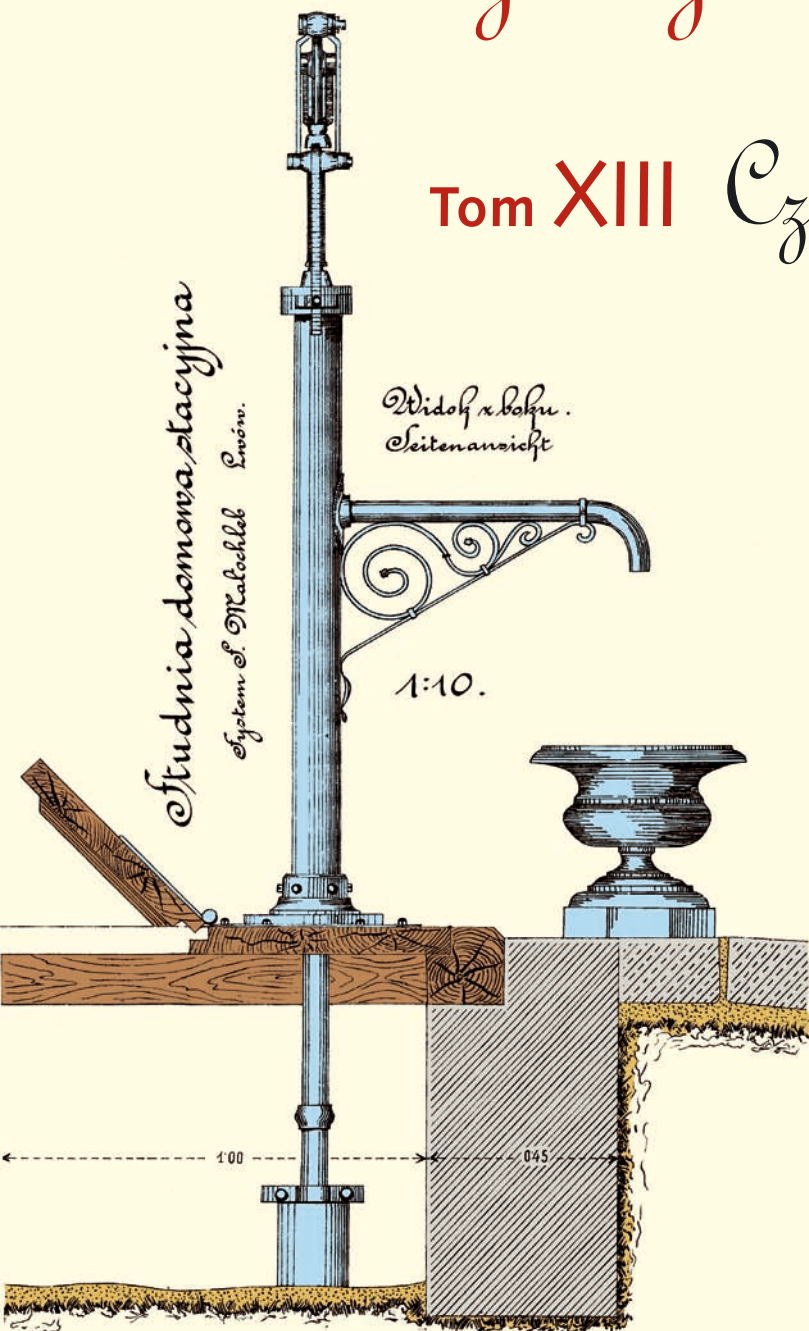


# Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 1.



Copyright © Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Kraków 2007



Wydanie publikacji zostało sfinansowane przez  
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej

Recenzenci:

Jadwiga Szczepańska  
Wojciech Ciężkowski  
Józef Górski  
Andrzej Kowalczyk  
Ewa Krogulec  
Grzegorz Malina  
Jerzy Małecki  
Marek Marciniak  
Jacek Motyka  
Marek Nawalany  
Jan Przybyłek  
Andrzej Rózkowski  
Andrzej Sadurski  
Andrzej Szczepański  
Stanisław Staśko  
Stanisław Witczak  
Andrzej Zuber

Redakcja: Andrzej Szczepański, Ewa Kmiecik, Anna Żurek

Projekt okładki i stron tytułowych: Andrzej Tomaszewski

Na okładce: fragment projektu studni miejskiej we Lwowie z 1906 roku  
— ze zbiorów prof. **Antoniego S. Kleczkowskiego** (1922–2006)

Korekta: Zespól

Skład komputerowy systemem  $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ : pre $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ t, [www.pretext.com.pl](http://www.pretext.com.pl)

Druk: ROMA-POL, [www.romapol.pl](http://www.romapol.pl)

ISBN-13 978-83-88927-16-4

Józef Górski, Marek Marciniak, Jan Przybyłek

## **Zakres i metodyka prac i badań hydrogeologicznych**

### **Scope and Methodics of Hydrogeological Works and Researches**

**Słowa kluczowe**

badania hydrogeologiczne, zakres prac, metodyka badań

**Key words**

hydrogeological investigations, range and methods of investigations

**Abstract**

Social-economic transformations that took place in Poland at the beginning of the nineties occurred also in the field of the rules and methods used in hydrogeological investigations. It induced many positive changes. However, the negative conditions causing the impoverishment within the scope and methods of groundwater investigations occurred as well. The article presents the analysis of current trends in the methods applied in hydrogeological investigations based on the assessment of publications from the last three conferences book series: "Contemporary Problems of Hydrogeology". The main part of this article concerns the evaluation of the hydrogeological research methods in the range of:

- field investigations, data bases, hydrogeological cartography, groundwater wellfields monitoring,
- hydrogeochemistry and groundwater protection,
- mathematical modeling and tracer methods.

## 1. Uwarunkowania mające wpływ na zakres i metodykę badań hydrogeologicznych

Przemiany społeczno-gospodarcze jakie nastąpiły w Polsce od początku lat 90. ubiegłego wieku spowodowały wiele zmian i uwarunkowań rzutujących na problematykę zakresu i metodyki prac i badań hydrogeologicznych. Uwarunkowania te możemy generalnie podzielić na pozytywne i negatywne.

Do pozytywnych należy niewątpliwie zaliczyć swobodę działalności gospodarczej, a także znaczne ułatwienia dostępu do fachowej literatury zagranicznej oraz specjalistycznych programów komputerowych i aparatury badawczej. Do pozytywnych uwarunkowań należy również zaliczyć niektóre rozwiązania prawne i administracyjne. Można tu wymienić w szczególności:

- ukazanie się po wielu latach postulowania tego przez hydrogeologów nowych przepisów dotyczących stref ochronnych ujęć wód podziemnych;
- powołanie Państwowej Służby Hydrogeologicznej;
- uruchomienie monitoringu środowiska, w tym wód podziemnych, w skali państwowej i regionalnej;
- egzekwowanie w coraz większym stopniu wymogu zakładania lokalnych monitoringów wód podziemnych przy braku jasnych przepisów, określających gdzie i kiedy takie monitoringi powinny być zakładane;
- wdrażanie dyrektyw Unii Europejskiej dotyczących ochrony środowiska, w tym wód podziemnych;
- sformułowanie przepisów dotyczących zasad właściwego zabezpieczenia składowisk odpadów i monitoringu tych obiektów.

Podkreślić należy również pozytywne aspekty działalności Departamentu Geologii i Koncesji Geologicznych w Ministerstwie Środowiska, szczególnie inicjatywy związane z opracowaniem i wydaniem wielu poradników metodycznych oraz Słownika hydrogeologicznego (2002).

Na tle powyższych pozytywów rysuje się jednak wiele elementów negatywnych, prowadzących do zubożenia zakresu i metodyki badań hydrogeologicznych. Największy wpływ na to zjawisko należy wiązać z rozdrobnieniem podmiotów gospodarczych prowadzących badania hydrogeologiczne, które bardzo często ograniczają zakres i metodykę badań. Takiemu postępowaniu sprzyjają w szczególności następujące czynniki:

- praktyka stosowania wymogów ustawy o zamówieniach publicznych, a w szczególności ceny, jako jedyne kryterium rozstrzygania przetargów;
- brak odpowiednich kompetencji niektórych organów administracji geologicznej na szczeblu powiatowym;
- brak organizacji zawodowej w branży hydrogeologicznej.

Czynnikiem obniżającym jakość opracowań hydrogeologicznych jest również obserwowane zjawisko nieformalnego powiązania niektórych firm ze zleceniodawcami. Powiązania te skutkują tym, że firmy realizują badania i interpretują wyniki w sposób nie zawsze obiektywny, tak aby ich efekt był pozytywny dla zleceniodawcy. Takie postępowanie ma na celu zapewnienie sobie ułatwień w pozyskiwaniu nowych zleceń.

Do negatywnie oddziałujących czynników należy również zaliczyć:

- duże trudności w uzyskaniu danych hydrologiczno-meteorologicznych niezbędnych do właściwej interpretacji wyników badań hydrogeologicznych;
- brak hydrogeologów w Wojewódzkich Inspektoratach Ochrony Środowiska, a także ciągle zbyt skromne ich zatrudnienie w Regionalnych Zarządach Gospodarki Wodnej;
- przepisy prawne zezwalające na budowę studni do głębokości 30 metrów bez konieczności sporządzania nawet najprostszej dokumentacji;
- prawo własności, które bardzo utrudnia wykonanie wierceń badawczych i obserwacyjnych na terenach nie stanowiących własności inwestora.

Należy również zwrócić uwagę na rozpowszechnienie się w coraz większym stopniu technologii wierceń obrotowych bez rdzeniowania, przy jednoczesnym braku badań karotażowych wykonanych otworów, co znacznie obniża jakość danych uzyskiwanych z wierceń.

## **2. Analiza zakresu problematyki badawczej prezentowanej na konferencjach Współczesne Problemy Hydrogeologii**

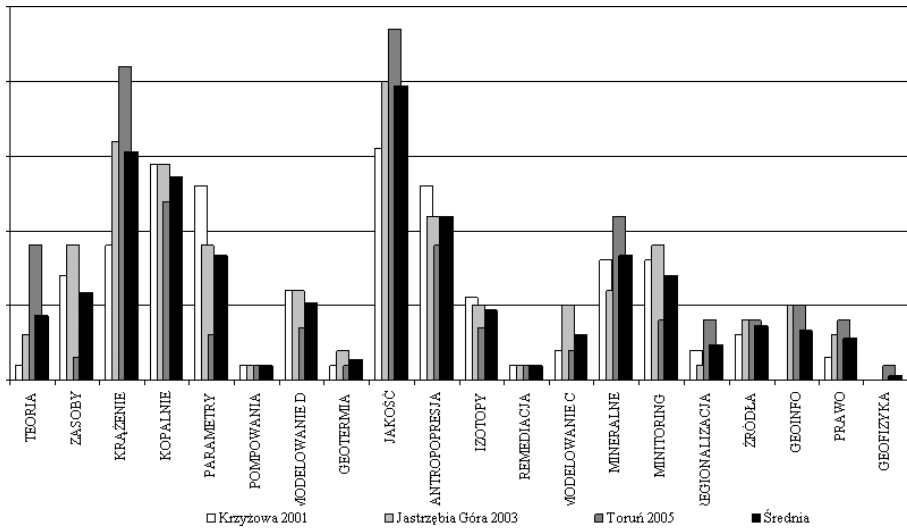
Analizę zakresu problematyki badawczej podejmowanej przez hydrogeologów w Polsce przeprowadzono na podstawie treści referatów wygłoszonych podczas trzech ostatnich Ogólnopolskich Konferencji „Współczesne problemy hydrogeologii” (WPH).

Problematykę wszystkich referatów podzielono na 21 grup tematycznych, z których każdą nazwano skrótowym hasłem. Następnie każdy referat przyporządkowano do jednej, a w kilku wypadkach do dwóch z 21 grup tematycznych. Analogicznie przyporządkowano komunikaty i postery. W ten sposób dla każdej grupy tematycznej obejmującej określoną problematykę badawczą uzyskano punkty, które odpowiadają liczbie referatów, komunikatów i posterów.

Wyniki kwerendy zestawiono w tabeli 1 oraz na rysunku 1.

**Tabela 1.** Zestawienie wyników kwerendy literaturowej  
**Table 1.** List of the analyzed articles

Lp.	Problematyka badawcza	Hasło	Krzyżowa 2001	Jastrzębia Góra 2003	Toruń 2005	Średnia
1.	Zagadnienia teoretyczne, podstawy metodyczne	TEORIA	1	3	9	4,3
2.	Poszukiwanie i dokumentowanie zasobów wód podziemnych	ZASOBY	7	9	1,5	5,8
3.	Warunki krążenia i dynamika wód podziemnych	KRAŻENIE	9	16	21	15,3
4.	Hydrogeologia górnicza, odwadnianie i zalewanie wyrobisk	KOPALNIE	14,5	14,5	12	13,7
5.	Identyfikacja parametrów hydrogeologicznych	PARAMETRY	13	9	3	8,3
6.	Studnie: wiercenia, pompowania, kolmatacja	POMPOWANIA	1	1	1	1,0
7.	Modelowanie dynamiki wód podziemnych	MODELE DYN.	6	6	3,5	5,2
8.	Wody geotermalne	GEOTERMIA	1	2	1	1,3
9.	Jakość i chemizm wód podziemnych	JAKOŚĆ	15,5	20	23,5	19,7
10.	Antropopresja, podatność wód podziemnych na zanieczyszczenia	ANTROPOPRESJA	13	11	9	11,0
11.	Metody znacznikowe i izotopowe	IZOTOPY	5,5	5	3,5	4,7
12.	Remediacja środowiska geologicznego	REMEDIACJA	1	1	1	1,0
13.	Modelowanie zmian hydrogeochemicznych	MODELE CHEM.	2	5	2	3,0
14.	Wody mineralne, lecznicze i solanki	MINERALNE	8	6	11	8,3
15.	Monitoring wód podziemnych	MONITORING	8	9	4	7,0
16.	Regionalizacja hydrogeologiczna	REGIONALIZACJA	2	1	4	2,3
17.	Źródła	ŹRÓDŁA	3	4	4	3,7
18.	Geoinformatyka i kartografia hydrogeologiczna	GEOINFO	0	5	5	3,3
19.	Wybrane zagadnienia prawa wodnego	PRAWO	1,5	3	4	2,8
20.	Badania geofizyczne	GEOFIZYKA	0	0	1	0,3
21.	Hydrogeologia obszarów poza granicami Polski	ZAGRANICA	3	1	1	1,7
<b>Razem</b>			<b>115</b>	<b>131,5</b>	<b>125</b>	<b>123,8</b>



**Rysunek 1.** Liczba publikacji w poszczególnych grupach tematycznych wygłoszonych podczas trzech ostatnich konferencji „Współczesne problemy hydrogeologii”

**Figure 1.** Number of publications in the particular groups of topics presented at the last three conferences: “Contemporary problems of hydrogeology”

Do grupy najliczniej prezentowanych problemów (średnia wyższa niż 10) zaliczyć należy tematy nazwane hasłowo: KRAŻENIE, KOPALNIE oraz JAKOŚĆ i ANTROPOPRESJA. Można uznać, że problematyka najczęściej pojawiająca się na konferencjach WPH jest przedmiotem intensywnie prowadzonych badań zarówno z zakresu dynamiki wód podziemnych, jak i hydrogeochemii.

W grupie tematów prezentowanych na konferencjach WPH w liczbie od 5 do 10 znalazły się: ZASOBY, PARAMETRY, MODELE DYNAMIKI, MINERALNE, oraz MONITORING. W większości są to zagadnienia związane bezpośrednio lub pośrednio z modelowaniem dynamiki wód podziemnych.

Natomiast najrzadziej (średnia poniżej 5) pojawiały się referaty dotyczące: ZAGADNIENIŃ TEORETYCZNYCH, POMPOWANIA, GEOTERMII, BADAŃ IZOTOPOWYCH, REMEDIACJI, MODELI CHEMIZMU, REGIONALIZACJI, ŹRÓDŁ, GEOINFORMACJI, PRAWA, GEOFIZYKI oraz OBSZARÓW POZA GRANICAMI POLSKI. Można przyjąć, że referaty z zakresu badań izotopowych oraz modelowania hydrochemicznego dopiero zaczynają się pojawiać.

Zastanawiać musi fakt bardzo znikomego zainteresowania pompowaniami, remediacją oraz geofizyką. Niewiele też pojawia się referatów z zakresu badań teoretycznych, geotermii, a zwłaszcza geoinformacji.

Incydentalnie pojawiają się wyniki badań hydrogeologicznych przeprowadzonych poza granicami Polski.

Trzeba zaznaczyć, że rozpoznanie zakresu badań hydrogeologicznych przeprowadzone na podstawie analizy tematyki referatów wygłoszonych podczas jednej konferencji musi być obciążone błędem. W analizie nie uwzględniono:

- referatów z dwóch konferencji „Modelowanie Przepływu Wód Podziemnych”,
- referatów z konferencji hydrogeochemicznych,
- referatów z konferencji okolicznościowych i lokalnych.

Pominięto także publikacje hydrogeologiczne zamieszczone w czasopismach ogólnopolskich (Przegląd Geologiczny, Kwartalnik Geologiczny oraz Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia), a także czasopismach uczelnianych (Zeszyty Naukowe AGH, Geologos, Archiwum Hydrotechniki). Można jednak przyjąć, że w Polsce konferencja WPH stanowi najważniejsze forum prezentacji osiągnięć oraz wymiany doświadczeń, dlatego analiza prezentowanych tam referatów pozwala uzyskać przybliżony obraz zakresu problematyki badawczej podejmowanej przez hydrogeologów w Polsce.

Przy okazji omawiania zakresu problematyki badawczej warto zasygnalizować bolesny problem braku ogólnopolskiego czasopisma poświęconego tematyce hydrogeologicznej. W materiałach konferencji WPH publikuje się co dwa lata ponad 120 referatów. Można przypuszczać, że drugie tyle ukazuje się rozsiane po innych materiałach konferencyjnych oraz po czasopiśmie, w większości geologicznych. Razem daje to około 120 artykułów hydrogeologicznych rocznie, co pozwoliłoby spokojnie wydawać miesięcznik o zasięgu krajowym, a w przyszłości zapewne międzynarodowym. Trzeba jednak znaleźć fundusze i powołać kolegium redakcyjne, które zadba o wysoki poziom pisma, przypilnuje regularnego wydawania kolejnych zeszytów oraz otworzy stronę internetową. Wszystko to jest niezbędne dla umieszczenia naszego miesięcznika na listach punktacji czasopism. Obecnie bowiem hydrogeolodzy w Polsce nie mają własnego punktowanego czasopisma.

### **3. Ocena stanu metod badań w różnych działach hydrogeologii**

#### **3.1. Badania terenowe, bazy danych, kartografia hydrogeologiczna, podręczniki i poradniki, monitoring ujęć wód podziemnych**

Od początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku poszerzone zostały zadania i cele sporządzania dokumentacji hydrogeologicznych.



Obok dokumentacji ustalających zasoby wód podziemnych, w tym:

- dyspozycyjnych dla jednostek hydrogeologicznych,
- eksploatacyjnych dla ujęć wód podziemnych,

pojawiały się bardzo licznie dokumentacje określające warunki hydrogeologiczne w związku z:

- projektowaniem odwodnień do wydobywania kopalin ze złóż,
- wtłaczaniem wód do górotworu;
- projektowaniem odwodnień budowlanych otworami wiertniczymi;
- projektowaniem inwestycji mogących zanieczyścić wody podziemne, w tym składowaniem odpadów na powierzchni;
- bezzbiornikowym magazynowaniem substancji oraz składowaniem odpadów w górotworze, w tym w podziemnych wyrobiskach górniczych;
- ustanawianiem obszarów ochronnych zbiorników wód podziemnych;
- zakończeniem lub zmianą poziomu odwadniania likwidowanych zakładów górniczych.

Obowiązek sporządzania dokumentacji określonych powyżej wynika z „Prawa geologicznego i górniczego” (Ustawa z dnia 4 lutego 1994 r. z późniejszymi zmianami, stan prawny: 7 stycznia 2007 r., art. 42.1).

Jednocześnie w nowych uwarunkowaniach prawnoustrojowych nastąpiło silne zróżnicowanie wykonawców prac i robót geologicznych, w tym dokumentacji hydrogeologicznych, a także organów, które prowadzą procedury administracyjne w przedmiocie projektów i dokumentacji hydrogeologicznych i opracowań związanych (Ministerstwo Środowiska, Regionalne Zarządy Gospodarki Wodnej, Urzędy Marszałkowskie, Urzędy Wojewódzkie, Starostwa Powiatowe, PIOŚ, WIOŚ itd.), co w warunkach konkurencyjności (przetargi) i przewlekłości postępowań administracyjnych powoduje, że faktyczny czas na wykonanie prac i robót geologicznych w zakresie terenowym jest bardzo ograniczony. Ma to niewątpliwy wpływ na planowanie i zakres przeprowadzanych próbnych pompowań i innych bardziej czasochłonnych badań hydrogeologicznych (pomiary i badania w terenie, wiercenia itp.).

Zmieniona też została Ustawą z 1994 roku procedura w zakresie etapowania procesu poszukiwania i rozpoznawania zasobów wód podziemnych (dawne kategorie rozpoznania: C, B, A), która to procedura poprzez kategoryzację określała stopień wiarygodności rozpoznania zasobów.

Wraz ze zmianami ustrojowymi zaniechano także prowadzenia hydrogeologicznych badań regionalnych szczegółowych w połączeniu z dużym wachlarzem badań terenowych, m.in. wierceń poszukiwawczo-obszernych, otworów rozpoznawczych, reperowych pompowań hydrowęzłowych, na rzecz opracowań z przewagą prac kameralnych. Wzrósł natomiast ilościowo

po 1990 roku zakres prac hydrogeologicznych i robót wiertniczych związanych z poszczególnymi zadaniami inwestycyjnymi, ochroną wód podziemnych i pracami renowacyjnymi na istniejących ujęciach (rehabilitacja studni, studnie zastępcze).

Należy w tym miejscu podkreślić, że bogate zasoby informacji hydrogeologicznej uzyskano w wyniku realizacji systematycznie prowadzonych badań terenowych w latach 1960–1985 przez Przedsiębiorstwa podległe Centralnemu Urzędowi Geologii (badania regionalne, badania dla dużych i mniejszych ujęć komunalnych i przemysłowych) oraz Ministerstwu Rolnictwa (Przedsiębiorstwa Wodrol — zaopatrzenie wsi w wodę), które to zasoby stały się mocno ugruntowaną bazą hydrogeologicznego rozpoznania w naszym kraju.

W wyniku jej posiadania można było rozpocząć tak ważne metodycznie i użytkowo przedsięwzięcia, jak:

- Stworzenie informatycznego banku HYDRO — zasobu informacji o otworach hydrogeologicznych.
- Ustanowienie krajowego systemu obserwacji hydrogeologicznych (SOH) w postaci sieci stacjonarnej (1972–1975: prace koncepcyjne i projektowe, od 1975 — praktyczna realizacja sieci, w 1984 roku — 34 stacje I rzędu z 75 punktami obserwacyjnymi, 319 punktów II i III rzędu oraz sieci monitoringu krajowego w roku 1992; stan aktualny to: krajowa sieć obserwacyjno-badawcza składająca się łącznie z 734 punktów badawczych, PIG 2006).
- Wyznaczenie Głównych Zbiorników Wód Podziemnych w Polsce (GZWP), zawierających wody słodkie niezmineralizowane, wymagających szczególnej ochrony. Prace przeprowadzono w latach 1986–1988 z inspiracji prof. A. S. Kleczkowskiego i zespołu badaczy z AGH w Krakowie przy szerokim udziale (ok. 200 osób) hydrogeologów z całego kraju. Mapę zbiorników opracowano w skali 1:500 000 (Kleczkowski, 1990), uwzględniając nowoczesne tendencje w światowej kartografii hydrogeologicznej. Wypracowana metodyka badań związana z realizacją mapy GZWP została równolegle opublikowana w pracach: „Główne Zbiorniki Wód Podziemnych w Polsce — własności hydrogeologiczne, jakość wód, badania modelowe i poligonowe” (Kleczkowski i in., 1990) oraz „Ochrona wód podziemnych w Polsce. Stan i kierunki badań” (Kleczkowski, 1991). Wg metodyki i przyjętych kryteriów wyznaczenia zbiorników i obszarów chronionych przystąpiono w latach 90. (Ulman-Bortnowska, 1995) do dokumentowania wydzielonych GZWP i ustalania zasad wyznaczenia obszarów ich zasilania w kolejności przyjętego rankingu (123 zbiorniki). Na podstawie ustawy „Prawo wodne” z dnia 18 lipca 2001 roku z mocy Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 10 grudnia 2002 roku (Dz.U. nr 232 poz. 1953) przyporządkowano zbiorniki wód podziemnych do właściwych obszarów dorzeczy. Obecnie dokumentacje hydrogeologiczne posiada około 50 GZWP.

Ważnymi przedsięwzięciami metodycznymi i użytkowymi stały się również:

- opracowanie „Atlasu Hydrogeologicznego Polski w skali 1:500 000” pod redakcją naukową prof. B. Paczyńskiego (1993–1995), w tym:
  - cz. I: „Systemy zwykłych wód podziemnych” (1993),
  - cz. II: „Zasoby, jakość i ochrona zwykłych wód podziemnych” (1995);
- opracowania regionalne, związane z ustalaniem dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych w nawiązaniu głównie do jednostek hydrograficznych, ale również dla rejonów miast i poszczególnych struktur hydrogeologicznych;
- opracowanie szczegółowej mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000 w latach 1996–2006, związanej w zakresie prac terenowych, ze zdjęciem hydrogeologicznym, a w zakresie prac kameralnych z weryfikacją danych w banku HYDRO.

W hydrogeologii polskiej początek dekady lat 90. ubiegłego wieku przyniósł wznowienie poszerzonego o nowe treści niezwykle cenionego podręcznika „Hydrogeologia ogólna”, wydanie IV uzupełnione, autorstwa Z. Pazdro i B. Kozerskiego (1990).

Począwszy od dekady lat 90. wzrosło zapotrzebowanie na opracowania metodyczne związane z poszerzaniem się zakresu opracowań hydrogeologicznych. W tym względzie jeszcze raz należy podkreślić rolę, jaką odegrał Departament Geologii i Koncesji Geologicznych pod kierunkiem dr H. Jezierskiego poprzez inicjatywę opracowania licznych poradników metodycznych.

W 1993 roku ukazał się poradnik metodyczny pt. „Projektowanie stref ochronnych źródeł i ujęć wód podziemnych” (Macioszczyk i in., 1993), który w sposób przystępny, z wykorzystaniem bogatego materiału doświadczonego i metodycznego, przedstawiał wskazania metod i sposobów postępowania przy wymiarowaniu stref ochronnych.

W latach 1994–1995 ukazały się kolejno dwa tomy „Katalogu wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń i metod ich oznaczania” (Witczak, Adamczyk, 1994–1995). Autorzy przedstawili w ich treści kompendium wiedzy (wiadomości hydrogeochemiczne i analityczne, metodyka opróbowania) niezbędnej do prawidłowego prowadzenia monitoringu jakości wód podziemnych, w tym prawidłowego poboru próbek.

W 1996 roku został udostępniony hydrogeologom z inicjatywy Komisji Dokumentacji Hydrogeologicznych poradnik metodyczny pt. „Ustalanie dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych” (Paczyński i in., 1996) w związku ze zmianą przepisów w zakresie opracowywania projektów i dokumentacji hydrogeologicznych w szczególności w odniesieniu do regionalnych ocen zasobów wód podziemnych.

Obowiązujące od 1994 roku „Prawo geologiczne i górnicze” zalicza wody termalne do kopaliny, odróżniając je w ten sposób od zwykłych wód podziemnych. Zrodziło to potrzebę opracowania poradnika metodycznego pt. „Zasady i metodyka dokumentowania zasobów wód termalnych i energii geotermalnej oraz sposoby odprowadzania wód zużytych” (Kapuściński i in., 1997). Poradnik powstał w zespole autorskim projektującym i dokumentującym ujęcia wód termalnych Bańska-Biała Bystrzyca i Pyrzyce.

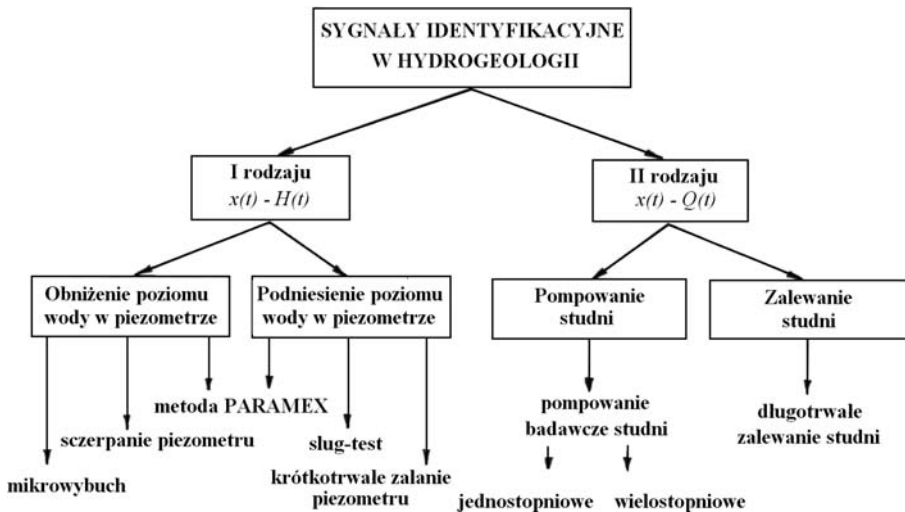
Potrzeby rozwijającego się monitoringu jakości wód podziemnych w trzech rodzajach sieci obserwacyjnych: krajowej, regionalnych i lokalnych stanowiły o konieczności opracowania metodyki kontroli jakości danych hydrogeochemicznych. W związku z tym w 1998 roku wydana została publikacja pt. „Statystyczna kontrola jakości danych w monitoringu wód podziemnych” (Szczepańska, Kmiecik, 1998). W przygotowaniu publikacji wykorzystano doświadczenia uzyskane w trakcie realizacji regionalnego monitoringu jakości wód podziemnych dorzecza górnej Wisły oraz w oparciu o literaturę zagraniczną.

Problemy, które pojawiały się w związku z ustanawianiem stref ochronnych ujęć wód podziemnych stanowiły wyraźny sygnał o potrzebie ustanawiania monitoringu osłonowego ujęć wód podziemnych przy projektowaniu monitoringu lokalnego. W 1999 roku przygotowano w Państwowym Instytucie Geologicznym wydanie przedstawiające metody badań, jak i zasady projektowania tego typu sieci monitoringowej, z uwzględnieniem różnych rodzajów zbiorników wód podziemnych. Poradnik został opracowany przez zespół Autorów z różnych ośrodków naukowych Kraju pod kierunkiem B. Kazimierskiego i A. Sadurskiego (1999).

Problematyka ustalania zasobów wód podziemnych, jak również zagadnienia związane z migracją zanieczyszczeń i oceną roli barier hydrogeologicznych w ich przemieszczaniu skłoniły do bliższej współpracy zespół Autorów z Akademią Górniczo-Hutniczej w Krakowie i Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu do pogłębionych badań utworów półprzepuszczalnych w skali laboratoryjnej i na drodze eksperymentów terenowych. Owocem tej współpracy jest opublikowana w 1999 roku praca pt. „Badania współczynnika filtracji utworów półprzepuszczalnych” (Marciniak i in., 1999).

Ważną pracą w zakresie doskonalenia metodyki badań terenowych jest opublikowana w 1999 roku rozprawa Marka Marciniaka (1999) pt. „Identyfikacja parametrów hydrogeologicznych na podstawie skokowej zmiany potencjału hydraulicznego. Metoda Paramex”. W cytowanej pracy Autor oprócz przedstawienia autorskiej metody eksperymentu czynnego w otworze hydrogeologicznym, podał pełen zestaw terenowych metod oznaczania parametrów hydrogeologicznych warstw wodonośnych, porządkując je (rys. 2) według kryteriów stosowanego sygnału identyfikacyjnego:

- I rodzaju [ $x(t) = H(t)$ ], w tym metodę Hvorsleva, metodę Coopera–Bredehoefta–Papadopulos, metodę Bouwera–Rice’a oraz metody slug-test podczas wiercenia otworów hydrogeologicznych;
- II rodzaju [ $x(t) = Q(t)$ ], w tym różnego rodzaju próbne pompowania i testy zalewania otworów.



Rysunek 2. Metody oznaczania parametrów hydrogeologicznych warstw wodonośnych, według kryteriów stosowanego sygnału identyfikacyjnego

Figure 2. Determination methods of aquifer hydrogeological parameters according to the criteria of the applied identification signal

Przedstawił również model matematyczny układu otwór hydrogeologiczny–warstwa wodonośna.

W środowisku hydrogeologów z zadowoleniem przyjęto wydanie w ostatnich latach dwóch zązębiających się ze sobą poradników metodycznych w zakresie dokumentowania zasobów wód podziemnych, a mianowicie:

- „Metodyki określenia zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych” (Dąbrowski i in., 2004),
- „Metodyki próbnych pompowań w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych” (Dąbrowski, Przybyłek, 2005).

Pierwszy z tych poradników wypełnił istotną lukę w literaturze fachowej, gdy po zmianie przepisów „Prawa geologicznego i górniczego” (1994) ukażał się szybko poradnik o zasobach dyspozycyjnych (1996) a przez bardzo długi okres czasu odczuwali hydrogeolodzy brak poradnika o dokumentowaniu zasobów eksploatacyjnych. W poradniku tym obok podstaw oceny zasobów wód podziemnych przedstawiono zasady projektowania i wykony-

wania prac i badań hydrogeologicznych, ustalania zasobów i formy sporządzania dokumentacji, a także podano przykłady dokumentowania zasobów i optymalizacji poboru wody z ujęć wielootworowych.

Drugi z poradników stanowi poszerzoną i zaktualizowaną wersję poradnika wydanego w 1980 roku. Poradnik ten zawiera podstawowe wiadomości o dynamice wód podziemnych w aspekcie pompowań, zasady ich wykonywania oraz prezentację poszczególnych metod interpretacji z wykorzystaniem oryginalnych badań terenowych z obszaru Polski i Libii.

W 2006 roku ukazały się kolejne poradniki metodyczne i podręczniki związane ze specyfiką prowadzenia badań dla określenia warunków hydrogeologicznych w związku z zagrożeniem środowiska przy realizacji inwestycji, a mianowicie:

- „Zasady sporządzania dokumentacji określających warunki hydrogeologiczne w związku z projektowaniem dróg krajowych i autostrad” (praca zbiorowa, autor wiodący A. Rodzoch, 2006),
- „Wyznaczanie parametrów migracji zanieczyszczeń w ośrodku porowatym dla potrzeb hydrogeologicznych i ochrony środowiska” (Małecki i in., 2006),
- „Metody usuwania zanieczyszczeń węglowodorowych ze środowiska gruntowo-wodnego” (praca zbiorowa pod red. S. Rychlickiego, 2006).

Ważną rolę w udostępnianiu metod badań spełniają kolejne podręczniki akademickie (patrz: Literatura), takie jak:

- Kulma R. (1995) — „Podstawy obliczeń filtracji wód podziemnych”,
- Rembeza L. (1998) — „Przepływy wody i zanieczyszczeń w gruncie. Analityczne metody rozwiązań”,
- Macioszczyk A. (red., praca zbiorowa, 2006) — „Podstawy hydrogeologii stosowanej”.

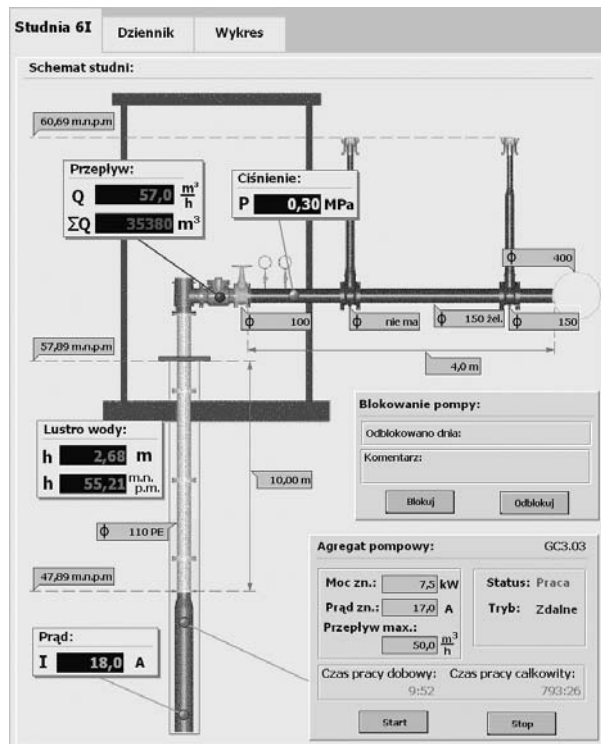
W dziedzinie zastosowań nowych metod badawczych oraz pogłębionych hydrogeologicznych analiz regionalnych na szczególną uwagę zasługują opublikowane rozprawy: J. Górskiego (1989), A. Sadurskiego (1989), W. Roszaka (1991), P. Jokiela (1994), H. Piekarek-Jankowskiej (1994), J. Przybyłka (1994), S. Stański (1996), J.J. Małeckiego (1998), M. Marciniaka (1999), J. Sawickiego (2000), A. Kowalczyka (2003), E. Krogulec (2004), J. Różkowskiego (2006), R. Tarki (2006).

W dziedzinie hydrogeologii górniczej na szczególne wyróżnienie zasługuje trzynomowa monografia pt. „Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa”. W jej opracowaniu wzięło udział liczne grono hydrogeologów polskich. Kolejne tomy tego zbiorowego dzieła ukazały się pod redakcją naukową: Z. Wilka (2003) — tom I poświęcony hydrogeologii złóż stałych surowców energetycznych (węgiel kamienny, węgiel brunatny);

Z. Wilka i T. Bocheńskiej (2003) — tom II poświęcony hydrogeologii złóż rud metali; Z. Wilka i R. Kulmy (2004) — tom III poświęcony hydrogeologii złóż kopalnych surowców chemicznych.

Spośród podręczników poświęconych hydrogeologii kopalnianej ukazały się ostatnio publikacje A. Matysika (2002) „Odwadnianie kopalń podziemnych” oraz M. Rogoża (2004) — „Hydrogeologia kopalniana z podstawami hydrogeologii ogólnej”.

Problematyka gospodarowania zasobami wód podziemnych będzie już w najbliższej przyszłości wymagała znacznie dokładniejszych danych przy opracowywaniu prognoz eksploatacyjnych i środowiskowych. Jednym ze sposobów pozyskiwania wiarygodnych danych wejściowych byłoby monitorowanie pracy dużych ujęć wód podziemnych (rys. 3).



**Rysunek 3.** Automatyczne systemy pomiarowe. Wieloparametrowa rejestracja pomiarów terenowych (Jankowski, 2007)

**Figure 3.** Automatic measurement systems. Multiparameter registration of field measurements (Jankowski, 2007)

W związku z tym, po wydzieleniu w kraju jednolitych części wód podziemnych, należałoby dla każdej z tych części przyjąć obszary zasobowe dużych

ujęć wód podziemnych jako obszary analogii hydrogeologicznej (obszary re-perowej eksploatacji zasobów wód podziemnych). Ujęcia te coraz częściej są wyposażane w automatyczne systemy pomiarowe pozwalające na informacyjną rejestrację pomiarów terenowych wielu parametrów.

Zinterpretowane wyniki tego monitoringu technologicznego (studnie ujęcia) i osłonowego (otwory obserwacyjne w obszarze zasobowym) mogą stanowić podstawę do opracowania dokumentacji hydrogeologicznej przy ubieganiu się o przedłużenie pozwolenia wodnoprawnego (odniesienie do dawnej kategorii A zasobów eksploatacyjnych) przez Użytkownika ujęcia, a na bieżąco być wykorzystywane w metodzie analogii hydrogeologicznej.

### **3.2. Hydrogeochemia i ochrona wód podziemnych**

Problematyka badań hydrogeochemicznych, w tym monitoringowych oraz badań w zakresie ochrony wód podziemnych stanowi coraz bardziej dominujący nurt w polskiej hydrogeologii. Związane jest to z realizacją licznych prac dotyczących rozpoznania warunków hydrogeologicznych w rejonach obiektów uciążliwych dla środowiska, badań monitoringowych tych obiektów, a także opracowań stref ochronnych ujęć wód podziemnych oraz obszarów ochronnych głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP).

W zakresie metodyki badań hydrogeochemicznych nastąpił niewątpliwie znaczny postęp, do czego przyczyniły się w głównej mierze opracowania metodyczne zrealizowane w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Należy tu wskazać w szczególności na duże znaczenie tematu badawczego dotyczącego monitoringu regionalnego zlewni górnej Wisły wykonanego pod kierunkiem prof. S. Witczaka. Realizacja tych prac zaowocowała licznymi publikacjami, z których należy w szczególności wymienić: Witczak S., Adamczyk A. (1994 i 1995), Szczepańska J., Kmieciak E. (1998, 2005). Istotne znaczenie miało również ukazanie się nowej wersji podręcznika z hydrogeochemii (Macioszczyk, Dobrzyński, 2002).

Postęp w zakresie realizacji badań hydrogeochemicznych związany jest również z rozwojem metod badań analitycznych, a w szczególności z upowszechnieniem badań chromatograficznych, a także podejmowaną w ostatnich latach atestacją laboratoriów.

Opracowanie podstaw metodycznych realizacji badań hydrogeochemicznych i ich kontroli nie przełożyło się niestety we właściwym stopniu na sposób wykonywania tych badań przez firmy i instytucje realizujące badania monitoringowe. Szczególnie przy realizacji lokalnych monitoringów wód podziemnych obserwuje się wiele nieprawidłowości dotyczących zarówno rozwiązań projektowych, opróbowania i badań analitycznych, jak i interpretacji wyników. Wadą rozwiązań projektowych jest często zbyt słabe rozpoznanie warunków hydrogeologicznych, a w szczególności systemów krążenia tych



wód co skutkuje tym, że zaprojektowana sieć nie odzwierciedla właściwie strumienia migrujących zanieczyszczeń. Należy jednak podkreślić, że często właściwe zaprojektowanie sieci monitoringowej bardzo komplikują duże trudności związane z wykonaniem otworów poza terenem stanowiącym własność zleceniodawcy.

Bardzo wiele nieprawidłowości obserwuje się w zakresie pobierania próbek do badań analitycznych. Pobór ten realizują często firmy nie dysponujące odpowiednim doświadczeniem w zakresie analityki wód podziemnych, co prowadzi do różnego typu błędów, tak skandalicznych, jak stosowanie własnej numeracji otworów monitoringowych nie odpowiadającej numeracji z projektu monitoringowego.

Do częstych błędów należy również zaliczyć:

- brak pomiaru położenia zwierciadła wody lub pomiar z dokładnością 0,1 m;
- brak pomiaru parametrów szybkozmiennych w terenie, w tym pomiaru temperatury, brak właściwej wymiany wody w otworze przed pobraniem próbki;
- brak konserwacji próbek.

Jakość badań analitycznych jest zróżnicowana. Dość powszechna jest jednak praktyka braku kontroli wyników badań za pomocą bilansu jonowego.

Bardzo schematycznie interpretowane są często również wyniki badań monitoringowych. Interpretacja ta sprowadza się najczęściej tylko do przedstawienia klasyfikacji bez analizy długo-czasowych trendów oraz pogłębionej analizy hydrogeochemicznej opartej na interpretacji warunków krążenia wód oraz wpływu czynników hydrologiczno-meteorologicznych na chemizm wód.

Pozytywnym elementem w badaniach hydrogeochemicznych jest niewątpliwie stosowanie w coraz większym stopniu modelowania hydrogeochemicznego do rozwiązywania problemów migracji zanieczyszczeń oraz interpretacji wyników badań. Postęp w tym zakresie wydaje się jednak niewystarczający, a do słabych elementów należy zaliczyć w szczególności brak właściwego rozpoznania parametrów środowiska geochemicznego oraz parametrów migracji zanieczyszczeń w makroskali (wyznaczonych na podstawie badań terenowych).

Specyficzny element badań hydrogeochemicznych stanowią badania substancji ropopochodnych. W zakresie tej problematyki już w latach 80. i na początku 90. ubiegłego wieku pojawiło się wiele publikacji dotyczących specyficznych zagadnień hydrogeochemii substancji ropopochodnych, a także metod ich rozpoznawania w środowisku oraz remediacji.

Doceniając znaczący postęp, jaki się dokonał w zakresie hydrogeochemii substancji ropopochodnych, należy jednak wskazać na istniejące słabości, do których należy w szczególności zaliczyć:

- słabe rozpoznanie warunków migracji rozpuszczonej w wodzie frakcji substancji ropopochodnych (BTX-y);
- słabe rozpoznanie procesów biodegradacji substancji ropopochodnych, a także wpływu produktów biodegradacji na chemizm wód;
- słabości metodyki rozpoznawania substancji ropopochodnych w środowisku geologicznym, a w szczególności niewłaściwe prowadzenie badań celu rozpoznania obecności płynnej frakcji węglowodorów, tj. wykonywania ocen obecności płynnej frakcji węglowodorów tylko w oparciu o próbki pobrane z wierceń, co prowadzi często do błędnych wniosków.

W zakresie problematyki ochrony wód podziemnych wskazać należy na postęp w metodach oceny podatności tych wód na zanieczyszczenie antropogeniczne oraz oceny wpływu antropopresji na chemizm wód. Rozpowszechnione zostało stosowanie metody DRASTIC. Niezbędny jest jednak dalszy rozwój metod oceny podatności, w tym w szczególności podatności specyficznej w odniesieniu do azotanów i pestycydów. Dobrym przykładem poszukiwania rozwiązań w tym zakresie jest metodyka opracowana przez S. Witczaka, która została zastosowana do opracowania mapy podatności dla całego terenu Polski w skali 1:500 000 (2006). Celowe jest jednak wypracowywanie nowych metod, w tym opartych na badaniu statystycznych zależności pomiędzy różnymi czynnikami decydującymi o podatności, a rzeczywistym poziomem zanieczyszczenia wód, a także opartych na modelowaniu migracji zanieczyszczeń.

Oceny podatności są jednak tylko jednym z elementów niezbędnych do kompleksowej oceny antropogenicznych zagrożeń wód podziemnych i wskazania działań ochronnych. Mapy takie, zawierające ocenę rzeczywistych i potencjalnych zagrożeń antropogenicznych, powinny stać się podstawą działań w zakresie ochrony wód podziemnych. Koncepcje map zagrożenia i ochrony wód podziemnych były między innymi wypracowywane w ramach programu badawczego dotyczącego GZWP pod kierunkiem A. S. Kleczkowskiego (1990).

Biorąc pod uwagę fakt, że mapy takie powinny stać się głównym narzędziem umożliwiającym skuteczną ochronę wód podziemnych, niezbędne jest dalsze doskonalenie metodyki ich sporządzania. Metodyka ta powinna uwzględniać dokonany postęp w ocenach podatności. Ważnym elementem takich map powinno być określenie priorytetów w zakresie ochrony wód podziemnych, co dotychczas na nich nie było na ogół prezentowane. Wiadomo bowiem, że ochronę wód podziemnych w szerszej skali zapewniają przede wszystkim takie działania, jak kanalizacja terenów osad-

nictwa, a także sanitacja terenów rolniczych obejmująca w szczególności budowę zbiorników na gnojowicę i gnojówkę o odpowiedniej pojemności, a także szczelnych tac pod gnojowniki i silosy kiszonkowe. Realizacja tych prac ze względu na ich wysokie koszty będzie niewątpliwie rozłożona na wiele lat i dlatego bardzo istotne jest określenie, gdzie takie działania powinny być realizowane w pierwszej kolejności. Określenie priorytetów powinno być dokonywane w oparciu o ocenę korzyści ekologicznych dla poszczególnych komponentów środowiska, w tym wód podziemnych. Stan jakości tych wód w coraz większym stopniu decyduje bowiem o zanieczyszczeniu ekosystemów zależnych od wód podziemnych, w tym rzek i jezior.

Istotne znaczenie dobrze opracowanych map zagrożenia i ochrony wód podziemnych rodzi postulat podjęcia w najbliższym czasie realizacji takich map dla terenu całej Polski w skali 1:50 000 w nawiązaniu do opracowanych już map geologicznych i hydrogeologicznych.

### 3.3. Modelowanie matematyczne i metody znacznikowe

Modelowanie matematyczne dynamiki wód podziemnych oraz procesów migracji zanieczyszczeń jest jedną z najszybciej rozwijających się dyscyplin hydrogeologicznych. Otwierają się nowe możliwości poznania skutków oddziaływania człowieka na środowisko przyrodnicze, które dawniej były albo zupełnie niemożliwe do przeprowadzenia, albo były zbyt kosztowne. Prognoza skutków antropopresji na środowisko wodne uzyskana w drodze symulacji numerycznej jest bodaj największą korzyścią z zastosowań osiągnięć informatyki w hydrogeologii.

Modelowanie matematyczne procesów hydrogeologicznych ma w Polsce długoletnią tradycję. W latach 70. wykonywano badania symulacyjne za pomocą modeli fizycznych: w wannach elektrolitycznych oraz na papierze elektroczułym. Na przełomie lat 70. i 80. dominowały modele analogowe: na integratorach całkowych oraz na siatkowych analizatorach pola. W drugiej połowie lat 80. powstała biblioteka HYDRYLIB (Szymanko, 1980), która umożliwiła symulowanie procesów filtracji wód podziemnych na pierwszych komputerach klasy PC. Biblioteka programów HYDRYLIB stanowiła znaczące osiągnięcie na skalę międzynarodową i można powiedzieć, że wyprzedziła oprogramowanie oferowane dzisiaj przez wielkie korporacje informatyczne.

Dalszy rozwój oprogramowania związany był z opracowaniem przyjaznych interfejsów użytkownika, co przesądziło o obecnej dominacji oprogramowania oferowanego przez *Waterloo Hydrogeologic Inc.*, *Environmental Modeling Systems Inc.*, czy też *Danish Hydraulic Institute — Water & Environment*.

W zakresie **modelowania dynamiki wód podziemnych** hydrogeologia polska dysponuje obecnie wieloma programami komputerowymi, z których najważniejsze obok biblioteki HYDRYLIB, to:

- **VisualMODFLOW**, który umożliwia projektowania siatki dyskretyzacyjnej modelu, wizualizację rozkładu przestrzennego parametrów modelu oraz warunków początkowych i brzegowych, przeprowadzenie obliczeń za pomocą wielu algorytmów obliczeniowych zgromadzonych w bibliotece, wizualizację wyników obliczeń w postaci map, tabel i wykresów. Symulacje mogą dotyczyć zarówno procesu filtracji wód podziemnych, jak i migracji zanieczyszczeń w ośrodku wodonośnym. Rozszerzenie możliwości pakietu VisualMODFLOW oferują programy: WinPEST do automatycznej kalibracji modeli oraz 3D-Explorer do wizualizacji wyników w aksonometrii trójwymiarowej. Obecnie jest to najpopularniejszy w Polsce pakiet oprogramowania do symulacji procesów hydrogeologicznych.
- **FEFLOW**, który modele matematyczne przepływu wód podziemnych, transportu ciepła oraz migracji zanieczyszczeń rozwiązuje metodą elementów skończonych przy trójwymiarowej dyskretyzacji obszarów anizotropowych Program FEFLOW jest zintegrowany z systemami GIS. Ten program powoli rozpoczyna znajdować zastosowanie na obszarze naszego kraju.
- **AguiferTEST**, który pozwala na interpretację wyników pompowań studni oraz testów hydraulicznych piezometrów. AguiferTEST pozwala na interpretację pompowań przeprowadzonych w warstwach wodonośnych zamkniętych, otwartych i nieszczelnych dla ośmiu schematów dopływu wody do studni. Ze względu na niewielką liczbę wykonywanych pompowań pakiet AquiferTEST nie jest w Polsce wykorzystywany w zadowalającym stopniu.
- **pakietMIKE** składający się z modułów: MIKE 11 — do symulacji procesów zachodzących w płynących wodach powierzchniowych, MIKE SHE — do symulacji procesów hydrogeologicznych, RESERVOIR — do symulowania procesów zachodzących w stojących wodach powierzchniowych oraz MIKE BASIN — do zintegrowanego zarządzania zasobami wodnymi. Można oczekiwać, że pakiet MIKE pozwoli nawiązać współpracę pomiędzy hydrologami i hydrogeologami, co nie było jak dotąd mocną stroną polskiej hydrogeologii.

W zakresie **modelowania procesów hydrogeochemicznych** pojawia się coraz więcej programów komputerowych, z których najważniejsze, to:

- **AquaChem**, który umożliwia graficzną i numeryczną analizę pakietów danych hydrogeochemicznych. AquaChem ma wbudowany interfejs programu **PHREEQC** umożliwiającego obliczanie równowagi stężeń związków chemicznych w roztworach i wskaźników nasycenia zwią-

ków stałych, pozostających w równowadze z roztworami. AquaChem znajduje coraz więcej zastosowań w badaniach hydrogeochemicznych prowadzonych na terenie Polski.

- **Remediation ToolKit**, który udostępnia zintegrowane zarządzanie danymi do monitoringu i modelowania procesów naturalnego oczyszczania wód podziemnych.

Problematyka modelowania matematycznego procesów hydrologicznych i hydrogeologicznych rozwija się niezwykle intensywnie, co skutkuje dużą liczbą publikacji z tej dziedziny. W roku 2004, z inicjatywy S. Staśki odbyła się we Wrocławiu pierwsza krajowa konferencja „Modelowanie Przepływu Wód Podziemnych” (MPWP). Przepływ rozumiany jest przez organizatorów tej konferencji bardzo szeroko i obejmuje zarówno symulacje filtracji wody, jak również migrację zanieczyszczeń w ośrodku wodonośnym. Drugą konferencję MPWP zorganizował w roku 2006 (w Ciężeniu koło Słupcy) poznański ośrodek hydrogeologiczny. Wiele wskazuje na to, że konferencja MPWP będzie odbywać się cyklicznie, co dwa lata, naprzemian z konferencją WPH.

### **Nowe znaczniki środowiskowe w hydrogeologii**

Datowania najstarszych wód podziemnych (1,5 mln do 100 tys. lat) wykonuje się za pomocą oznaczania stężenia izotopu  $^{36}\text{Cl}$ . Datowania radiowęglowe  $^{14}\text{C}$  pozwalają na ocenę wieku wód do około 20 tys. lat, natomiast wiek wód współczesnych ocenia się na podstawie datowania trytem  $^3\text{H}$ . To ostatnie datowanie ma swoje naturalne ograniczenia związane z wybuchami jądrowymi na początku drugiej połowy XX w. Dlatego w badaniach znacznikowych rozwija się intensywnie nowy kierunek badawczy określany skrótowo: „znaczniki środowiskowe”. Są to najczęściej rozpuszczone w wodzie izotopy gazów szlachetnych lub półszlachetnych, takie jak: sześćfluorek siarki  $\text{SF}_6$ , freony F11 oraz F12, argon Ar czy neon Ne. Ten kierunek badawczy jest intensywnie rozwijany przez Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, gdzie powstało nowe stanowisko do oznaczania śladowych stężeń niektórych gazów szlachetnych rozpuszczonych w wodzie. Z całą pewnością stanowisko to otwiera zupełnie nowe możliwości w zakresie oceny wieku wód podziemnych oraz przy rekonstrukcji paleoklimatu. Można się spodziewać w najbliższych latach intensywnego rozwoju badań hydrogeologicznych z wykorzystaniem nowych możliwości oceny wieku wód podziemnych.

### **Integracja danych pochodzących z różnych źródeł dla potrzeb hydrogeologii**

W badaniach hydrogeologicznych korzysta się coraz częściej z danych gromadzonych we wyspecjalizowanych bazach danych przestrzennych: satelitarnych, meteorologicznych, hydrologicznych, geograficznych, geologicz-

nych, hydrochemicznych, monitoringowych i innych. Bazy te gromadzą swoje zasoby w różnych formatach, co często wiąże się ze specyfiką systemów operacyjnych, dla których są implementowane. Dane hydrogeologiczne ze swej natury mają charakter przestrzenny, dlatego do ich gromadzenia i prezentacji wykorzystuje się najczęściej geograficzne systemy informacji przestrzennej (GIS). Z drugiej strony powstają liczne programy komputerowe, które umożliwiają wszechstronne przetwarzanie hydrogeologicznych danych przestrzennych.

Rozwój badań symulacyjnych w hydrogeologii dokonuje się w warunkach lawinowego rozwoju technologii geopatycznych (Michalak, 1997, 2003), dlatego szczególnego znaczenia nabiera zagadnienie standaryzacji danych i konwersji formatów. Trzeba dodać, że konwersja musi obejmować nie tylko przetwarzanie danych w ramach jednego systemu operacyjnego, ale także pomiędzy różnymi systemami operacyjnymi. Chodzi zatem o możliwość przetwarzania danych hydrogeologicznych pomiędzy różnymi technologiami geomatycznymi. Ważnym zadaniem badawczym będzie wypracowanie standardowego protokołu bardzo szeroko rozumianych danych hydrogeologicznych umożliwiającego przetwarzanie danych pochodzących z różnych źródeł. Jest to nowy problem naukowy o wielkim znaczeniu praktycznym.

## Literatura

- Adamek M. i in., 2000: *Poradnik. Metody badania i rozpoznawania wpływu na środowisko gruntowo-wodne składowisk odpadów stałych*. Ministerstwo Środowiska, Departament Geologii, Warszawa.
- Bocheńska T., Staśko S. (red.) (2001): *Współczesne Problemy Hydrogeologii*. T. X, Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław-Krzyżowa.
- Dąbrowski S., Górski J., Kapuściński J., Przybyłek J., Szczepański A. (kier. nauk.), 2004: *Metodyka określania zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych. Poradnik Metodyczny*. Ministerstwo Środowiska, Wyd. Borgis, Warszawa.
- Dąbrowski S., Przybyłek J., 2005: *Metodyka próbnych pompowań w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych. Poradnik metodyczny*. Ministerstwo Środowiska, Bogucki Wyd. Nauk., Warszawa.
- Dowgiałło J., Kleczkowski A.S., Macioszczyk T., Różkowski A. (red. Nauk.), 2002: *Słownik hydrogeologiczny*. PIG, Warszawa.
- Elbanowska H., Zerbe J., Górski J., Siepak J., 2001: *Fizyczno-chemiczne badania gruntów na potrzeby hydrogeologiczne*. Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- Górski J., 1989: *Chemizm wód podziemnych utworów kenozoiku Środkowej Wielkopolski*. Zeszyty Nauk. AGH, Kraków.
- Jankowski W., 2007: *System sterowania i nadzoru ujęcia wody Mosina-Krajkowo*. AQUA-NET, Poznań.
- Jokiel P., 1994: *Zasoby, odnawialność i odpływ wód podziemnych strefy aktywnej wymiany w Polsce*. Acta Geographica Lodziensia nr 66-67. Łódź, Łódzkie Tow. Nauk. ISBN 83-85879-28-5.

- Kapuściński J., Nagy S., Długosz P., Biernat H., Bentkowski A., Zawisza L., Maruda J., Bujakowska K., 1997: *Zasady i metodyka dokumentowania zasobów wód termalnych i energii geotermalnej oraz sposoby odprowadzania wód zużytych. Poradnik metodyczny.* MOŚZNiL, Warszawa.
- Kazimierski B., Sadurski A., 1999: *Monitoring osłonowy ujęć wód podziemnych. Metody badań.* PIG, Warszawa.
- Kleczkowski A. S., (red.) 1990: *Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony.* Inst. HiGI AGH, Kraków.
- Kleczkowski A. S., (red.) 1991: *Ochrona wód podziemnych w Polsce. Stan i kierunki badań.* Publ. CPBP 04.10. SGGW-AR, Warszawa.
- Kowalczyk A., 2003: *Formowanie się zasobów wód podziemnych w utworach węglanowych triasu śląsko-krakowskiego w warunkach antropopresji.* Katowice, Wyd. UŚ, ISBN 83-226-1263-X.
- Krogulec E., 2004: *Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie w dolinie rzecznej na podstawie przesłanek hydrodynamicznych.* Wyd. UW, Warszawa.
- Kulma R., 1995: *Podstawy obliczeń filtracji wód podziemnych.* Wyd. AGH, Kraków.
- Macioszczyk A. (red. nauk., praca zbiorowa), 2006: *Podstawy hydrogeologii stosowanej.* Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Macioszczyk A., Dobrzyński D., 2002: *Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych.* Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Macioszczyk T., Rodzoch A., Frączek E., 1993: *Projektowanie stref ochronnych źródeł i ujęć wód podziemnych.* MOŚZNiL, Warszawa.
- Małecki J. J., 1998: *Rola strefy aeracji w kształtowaniu składu chemicznego płytkich wód podziemnych wybranych środowisk hydrogeochemicznych.* Warszawa, Biuletyn PIG 381, ISSN 0208-6603.
- Małecki J. J. (red.), Nawalany M., Witczak S., Gruszczyński T., 2006: *Wyznaczanie parametrów migracji zanieczyszczeń w ośrodku porowatym dla potrzeb badań hydrogeologicznych i ochrony środowiska.* Ministerstwo Środowiska, UW, Wyd. Geol., Warszawa.
- Marciniak M., 1999: *Identyfikacja parametrów hydrogeologicznych na podstawie skokowej zmiany potencjału hydraulicznego. Metoda Paramex.* Wyd. UAM, Poznań.
- Marciniak M., Przybyłek J., Herzig J., Szczepańska J., 1999: *Badania współczynnika filtracji utworów półprzepuszczalnych.* UAM Poznań, AGH Kraków, Wyd. SORUS.
- Matysik A., 2002: *Odwadnianie kopalni podziemnych.* Wyd. AGH, Kraków.
- Michalak J., 1997: *Obiektowe modele w hydrogeologii — system ASPAR.* Wyd. UW, Warszawa.
- Michalak J., 2003: *Modele pojęciowe hydrogeologicznych danych geoprzestrzennych — podstawy metodyczne.* Biul. PIG nr 406, Hydrogeologia, z. V. Warszawa.
- Paczyński B., 1993–1995: *Atlas hydrogeologiczny Polski w skali 1:500 000.* PIG, Warszawa.
- Paczyński B., Macioszczyk T., Kazimierski B., Mitręga J., Kozerski B., Szczepański A., 1996: *Ustalanie dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych. Poradnik metodyczny.* MOŚZNiL. Komisja Dokumentacji Hydrogeologicznych. Warszawa.
- Pazdro Z., Kozerski B., 1990: *Hydrogeologia ogólna.* Warszawa, Wyd. Geologiczne. ISBN 83-220-0357-9.
- Piekarek-Jankowska H., 1994: *Zatoka Pucka jako obszar drenażu wód podziemnych.* Gdańsk, Wyd. UG, ISBN 83-7017-557-0.

- Piekarek-Jankowska H., Jaworska-Szulc B., Kozerski B. (red.), 2003: *Współczesne Problemy Hydrogeologii*. T. XI, Wyd. UG, Gdańsk-Jastrzębia Góra.
- Przybyłek J., 1994: *Hydrogeologia Sahary w rejonie masywu Eglab (Algierska Sahara Zachodnia)*. Wyd. Nauk. UAM Poznań.
- Rodzoń A., (red.), 2006: *Zasady sporządzania dokumentacji określających warunki hydrogeologiczne w związku z projektowaniem dróg krajowych i autostrad. Poradnik metodyczny*. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- Rogoż M., 2004: *Hydrogeologