywa 2006/118/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniami i pogorszeniem ich stanu. Dziennik Urzędowy L 372/19.

Ustawy i dekrety

- Dekret z dnia 6 maja 1953 r. Prawo górnicze (Dz.U. 1953 nr 29 poz. 113, z późn. zm.).
- Ustawa z dnia 23 marca 1922 r. o uzdrowiskach (Dz.U. 1922 nr 31 poz. 254, z późn. zm.).
- Ustawa z dnia 14 czerwca 1960 r. Kodeks postępowania administracyjnego (Dz.U. 2021 poz. 735, j.t.).
- Ustawa z dnia 16 listopada 1960 r. o prawie geologicznym (Dz.U. 1960 nr 52 poz. 303).
- Ustawa z dnia 17 czerwca 1966 r. o uzdrowiskach i lecznictwie uzdrowiskowym (Dz.U. 1966 nr 23 poz. 150).
- Ustawa z dnia 26 listopada 1977 r. o zmianie Prawa górniczego (Dz.U. 1977 nr 35 poz. 151).
- Ustawa z dnia 23 grudnia 1988 r. o działalności gospodarczej (Dz.U. 1988 nr 41 poz. 324).
- Ustawa z dnia 4 lutego 1994 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 1994 nr 27 poz. 96).
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2021 poz. 1973, j.t.).
- Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia (Dz.U. 2020 poz. 2021, j.t.).
- Ustawa z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (Dz.U. 2020 poz. 2176, j.t.).
- Ustawa z dnia 12 września 2002 r. o normalizacji (Dz.U. 2015 poz. 1483, j.t.).
- Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (Dz.U. 2021 poz. 741, j.t.).
- Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (Dz.U. 2021 poz. 1098, j.t.).
- Ustawa z dnia 28 lipca 2005 r. o lecznictwie uzdrowiskowym, uzdrowiskach i obszarach ochrony uzdrowiskowej oraz gminach uzdrowiskowych (Dz.U. 2021 poz. 1301, j.t.).

Ustawa z dnia 16 listopada 2006 r. o opłacie skarbowej (Dz.U. 2021 poz. 1923, j.t.).

Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2021 poz. 1420, j.t.).

Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (Dz.U. 2021 poz. 2233, j.t.).

Rozporządzenia, uchwały i zarządzenia

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 25 kwietnia 2014 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu zakładów górniczych wydobywających kopaliny otworami wiertniczymi (Dz.U. 2014 poz. 812).

Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 12 lipca 2019 r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych (Dz.U. 2019 poz. 1311).

Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 23 grudnia 2020 r. w sprawie innych dokumentacji geologicznych (Dz.U. 2020 poz. 2449).

Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 23 sierpnia 1994 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinna odpowiadać dokumentacja hydrogeologiczna i geologiczno-inżynierska (Dz.U. 1994 nr 93 poz. 444, z późn. zm.).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji (Dz.U. 2011 nr 288 poz. 1696).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. w sprawie korzystania z informacji geologicznej za wynagrodzeniem (Dz.U. 2011 nr 292 poz. 1724).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 kwietnia 2012 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów zagospodarowania złóż (Dz.U. 2012 poz. 511).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 czerwca 2015 r. w sprawie przekazywania informacji z bieżącego dokumentowania przebiegu prac geologicznych (Dz.U. 2015 poz. 903).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 lipca 2015 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji (Dz.U. 2015 poz. 964).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2017 r. w sprawie gromadzenia i udostępniania informacji geologicznej (Dz.U. 2017 poz. 2075).

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 kwietnia 2006 r. w sprawie zakresu badań niezbędnych do ustalenia właściwości leczniczych naturalnych surowców leczniczych i właściwości leczniczych klimatu, kryteriów ich oceny oraz wzoru świadectwa potwierdzającego te właściwości (Dz.U. 2018 poz. 605, j.t.).

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2017 poz. 2294).

Rozporządzenie Prezydenta Rzeczypospolitej z dnia 29 listopada 1930 r. Prawo górnicze (Dz.U. 1930 nr 85 poz. 654).

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27 marca 1954 r. w sprawie obszarów górniczych (Dz.U. 1954 nr 14 poz. 52, z późn. zm.).

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 16 marca 1962 r. w sprawie określenia kopalni, których wydobywanie podlega prawu górniczemu, oraz w sprawie wydobywania kopalni przez posiadacza powierzchni gruntu na własne potrzeby (Dz.U. 1962 nr 19 poz. 80).

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 czerwca 1978 r. w sprawie szczegółowych zasad ochrony terenów górniczych (Dz.U. 1978 nr 15 poz. 64).

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 16 sierpnia 1994 r. w sprawie określenia złóż wód zaliczonych do solanek, wód leczniczych i termalnych oraz innych kopalni leczniczych, a także w sprawie zaliczenia kopalni pospolitych z określonych złóż do kopalni podstawowych (Dz.U. 1994 nr 89 poz. 417, z późn. zm.).

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 2019 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (Dz.U. 2019 poz. 1839).

Uchwała nr 309 Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 1957 r. w sprawie sporządzania i zatwierdzania projektów robót geologicznych (M.P. 1957 nr 70 poz. 430, z późn. zm.).

Zarządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 8 marca 1963 r. w sprawie określenia wód leczniczych (kopalni), których wydobywanie podlega prawu górniczemu (M.P. 1963 nr 28 poz. 145, z późn. zm.).

Zarządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 24 lipca 1974 r. w sprawie złóż wód mineralnych i peloidów uznanych za lecznicze (Dz.U. 1974 nr 29 poz. 175, z późn. zm.).

Zarządzenie Prezesa Centralnego Urzędu Geologii z dnia 12 sierpnia 1960 r. w sprawie zasad ustalania i trybu zatwierdzania zasobów wód podziemnych (M.P. 1960 nr 72 poz. 333, z późn. zm.).

Zarządzenie Prezesa Centralnego Urzędu Geologii z dnia 27 października 1962 r. w sprawie zatwierdzania dokumentacji geologicznej, zawierającej ustalenia zasobów wód podziemnych (M.P. 1962 nr 80 poz. 374).

Zarządzenie Prezesa Centralnego Urzędu Geologii z dnia 13 maja 1965 r. w sprawie ustalania zasobów wód podziemnych dla celów leczniczych i przedstawiania dokumentacji do zatwierdzenia (M.P. 1965 nr 25 poz. 125).

Zarządzenie Prezesa Centralnego Urzędu Geologii z dnia 5 maja 1969 r. w sprawie zasad i sposobu ustalania oraz trybu zatwierdzania zasobów wód podziemnych (M.P. 1969 nr 19 poz. 163).

Zarządzenie Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego z dnia 3 maja 1978 r. w sprawie zasad sporządzania i trybu zatwierdzania oraz zmian programu ochrony terenów górniczych (M.P. 1978 nr 17 poz. 60).

POLSKIE NORMY

BN-74/9561-01 – Wody lecznicze. Wymagania ogólne.

BN-74/9561-02 – Wody lecznicze. Pobieranie próbek do badań.

BN-74/9561-03 – Wody lecznicze. Oznaczanie zawartości wolnego dwutlenku węgla za pomocą aparatu „Karat”.

BN-80/9561-04 – Wody lecznicze. Obserwacje stacjonarne.

BN-84/9561-05 – Wody lecznicze. Ujęcia wiercone. Wyposażenie eksploatacyjno-pomiarowe.

BN-90/9560-05 – Wody lecznicze. Podział, nazwy, określenia i podstawowe wymagania.

PN-Z-11002:1997 – Ujęcia wód mineralnych i leczniczych.

STRONY INTERNETOWE

<https://www.gambit.net.pl> (stan aktualny na 24.07.2020 r.).

<https://www.pgi.gov.pl> (stan aktualny na 29.07.2020 r.).

<https://www.pkn.pl> (stan aktualny na 02.04.2019 r.).

<https://www.pzh.gov.pl/zaklady> (stan aktualny na 20.05.2019 r.).

<http://www.spd.pgi.gov.pl/PSHv8> (stan aktualny na 17.08.2020 r.).

DODATEK I

PRZEGLĄD WYBRANYCH AKTÓW PRAWNYCH I NORM DOTYCZĄCYCH DOKUMENTOWANIA ZASOBÓW UJĘĆ WÓD LECZNICZYCH

Jakub Sokółowski

Na przestrzeni lat zmieniały się przepisy prawne regulujące zagadnienia związane z dokumentowaniem wód leczniczych. W związku z powyższym poniżej przedstawiono, w formie kalendarium, wykaz wybranych źródeł prawa dotyczący szeroko rozumianego dokumentowania wód leczniczych wraz z krótką informacją o najważniejszych postanowieniach zawartych w poszczególnych aktach prawnych. Przegląd stanu prawnego jest nie tylko interesującym zapisem historii prawodawstwa, lecz także ułatwia zrozumienie wielu dokumentacji ustalających zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych, zwłaszcza tych opracowanych w II połowie XX w.

1922 r.

Ustawa z dnia 23 marca 1922 r. o uzdrowiskach
(Dz.U. 1922 nr 31 poz. 254, z późn. zm.)

Ustawa wprowadzała okęgi ochrony górniczej
źródeł wód mineralnych.

1930 r.

Rozporządzenie Prezydenta Rzeczypospolitej
z dnia 29 listopada 1930 r. Prawo górnicze
(Dz.U. 1930 nr 85 poz. 654)

W rozporządzeniu pojawiło się pojęcie „źródeł leczniczych”, obok funkcjonującego dotychczas określenia „źródła wód mineralnych”. Źródła te uznano za część składową nieruchomości gruntowej.

1953 r.

Dekret z dnia 6 maja 1953 r. Prawo górnicze
(Dz.U. 1953 nr 29 poz. 113, z późn. zm.)

Dekret utrzymywał okęgi ochrony górniczej dla źródeł wód mineralnych (leczniczych). W późniejszych latach akt ten był wielokrotnie zmieniany. Ostatnie modyfikacje z 1991 r. dotyczyły przede wszystkim koncesjonowania wydobywania kopalin i opłat za wydobywane kopalinę i nie odnosiły się bezpośrednio do zasad dokumentowania zasobów wód podziemnych zaliczonych do kopalin.

1954 r.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia
27 marca 1954 r. w sprawie
obszarów górniczych
(Dz.U. 1954 nr 14 poz. 52, z późn. zm.)

Rozporządzenie określało zasady oraz sposób tworzenia i zmiany obszarów górniczych, a także prowadzenia ich rejestru. Obszary górnicze tworzyło się wówczas dla kopalin, których wydobywanie podlegało ustawie Prawo górnicze, jednak nie dla złóż wód mineralnych (leczniczych), dla których funkcjonowały okęgi ochrony górniczej. Po aktualizacji rozporządzenia w 1959 r. dopuszczono utworzenie obszarów górniczych dla złóż solanek nadających się do technicznego wykorzystania, o ile można było przewidzieć, że udostępnienie złoża przyniesie korzyść gospodarczą. Kolejne zmiany przepisów miały miejsce w 1965 r. Wprowadzono wówczas obowiązek utworzenia obszarów górniczych dla złóż wód leczniczych, które powinny obejmować strukturę geologiczną lub jej część, nadającą się do prowadzenia odrębnego wydobywania. W rozporządzeniu wskazano, że przy tworzeniu obszarów górniczych dla złóż wód leczniczych należy uwzględniać warunki geologiczne, hydrogeologiczne i morfologiczne. Rozporządzenie to umożliwiło także wpisanie na wnioski Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej do rejestru obszarów górniczych (ROG) dotychczasowych okęgów ochrony górniczej złóż wód mineralnych (leczniczych) jako obszarów górniczych dla złóż wód leczniczych, po uzupełnieniu – w razie potrzeby –

1957 r.

Uchwała nr 309 Rady Ministrów z dnia 8 sierpnia 1957 r. w sprawie sporządzania i zatwierdzania projektów robót geologicznych (M.P. 1957 nr 70 poz. 430, z późn. zm.)

1960 r.

Zarządzenie Prezesa Centralnego Urzędu Geologii z dnia 12 sierpnia 1960 r. w sprawie zasad ustalania i trybu zatwierdzania zasobów wód podziemnych (M.P. 1960 nr 72 poz. 333, z późn. zm.)

1960 r.

Ustawa z dnia 16 listopada 1960 r. o prawie geologicznym (Dz.U. 1960 nr 52 poz. 303)

ich dokumentacji w celu dostosowania jej do wprowadzonych przepisów. W 1979 r. nakazano wyznaczenie terenów górniczych dla nowych obszarów górniczych, a dla obszarów już istniejących – określenie ich granic w terminie 3 lat od wejścia rozporządzenia.

Uchwałą wprowadzono obowiązek sporządzania i zatwierdzania projektów robót geologicznych. W zarządzeniu do uchwały z tego samego roku określono, że projekty robót geologicznych wykonane dla ustalenia zasobów złóż wód podziemnych zatwierdza Prezes CUG na podstawie orzeczeń wydanych przez KDH. Załącznik do zarządzenia zawierał instrukcję określającą szczegółowe zasady sporządzania projektów. W 1963 r. miała miejsce aktualizacja przepisów, w następstwie której projekt robót geologicznych zastąpiono projektem badań geologicznych, a następnie – już w 1994 r. – projektem prac geologicznych. W obu przypadkach wprowadzono możliwość dokonywania zmian już zatwierdzonych projektów w formie aneksów. Zmiany z 2001 r. dotyczyły głównie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać projekty prac geologicznych. Od 2011 r. przywrócono formę w brzmieniu pierwotnym z 1957 r., tj. projekt robót geologicznych. Ostatnia aktualizacja przepisów w 2015 r. miała charakter porządkowy, m.in. wprowadziła pojęcie „dodatku do projektu”, zastępujące dotychczas stosowany termin „aneks”.

W zarządzeniu wprowadzono kategorie zasobów wód podziemnych (A, B i C), a także określono wskazania dotyczące wykonywania robót hydrogeologicznych oraz przedstawiono szczegółowe wytyczne, jakim powinny odpowiadać dokumentacje hydrogeologiczne, wraz z podaniem w formie załączników wzorów strony tytułowej dokumentacji, karty tytułowej i tabeli zasobowej. W 1964 r. dokonano zmiany zarządzenia – m.in. przedstawiono w nowej formie załączniki oraz dodano szablon zbiorczego zestawienia wyników wiercenia.

Przepisami ustawy określono m.in. zasady prowadzenia prac geologicznych w związku z poszukiwaniem i rozpoznawaniem złóż kopalin oraz wód podziemnych.

1962 r.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 16 marca 1962 r. w sprawie określenia kopalin, których wydobywanie podlega prawu górnictwu, oraz w sprawie wydobywania kopalin przez posiadacza powierzchni gruntu na własne potrzeby (Dz.U. 1962 nr 19 poz. 80)

1962 r.

Zarządzenie Prezesa Centralnego Urzędu Geologii z dnia 27 października 1962 r. w sprawie zatwierdzania dokumentacji geologicznej, zawierającej ustalenia zasobów wód podziemnych (M.P. 1962 nr 80 poz. 374)

1963 r.

Zarządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 8 marca 1963 r. w sprawie określenia wód leczniczych (kopalin), których wydobywanie podlega prawu górnictwu (M.P. 1963 nr 28 poz. 145, z późn. zm.)

1965 r.

Zarządzenie Prezesa Centralnego Urzędu Geologii z dnia 13 maja 1965 r. w sprawie ustalania zasobów wód podziemnych dla celów leczniczych i przedstawiania dokumentacji do zatwierdzenia (M.P. 1965 nr 25 poz. 125)

1966 r.

Ustawa z dnia 17 czerwca 1966 r. o uzdrowiskach i lecznictwie uzdrowiskowym (Dz.U. 1966 nr 23 poz. 150)

Rozporządzenie, odnoszące się do ustawy z dnia 16 listopada 1960 r. o prawie geologicznym (Dz.U. 1960 nr 52), uznawało wody lecznicze za kopalinę. To, czy woda z określonego złoża jest wodą leczniczą, stwierdzał Minister Zdrowia i Opieki Społecznej. Jednocześnie wody lecznicze uznano za kopalinę, która nie może być wydobywana na własne potrzeby przez posiadacza powierzchni gruntu.

W zarządzeniu wskazano, że dokumentację geologiczną zawierającą ustalenie zasobów wód leczniczych zatwierdza Prezes CUG, podobnie jak dokumentację ustalającą zasoby wód podziemnych ujęcia znajdujące się w granicach okręgu ochrony górniczej uzdrowiska.

W zarządzeniu zawarto po raz pierwszy wykaz 52 złóż wód leczniczych wraz z podaniem typu chemicznego i składników swoistych występujących w nich wód. W zmianach z lat 1969 i 1971 uzupełniono ten wykaz o kolejne złoża (w sumie wykaz liczył 65 pozycji). Zaproponowane podejście, polegające na wykazywaniu poszczególnych złóż w drodze aktów prawnych, było praktykowane aż do 2008 r.

W zarządzeniu wprowadzono zasady i sposób ustalania zasobów leczniczych wód podziemnych. W zarządzeniu po raz pierwszy w przepisach prawa pojawiło się pojęcie stabilności cech fizycznych i składu chemicznego w kontekście wymagań, jakim powinny odpowiadać wody lecznicze. W zarządzeniu szczególny nacisk położono na kwestie związane z ochroną zasobów, nakazując wyznaczanie granic rejonów ochrony górniczej i stref ochrony sanitarnej dla zasobów w kategorii rozpoznania B. Zasady i sposób ustalania zasobów oraz zasady sporządzania dokumentacji określała instrukcja wydana w formie broszury przez CUG.

Ustawa wprowadzała obszar ochrony uzdrowiskowej, a także przekształcała dotychczasowe okręgi ochrony górniczej źródeł wód leczniczych w obszary górnicze.

1969 r.

Zarządzenie Prezesa Centralnego Urzędu Geologii z dnia 5 maja 1969 r. w sprawie zasad i sposobu ustalania oraz trybu zatwierdzania zasobów wód podziemnych (M.P. 1969 nr 19 poz. 163)

1974 r.

Zarządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 24 lipca 1974 r. w sprawie złóż wód mineralnych i peloidów uznanych za lecznicze (Dz.U. 1974 nr 29 poz. 175, z późn. zm.)

1977 r.

Ustawa z dnia 26 listopada 1977 r. o zmianie Prawa górniczego (Dz.U. 1977 nr 35 poz. 151)

1978 r.

Zarządzenie Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego z dnia 3 maja 1978 r. w sprawie zasad sporządzania i trybu zatwierdzania oraz zmian programu ochrony terenów górniczych (M.P. 1978 nr 17 poz. 60)

1978 r.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 czerwca 1978 r. w sprawie szczegółowych zasad ochrony terenów górniczych (Dz.U. 1978 nr 15 poz. 64)

1988 r.

Ustawa z dnia 23 grudnia 1988 r. o działalności gospodarczej (Dz.U. 1988 nr 41 poz. 324)

1994 r.

Ustawa z dnia 4 lutego 1994 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 1994 nr 27 poz. 96)

Zarządzenie modyfikowało dotychczas obowiązujące zasady i sposób ustalania zasobów wód podziemnych, w tym wód leczniczych, odsyłając po szczegółowe wytyczne do instrukcji wydanej w formie broszury przez CUG.

W zarządzeniu, pod zmienioną nazwą w porównaniu do obowiązującego poprzednio aktu, za lecznicze uznano wody z 66 złóż, przy czym w dalszym ciągu dokładnie określało typy chemiczne wód w poszczególnych złożach. Kolejne aktualizacje zarządzenia zmieniały liczbę złóż wód leczniczych do 77 w 1979 r., 78 w 1985 r., 62 w 1990 r. i 63 w 1992 r.

W ustawie brak jest bezpośredniego odwołania do wód leczniczych, jednak jej istotnym elementem jest wprowadzenie pojęcia terenu górniczego.

W zarządzeniu określono zawartość programu ochrony terenu górniczego.

W rozporządzeniu określono szczegółowe zasady ochrony terenów górniczych.

Ustawa wprowadzała konieczność uzyskania koncesji na prowadzenie działalności gospodarczej w zakresie wydobywania kopalin podlegających prawu górniczemu oraz poszukiwania złóż tych kopalin.

Ustawa zastępowała dotychczas obowiązujący dekret z 1953 r. Zaliczała ona wody lecznicze, termalne i solanki do kopalin pospolitych. Wykaz złóż tych wód określono w drodze rozporządzenia. W ustawie tej określono także ogólne zasady sporządzania dokumentacji hydrogeologicznych i wyznaczania granic obszaru i terenu górniczego. Zastąpiono także decyzję zatwierdzającą dokumentację zawiadomieniem o jej przyjęciu (w 2011 r. ze zmiany tej się wycofano).

1994 r.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 16 sierpnia 1994 r. w sprawie określenia złóż wód zaliczonych do solanek, wód leczniczych i termalnych oraz innych kopalin leczniczych, a także w sprawie zaliczenia kopalin pospolitych z określonych złóż do kopalin podstawowych (Dz.U. 1994 nr 89 poz. 417, z późn. zm.)

W rozporządzeniu określono warunki, jakim powinny odpowiadać wody podziemne, aby mogły zostać uznane za lecznicze. Tak jak dotychczas zaliczono wody o określonym typie chemicznym ze wskazanych złóż do wód leczniczych (60 złóż). Ponadto za wody termalne uznawano tylko te, które występują w złożach we wskazanych sześciu strukturach geologicznych. Za solanki uznano tylko wody wydobywane ze złoża w Łapczycy (taka kwalifikacja jest praktykowana do dziś). Istotną zmianą było to, że większość wód leczniczych (50 złóż – wszystkie czynne uzdrowiska) oraz wszystkie wody termalne i solanki uznano za kopaliny podstawowe. Pozostałe złoża wód leczniczych, z których nie było prowadzone wydobywanie lub nie zostały dostatecznie udokumentowane zasoby eksploatacyjne pozostały kopaliną pospolitą. Rozróżnienie to wiązało się z zatwierdzaniem projektów i dokumentacji na różnym szczeblu (centralnym dla kopalin podstawowych i wojewódzkim dla kopalin pospolitych). Było to kłopotliwe i prowadziło zarówno do konieczności aktualizacji rozporządzenia (1996, 2001 r.) i zmian liczby złóż zaliczonych do poszczególnych rodzajów kopalin, jak i sporów pomiędzy podmiotami gospodarczymi a organami administracji geologicznej. Przy okazji tych zmian od 2001 r. za wody termalne uznano wody podziemne pochodzące ze wszystkich jednostek geologicznych, mające na wypływie z ujęcia temperaturę co najmniej 20°C. Od 2006 r. w rozporządzeniu zamieszczono wymagania, jakim powinny odpowiadać solanki, wody lecznicze i termalne, jednocześnie uznając wszystkie wody lecznicze (a także wody termalne i solanki) za kopaliny podstawowe. W odróżnieniu od przepisów z 2001 r., zrezygnowano z zaliczania do leczniczych wód o określonym typie chemicznym występujących w danym złożu, ograniczając się jedynie do wskazania samych złóż (70), przy czym wszystkie szczawy i wody kwasowęglowe, nawet jeśli nie znalazły się w tym wykazie, zaliczono do wód leczniczych. Po zmianach, jeszcze w tym samym roku oraz w 2008 r., ostatecznie, tj. do momentu uchylenia podstawy prawnej, rozporządzenie zawierało wykaz 72 złóż leczniczych. Istotnym elementem pojawiającym się w rozporządzeniu z 2006 r. jest także wprowadzenie po raz pierwszy do przepisów prawa zaznaczenia, że zmienność parametrów fizycznych i chemicznych wód leczniczych powinna mieć charakter naturalny. Usunięto z wykazu wód swoistych wody bromkowe, borowe i arsenowe z uwagi na toksyczny charakter związków Br, B i As oraz zaproponowano zmianę progu farmakodynamicznego dla fluorków z 1 do 2 mg/dm³ i kwasu metakrzemowego ze 100 do 70 mg/dm³.

1994 r.

Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 23 sierpnia 1994 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinna odpowiadać dokumentacja hydrogeologiczna i geologiczno-inżynierska (Dz.U. 1994 nr 93 poz. 444, z późn. zm.)

2005 r.

Ustawa z dnia 28 lipca 2005 r. o lecznictwie uzdrowiskowym, uzdrowiskach i obszarach ochrony uzdrowiskowej oraz gminach uzdrowiskowych (Dz.U. 2021 poz. 1301, j.t.)

2006 r.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 kwietnia 2006 r. w sprawie zakresu badań niezbędnych do ustalenia właściwości leczniczych naturalnych surowców leczniczych i właściwości leczniczych klimatu, kryteriów ich oceny oraz wzoru świadectwa potwierdzającego te właściwości (Dz.U. 2006 nr 80 poz. 565, z późn. zm.)

2011 r.

Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2021 nr poz. 1420, j.t.)

W rozporządzeniu wprowadzono kilka rodzajów dokumentacji hydrogeologicznej, m.in. dokumentację hydrogeologiczną ustalającą zasoby eksploatacyjne ujęć solanek, wód leczniczych i termalnych oraz wód o właściwościach leczniczych. Dodatkowo określono szczegółowe wymagania, jakim powinny odpowiadać takie dokumentacje, doprecyzowane aktualizacją z 2001 r. Większe zmiany wprowadzono w 2005 r., kiedy to m.in. nałożono obowiązek zamieszczania w dokumentacji karty informacyjnej czy określono wymagania, jakim powinny odpowiadać dodatki do dokumentacji. Kolejne zmiany (lata 2011, 2014 i 2016) wprowadziły m.in. dodatkowe rodzaje dokumentacji hydrogeologicznych oraz wniosły wiele zmian dotyczących zawartości samych dokumentacji, m.in. obowiązek wyznaczania granic obszarów zasobowych.

W ustawie określono zasady oraz warunki prowadzenia i finansowania lecznictwa uzdrowiskowego, kierunki lecznicze uzdrowisk, zasady sprawowania nadzoru nad lecznictwem uzdrowiskowym, zasady nadawania obszarowi statusu uzdrowiska albo statusu obszaru ochrony uzdrowiskowej, zasady pozbawiania obszaru statusu uzdrowiska albo statusu obszaru ochrony uzdrowiskowej oraz zadania gmin uzdrowiskowych. W odniesieniu do wód leczniczych ustawa określała zasady potwierdzania właściwości leczniczych wód podziemnych.

W rozporządzeniu określono m.in. zakres badań niezbędnych do ustalenia właściwości leczniczych wód oraz kryteria oceny tych właściwości, a także ich przydatności do celów leczniczych. Podano w nim, że odpowiednie badania właściwości wód leczniczych powinny trwać co najmniej 3 lata, a po jego zmianie w 2018 r. – że powinny być przeprowadzone w okresie 24 miesięcy przed wystąpieniem z wnioskiem o nadanie wodom właściwości leczniczych.

Ustawa, po 17 latach obowiązywania jej poprzedniczki, w wielu aspektach wprowadza nowy stan prawny. W odniesieniu do wód leczniczych najważniejszą zmianą jest rezygnacja z podawania listy ich źródeł w drodze rozporządzenia. W zamian zamieszczono bezpośrednio w ustawie kryteria, jakim powinny odpowiadać wszystkie rodzaje wód podziemnych zaliczonych do kopalin.

Od 2002 r. obowiązuje w Polsce system normalizacji dobrowolnej, wprowadzony ustawą z dnia 12 września 2002 r. o normalizacji (Dz.U. 2015 poz. 1483, j.t.). Polega on zarówno na dobrowolnym udziale w procesie tworzenia norm, jak i na dobrowolnym ich stosowaniu. Mimo że obowiązkowy system stosowania norm zniesiono około 20 lat temu, to nadal często panuje przekonanie o obowiązku ich stosowania. W przeciwieństwie do poprzedniego, obligatoryjnego systemu, sterowanego centralnie, wdrażającego często niesprawdzone czy wręcz nietrafione rozwiązania, obecnie do norm trafiają propozycje sprawdzone na rynku, zgłoszone przez samych przedsiębiorców na własne potrzeby. Obecnie, mimo braku takiego obowiązku, odniesienie się do norm ułatwia nie tylko zawarcie umów, na przykład na wykonanie otworów wiertniczych, lecz także w istotny sposób przyczynia się do zatwierdzenia projektów robót geologicznych i dokumentacji hydrogeologicznych, natomiast nie może być przyczyną odmowy zatwierdzenia, jeśli spełnia oczekiwany poziom określony przepisami prawa. W interesie geologa projektującego lub dokumentującego leży, aby wybrać optymalne rozwiązanie zapewniające osiągnięcie zamierzonego celu i wykazanie tego, w razie potrzeby, organom kontroli. Dobrowolność stosowania norm pozostawia prawo wyboru, ale opisanie przyjętego standardu w normie zapewnia minimalny poziom jakości. Pomimo tego, że przywoływanie Polskich Norm (PN) w przepisach prawnych jest dopuszczalne, nie wpływa ono na obowiązek ich stosowania, nie zmienia dobrowolnego statusu norm. Stanowisko to zostało podtrzymane przez Polski Komitet Normalizacyjny (PKN), odpowiadający za organizację działalności normalizacyjnej, na posiedzeniu w 2010 r. (<https://www.pkn.pl/>). Normy są opracowywane przez komitety techniczne (KT), składające się z ekspertów delegowanych przez instytucje zainteresowane normalizacją. Nadzór i dbanie o poprawne stosowanie przepisów i procedur przy tworzeniu PN sprawuje PKN. Polskie Normy, opracowane przez KT i zatwierdzone przez PKN, są dokumentami technicznymi do dobrowolnego stosowania i nie stanowią aktów prawa. Polskie Normy nie stanowią informacji publicznej i nie podlegają udostępnieniu w trybie Ustawy z dnia 6 września 2001 r. o dostępie do informacji publicznej (Dz.U. 2001 nr 112 poz. 1198, ze zm.). Dostęp do nich jest jednak powszechny, aczkolwiek odpłatny. Normy można kupić w sklepie internetowym PKN. W odniesieniu do wód leczniczych w powszechnym użyciu były normy:

- 1974 r. BN-74/9561-01 – Wody lecznicze. Wymagania ogólne.
- 1974 r. BN-74/9561-02 – Wody lecznicze. Pobieranie próbek do badań.
- 1974 r. BN-74/9561-03 – Wody lecznicze. Oznaczanie zawartości wolnego dwutlenku węgla za pomocą aparatu „Karat”.
- 1980 r. BN-80/9561-04 – Wody lecznicze. Obserwacje stacjonarne.
- 1984 r. BN-84/9561-05 – Wody lecznicze. Ujęcia wiercone. Wyposażenie eksploatacyjno-pomiarowe.
- 1990 r. BN-90/9560-05 – Wody lecznicze. Podział, nazwy, określenia i podstawowe wymagania.
(w normie tej po raz pierwszy pojawiło się stwierdzenie, że wahania cech fizyczno-chemicznych wód leczniczych mają być niewielkie)
- 1997 r. PN-Z-11002:1997 – Ujęcia wód mineralnych i leczniczych.
(w normie określono wymagania ogólne dotyczące ujęć wód leczniczych oraz podstawowego wyposażenia eksploatacyjno-pomiarowego ujęcia; dodatkowo ustalono rodzaje badań stacjonarnych ujęcia oraz badań kontrolnych wody z ujęcia)

DODATEK II

**ZESTAWIENIE NAJCZĘŚCIEJ STOSOWANYCH WZORÓW
PRZY OKREŚLANIU ZASOBÓW EKSPLOATACYJNYCH
UJĘĆ WÓD LECZNICZYCH**

Nr strony	Wzór	Symbol	Jednostka	Objaśnienia symboli	Nr w tekście
126, 205	wzór Dupuita zwierciadło napięte $k = \frac{0,366 \cdot Q \cdot \lg \frac{R}{r}}{m \cdot s}$	k Q R r m s	[m/h] [m³/h] [m] [m] [m] [m]	współczynnik filtracji wydajność eksploatacyjna ujęcia promień lejki depresji promień studni (wraz z obsypką) miąższość warstwy wodonośnej depresja w studni	[1]
126	wzór Dupuita z poprawką Forchheimera zwierciadło napięte $k = \frac{0,366 \cdot Q \cdot \lg \frac{R}{r}}{m \cdot s} \cdot \frac{1}{b_1}$	b_1 l	[-] [m]	poprawka Forchheimera (b_1 – dla zwierciadła napiętego): $b_1 = \sqrt{\frac{l}{m}} \cdot \sqrt[4]{\frac{2m-l}{m}}$ długość części czynnej/roboczej filtra pozostałe objaśnienia jak we wzorze [1]	[2]
126	wzór Dupuita z poprawką Forchheimera zwierciadło napięte studnia w warstwie o nieznanej miąższości $k = \frac{0,366 \cdot Q \cdot \lg \frac{R}{r}}{m_u \cdot s} \cdot \frac{1}{b_2}$	m_u b_2	[m] [-]	miąższość strefy aktywnej warstwy wodonośnej poprawka Forchheimera (b_2 – dla zwierciadła napiętego): $b_2 = \sqrt{\frac{l}{m_u}} \cdot \sqrt[4]{\frac{2m_u-l}{m_u}}$ pozostałe objaśnienia jak we wzorze [1] i [2]	[3]
126	wzór Dupuita zwierciadło swobodne $k = \frac{0,733 \cdot Q \cdot \lg \frac{R}{r}}{H^2 - h^2}$	H h	[m] [m]	wysokość statycznego zwierciadła wody nad poziomem odniesienia wysokość dynamicznego zwierciadła wody nad podstawą warstwy wodonośnej lub poziomem odniesienia pozostałe objaśnienia jak we wzorze [1]	[4]
126	wzór Dupuita z poprawką Forchheimera zwierciadło swobodne $k = \frac{0,733 \cdot Q \cdot \lg \frac{R}{r}}{H^2 - h^2} \cdot \frac{1}{b_3}$	b_3	[-]	poprawka Forchheimera (b_3 – dla zwierciadła swobodnego): $b_3 = \sqrt{\frac{l}{h}} \cdot \sqrt[4]{\frac{2h-l}{h}}$ pozostałe objaśnienia jak we wzorach [1] i [2]	[5]

Nr strony	Wzór	Symbol	Jednostka	Objaśnienia symboli	Nr w tekście
126	wzór Dupuita z poprawką Forchheimera zwierciadło swobodne studnia w warstwie o nieznanej miąższości $k = \frac{0,733 \cdot Q \cdot \lg \frac{R}{r}}{H_a^2 - h_a^2} \cdot \frac{1}{b_4}$	H_a h_a b_4	[m] [m] [-]	wysokość statycznego zwierciadła wody nad zastępczą podstawą lub poziomem odniesienia wysokość dynamicznego zwierciadła wody nad zastępczą podstawą warstwy wodonośnej lub poziomem odniesienia poprawka Forchheimera (b_4 - dla zwierciadła swobodnego): $b_4 = \sqrt{\frac{l}{h}} \cdot \sqrt[4]{\frac{2h_a - l}{h_a}}$ pozostałe objaśnienia jak we wzorze [1] i [2]	[6]
126, 201	wzór Krasnopolskiego $k = \frac{0,16 \cdot Q}{m_a \cdot \sqrt{r \cdot s}}$	k Q m_a r s	[m/h] [m ³ /h] [m] [m] [m]	współczynnik filtracji wydajność eksploatacyjna ujęcia miąższość strefy aktywnej warstwy wodonośnej promień studni (wraz z obsypką) depresja w studni	[7]
126	wzór Chezy'ego $k = \frac{0,16 \cdot Q}{H_a \cdot \sqrt{r \cdot s}}$	H_a	[m]	wysokość statycznego zwierciadła wody nad zastępczą podstawą lub poziomem odniesienia pozostałe objaśnienia jak we wzorze [7]	[8]
126	wzór Macioszczyka $k = \frac{Q}{2\pi m \cdot \sqrt[3]{\frac{l}{4}} \cdot s^2 \cdot r}$	k Q m l s r	[m/h] [m ³ /h] [m] [m] [m] [m]	współczynnik filtracji wydajność eksploatacyjna ujęcia miąższość warstwy wodonośnej długość części czynnej/roboczej filtra depresja w studni promień studni (wraz z obsypką)	[9]

Nr strony	Wzór	Symbol	Jednostka	Objaśnienia symboli	Nr w tekście
126	wzór Wieczystego $k = \frac{Q}{3 \cdot \sqrt{r} \cdot s \cdot A}$	k Q r s A	[m/h] [m³/h] [m] [m] [-]	współczynnik filtracji wydajność eksploatacyjna ujęcia promień studni (wraz z obsypką) depresja w studni współczynnik uwzględniający konstrukcję studni i jej stan techniczny: $A = a \cdot b_w$	[10]
126	wzór Wieczystego z poprawką Forchheimera $k = \frac{Q}{3 \cdot \sqrt{r} \cdot s \cdot A} \cdot \frac{1}{b}$	a b_w b	[-] [-] [-]	współczynnik stanu technicznego studni współczynnik sposobu dopływu wody do studni poprawka Forchheimera, wzory [2-3, 5-6] pozostałe objaśnienia jak we wzorze [10]	[11]
126, 151, 202, 206	wzór Sichardta zwierciadło napięte $R = 3000 \cdot s \cdot \sqrt{k}$	R s k	[m] [m] [m/s]	promień leja depresji depresja w studni współczynnik filtracji	[12]
126, 151	wzór Kusakina zwierciadło swobodne $R = 575 \cdot s \cdot \sqrt{k \cdot H}$	R s k H	[m] [m] [m/s] [m]	promień leja depresji depresja w studni współczynnik filtracji wysokość statycznego zwierciadła wody nad poziomem odniesienia	[13]
127	wzór Czarnego $R = 1,59 \cdot \sqrt{\frac{T \cdot (t_2 - t_1)}{S \cdot l g \frac{s_1}{s_2}}}$	R T t_1, t_2 S s_1, s_2	[m] [m²/s] [s] [-] [m]	promień leja depresji przewodność hydrauliczna czas pomiaru depresji współczynnik pojemności wodnej depresja w studni w czasie t_1, t_2	[14]

Nr strony	Wzór	Symbol	Jednostka	Objaśnienia symboli	Nr w tekście
130	$T = \frac{0,183 \cdot Q}{S_b - S_a}$	T Q $S_b - S_a$	$[m^2/h]$ $[m^3/h]$ $[m]$	przewodność hydrauliczna wydajność eksploatacyjna ujęcia różnica depresji w studni w jednym pełnym cyklu logarytmicznym	[15]
131	$k = \frac{T}{m}$	k T m	$[m/h]$ $[m^2/h]$ $[m]$	współczynnik filtracji przewodność hydrauliczna miąższość warstwy wodonośnej	[16]
131	wzór Blecinskiego $\mu = 0,117 \cdot \sqrt{k}$	μ k	$[-]$ $[m/s]$	współczynnik odsączalności współczynnik filtracji	[17]
131	$Z_{st} = F \cdot m \cdot \mu$	Z_{st} F m μ	$[m^3]$ $[m^2]$ $[m]$ $[-]$	zasoby statyczne powierzchnia złoża miąższość warstwy wodonośnej współczynnik odsączalności	[18]
136	$P_{str} = P_s - \left[1 - \frac{\rho(T_{st})}{\rho(T_{strc})} \right] \cdot \rho(T_{strc}) \cdot L \cdot g$	P_{str} P_s $\rho(T_{st})$ $\rho(T_{strc})$ L g	$[Pa]$ $[Pa]$ $[kg/m^3]$ $[kg/m^3]$ $[m]$ $[m/s^2]$	wartość zredukowana ciśnienia mierzonego na głowicy wartość ciśnienia dynamicznego mierzonego na głowicy średnia gęstość kolumny wody w otworze eksploatowanym w danym czasie średnia gęstość kolumny wody w otworze stojącym głębokość otworu TVD (<i>True Vertical Depth</i>) ziemskie przyspieszenie grawitacyjne	[19]
151	wzór Theisa $R = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{T \cdot t}{\mu_s}}$	R T t μ_s	$[m]$ $[m^2/h]$ $[h]$ $[-]$	promień leja depresji przewodność hydrauliczna czas eksploatacji ujęcia współczynnik odsączalności sprężystej	[20]

Nr strony	Wzór	Symbol	Jednostka	Objasnienia symboli	Nr w tekście
151	$R = \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot M_d}}$	R Q M_d	[m] [m³/h] [m³/h·km²]	zasięg oddziaływania ujęcia wydajność eksploatacyjna ujęcia moduł zasobów dyspozycyjnych	[21]
152	wzór Theisa-Jacoba $s(r) = \frac{0,183 \cdot Q}{T} \cdot \ln \frac{2,25 \cdot T \cdot t}{r^2 \cdot \mu_s}$	$s(r)$ Q T t r μ_s	[m] [m³/h] [m²/h] [h] [m] [-]	założona minimalna depresja w odległości r od ujęcia (np. 0,01 m) wydajność eksploatacyjna ujęcia przewodność hydrauliczna czas eksploatacji ujęcia odległość depresji minimalnej od ujęcia współczynnik odsączalności sprężystej	[22]
153	$B = \frac{Q}{k \cdot m \cdot I}$	B Q k m I	[m] [m³/h] [m/s] [m] [-]	szerokość strefy splywu w nieskończeniu odległym punkcie wydajność eksploatacyjna ujęcia współczynnik filtracji miąższość warstwy wodonośnej spadek hydrauliczny	[23]
153	$B' = \frac{B}{2}$	B' B	[m] [m]	szerokość strefy splywu w przekroju ujęcia szerokość strefy splywu w nieskończeniu odległym punkcie	[24]
153, 192	$x_0 = \frac{Q}{2\pi \cdot k \cdot m \cdot I}$	x_0 Q k m I	[m] [m³/h] [m/h] [m] [-]	odległość od punktu neutralnego w dół strumienia wydajność eksploatacyjna ujęcia współczynnik filtracji w strefie przyotworowej na podstawie próbnego pompowania przy wydajności Q miąższość warstwy wodonośnej spadek hydrauliczny	[25]

Nr strony	Wzór	Symbol	Jednostka	Objaśnienia symboli	Nr w tekście
153	wzór Dupuita zwierciadło napięte $s(r) = H - \left[\frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot m} \ln \frac{r}{r_0} + h_0 \right]$	$s(r)$ H Q k m r r_0 h_0	[m] [m] [m ³ /h] [m/h] [m] [m] [m] [m]	założona minimalna depresja w odległości r od ujęcia wysokość statycznego zwierciadła wody nad podstawą warstwy wodonośnej wydajność eksploatacyjna ujęcia współczynnik filtracji miąższość warstwy wodonośnej odległość depresji minimalnej od ujęcia promień otworu wiertniczego wysokość dynamicznego zwierciadła wody nad podstawą warstwy wodonośnej	[26]
153	wzór Dupuita zwierciadło swobodne $s(r) = H - \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot k} \ln \frac{r}{r_0} + h_0^2}$			objaśnienia jak we wzorze [26]	[27]
154, 192	wzór Wysslinga $U = \frac{k_i \cdot I}{n_f}$	U k_i I n_f	[m/h] [m/h] [-] [-]	prędkość efektywna przepływu wód współczynnik filtracji obszaru zasilania pomniejszony 6,7 razy w stosunku do współczynnika filtracji k określonego na podstawie badań izotopowych na terenach sąsiednich (otwory: P-1, G-1, G-3, G-2A) spadek hydrauliczny współczynnik szczelności	[28]
154, 192	wzór Wysslinga $S_0 = \frac{+L + \sqrt{L(L + 8x_0)}}{2}$ $S_u = \frac{-L + \sqrt{L(L + 8x_0)}}{2}$	S_0/S_u L U t x_0	[m] [m] [m/h] [h] [m]	odległość odpowiadająca zakładanemu czasowi przepływu, na kierunku przepływu wód w górę strumienia wód podziemnych (S_0) i w dół (S_u) miarodajna droga dla zakładanego czasu przepływu; $L = U \cdot t$ prędkość efektywna przepływu wód czas przepływu wód odległość od punktu neutralnego w dół strumienia	[29]

Nr strony	Wzór	Symbol	Jednostka	Objaśnienia symboli	Nr w tekście
162	$\delta C = \left[\left(\frac{^{13}C / ^{12}C}{^{13}C / ^{12}C} \right)_{\text{próbki}} - \left(\frac{^{13}C / ^{12}C}{^{13}C / ^{12}C} \right)_{\text{wzorca}} \right] / \left(\frac{^{13}C / ^{12}C}{^{13}C / ^{12}C} \right)_{\text{wzorca}} \cdot 1000\text{‰}$	δC $^{13}C, ^{12}C$	[‰] [‰]	„delta węglowa” izotopy węgla	[30]
162	$\Delta \delta^{34}S = \left[\left(\frac{^{34}S / ^{32}S}{^{34}S / ^{32}S} \right)_{\text{próbki}} - \left(\frac{^{34}S / ^{32}S}{^{34}S / ^{32}S} \right)_{\text{wzorca}} \right] / \left(\frac{^{34}S / ^{32}S}{^{34}S / ^{32}S} \right)_{\text{wzorca}} \cdot 1000\text{‰}$	$\delta^{34}S$ $^{34}S, ^{32}S$	[‰] [‰]	„delta siarkowa” izotopy siarki	[31]
180	$[\bar{x} - 2\sigma, \bar{x} + 2\sigma]$	$\bar{x}$ σ	[-] [-]	średnia arytmetyczna odchylenie standardowe	[32]
180	$\bar{x} - 2\sigma \geq \text{wartość progowa}$			objaśnienia jak we wzorze [32]	[33]
190	wzór Witzczaka $t_a = \frac{1000 \cdot w \cdot m}{\omega}$	t_a w m ω	[a] [-] [m] [mm/a]	czas przesłania przez strefę aeracji wilgotność objętościowa utworów w strefie aeracji miąższość warstw w strefie aeracji intensywność infiltracji	[34]
191	wzór Macioszczyka $t_a = \sum_{i=1}^n \frac{m_i \cdot (w_o)_i}{I}$	t_a m_i $(w_o)_i$ I W_i P	[a] [m] [-] [m²/a] [-] [mm/a]	czas przesłania przez strefę aeracji miąższość kolejnych warstw w strefie aeracji przeciętna wilgotność objętościowa kolejnych warstw w strefie aeracji infiltracja efektywna; $I = W_i \cdot P$ wskaźnik infiltracji opad roczny średni z wielolecia	[35]

DODATEK III

WYKONYWANIE UJĘĆ WÓD LECZNICZYCH

Jakub Sokołowski, Bogusław Porwisz

METODY UJMOWANIA WÓD LECZNICZYCH I SPOSOBY ICH WYDOBYWANIA

Wody lecznicze mogą być wydobywane wieloma metodami, za pomocą różnych obiektów i urządzeń, w zależności od głębokości występowania zwierciadła wody, warunków hydrogeologicznych panujących w złożu, zasobności planowanej do ujęcia warstwy wodonośnej, przewidywanej wielkości wydobycia, czy też warunków techniczno-ekonomicznych. Wśród rodzajów ujęć wód leczniczych istniejących obecnie lub jeszcze do niedawna, wyróżnia się:

- źródła;
- studnie kopane;
- studnie wiercone;
- głębokie otwory wiertnicze (w tym zrekonstruowane otwory badawcze);
- ujęcia górnicze (szyby, sztolnie);
- wypływy w podziemnych wyrobiskach górniczych.

Źródła

Naturalne wypływy wód leczniczych od najdawniejszych czasów wzbudzały zainteresowanie jako element krajobrazu, czy też źródło wód o specyficznych walorach smakowych. Z czasem wypływającym z nich wodom przypisywano walory lecznicze, a same źródła otaczano niekiedy kultem religijnym. Z upływem wieków zajęły one szczególne miejsce w krajobrazie kulturowym, a znaczna ich część dała początek obecnym uzdrowiskom, m.in. w Dusznikach-Zdroju, Iwoniczu-Zdroju, Krynicy-Zdroju, Kudowie-Zdroju, Łądku-Zdroju, Rymanowie-Zdroju czy Szczawnie-Zdroju. W większości źródła te istnieją do dziś i stanowią centralne punkty miejscowości lub dzielnic uzdrowiskowych, są zarazem ich symbolem, trwale wpisanym w krajobraz miejscowości. Towarzyszące im obiekty architektoniczne, pijalnie, szpitale uzdrowiskowe i domy zdrojowe oraz formy małej architektury podnoszą atrakcyjność turystyczną uzdrowisk.

Poszczególne źródła odznaczają się różnorodnością sposobów ujmowania wód leczniczych. W większości wymagają one na ogół spiętrzenia wody na wypływie, zwłaszcza te, z których wody wypływają grawitacyjnie (swobodnie). W niektórych przypadkach źródła pogłębiono w formie studni kopanej lub za pomocą otworu wiertniczego i niekiedy do ich wydobywania konieczne jest użycie pompy. W przypadku części źródeł wód leczniczych, nasyconych dwutlenkiem węgla, ich naturalny wypływ odbywa się w warunkach nadciśnienia w przestrzeni gazowej nad lustrem wody (tzw. poduszka gazowa), powstałego wskutek wydzielania się CO_2 zawartego w wodzie. Niekiedy, gdy wydobywająca się ilość gazu jest niewielka, stosuje się uzupełnianie poduszki gazowej dwutlenkiem węgla z butli. W takich przypadkach obudowa źródła musi być szczelna, gdyż poduszka gazowa ogranicza kontakt wody z tlenem atmosferycznym, co eliminuje powstawanie żelazistego osadu na dnie obudowy i na powierzchni wody oraz osadzanie się pyłów zawartych w powietrzu. W przeszłości, w celu zabezpieczenia wody przed kontaktem z powietrzem, stosowano na przykład warstwę parafiny na powierzchni lustra wody. Niezależnie od sposobu ujęcia w większości przypadków są to bardzo ciekawe, unikatowe rozwiązania konstrukcyjne, stanowiące w dzisiejszych czasach zabytki nie tylko balneotechniki, ale ogólnie kultury materialnej i myśli technicznej. Niewielka i zmienna wydajność wypływów, rzadko przekraczająca $1 \text{ m}^3/\text{h}$, oraz wrażliwość wód źródłanych na zanieczyszczenia sprawiają, że aktualnie nie ujmuje się już nowych źródeł wód leczniczych w celu ich gospodarczego wykorzystania. Te położone w dogodnych lokalizacjach zagospodarowano na potrzeby wydobywania lub jako ogólnodostępne punkty czerpalne, pozostałe wypływają przeważnie w trudno dostępnym terenie co sprawia, że ich zagospodarowanie, przy wspomnianych wyżej ograniczeniach, z ekonomicznego punktu widzenia jest nieopłacalne.

Ciekawy sposób ujęcia wód leczniczych zastosowano w Rymanowie-Zdroju dla źródeł: Tytus, Klaudia i Celestyna. Wypływy wszystkich trzech źródeł znajdują się wewnątrz eliptycznego basenu położonego pod posadzką pijalni wód (fig. III.1). Woda, osobno z każdego z wypływów, przelewa się grawitacyjnie do basenu okalającego, w dnie którego znajduje się kolejne źródło Basenowe, a następnie grawitacyjnie odręb-

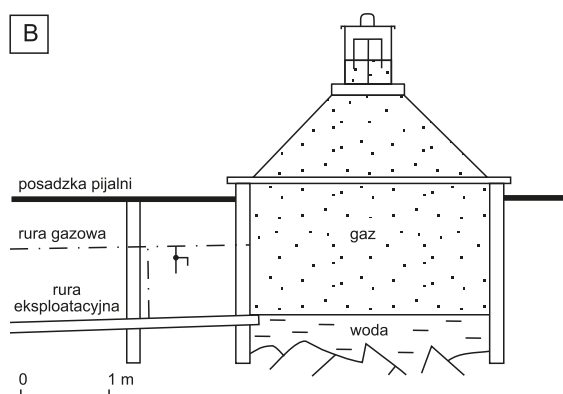
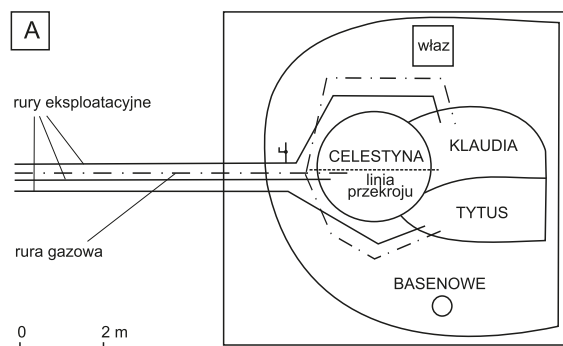


Fig. III.1. Obudowa basenowa źródeł Tytus, Klaudia i Celestyna w Rymanowie-Zdroju (na podst. Rafałskiego, 1994, z mod. autorów; fot. J. Sokołowski, 2007 r.)

A – plan, B – przekrój, C – widok ogólny

nymi przewodami stalowymi odpływa do podziemnych zbiorników magazynowych, wykonanych ze stali nierdzewnej, położonych około 20 m od pijalni (Jaworski, Uliasz, 2006). Grawitacyjny system wydobywania jest niezwykle istotną częścią całego ujęcia, gdyż musi on zabezpieczyć stały poziom przelewu we wszystkich trzech źródłach. Jedna obudowa znajduje się nad źródłem Celestyna, druga nad źródłami Tytus i Klaudia. Mają one formę ośmiobocznych stożków, ze względów estetycznych obłożonych drewnem, wspartych na stalowych płytach, dodatkowo na gumowych uszczelkach. Woda udostępniana do kuracji pitnej w samej pijalni jest czerpana ze zbiorników przepływowych zlokalizowanych na rurociągach grawitacyjnych za pomocą pompy i tłoczona do szklanych zbiorników zainstalowanych na ładzie, z których jest już dozowana bezpośrednio do pojemników kuracjuszy. Zbiorniki przepływowe służą też do wykonywania pomiarów stacjonarnych i pobierania próbek wody do analiz laboratoryjnych. Zbiorniki te są wykonane ze stali nierdzewnej i są wyposażone w króciec napływowy (przelew źródła), króciec przelewowy (przelew zbiornika), króciec gazowy (połączenie z przestrzenią gazową źródła) oraz króciec pompy hydroforowej.

Naturalne wypływy wód leczniczych są licznie eksploatowane w Szczawnie-Zdroju. Wszystkie rozciągają się wzdłuż doliny potoku Szczawnik na odcinku około 200 m i zostały ujęte w podziemiach budynków uzdrowiskowych: pijalni wód, zakładu przyrodoleczniczego, sanatorium i w korytarzu transportowym rozlewni wód. Łącznie stwierdzono tu 40 wypływów zgrupowanych w ośmiu zespołach, określanych nazwami: Mieszko, Dąbrówka, Młynarz, Ludwika, Marta, W Podwórcu, Apteczne i W Chodniku. Zostały one wykonane w latach 1908-1912 przez firmę A. Scherrer z Bad Ems. Są to ujęcia dzwonowe (fig. III.2), gazo- i wodoszczelne, o trzech, nieco zróz-

nicowanych typach, dzielących się na ujęcia: dzwonowe płytke, dzwonowe głębokie i ujęcia dzwonowe z wazą obserwacyjną (Fistek, Tęsiorska, 1969). Poszczególne dzwony, posadowione bezpośrednio na wypływach, wykonano z fosforobrazu, obudowano cegłą klinkierową oraz uszczelniono item lub blachą miedzianą.

Wody z obudowy wypływają samoczynnie wmontowanymi w dzwony przewodami wzniosowymi. Odkryte najwcześniej źródło Mieszko stanowi grupę dwunastu ujęć dzwonowych, zlokalizowanych w podziemnej części pijalni wód leczniczych, pod halą spacerową i pod przylegającą do nich częścią parku zdrojowego. Dziesięć z nich jest eksploatowanych w celach leczniczych, w tym dziewięć zbiorowo jako Mieszko i jedno wyodrębnione jako Mieszko 14. Pozostałe dwa wypływy ujmuje wody zwykłe i nie są eksploatowane. Z powodu różnej lokalizacji i rzędnej wypływu, każda z tych grup ma odrębny układ instalacji. Eksploatacja ujęć odbywa się samoczynnie, a woda odpływa przez stały (z wyjątkiem źródła Mieszko 14) przelew w ruze wzniosowej do wspólnego przewodu, a dalej do stanowiska rozlewniczego, gdzie następuje jej butelkowanie. Przyjęty w uzdrowisku system wydobywania (pobór z ustabilizowanych samowypływów) oraz transportu i wieloetapowego magazynowania wody zabezpiecza naturalne właściwości wód leczniczych oraz umożliwia racjonalne gospodarowanie bardzo małymi zasobami eksploatacyjnymi źródeł przez pełne wykorzystanie ich całodobowej, samoczynnej wydajności. Mimo ponad 100 lat wydobywania wód leczniczych, stan techniczny ujęć i instalacji jest dobry, dzięki zastosowaniu przy ich budowie odpowiednich materiałów (miedziane przewody i zbiorniki, armatura z brązu) oraz solidnemu wykonaniu prac.

Studnie kopane

Obecnie nie ma już w kraju ujęć wód leczniczych wykorzystujących studnie kopane, jednak jeszcze do niedawna wody kwasowęglowe ze złoża w Piwnicznej-Zdroju były udostępnione do wydobywania studnią kopaną Jakub. Studnię tę wykonano w 1982 r. sposobem gospo-

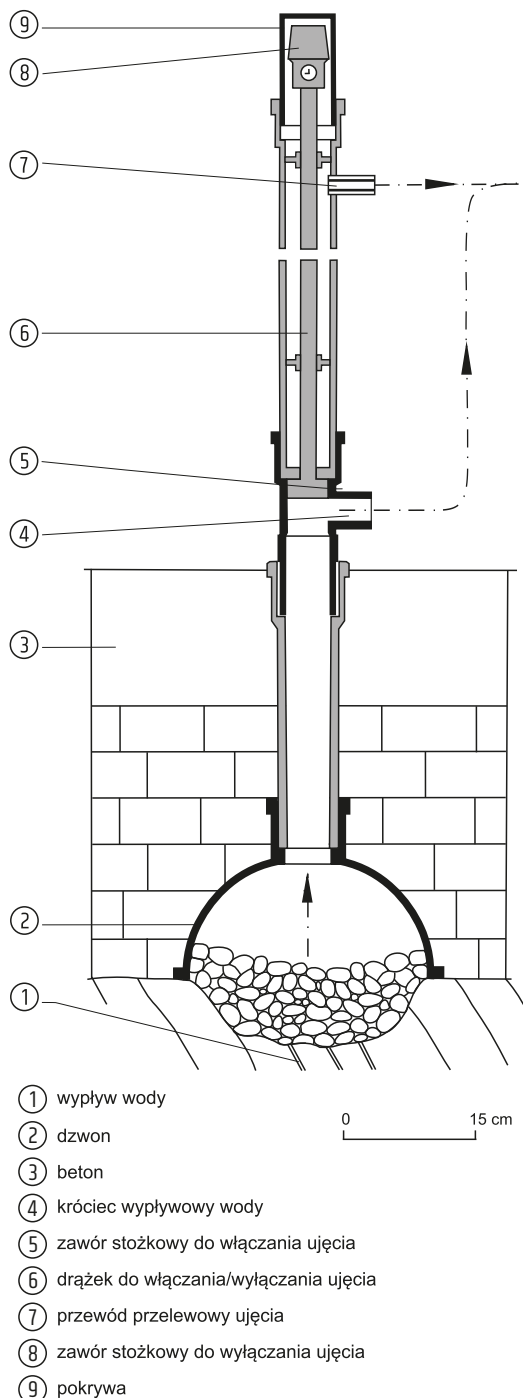


Fig. III.2. Obudowa dzwonowa źródła wód leczniczych w Szczawnie-Zdroju (na podst. Fistka i Tęsiorskiej, 1969, z mod. autorów)

darczym, ręcznie, przez ówczesny Zakład Butelkowania Wód Mineralnych Piwniczanka (obecnie Piwniczanka Spółdzielnia Pracy) do głębokości 8,0 m. W otworze zabudowano kręgi betonowe o średnicy 1,0 m, a dopływ wód odbywał się przez otwarte dno. Na ostatnim kręgu posadowiona była płyta żelbetowa, dodatkowo przykryta blaszaną pokrywą. Studnia była użytkowana do 1997 r., a wodę wykorzystywano do produkcji wody butelkowanej w okresach zwiększonego zapotrzebowania, przed uruchomieniem nowych ujęć wierconych: P-8, P-9 i P-11. Od 1998 r., do czasu jej likwidacji w 2012 r., studnia pełniła już tylko funkcję zakładowego punktu monitoringu. Studnię zlikwidowano poprzez wypełnienie item z dodatkiem kompaktonu do głębokości 2,0 m. Powyżej wyciągnięto kręgi i położono płytę żelbetową, pełniącą dotychczas funkcję pokrywy studni, na której zamieszczono nazwę otworu i datę jego likwidacji.

Studnie wiercone

Przedstawione powyżej rodzaje ujęć umożliwiają wydobywanie wód leczniczych występujących tuż pod powierzchnią ziemi. W celu udostępnienia do wydobycia głębszych warstw wodonośnych, konieczne jest wykonanie studni głębinowej. Zdarza się, że studnie głębinowe mogą piaszczyć i dostarczać pyły w zawiesinie, co na ogół jest związane ze zbyt dużą wydajnością chwilową. Zastosowane rozwiązania konstrukcyjne zapewniają przy tym ochronę ujętej warstwy wodonośnej poprzez jej szczelną izolację od powierzchni terenu i od innych poziomów wodonośnych. Studnie ujmujące wody lecznicze wykonuje się zarówno systemem obrotowym, jak i rzadko obecnie stosowanym udarowym. W słabo rozpoznanych, skomplikowanych systemach wodonośnych, o złożonych warunkach hydrogeologicznych, w celu ich szczegółowego rozpoznania w różnych strefach głębokościowych, z których następował dopływ wód do otworu, wykonywano studnie sposobem udarowym. Studnie wykonywane metodą udarową sięgały najczęściej do głębokości 200–300 m. Obecnie ten sposób wykonywania wierceń, niegdyś bardzo popularny w przypadku ujęć wód leczniczych, odchodzi do przeszłości, a jego miejsce zajmuje wiercenie na sprężone powietrze (płuczkę powietrzną) przy użyciu młotka węglanego. Stosuje się także metody łączone, polegające na wykonywaniu wiercenia metodą obrotową, a po osiągnięciu warstwy wodonośnej młotkiem węglanym. Ostatnim otworem ujmującym wody lecznicze wykonanym techniką udarową był odwiercony w 2010 r. w Lesie Winiarskim otwór LW-2 o głębokości 165 m. Wiercenia obrotowe, prowadzone na płuczkę wodną lub komponentową (np. polimerowo-bentonitową) za pomocą świrdrów gryzowych, są na ogół praktykowane przy poszukiwaniu wód leczniczych w strukturach odznaczających się dobrym rozpoznaniem warunków hydrogeologicznych, gdzie istniejące przesłanki pozwalają z dużym prawdopodobieństwem określić głębokość zalegania planowanej do ujęcia warstwy wodonośnej lub w przypadku głęboko występujących horyzontów wodonośnych, na przykład zmineralizowanych wód chlorkowych na Niżu Polskim.

Typowy otwór wiertniczy, niezależnie od metody wykonania, charakteryzuje się konstrukcją teleskopową, która umożliwia szczelne odcięcie przewiercanych warstw wodonośnych. Pierwszą kolumną rur, o największej średnicy, jest tzw. kolumna wstępna (konduktorowa), zazwyczaj o długości kilku–kilkunastu metrów i średnicy 245–610 mm, zacementowana do powierzchni terenu. Jej zadaniem jest zamknięcie wód w utworach przypowierzchniowych. Ilość i długość kolejnych kolumn rur osłonowych zależy od stwierdzonych warunków w trakcie wiercenia, przede wszystkim od stabilności ścian otworu i izolacji innych warstw/poziomów wodonośnych, które nie mogą być ujęte. Rury te mają przeważnie długość od kilkudziesięciu do ponad 200 m, są zazwyczaj wyprowadzone na powierzchnię terenu i zacementowane na całej długości, a ich średnica wynosi najczęściej 178–406 mm. Ostatnia kolumna może pełnić zarazem funkcję kolumny eksploatacyjnej, gdy w otworze jest zabudowany filtr tracony. W ujęciach wód leczniczych stosuje się typowe kolumny filtrowe, tracone lub wyprowadzone do obudowy studni, najczęściej ze stali szlachetnej (nierdzewnej) lub PVC (polichlorek winylu), z jedną lub kilkoma częściami roboczymi i obsypką żwirową (luźną lub w koszu). W zdecydowanej większości nowych otworów kolumny filtracyjne są wyposażone w filtr stalowy ze szczeliną ciągłą (filtr Johnsa), charakteryzujących się dużą powierzchnią filtracyjną, o średnicach od 115 do 165 mm. W starszych konstrukcjach przeważają kolumny filtrowe z typowych rur stalowych o średnicy 114–356 mm

z filtrami różnych rodzajów, na przykład żwirowo-okładzinowymi lub rurami perforowanymi (otwory, podłużne frezy) owiniętymi siatką, które zastąpiły stosowane dawniej filtry ceramiczne. W niektórych ujęciach, mimo ponad 100-letniej eksploatacji, spotyka się jeszcze rury miedziane (np. Wielka Pieniawa w Polanicy-Zdroju). W przypadku wyprowadzenia rury nadfiltrowej do powierzchni terenu, powstała przestrzeń pomiędzy kolumną rur osłonowych może być wypełniona obsypką piaskowo-żwirową z uszczelką w części przypowierzchniowej lub, w przypadku dużych ciśnień piezometrycznych, uszczelniona pakierem/korkiem kompaktynowym i zacementowana bądź wypełniona mieszkanką łożowo-cementową. W przypadku ujmowania wód o silnych właściwościach korozyjnych, na przykład wysoko zmineralizowanych wód chlorkowych lub wód siarczkowych, cała kolumna filtrowa lub jej wybrane elementy, na przykład filtr, mogą być wykonane z PCV. Polichlorek winylu jest w pełni odporny na agresywne działanie wód siarczkowych i pozwala wyeliminować zjawisko korozji chemicznej, jednak zaletą filtrów stalowych jest ich większa wytrzymałość, dlatego też zaleca się ich używanie w sytuacji zaciskania ścian otworu. W przypadku ujmowania wód silnie agresywnych, mimo niekiedy dużych głębokości otworów (ponad 200 m), rura nadfiltrowa jest wyprowadzana do powierzchni terenu, uniemożliwiając tym samym kontakt wód z kolumną rur osłonowych wykonaną ze zwykłej stali. W zależności od charakteru zwierciadła wody i wysokości ciśnienia złożowego lub hydrostatycznego, wody ze studni wierconych są wydobywane systemem pompowym przy użyciu pomp głębinowych, często wirowych (śrubowych) lub na samowypływie, ewentualnie samoczynnie (fig. III.3). W tym ostatnim przypadku wydajność otworu reguluje się, stosując zwężki ograniczające wypływ.

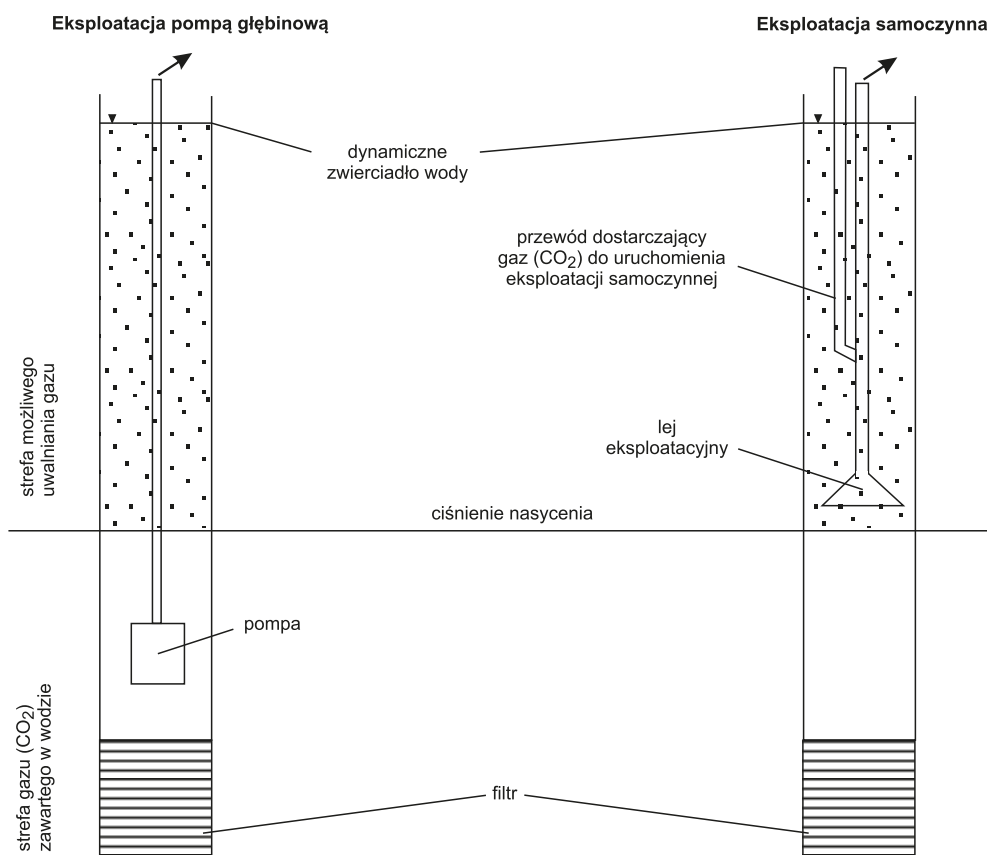


Fig. III.3. Sposoby wydobywania szczaw metodą otworową (na podst. Ciężkowskiego, 2002, z mod. autorów)

Różne bywa też usytuowanie komory pompowej, w zależności od głębokości zwierciadła wody i warunków panujących w otworze. Przykładowo w przypadku szczaw zaleca się umieszczanie pompy w rurze podfiltrowej lub międzyfiltrowej (poniżej ciśnienia nasycenia w strefie niezgazowanej), aby wyeliminować zasysanie przez nią wydobywającego się z wody dwutlenku węgla. W przypadku wód leczniczych zaleca się, aby pompa była zawieszona na linie stalowej z zabezpieczeniem PPE (polifenyloeter), a rura tłoczna była wykonana z HDPE (polietylen wysokiej gęstości), podobnie jak rurka piezometryczna do pomiarów głębokości zwierciadła wody. W sytuacji gdy zapotrzebowanie na wodę jest niewielkie, wysoko zmineralizowane wody chlorkowe mogą być wydobywane za pomocą żurawia pompowego, jak to ma miejsce na przykład w Zabłociu (otwór Korona) i Goczałkowicach-Zdroju. Kilka przykładów współcześnie stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych podano na figurze III.4.

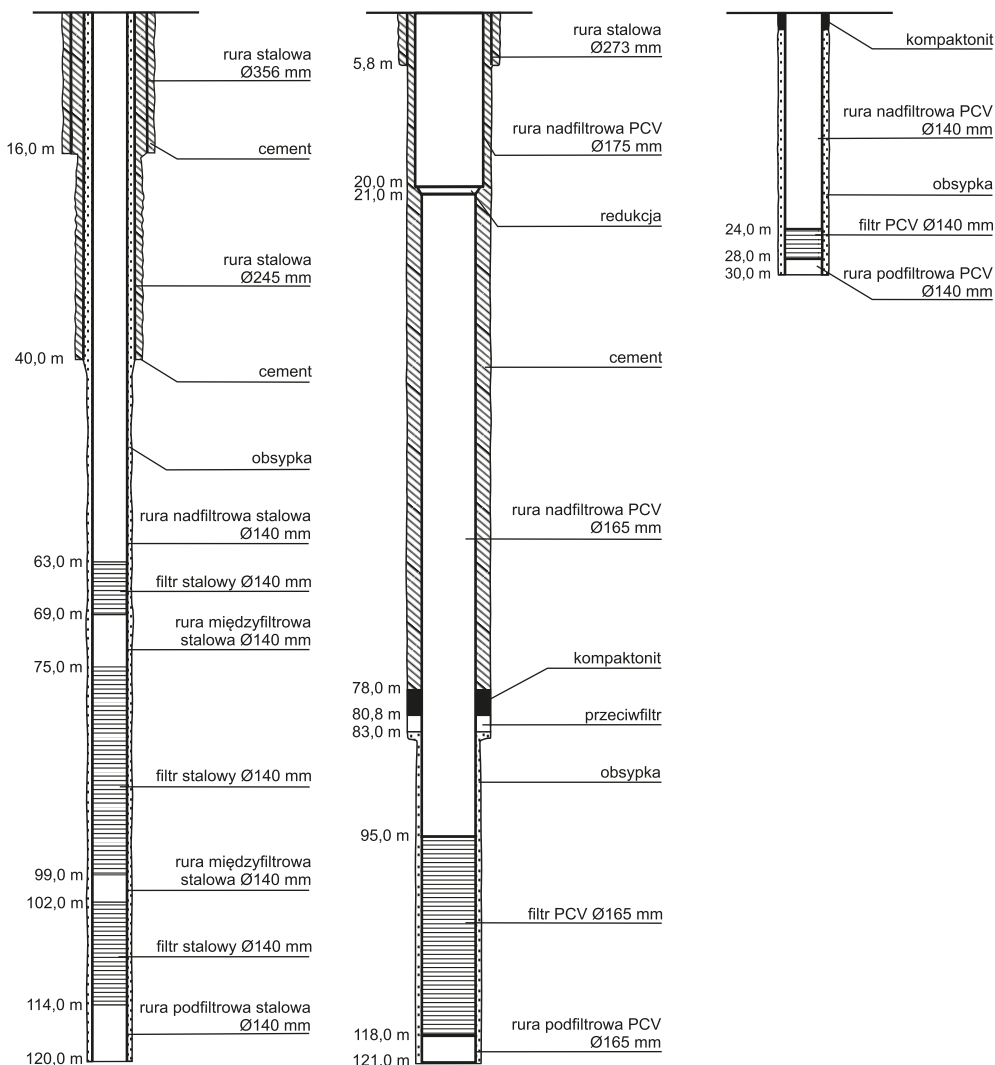


Fig. III.4. Typowe konstrukcje otworów wiertniczych ujmujących wody lecznicze

od lewej: otwór Damian w Muszynie (na podst. Józefko i in., 2018, z mod. autorów), otwór 9M w Gorzanowie (na podst. Ciężkowskiego i in., 2016a, z mod. autorów), otwór Misericordia w Krakowie (na podst. Józefko i in., 2017, z mod. autorów)

Zasoby eksploatacyjne pojedynczych otworów ujmujących wody lecznicze w ostatnich latach w Karpatach były ustalane w ilości do 10,0 m³/h (na ogół poniżej 5 m³/h), a więc niewielkich w porównaniu do zasobów zwykłych wód podziemnych. Większe wydajności eksploatacyjne uzyskano w zapadlisku przedkarpackim, Sudetach i na Niżu Polskim. W zlikwidowanych już płytkich otworach w Ciechocinku, o głębokości niewiele ponad 20 m, ujmujących wody lecznicze z osadów czwartorzędowych, wynosiły one 30–50 m³/h.

Głębokie otwory wiertnicze

Rolę ujęć wód leczniczych pełnią także głębokie otwory wiertnicze wykonane najczęściej przez Państwowy Instytut Geologiczny (tab. III.1). W porównaniu z podobnymi otworami wykonywanymi dla przemysłu naftowego odznaczają się one na ogół większą głębokością, większą średnicą, większym uzyskiem rdzenia i były lepiej opróbowane. Wynika to z faktu, że nie były to otwory poszukiwawcze za złożami węglowodorów, lecz badawczo-strukturalne, wykonywane w celu rozpoznania węgłnej budowy geologicznej kraju. Przewiercane w nich były poziomy wód, mogących mieć zastosowanie w balneoterapii, a kończyły się w słabo przepuszczalnych utworach położonych niżej. Część z nich po opróbowaniu była likwidowana poniżej perspektywicznej do zagospodarowania warstwy wodonośnej i po jej udostępnieniu była przekazywana uzdrowiskom. Niekiedy otwory te zlikwidowano całkowicie, by po latach poddać je gruntownej rekonstrukcji i udostępnić na potrzeby balneoterapii. Mimo że otwory te nie mają typowej konstrukcji studziennej, na ogół sprawdzają się jako ujęcia wód leczniczych, m.in. Połczyn IG-1, Ustron U-3 (d. IG-3), Ustka IGH-1, Sopot IG-1 (Źródło Świętego Wojciecha), Polańczyk IG-1 i IG-2, Warszawa IG-1 (uzdrowisko Konstancin-Jeziorna), Rabka IG-2 i Grudziądz IG-1 (miejsc. Marusza). W wielu innych miejscowościach są to tzw. otwory zastawione, tzn. mające ustalone zasoby eksploatacyjne i częściowe uzbrojenie, jednak niezagospodarowane, na przykład Trzebnica IG-1, Łągowo Lubuski IG-1, Wilga IG-1 (miejsc. Sobienie Kiełczewskie), Odra-5/1 Lech (miejsc. Grabin), Krynica Morska IG-1, Jaworze IG-1 i IG-2, Frombork IGH-1 (fig. III.5), Piła IG-1, Jamno IG-3, Kamień Pomorski IG-1, Rabka IG-1.

Ze względu na to, że otwory te były wykonywane do celów badawczych, pod względem konstrukcyjnym nie są optymalnie przystosowane do wydobywania wód leczniczych, m.in. sposób ich zafiltrowania nie pozwala na wykorzystanie w pełni zasobów złoża. W przypadku wysoko zmineralizowanych wód chlorkowych, jodkowych do zaspokojenia potrzeb uzdrowiska wystarcza już wydajność na poziomie kilku metrów sześciennych na godzinę, dlatego też ujęcia tego typu doskonale sprawdzają się na Niżu Polskim, gdzie udostępnienie do wydobywania poziomów zalegających na głębokości 2000–3000 m jest niezwykle kosztowne. Do tej grupy ujęć zalicza się także otwory Korona i Tadeusz w Zabłociu, o głębokości odpowiednio 671 i 745 m. Wykonano je jako otwory poszukiwawcze za węglem kamiennym i gazem ziemnym, jednak z uwagi na erupcje metanu, zalano je wysoko zmineralizowanymi wodami złożowymi i przekazano do wydobywania wód leczniczych. Pobór wody odbywa się z niewielką wydajnością, tak aby nie dopuścić do



Fig. III.5. Niezagospodarowany otwór Frombork IGH-1 z niekontrolowanym wypływem wody w 2013 r. (fot. J. Sokołowski, 2013 r.)

Tab. III.1. Zafiltrowanie i parametry eksploatacyjne wybranych głębokich otworów wiertniczych ujmujących wody lecznicze (na podst. Banku Danych Wód Podziemnych Zaliczonych do Kopalin)

Nazwa otworu	Rok wykonania	Głęb. maks. [m]	Głęb. ostat. [m]	Sposób ujęcia	Głęb. zafiltr. [m]	Średnica filtra [mm]	Wyd. ekspl. [m³/h]	Depresja [m]
Ujęcia czynne								
Półczyn IG-1	1965	2705,0	1248,1	rura perforowana	1190-1235	244	2,80	50,0
Ustroń U-3 (d. IG-3)	1972	1837,0	1764,0	rura perforowana	1550-1600 1730-1740	168	6,00	3,0
Ustka IGH-1	1979	730,0	715,0	filtr Johnsona (poprzednio filtr siatkowy)	680-700	114	12,00	10,0
Sopot IG-1 (zr. Św. Wojciecha)	1972	1173,0	839,0	rura perforowana	800-833	168	44,00	15,8
Polańczyk IG-1	1972	1144,0	1144,0	rura perforowana	710-840	168	0,50	420,0
Polańczyk IG-2	1978	1000,0	1000,0	rura perforowana	692-722 921-951	168	0,25	170,6
Warszawa IG-1	1965	2663,0	1750,0	rura perforowana	1536-1750	244	9,12	4,9
Rabka IG-2	1981	1215,0	1215,0	rura perforowana	1194-1215	123	4,50	0,0
Grudziądz IG-1	1972	3070,5	1700,0	rura perforowana	1607-1630	168	20,00	23,0
Ujęcia nieczynne								
Trzebnica IG-1	1974	1350,0	1299,6	rura perforowana	1077-1259	168	6,00	33,0
Łągow Lubuski IG-1	1973	1210,0	749,3	rura perforowana	613-713	168	5,00	1,0
Wilga IG-1	1975	3552,0	1680,0	rura perforowana	1566-1578	244	20,00	23,0
Odra-5/1 Lech	1983	545,0	545,0	otwór bosy	404-545	112, 132, 216	19,00	nie określono
Krynica Morska IG-1	1969	1800,0	894,0	filtr Johnsona (poprzednio otwór bosy)	865-885	114	1,00	12,8
Jaworze IG-1	1979	1525,0	1525,0	rura perforowana	1170-1216 1309-1432	168	0,90	375,0
Jaworze IG-2	1980	1650,0	1650,0	rura perforowana	1565-1642	114	4,00	1,0
Frombork IGH-1	1979	1047,0	972,0	rura perforowana	802-813 826-867 934-958	114	20,00	13,5
Piła IG-1	1984	1048,0	1048,0	rura perforowana	997-1048	244	15,70	27,0
Jamno IG-3	1965	2200,0	2200,0	rura perforowana	875-895	168	5,40	21,6
Kamień Pomorski IG-1	1965	2810,5	1150,5	brak danych	977-1035	160	1,40	70,0
Rabka IG-1	1973	967,1	260,0	rura perforowana	181-248	244	1,00	93,0

nadmiernego obniżenia słupa wody i spowodowania ryzyka kolejnych erupcji.

Głębokie otwory wiertnicze pełniące funkcję ujęć wód leczniczych są otworami pionowymi, wykonanymi metodą obrotową w technologii rur stalowych, a ich typowa konstrukcja składa się z kolumny wstępnej, kolumny przewodnikowej, kolumny technicznej (zazwyczaj kilku) i kolumny eksploatacyjnej, którą stanowi na ogół ostatnia kolumna rur technicznych, perforowana w części złożowej (fig. III.6). W przypadku dużej stabilności ścian otworu spotyka się tzw. otwory „bose”. Szczeliny powstałe w wyniku perforacji bezpoiskowej umożliwiają dopływ wód do otworu, jednak taki sposób ujęcia, często przy nie w pełni skutecznej perforacji sprawia, że uzyskiwane wydajności są bardzo małe. Liczba kolumn technicznych, zamykających strefy dopływów dużych ilości wód oraz interwały utrudniające wiercenie, objawiające się na przykład zanikiem płuczki lub sypaniem ścian, zależy od warunków stwierdzonych w trakcie wiercenia. Wszystkie kolumny rur mogą być wyprowadzone do powierzchni terenu lub kolumna eksploatacyjna może być ucięta i zacementowana na zakładkę z kolumną techniczną w celu utworzenia komory pompowej (fig. III.7). Średnice perforowanych rur okładzinowych pełniących funkcję kolumny filtrowej najczęściej pozostają w przedziale 168–244 mm. Ujęcia te, jeżeli nie mają samowypływu, są eksploatowane zazwyczaj pompą głębinową na stałym przewoździe wykonanym ze stali nierdzewnej.

Likwidacja głębokich otworów po zakończeniu wiercenia polegała na wypełnieniu zaczynem uszczelniającym (np. płuczką wiertniczą) otwartych do badań interwałów, a następnie wykonaniu powyżej korka uszczelniającego, najczęściej cementowego. Rzadziej zapinano korek mechaniczny BOA (tzw. korek śmiertelny). Większość z obecnie istniejących tego typu ujęć wód leczniczych to głębokie otwory poddane częściowej rekonstrukcji.

Problemy eksploatacyjne sprawiły, że niektóre z tych otworów wymagały kolejnych rekonstrukcji. W 1979 r. w Ustce wykonano otwór wiertniczy Ustka IGH-1 o głębokości 715 m

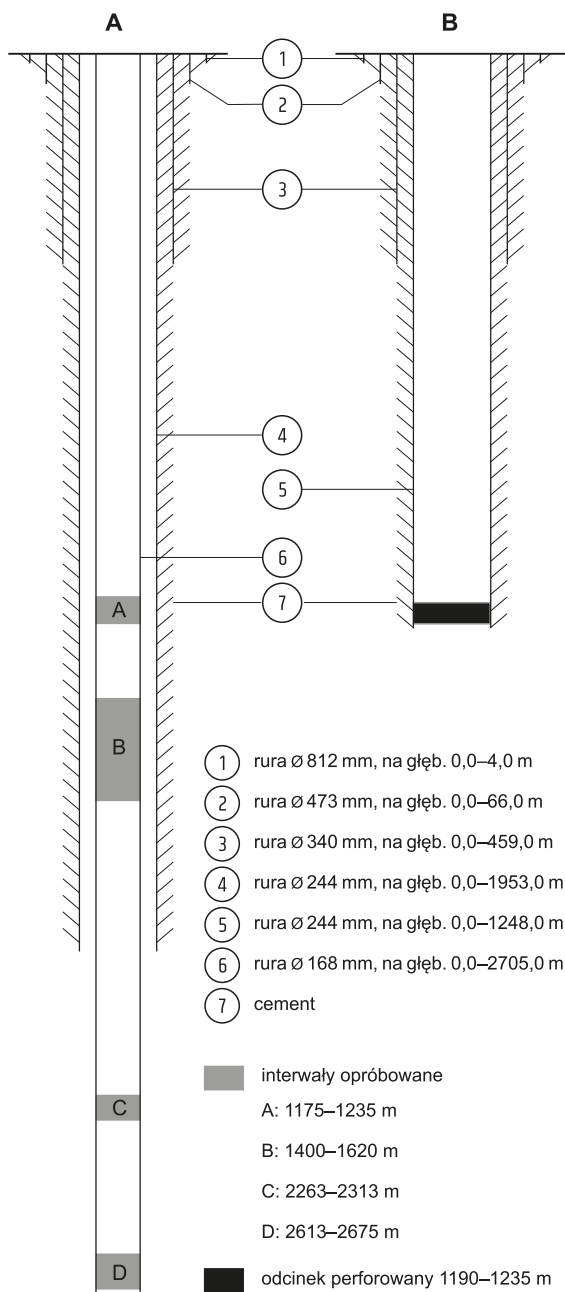


Fig. III.6. Typowa konstrukcja głębokiego otworu wiertniczego ujmującego wody lecznicze na przykładzie otworu Połczyn IG-1

A – stan pierwotny, B – stan po częściowej likwidacji i przekazaniu do wydobywania (na podst. Banku Danych Wód Podziemnych Zaliczonych do Kopalin)

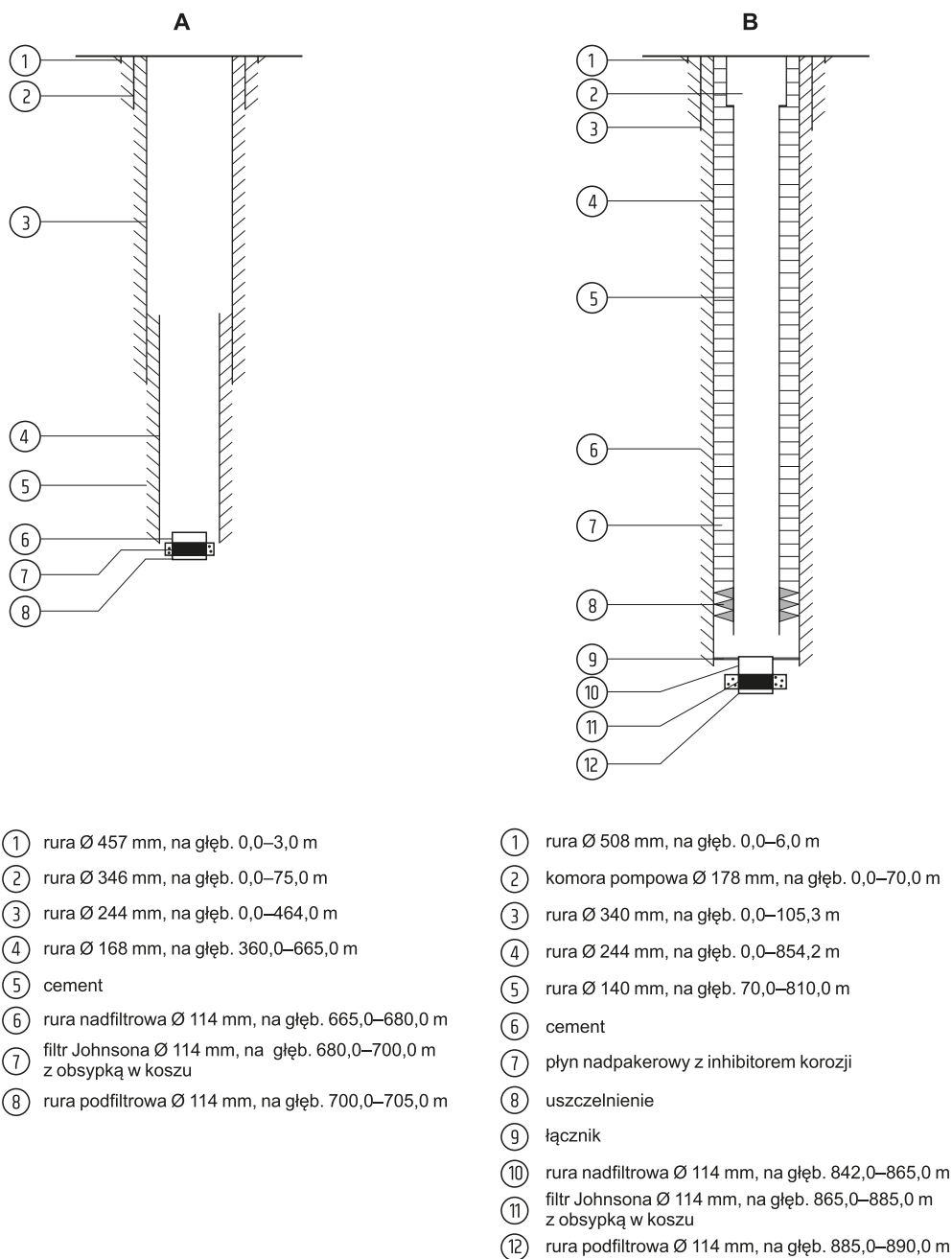
w celu ujęcia wód leczniczych z utworów permu. Była to typowa konstrukcja teleskopowa, jednak z uwagi na hydrogeologiczny charakter otworu (człon IGH w nazwie), została do niego zapuszczona tracona kolumna filtrowa o średnicy 127 mm, wyposażona w filtr siatkowy o średnicy 102 mm. Zasoby eksploatacyjne ujęcia zatwierdzono w ilości 31,0 m³/h przy depresji 19,0 m. W 2008 r., wskutek niemal całkowitego zaniku wydajności (0,5 m³/h) oraz zasypu do głębokości 654 m, podjęto decyzję o rekonstrukcji otworu. Po wykonanych w 2015 r. pracach ujęcie odzyskało możliwości produkcyjne z wydajnością eksploatacyjną 12,0 m³/h przy depresji 10,0 m. Przyczyną spadku wydajności było obniżenie się filtra pod własnym ciężarem, na skutek czego niemal w całości znalazł się on w obrębie iłowców syluru. Po rekonstrukcji w otworze zabudowano filtr Johnsa ze stali kwasoodpornej o średnicy 73 mm z koszem na obsypkę w postaci szklanych kulek (średnica wraz z obsypką 114 mm), postawiony na poduszce żwirowej o grubości 10 m (fig. III.7).

Podobną rekonstrukcję, choć o znacznie większym zakresie prac niż w Ustce, przeprowadzono w 2013 r. w otworze Krynica Morska IG-1, wykonanym w 1969 r. Pierwotna głębokość otworu wynosiła 1800 m, a po jego częściowej likwidacji, umożliwiającą ujęcie wód leczniczych z utworów triasu – 894 m. Zasoby eksploatacyjne ujęcia ustalono początkowo na 44,7 m³/h, przy depresji 38,0 m. Otwór nie był dotychczas eksploatowany, jednak w związku z planowanym jego uruchomieniem podjęto decyzję o przeprowadzeniu rekonstrukcji. W wyniku wykonanych prac do otworu zapuszczono nową kolumnę eksploatacyjną z włókna szklanego (*fiberglass*) o średnicy 140 mm, w głębokości 0–70 m poszerzoną do 178 mm, w celu stworzenia komory pompowej. Kolumna ta o długości 810 m została podwieszona w wieżbie zamontowanej na głowicy, co było możliwe dzięki jej niewielkiej wadze. Na kolumnie zamocowano uszczelniacze, a powstałą przestrzeń między rurami 244 mm wypełniono płynem nadpakerowym z dodatkiem inhibitora korozji z domieszką mleczka bentonitowego. Otwór zabudowano kolumną filtracyjną z denkiem o średnicy 114 mm ze stali kwasoodpornej, w której część roboczą stanowi filtr Johnsa z obsypką filtracyjną w koszu, postawiony na podsypce żwirowej (fig. III.7). Zaktualizowane zasoby eksploatacyjne ujęcia wynoszą 1,0 m³/h przy depresji 12,8 m i są znacznie niższe niż wydajności uzyskane podczas próbnego pompowania, jednak zapewniają brak wpływu ewentualnego wydobywania na wody piętra czwartorzędowego oraz nie powodują zagrożenia ingresją wód morskich.

Nie sposób przytoczyć wszystkich rozwiązań technicznych spotykanych podczas rekonstrukcji otworów. Każdorazowo zależą one od stanu technicznego ujęć i zakładanych efektów prac renowacyjnych. W przypadku gdy w ścianach rur znajdują się metalowe elementy grożące uszkodzeniem filtra podczas jego zapuszczania, można siatkę filtracyjną zabezpieczyć ochronnym płaszczem nylonowym lub zmniejszyć średnicę filtra, nawet do 79 mm. Zmniejszenie średnicy filtra może się okazać konieczne także w sytuacji gdy zły stan techniczny rur w części przypowierzchniowej wymusi zapuszczenie do otworu dodatkowej kolumny, uszczelnionej pakierem.

Zasadniczą wadą głębokich otworów wiertniczych jest ich wykonanie ze zwykłych rur stalowych. Najczęściej ujmują one wysoko zmineralizowane wody chlorkowe, co sprawia, że bardzo szybko następuje pogorszenie stanu technicznego zarurowania wskutek postępującej korozji. Dlatego w ostatnich latach podczas rekonstrukcji coraz częściej, wzorem rozwiązań stosowanych w otworach geotermalnych (Biernat i in., 2012), w tego typu otworach instaluje się rury z TWS (tworzyw sztucznych wzmacnianych włóknem szklanym) lub HDPE.

Głębokie otwory wiertnicze wykonane w celu ujęcia wód leczniczych mają konstrukcję zbliżoną do tradycyjnych studni wierconych, przy czym z uwagi na głębokość i warunki panujące w złożu (wysokie ciśnienie złożowe i temperatura) stosuje się w nich rozwiązania sprawdzone podczas wykonywania głębokich otworów wiertniczych. Instaluje się w nich filtry odporne na warunki panujące na większych głębokościach, które w praktyce spełnia jedynie filtr Johnsa ze stali nierdzewnej. W Gołdapi w 2010 r. wykonano dwa otwory wiertnicze: GZ-1 o głębokości 647 m, ujmujący warstwę wodonośną jury dolnej i środkowej oraz GZ-2 o głębokości 426 m zafiltrowany w utworach kredy. W otworze GZ-1 pierwszą kolumnę rur o średnicy 473 mm, zacementowaną na całej długości, postawiono na głębokości 40 m. Również do powierzchni terenu zacementowano następną kolumnę rur 340 mm, posadowioną na głębokości 352 m. Ostatnia kolumna



**Fig. III.7. Przykłady rekonstrukcji głębokich otworów wiertniczych ujmujących wody lecznicze
(na podst. Banku Danych Wód Podziemnych Zaliczonych do Kopalin)**

A – otwór Ustka IG-1, B – otwór Krynica Morska IG-1

244 mm została postawiona na głębokości 628 m w korku cementowym o długości 158 m. W otworze zawieszono kolumnę filtrową ze stali nierdzewnej z filtrem Johnsona o średnicy 168 mm, wokół której wykonano obsypkę żwirową. Konstrukcja drugiego otworu jest podobna, z tym że z racji mniejszej głębokości składa się on tylko z dwóch kolumn rur technicznych. Spotyka się również filtry PCV o mniejszej średnicy, wynoszącej 114 mm, na przykład w ujęciu Edward III w Kamieniu Pomorskim.

Ujęcia górnicze (szyby, sztolnie)

Ujęcia górnicze, składające się z wyrobisk w postaci szybów i sztolni, z których często wyprowadzono dodatkowo otwory wiertnicze, są niezwykle interesującym sposobem wydobywania wód leczniczych. Wykorzystują one pozostałości dawnych prac górniczych, związanych z poszukiwaniem rud metali, soli kamiennej, siarki lub łupków alunowych (w Długopolu-Zdroju), albo też – z uwagi na panujące warunki geologiczne – wykonano je specjalnie w celu ujęcia wód leczniczych, na przykład w Szczawnicy.

Szyby górnicze pełniące obecnie rolę ujęć wód leczniczych są spotykane m.in. w rejonie Buska-Zdroju i Solca-Zdroju. Ich powstanie było związane z poszukiwaniem na tych terenach soli kamiennej pod koniec XVIII w. W niektórych przypadkach uzyskiwano jednak, zamiast soli, dopływy silnie zmineralizowanych wód. Wiele z tych szybów uległo zasypaniu i nie przetrwało do czasów dzisiejszych, jednak ich dawną lokalizację wskazują wycieki wód (Owczary, Szczerbaków). Niektóre z szybów istnieją nadal, lecz nie są zagospodarowane, jak na przykład szyb w Gadawie. Jest on często wykorzystywany do prowadzenia obserwacji podczas dokumentowania zasobów eksploatacyjnych i dyspozycyjnych okolicznych złóż. Jeden z takich szybów, z uwagi na lokalizację w Solcu-Zdroju, przetrwał do dziś i stanowi ujęcie wód leczniczych wydobywanych na potrzeby uzdrowiska. Ujęcie o nazwie Szyb Solecki było drążone za pomocą materiałów wybuchowych w latach 1815–1818, a jego pierwotna głębokość wynosiła 87,7 m (według niektórych danych jego głębienie rozpoczęto w 1826 r., a głębokość wynosiła 88,5 m). Szyb miał wymiary $3,5 \times 1,8$ m, a jego ściany były na odcinkach zbudowanych ze skał słabo związanych wzmocnione kamienną obudową (Gałulski i in., 2019). Dodatkowo w jego dnie wykonano otwór wiertniczy o głębokości 34,5 m. W 1926 r. szyb pogłębiono do głębokości 91,5 m, a następnie w jego dnie wykonano odwiert do głębokości 143 m (wg innych źródeł 145 m). Średnica otworu wynosiła wówczas 76 mm. W latach 1935–1936 otwór ten pogłębiono i osiągnięto ostateczną, aktualną głębokość 170 m. Średnica otworu, po wymianie obudowy szybu w latach 1958–1959 i poszerzeniu otworu, wynosi 137 mm. Do szybu zapuszczono stalową kolumnę filtrową z częścią roboczą w postaci rury perforowanej w interwale 120–150 m. Szyb ma ustalone zasoby eksploatacyjne w wysokości $0,456 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji 30,2 m i cały czas jest eksploatowany.

Ciekawy przykład sztuki górniczej stanowią ujęcia wód leczniczych Jan i Pitoniakówka w Szczawnicy. Ujęcie Jan to pionowy otwór wiertniczy o głębokości 32,8 m, wykonany w miejscu historycznego źródła o tej samej nazwie. Znajduje się on w komorze szybowej, na końcu sztolni poprowadzonej pod zboczami Bryjarki (fig. III.8). Długość sztolni wynosi około 80 m, a posadzka komory szybowej jest położona na głębokości około 8 m (Józefko, Bielec, 2002). W odległości zaledwie 45 cm od otworu Jan jest usytuowane ujęcie Jan-14, rozpoznane w trakcie głębienia szybu. Woda wypływa poprzez warstwę żwiru, obmurowaną ceglano-betonową obudową, a następnie rurą wzniosową, perforowaną w dolnej części, do komory eksploatacyjnej. Ujęcie Pitoniakówka składa się z szybu o średnicy wewnętrznej 3,3 m i głębokości 15,5 m (fig. III.8) oraz dwóch chodników: wschodniego i południowego, podzielonych na siedem odrębnych komór. Z ostatniej komory chodnika wschodniego są wyprowadzone trzy otwory kierunkowe $\varnothing \frac{3}{4}"$ o długości od 10 do 20 m. Podobnie jak w przypadku ujęcia Jan, obecna konstrukcja znajduje się w miejscu naturalnego źródła, ujętego prowizorycznie w okresie międzywojennym. Rekonstrukcje obydwu opisanych ujęć metodami górniczymi wykonano pod koniec lat 60. XX w. Ujęcia wód leczniczych w formie sztolni znajdują się także w Długopolu-Zdroju (źródła Emilia, Kazimierz i Renata) i Krakowie-Swoszowicach, w którym źródło Napoleon jest wylotem sztolni odwodnieniowej starej kopalni siarki.



Fig. III.8. Ujęcia górnicze wód leczniczych w Szczawnicy
z lewej – Jan, z prawej – Pitoniakówka (fot. R. Majewski, 2017 r.)

Wypływy w wyrobiskach podziemnych

W 2014 r. udokumentowano po raz pierwszy w Polsce zasoby eksploatacyjne wód leczniczych z wypływu znajdującego się w podziemnym wyrobisku poeksploatacyjnym, w nieczynnej Kopalni Soli „Wieliczka” (Witczak i in., 2014). Zabytkowa kopalnia funkcjonuje obecnie jako obiekt turystyczny, muzealny i uzdrowiskowy – jedyne w Polsce podziemne uzdrowisko. Dzisiejsza działalność górnicza kopalni polega na zabezpieczeniu i utrzymaniu zabytkowych wyrobisk i likwidacji tych niewykorzystywanych. Jednym z większych problemów, obok dopływu wód powierzchniowych, z którymi musiała mierzyć się kopalnia w trakcie prowadzenia działalności górniczej, był dopływ do wyrobisk wód podziemnych. Wody te są cały czas odpompowywane, a następnie – z racji wysokiej mineralizacji – wykorzystywane głównie do produkcji soli. W 2013 r. wody z jednego z wypływów o nazwie W-VII-16 uznano za lecznicze (d’Obryn, Rajchel, 2015).

Wypływ W-VII-16 znajduje się na poziomie VII (na głębokości około 250 m) w zachodniej części kopalni, w komorze Layer (dawniej Fornalska-2), w odległości około 350 m na zachód od głównego szybu Kinga. Komora powstała w wyniku wybrania soli spiżowych, występujących w otoczeniu serii siarczanowej, z której następuje wypływ, i z utworów warstw chodenickich wykształconych w facji piaszczystej. Po nieudanych próbach zatamowania dopływu, stwierdzonego w 1972 r., podjęto decyzję o jego trwałym ujęciu w chodniku. Obecne ujęcie powstało w 1991 r. wskutek przebudowy chodnika. Znajduje się w wykonanej w komorze tamie podporowej z chodnikiem tubingowym, umożliwiającym dostęp do wypływu. Woda wypływa swobodnie z przestrzeni pomiędzy skałami a obudową chodnika, wypełnionej otoczkami, do metalowego leja umieszczonego pod stropem chodnika, w jego końcowej części. Następnie woda jest odprowadzana grawitacyjnie rurociągiem odwadniającym do osadnika, znajdującego się w pochylni przy komorze, skąd kolejnym rurociągiem przez otwór technologiczny jest przekazywana do podłuzni Biliński na poziom VIII kopalni. Tam jest gromadzona w zbiornikach usytuowanych w poprzeczni Biliński 3. Ze zbiorników woda jest pompowana na powierzchnię terenu rurociągiem poprowadzonym w chodniku obejściowym z komory VIII/15 do szybu Kościuszko. Pod względem konstrukcyjnym i technicznym opisany wypływ jest ujęty niemal identycznie, jak ma to miejsce w przypadku źródeł. Woda wypływa w sposób naturalny i jest odbierana grawitacyjnie, bez wpływu na warunki hydrodynamiczne panujące w złożu. Zasoby eksploatacyjne ujęcia wód leczniczych ustalono w wysokości 8,3 m³/h.

ROLA DOZORU GEOLOGICZNEGO

Obowiązki dozoru geologicznego podczas wykonywania ujęć wód leczniczych są zbliżone do obowiązków wykonywanych podczas innych wierceń hydrogeologicznych i zostały szeroko omówione w literaturze (Gonet i in., 2011), dlatego też w niniejszym dodatku przedstawiono je w ogólnej formie. Prace geologiczne mogą być dozorowane i kierowane tylko przez osoby posiadające odpowiednie kwalifikacje ogólne i zawodowe, określone w ustawie PGiG. Funkcję dozoru sprawuje uprawniony hydrogeolog lub uprawniony geolog górniczy. Hydrogeolog posiadający uprawnienia kategorii IV może kierować całością prac geologicznych, czyli sprawować funkcję nadzoru geologicznego.

Przed przystąpieniem do robót wiertniczych oraz w trakcie ich trwania i podczas badań hydrogeologicznych sporządzane są następujące dokumenty:

- zgłoszenie zamiaru przystąpienia do wykonywania robót geologicznych;
- protokół lokalizacji otworu wiertniczego;
- dziennik wiertniczy;
- karta otworu wiertniczego (robocze zbiorcze zestawienie wyników wiercenia);
- protokół orurowania otworu;
- protokół cementacji rur okładzinowych;
- protokół badania skuteczności zamknięcia warstwy wodonośnej;
- projekt konstrukcji kolumny filtrowej;
- protokół odbioru i zabudowy filtra w otworze;
- dziennik próbnego pompowania pomiarowego;
- protokół pobrania próbek wody do badań;
- protokół likwidacji otworu wiertniczego.

Wyżej wymienione protokoły zamieszczono w końcowej części niniejszego dodatku.

Do najważniejszych zadań dozoru i nadzoru geologicznego podczas wiercenia otworu należy:

- szczegółowa obserwacja i wnikliwa analiza przebiegu wiercenia;
- korygowanie zatwierdzonego projektu robót geologicznych w dostosowaniu do bieżących wyników wiercenia w granicach upoważnienia zawartego w projekcie;
- zgłaszanie kierownikowi prac potrzeby ewentualnych zmian projektu w nawiązaniu do stwierdzonych rzeczywistych warunków hydrogeologicznych;
- przeprowadzanie badań, pomiarów i obserwacji geologicznych przewidzianych do wykonania w trakcie realizacji robót;
- sporządzanie profilu geologiczno-technicznego przewiercanych warstw i notowanie wszelkich spostrzeżeń geologicznych w czasie ich prowadzenia;
- nadzór i badania hydrogeologiczne w czasie wiercenia.

W szczególności nadzór geologiczny jest odpowiedzialny za:

- pobieranie próbek skał, zgodnie z zatwierdzonym projektem robót geologicznych i ustawą PGiG;
- oznaczanie i opis makroskopowy próbek skalnych;
- dozór przechowywania próbek na terenie wiertni;
- transport próbek;
- likwidację próbek;
- pomiary głębokości otworu w czasie wiercenia;
- pomiary zwierciadła wody w otworze;
- pomiary parametrów fizyczno-chemicznych płuczki (płynu w otworze) podczas wiercenia (brak szczegółowej analizy wyników badań uzyskanych podczas wiercenia skutkuje złym wyborem odcinków warstwy wodonośnej do zafiltrowania);
- podejmowanie decyzji o zamykaniu poziomów wodonośnych (głębokości postawienia rur osłonowych);

- podejmowanie decyzji o zakończeniu wiercenia i osiągnięciu, bądź nie, celu projektowanych robót;
- dozór rurowania i zamykania wód w strefie nie objętej filtrowaniem;
- szczegółowe zwymiarowanie filtra na podstawie stwierdzonego profilu geologicznego, parametrów wiercenia i warunków hydrogeologicznych (np. zmniejszenie średnicy filtra jeżeli duża krzywizna otworu lub ewentualne przeszkody w otworze grożą uszkodzeniem części roboczej lub rezygnacja z filtra stalowego na rzecz wykonanego z bardziej elastycznego materiału, mogącego dostosować się do nierówności ścian otworu);
- nadzór nad zapuszczaniem filtra do otworu i wykonywaniem obsypki żwirowej;
- nadzór próbnego pompowania pomiarowego (m.in. podejmowanie decyzji o czasie trwania pompowania);
- pomiary parametrów fizyczno-chemicznych wody w trakcie pompowania, temperatury powietrza i ciśnienia atmosferycznego (w tym prowadzenie pomiarów zwierciadła wody w otworach obserwacyjnych w celu stwierdzenia oddziaływania i podjęcia decyzji o konieczności przeprowadzenia pompowania zespołowego);
- pobieranie próbek wody do badań fizyczno-chemicznych;
- pobieranie próbek wody do badań mikrobiologicznych;
- pobieranie próbek wody do badań specjalnych;
- nadzór likwidacji otworu negatywnego;
- sporządzanie protokołów z nadzorowanych czynności (zaleca się, aby najważniejsze protokoły stanowiły załącznik do dokumentacji hydrogeologicznej) i komisyjne ich przyjęcie.

Przed przystąpieniem do robót geologicznych wykonawca (w praktyce nadzór geologiczny) jest zobowiązany do zgłoszenia zamiaru przystąpienia do wykonania robót. Zgodnie z ustawą PGiG ten, kto uzyskał decyzję o zatwierdzeniu projektu robót geologicznych, zgłasza zamiar rozpoczęcia robót geologicznych:

- właściwemu organowi administracji geologicznej;
- wójtowi (burmistrzowi, prezydentowi miasta), a na obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej – terenowemu organowi administracji morskiej;
- organowi nadzoru górniczego – jeżeli do robót geologicznych stosuje się wymagania dotyczące ruchu zakładu górniczego.

Zgłoszenia dokonuje się na piśmie, najpóźniej na 14 dni przed zamierzonym terminem rozpoczęcia robót geologicznych, określając zamierzone terminy rozpoczęcia i zakończenia robót geologicznych, ich rodzaj i podstawowe dane dotyczące robót geologicznych oraz imiona i nazwiska osób sprawujących dozór i kierownictwo, a także numery świadectw stwierdzających kwalifikacje do wykonywania tych czynności. Zaleca się, aby zgłoszenia dokonać w terminie wcześniejszym, tak aby jego doręczenie następowało w terminie 14 dni przed rozpoczęciem robót geologicznych.

Podmiot, który uzyskał decyzję zatwierdzającą projekt robót geologicznych, zawiadamia na piśmie właściwy organ administracji geologicznej (marszałka województwa) i PSG, ewentualnie organ nadzoru górniczego jeżeli do robót geologicznych stosuje się wymagania dotyczące zakładu górniczego, o zamiarze pobrania próbek w wyniku robót geologicznych, zgodnie z zapisami ustawy PGiG. Zawiadomienie takie należy wykonać w terminie 14 dni przed datą zamierzonego pobrania tych próbek. Wynika to z faktu, że ten, kto wykonuje roboty geologiczne na podstawie decyzji o zatwierdzeniu projektu robót geologicznych, ma obowiązek bieżącego dokumentowania przebiegu prac geologicznych oraz ich wyników. Wykonawca robót geologicznych w celu poszukiwania i rozpoznawania złóż wód leczniczych ma obowiązek bieżącego przekazywania PSG:

- danych geologicznych uzyskanych w wyniku prac geologicznych, w tym robót geologicznych;
- próbek uzyskanych w wyniku robót geologicznych w zakresie określonym w decyzji zatwierdzającej projekt robót geologicznych i wyników badań tych próbek.

Zakres przekazywania próbek uzyskanych w wyniku robót geologicznych określa decyzja o zatwierdzeniu projektu robót geologicznych, a terminy ich przekazania ustawa PGiG, w której zapisano, że przekazywanie:

- danych geologicznych odbywa się nie później niż 14 dni od dnia ich uzyskania;
- próbek odbywa się nie później niż 60 dni od dnia ich uzyskania;
- wyników badań próbek odbywa się nie później niż 14 dni od dnia ich uzyskania.

Zakres, formaty oraz tryb przekazywania danych geologicznych określa szczegółowo ustawa PGiG.

Na zakończenie należy wspomnieć, że ten, kto wykonuje roboty geologiczne, jest zobowiązany do zagospodarowania wody leczniczej wydobytej lub wydobywającej się samoistnie w czasie próbnego pompowania oraz uiszczenia za nią opłaty eksploatacyjnej.

WZORY PROTOKOŁÓW*:

- A.** Protokół z lokalizacji otworu wiertniczego
- B.** Protokół z przeprowadzonego orurowania otworu wiertniczego
- C.** Protokół z przeprowadzonego cementowania otworu wiertniczego
- D.** Protokół badania skuteczności zamknięcia warstwy wodonośnej
- E.** Protokół z odbioru i zabudowy filtra w otworze wiertniczym
- F.** Protokół z likwidacji otworu wiertniczego
- G.** Protokół pobrania próbek wody do badań fizyczno-chemicznych/bakteriologicznych/izotopowych

* za: *Instrukcja obsługi wierceń hydrogeologicznych* (Gonet i in., 2011, z mod. i uzup. autorów)

A

....., dnia

PROTOKÓŁ Z LOKALIZACJI OTWORU WIERTNICZEGO

Temat

Nazwa i nr otworu

Miejscowość..... Gmina.....

Powiat..... Województwo.....

W dniu przy udziale przedstawicieli Zamawiającego oraz Wykonawcy wyznaczono w terenie punkt wykonania otworu wiertniczego (zgodnie z zatwierdzonym projektem robót geologicznych) oraz uzgodniono dojazd na teren wiertni. Szczegółową lokalizację otworu przedstawiono na poniższym szkicu sytuacyjnym.

Ustalono co następuje:

Otwór zlokalizowano na działce nr..... stanowiącej własność / użytkownik /

Miejsce wiercenia oznaczono palikiem z numerem otworu / inne oznaczenie /

Dojazd na teren wiertni odbywać się będzie bezkolizyjnie drogą / nr, rodzaj, właściciel /

.....

Inne: / ustalenia dotyczące dostępu do energii elektrycznej, wody itp., sposobu rozliczenia za zużyte media i ewentualne szkody, dodatkowe dane dotyczące dojazdu na teren /

Zamawiający

Wykonawca

1.

1.

2.

2.

B

....., dnia

PROTOKÓŁ Z PRZEPROWADZONEGO ORUROWANIA OTWORU WIERTNICZEGO

Nazwa i nr otworu

Miejscowość

Gmina

Powiat

Województwo

Zlecniodawca

Wykonawca

Głębokość zapuszczonej kolumny rur $\varnothing$"; mm

w interwale od głębokości m do głębokości m.

Orurowanie rozpoczęto dnia r. o godz.,

ukończono dnia r. o godz.

1. Do otworu zapuszczono następujące rury $\varnothing$"; mm.

Lp.	Typ połączeń gwint.	Materiał	Grubość ścianki [mm]	Średnica wewn. rur [mm]	Długość rur [m]	Głębokość		Masa 1 mb. rur w pow. [kg/m]	Ciężar odcinka w pow. [kN]
						od [m]	do [m]		
RAZEM									

2. Pierwszych sztuk rur zostało zabezpieczonych przed rozkręceniem w sposób

3. Rury skręcono na smarze

4. Uzbrojenie kolumny rur "

a) but rur typ w głębokości m

b) zawór zwrotny typ w głębokości m

c) pierścień oporowy typ w głębokości m

d) centralizatory sprężynowe typ: - szt.
rozemieszczenie

e) skrobak typ liczba sztuk, rozemieszczenie

5. Rury były kontrolowane szablonem: $\varnothing$, mm.

6. Objawy w czasie zapuszczania rur:

.....

7. Płukanie otworu po zapuszczeniu w głębokości: m, min
 z wydajnością m^3/s , przy ciśnieniu MPa

8. Właściwości płuczki: rodzaj, gęstość g/cm^3 , lepkość s^{-1} .
 pH, filtracja $\text{cm}^3/30 \text{ min}$

9. Uwagi:

.....

KOMISJA

PODPISY

1.

Kierownik wiercenia

.....

2.

Dozór geologiczny

.....

3.

Wiertacz zmianowy

.....

4.

Przedstawiciel zlecniodawcy

.....

C

....., dnia

PROTOKÓŁ Z PRZEPROWADZONEGO CEMENTOWANIA OTWORU WIERTNICZEGO

Nazwa i nr otworu.....

Miejscowość..... Gmina.....

Powiat..... Województwo.....

Zleceniodawca

Wykonawca

Głębokość zapuszczonej kolumny rurm Ø " mm
i zacementowanej od głębokości m do głębokości m.

1. Uzbrojenie kolumny rur "

- but do rur typ w głębokości m
- zawór zwrotny typ w głębokości m
- pierścień oporowy typ w głębokości m
- centralizatory sprężynowe typ, liczba..... szt.,
rozmieszczone
- skrobaki typ, liczba szt.,
rozmieszczone
-
-

2. Płukanie otworu po zapuszczeniu rur w głębokości m, min
z wydajnością m³/s, przy ciśnieniu MPa3. Właściwości płuczki: rodzaj, gęstość g/cm³, lepkość s⁻¹,
pH, filtracja cm³/30 min4. Ciecz zarobowa – objętość m³, gęstość g/cm³,

- dodane odczynniki

5. Wykonano próbę szczelności rurociągów tłoczących przy ciśnieniu MPa

6. Zatłoczono bufor o objętości m³, gęstości g/cm³,

- zużyte materiały

7. Zatloczono zaczyn cementowy:

objętość V_1 m^3 , gęstość g/cm^3

• zużyte materiały
.....
.....

8. Czas wtlaczania od godz. do godz.

9. Zatloczono przybitkę: rodzaj, ilość m^3 , czas tłoczenia min

10. Ciśnienie: – początkowe MPa, – końcowe MPa

11. Uwagi o wytłaczaniu przybitki:
.....
.....

12. Zaczyn cementowy: ☐ czysty, ☐ zmieszany, wyszedł do wierzchu ☐ tak, ☐ nie
w ilości m^3 .

13. Zarządzono przestój na wiązanie zaczynu cementowego godzin

14. Uwagi:
.....
.....

KOMISJA

PODPISY

1.
Kierownik wiercenia

2.
Dozór geologiczny

3.
Wiertacz zmianowy

4.
Przedstawiciel zlecniodawcy

.....
.....
.....
.....

D

....., dnia

PROTOKÓŁ BADANIA SKUTECZNOŚCI ZAMKNIĘCIA WARSTWY WODONOŚNEJ

Nazwa i nr otworu.....

Miejscowość..... Gmina.....

Powiat..... Województwo.....

Zlecniodawca

Wykonawca

I. Dane o otworze

1. Głębokość otworu przed zapuszczeniem rur.....m średnica otworu mm

2. Ostatnia kolumna rur $\varnothing$ mm postawiona na głębokości m p.p.t.

3. Warstwa wodonośna nawiercona na głębokości m p.p.t.

4. Spąg warstwy wodonośnej przewiercono na głębokości m p.p.t.

II. Dane o zabiegu postawienia rur w korku**1. Iłowym**

1.1. Rodzaj użytego iłu

1.2. Ilość użytego iłu

1.3. Wysokość ubitego korka iłowego m
od głębokości m p.p.t. do głębokości m p.p.t.1.4. Przebieg stawiania rur w korku iłowym (*dokąd rury zeszły pod własnym ciężarem, czy wciskano rury i w jaki sposób*)**2. Cementowym**

2.1. Rodzaj użytego cementu

2.2. Ilość użytego cementu

2.3. Wysokość ubitego korka cementowego w rurach m
od głębokości m p.p.t. do głębokości m p.p.t.

2.4. Współczynnik wodno-cementowy

3. Rury postawiono na głębokości m p.p.t.

III. Próba skuteczności zamknięcia warstwy wodonośnej

1. Postój po postawieniu rur w korku godz.
2. Zwiercono korek pod rurami do głębokości m świdrem o średnicy mm
3. Płyn w otworze ściągnięto do głębokości m p.p.t.
4. Po czasie godz. płyn w otworze podniósł się do głębokości m p.p.t. tj. o m

IV. Orzeczenie komisji

.....

.....

.....

.....

KOMISJA**PODPISY**

1.

Kierownik wiercenia

.....

2.

Dzór geologiczny

.....

3.

Wiertacz zmianowy

.....

4.

Przedstawiciel zlecniodawcy

.....

E

....., dnia

PROTOKÓŁ Z ODBIORU I ZABUDOWY FILTRA W OTWORZE WIERTNICZYM

Nazwa i nr otworu.....

Miejscowość..... Gmina

Powiat Województwo

Zlecniodawca

Wykonawca robót

Wykonawca filtra

I. Stan techniczny filtra:

1. Rodzaj filtra Typ

Schemat	Kolumna filtrowa		Rodzaj	Głębokość, m		Długość, m	Średnica, mm	
				od	do		wewn.	zewn.
	a)	Rura podfiltrowa						
	b)	Filtr (I odcinek)						
	c)	Rura międzyfiltrowa						
	d)	Filtr (II odcinek)						
	e)	Rura międzyfiltrowa						
	f)	Filtr (III odcinek)						
	g)	Rura międzyfiltrowa						
	h)	Filtr (IV odcinek)						
	i)	Rura nadfiltrowa						

2. Denko wymiar mm

3. Zamek i jego rodzaj

4. Perforacja filtra a) $\varnothing$ otworów mm; b) rozstaw otworów mm

5. Siatka nr (I odc.) (II odc.)

6. Podkład pod siatkę (*opis i rodzaj*)

7. Pręty

8. Inne

9. Prowadniki do rur

II. Decyzja i uwagi komisji

.....

III. Stan techniczny otworu (wypełnić po odbiorze filtra)

1. Głębokość otworu m; ostatnia kolumna rur $\varnothing$ m; głębokość m.

2. Zarzucenie otworu (konstrukcja otworu):

Lit.	Średnica rury, mm	Głębokość, m	Lit.	Średnica rury, mm	Głębokość, m
a)			d)		
b)			e)		
c)			f)		

3. Warstwa wodonośna przewiercona na głębokości od m do m.

4. Zwierciadło wody nawiercone na głębokości m, ustabilizowane na głębokości m.

5. Poniżej warstwy wodonośnej przewiercono m, opis skał

6. Uwagi o stanie otworu przed opuszczeniem filtra (*zasyp, oczyszczenie, sporządzenie poduszki żwirowej, zaczynu cementowego itp. pod dno filtra, inne*)

IV. Zabudowa filtra

1. Sposób zabudowy

2. Głębokość posadowienia (dna) filtra m.

3. Rury $\varnothing$ mm podciągnięto do głębokości m.

4. Wykonano obsypkę (rodzaj, średnica ziarna itp.)

5. Uwagi

1.
Kierownik wiercenia

2.
Dozór geologiczny

3.
Wiertacz zmianowy

4.
Przedstawiciel zlecniodawcy

F

....., dnia

PROTOKÓŁ Z LIKWIDACJI OTWORU WIERTNICZEGO

Nazwa i nr otworu.....

Miejscowość..... Gmina

Powiat Województwo

Zlecniodawca

Wykonawca robót

I. Stan techniczny otworu1. Głębokość otworu m; ostatnia kolumna rur $\varnothing$ m; głębokość m.

2. Zarzucanie otworu (konstrukcja otworu):

Lit.	Średnica rury, mm	Głębokość, m	Lit.	Średnica rury, mm	Głębokość, m
a)			d)		
b)			e)		
c)			f)		

3. Warstwa wodonośna przewiercona na głębokości od m do m.

4. Zwierciadło wody nawiercone na głębokości m, ustabilizowane na głębokości m.

5. Poniżej warstwy wodonośnej przewiercono m, opis skał

6. Uwagi o stanie otworu (*zasyp, inne*)**II. Stan techniczny filtra**

1. Rodzaj filtra Typ

Schemat	Kolumna filtrowa		Rodzaj	Głębokość, m		Długość, m	Średnica, mm	
				od	do		wewn.	zewn.
	a)	Rura podfiltrowa						
	b)	Filtr						
	c)	Rura międzyfiltrowa						
	d)	Rura nadfiltrowa						

III. Decyzja i uwagi komisji

.....

.....

.....

.....

IV. Sposób likwidacji otworu

.....

.....

.....

.....

V. Rodzaj i ilość materiałów użytych do likwidacji otworu

.....

.....

.....

.....

VI. Uwagi

.....

.....

.....

.....

KOMISJA**PODPISY**

1.

Kierownik wiercenia

.....

2.

Dozór geologiczny

.....

3.

Wiertacz zmianowy

.....

4.

Przedstawiciel zlecniodawcy

.....

G

....., dnia

**PROTOKÓŁ POBRANIA PRÓBEK WODY DO BADAŃ
FIZYCZNO-CHEMICZNYCH/BAKTERIOLOGICZNYCH/IZOTOPOWYCH***

Nazwa i nr otworu.....

Miejscowość

Gmina

Powiat

Województwo

Nr próbki kod próbki

Data poboru godzina

Próbkę pobrał

Uwagi

.....

Próbkę przekazano do laboratorium (*nazwa, adres*).....

.....

Data przekazania godzina.....

Uwagi

.....

PRZEKAZUJĄCY

ODBIERAJĄCY

.....

(wykonawca prac geologicznych)

.....

(przedstawiciel laboratorium)

* niepotrzebne skreślić

DODATEK IV

ZBIORCZE ZESTAWIENIE WYNIKÓW WIERCENIA (WZÓR)*

* za: *Instrukcja obsługi wierceń hydrogeologicznych* (Gonet i in., 2011, z mod. autorów)

ZBIORCZE ZESTAWIENIE WYNIKÓW WIERCENIA (KARTA OTWORU WIERTNICZEGO)

Lokalizacja otworu – szkic orientacyjny w skali 1:						Miejscowość		Wykonawca (pieczęć)		dozór geologiczny
						Gmina				
						Powiat				
						Województwo				
						Inwestor bezpośredni (użytkownik) ujęcia				
						Współrzędne x =		y =		
						Rzędna wysokościowa:		m nad poziomem morza		
						Czas trwania robót wiertniczych od		do		
						System i sposób wiercenia:				
						Sposób pobierania próbek skał:				
						Miejsce przechowywania próbek skał:				
						Wyniki badań i obliczeń hydrogeologicznych dla warstwy wodonośnej ujętej według niżej przedstawionego szkicu konstrukcyjnego:				
						$Q_1 = \dots\dots\dots m^3/h, S_1 = \dots\dots\dots m, t_1 = \dots\dots\dots H, q_1 = \dots\dots\dots m^3/h \cdot 1 m s$				
						$Q_2 = \dots\dots\dots m^3/h, S_2 = \dots\dots\dots m, t_2 = \dots\dots\dots H, q_2 = \dots\dots\dots m^3/h \cdot 1 m s$				
						$Q_3 = \dots\dots\dots m^3/h, S_3 = \dots\dots\dots m, t_3 = \dots\dots\dots H, q_3 = \dots\dots\dots m^3/h \cdot 1 m s$				
						$K = \dots\dots\dots m/s$ wyznaczono na podstawie wyników próbnego pomp. wzorem:				
						Q_1 eksploatacyjne studni =		$m^3/h, Q_{dop}$ filtra =		
						przy Q eksploatacyjnym ujęcia: $s = \dots\dots\dots m, R = \dots\dots\dots m$				
						Stratygrafia		8		
						Stosowane narzędzia wiertnicze (rodzaj i średnica)		9		
						Przebieg robót wiertniczych (zachowanie się ścian otworu podczas wiercenia, krzywienie otworu, zastosowane zabiegi specjalne, sposób likwidacji otworu, itp.)		10		
						Opis litologiczny warstwy, typ facjalny, itp.		11		
						Głębokość – w metrach poniżej terenu				
						Profil litologiczny (graficznie)				
						ustabilizowany nawiercony w metrach poniżej terenu: -				
						(rysunek konstrukcyjny)				
						Schemat zarysowania i zafiltrowania, sposób zamknięcia wód				
						Skala 1:				

DODATEK V

KARTA INFORMACYJNA DOKUMENTACJI HYDROGEOLOGICZNEJ USTALAJĄCEJ ZASOBY EKSPLOATACYJNE UJĘCIA WÓD LECZNICZYCH (WZÓR)*

* zał. 4 do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033)

**KARTA INFORMACYJNA
DOKUMENTACJI HYDROGEOLOGICZNEJ
USTALAJĄCEJ ZASOBY EKSPLOATACYJNE UJĘCIA WÓD LECZNICZYCH**

Tytuł dokumentacji:

Podstawa wykonania prac (nr decyzji):

Wykonawca prac geologicznych:

Zamawiający:

Okres realizacji prac:

Miejscowość:

Gmina:

Powiat:

Województwo:

Zlewnia rzeki (do IV rzędu):

Arkusz mapy 1:50 000:

Położenie ujęcia w państwowym układzie współrzędnych: *) $x =$, $y =$

Układ odniesienia:

Rzędna ujęcia: **)m n.p.m.

Nazwa złoża:

Stratygrafia pięter wodonośnych objętych ustaleniem zasobów:

Zasoby eksploatacyjne ustalone według stanu rozpoznania hydrodynamicznego na
(miesiąc, rok)

Nr (nazwa) otworu lub źródła***)	Zasoby eksploatacyjne otworu lub źródła***)	Rzędna dynamicznego zwierciadła wody w otworze***)	Depresja eksploatacyjna zwierciadła wody w otworze***)	Typ chemiczny wody, mineralizacja, wykładnik gazowy***)
1	Q = m³/h = m³/d	H = m n.p.m.	 m	 mg/l dm _n ³ /dm ³
Zasoby eksploatacyjne ujęcia	Q = m³/h = m³/d			
Obszar zasobowy o powierzchni..... km² określony w granicach przedstawionych w załączniku nr				
Proponowany obszar górniczy o powierzchni km² oraz teren górniczy o powierzchni km² określone w granicach przedstawionych w załączniku nr.....				

Sporządzający dokumentację:

(podpis z podaniem imienia i nazwiska oraz nr kwalifikacji geologicznych albo nr decyzji uznającej kwalifikację zawodową w dziedzinie geologii albo podpis z podaniem imienia i nazwiska i informacja „osoba świadcząca usługi transgraniczne w dziedzinie geologii”)

.....

(miejscowość, data)

*) W przypadku ujęć składających się z kilku otworów lub źródeł podaje się współrzędne każdego z nich.

**) W przypadku ujęć składających się z kilku otworów lub źródeł podaje się rzędną każdego z nich.

***) W przypadku ujęć składających się z kilku otworów lub źródeł podaje się wszystkie dane dla każdego otworu lub źródła oddzielnie.

DODATEK VI

WSKAZANIA DOTYCZĄCE RACJONALNEJ EKSPLOATACJI UJĘĆ

Bogusław Porwisz, Jakub Sokołowski

Prawo wydobywania wody leczniczej ze złoża przysługuje posiadaczowi koncesji, który równocześnie jest odpowiedzialny za racjonalne wydobycie i ochronę wód leczniczych w obrębie obszaru i terenu górniczego. Racjonalne wydobywanie wód leczniczych, rozumiane jako odpowiedzialny sposób eksploatacji ujęć, dostosowany do warunków zasilania, uwzględniający stopień odnawialności zasobów, polega na uwzględnianiu i przestrzeganiu uwarunkowań i wymagań zawartych w:

- decyzji koncesyjnej na wydobywanie wody leczniczej;
- dokumentacji hydrogeologicznej, ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia wody leczniczej, zawierającej m.in. zalecenia co do racjonalnej eksploatacji ujęć z uwzględnieniem zagadnień równowagi wodno-gazowej i wskazania środków ochrony ujęcia przed zanieczyszczeniami, a także wskazówek dla jego właściciela do prowadzenia własnych obserwacji i pomiarów w trakcie wydobycia oraz uzasadnienia do prowadzenia monitoringu osłonowego ujęcia;
- dokumentacji hydrogeologicznej, ustalającej zasoby dyspozycyjne obszarów bilansowych wód podziemnych (leczniczych i zwykłych);
- decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach wydobywania wód leczniczych;
- projekcie zagospodarowania złoża wód leczniczych;
- planie ruchu zakładu górniczego;
- planie zagospodarowania przestrzennego gminy uzdrowiskowej.

Prawidłowa gospodarka złożem wody leczniczej, zgodnie z ustalonymi warunkami wydobycia zatwierdzonymi w dokumentacji hydrogeologicznej, jest możliwa dzięki stałemu nadzorowi nad eksploatacją ujęć, sprawowanemu przez pracowników zakładu górniczego przedsiębiorcy i polegającemu na utrzymaniu ujęcia w pełnej sprawności technicznej oraz na prowadzeniu obserwacji i pomiarów kontrolnych (stacjonarnych). Zaleca się, aby warunki eksploatacji ujęcia przedstawiać w dokumentacjach hydrogeologicznych w formie tabeli parametrów techniczno-eksploatacyjnych ujęcia (tab. VI.1).

Tab. VI.1. Zestawienie podstawowych parametrów techniczno-eksploatacyjnych ujęcia

Nazwa ujęcia	Rzędna terenu	Średnica filtra	Głębokość do górnej krawędzi filtra	Dozwolona maksymalna wydajność	Dozwolony maksymalny pobór wody	Dozwolona maksymalna depresja	Dozwolona maksymalna głębokość dynamicznego zwierciadła wody
	[m n.p.m.]	[mm]	[m]	[m ³ /h]	[m ³ /d]	[m]	[m]

Prowadzenie wydobycia zgodnie z zaleceniami podanymi w dokumentacji powinno zapewnić utrzymanie równowagi hydrodynamicznej i hydrochemicznej. W celu zaobserwowania ewentualnych zmian zachodzących w wodzie i na ujęciu należy prowadzić na bieżąco szczegółową analizę otrzymywanych wyników. Wyraźne zmiany, odbiegające od parametrów eksploatacyjnych ujęcia i właściwości fizyczno-chemicznych wody przedstawionych w dokumentacji lub trwałe, kierunkowe trendy, powinny być wyjaśniane i oceniane, a ich przyczyny w miarę możliwości usuwane. Ewentualne naruszenie ustalonej równowagi systemu wodonośnego w rejonie eksploatowanych ujęć powinno skutkować ustaleniem nowych warunków prowadzenia wydobycia.

Szczegółowe zalecenia racjonalnej eksploatacji ujęć powinny każdorazowo wynikać z ustaleń sformułowanych w dokumentacji, jednak można sformułować kilka ogólnych zasad:

- ujęcia nie można eksploatować z wydajnością chwilową przekraczającą ustalone zasoby eksploatacyjne;
- podczas wydobywania wody nie należy obniżać poziomu dynamicznego poniżej maksymalnej dopuszczalnej rzędnej określonej w dokumentacji hydrogeologicznej, odpowiadającej maksymalnej wielkości depresji dla warunków ustalonych;
- w trakcie eksploatacji ujęcia często dochodzi do zmian zarówno ilości, jak i jakości ujętych wód, stąd zaleca się sporządzenie programu pomiarów i obserwacji stacjonarnych;
- w celu ograniczenia wahań właściwości fizyczno-chemicznych wody należy otwor eksploatować w sposób ciągły, stabilny, ze stałą wydajnością (największe zmiany hydrochemiczne zachodzą

- w początkowym okresie eksploatacji, są one widoczne także po dłuższych przerwach w wydobyciu wód leczniczych);
- nad eksploatowanym ujęciem należy pełnić stały nadzór, który powinien polegać na jego utrzymaniu w pełnej sprawności technicznej (urządzenia techniczne służące do poboru wody muszą być sprawne, okresowo konserwowane i poddawane przeglądom) oraz prowadzeniu obserwacji i pomiarów kontrolnych (stacjonarnych);
 - zaleca się poddanie weryfikacji zasobów eksploatacyjnych ujęcia po okresie 5 lat jego eksploatacji (dla nowych ujęć po okresie 3 lat); możliwość i stopień szczegółowości określenia zmienności parametrów eksploatacyjnych, zwłaszcza rzeczywistego rozwoju promienia leja depresji, należy dokonać na podstawie wyników obserwacji stacjonarnych oraz obserwacji na sąsiednich ujęciach, mając na uwadze stopień skomplikowania budowy geologicznej i rozpoznania hydrogeologicznego, zwłaszcza warunków hydrodynamicznych;
 - w początkowej fazie eksploatacji ujęcia (tzw. fazie rozruchowej) proponuje się wykonywanie małej analizy fizyczno-chemicznej wody z częstotliwością co 1 miesiąc przez pół roku;
 - w celu oceny sprawności ujęcia w trakcie jego eksploatacji na przestrzeni lat zaleca się raz na rok wykonanie krzywej spadku i odbudowy ciśnienia;
 - należy zapewnić ochronę bezpośredniego otoczenia ujęcia przez określenie terenu analogicznego do TOB wyznaczanego dla ujęć zwykłych wód podziemnych;
 - należy prowadzić książkę eksploatacji ujęcia, a w niej notować ilość wydobytej wody, głębokość położenia zwierciadła wody oraz wydajność chwilową, a także wszelkie uwagi związane z bieżącą eksploatacją ujęcia (np. wymiana pompy, czyszczenie ujęcia itp.);
 - w przypadku samowypływu, jeśli jego wydajność zaspokaja zapotrzebowanie na wodę, wydobycie należy prowadzić bez użycia pompy;
 - w przypadku stwierdzenia zmian parametrów eksploatacyjnych ujęcia lub właściwości fizyczno-chemicznych wody (w dwóch kolejnych analizach) w wymiarze ponad 20% w stosunku do wartości zapisanej we wniosku zasobowym lub w sytuacji zmiany typu chemicznego wody zaleca się opracować dodatek do dokumentacji z propozycją aktualizacji zasobów eksploatacyjnych i ponownej charakterystyki fizyczno-chemicznej wody leczniczej.

Jeśli sytuacja tego wymaga należy zalecić prowadzenie monitoringu osłonowego ujęcia w specjalnie do tego celu przeznaczonych otworach obserwacyjnych lub innych otworach/źródłach, wyłączonych z eksploatacji. Przeważnie monitoring taki obejmuje pomiar głębokości występowania zwierciadła wód, w przypadku źródeł zaś wydajność wypływu oraz badania fizyczno-chemiczne wody.

W przypadku źródeł racjonalna eksploatacja ujęcia polega na ograniczeniu dostępu osób niepowołanych oraz usunięciu elementów technicznych i technologicznych ze strefy dopływu i przepływu wód. W istotny sposób ogranicza to możliwość wystąpienia sytuacji awaryjnych, mogących powodować zanieczyszczenie wód. Zaleca się, aby zmodernizować istniejące obudowy źródlane, jeśli nie spełniają powyższych wymogów. Jeśli nie stwierdzono wpływu antropopresji, nie ma przesłanek do wprowadzania specjalnych wskazań i dodatkowych ograniczeń dotyczących sposobu zagospodarowania powierzchni terenu. Prawidłowa eksploatacja w przypadku źródeł i innych ujęć grawitacyjnych polega na prowadzeniu rejestracji wydajności wypływu i cyklicznych badaniach właściwości fizyczno-chemicznych wody.

Ujęcia wód leczniczych zlokalizowane w obrębie obszaru górniczego przedsiębiorcy podlegają systematycznym badaniom stacjonarnym, czyli stałym pomiarom, obserwacjom i badaniom hydrogeologicznym prowadzonym w celu kontroli pracy ujęcia i oceny zmian zachodzących w złożu wskutek prowadzonego wydobycia, ich wielkości i przebiegu w czasie. Szczegółowy zakres, rodzaj i częstotliwość tych pomiarów oraz metodykę i sposób gromadzenia/prezentowania danych przedstawia się w tzw. programie obserwacji stacjonarnych, zatwierdzonym przez kierownika ruchu zakładu górniczego, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 25 kwietnia 2014 r. w sprawie szczegółowych wymagań

dotyczących prowadzenia ruchu zakładów górniczych wydobywających kopaliny otworami wiertniczymi (Dz.U. 2014 poz. 812). Zasady prowadzenia tych obserwacji nie są regulowane przepisami, jednak wykonuje się je z wykorzystaniem postanowień normy PN-Z-11002:1997 – Ujęcia wód mineralnych i leczniczych. W dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia powinny znaleźć się natomiast ogólne sformułowania w tym zakresie. Obserwacje stacjonarne powinny być wykonywane regularnie, w tym samym czasie (tego samego dnia tygodnia). Proponowany zakres i częstotliwość pomiarów oraz badań stacjonarnych przedstawiono w tab. VI.2.

Tab. VI.2. Proponowany zakres i częstotliwość pomiarów i badań stacjonarnych

Czynność	Sugerowana częstotliwość	
	w złożach o zasobach odnawialnych	w złożach o zasobach nieodnawialnych lub praktycznie nieodnawialnych
Określenie wydajności chwilowej ujęcia (w okresie jego eksploatacji)	raz na tydzień	raz na dwa tygodnie
Określenie depresji (położenia dynamicznego zwierciadła wody), przeprowadzane równocześnie z pomiarem wydajności (dla samowypływów pomiar ciśnienia głowicowego)	codziennie lub raz na tydzień	raz na dwa tygodnie
Określenie głębokości statycznego zwierciadła wody	codziennie lub raz na tydzień, raz na miesiąc dla otw. trwale nieczynnych	raz na rok
Określenie ilości wydobytej wody (dla złóż o zasobach nieodnawialnych narastająco od początku eksploatacji ujęcia)	codziennie	raz na miesiąc
Ustalenie czasu pracy ujęcia	codziennie lub raz na tydzień	raz na dwa tygodnie
Badania wskaźnikowe wraz z obserwacjami meteorologicznymi (w okresie eksploatacji ujęcia)	raz na tydzień	raz na dwa tygodnie lub raz na miesiąc
Analizy kontrolne (w okresie eksploatacji ujęcia)	raz na miesiąc lub raz na kwartał	raz na rok
Mała analiza fizyczno-chemiczna wody	raz na rok lub raz na trzy lata	raz na pięć lat
Duża analiza fizyczno-chemiczna wody	raz na pięć lat	raz na dziesięć lat
Badania bakteriologiczne wody	raz na miesiąc lub raz na kwartał	raz na rok
Badania izotopowe	raz na trzy lata	raz na trzy lata

W okresie przed uruchomieniem ujęcia zaleca się wykonywanie pomiarów głębokości położenia zwierciadła wody lub ciśnienia na głowicy z częstotliwością raz na tydzień.

Zakres, częstotliwość obserwacji i pomiarów oraz badań kontrolnych należy każdorazowo dostosowywać do specyfiki złoża i aktualnej sytuacji hydrodynamicznej i hydrochemicznej. Przedsiębiorca jest zobowiązany corocznie wykonać ocenę prowadzonego wydobywania wód leczniczych w opracowaniu pt. *Analiza gospodarki złożem wód leczniczych w obszarze górniczym...*. Zawarte w nim wyniki regularnych pomiarów wraz z obserwacjami meteorologicznymi oraz badaniami izotopowymi wody stanowią podstawę do ewentualnej, przyszłej weryfikacji zasobów eksploatacyjnych ujęcia.

Ujęcia przekazane do eksploatacji powinny być wyposażone w szczelne obudowy, a w przypadku otworów także w głowice eksploatacyjne zabezpieczające przed wpływem czynników zewnętrznych. Wewnątrz obudowy ujęcia należy zapewnić właściwą wentylację, automatyczne sterowanie pracą pompy i możliwość

kontroli wydajności oraz depresji. W przypadku wód zgazowanych dwutlenkiem węgla rurka piezometryczna służąca do pomiaru zwierciadła wody w otworze powinna być wprowadzona poniżej strefy kawitacji (najlepiej do rury podfiltrowej), co pozwoli na uzyskanie poprawnych pomiarów. Coraz częściej ujęcia wód leczniczych są wyposażone w automatyczną aparaturę pomiarową, lecz czujniki sond pomiarowych zanurzone w wodach leczniczych wymagają częstej konserwacji.

Racjonalna eksploatacja ujęć jest podstawowym elementem służącym ochronie zasobów wód leczniczych. Pozwala zachować równowagę hydrodynamiczną pomiędzy ilością wody wydobywanej a wielkością zasilania – odnawialnością zasobów, co uniemożliwia trwałe obniżenie zwierciadła wód podziemnych. Innym, równie istotnym elementem jest monitoring, dostarczający danych o aktualnym stanie ilościowym i jakościowym wód oraz pozwalający oceniać skutki stosowanej polityki ekologicznej i podejmowanych w jej ramach działań ochronnych, a także przewidywać zmiany zachodzące w wyniku podjętych zamierzeń. Obserwacje i pomiary stacjonarne prowadzone w sposób systematyczny powinny pozwolić na szybką reakcję w przypadku wystąpienia zagrożenia dla zasobów wód leczniczych.

Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa
biuro@pgi.gov.pl; www.pgi.gov.pl



Sfinansowano ze środków
Narodowego Funduszu
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej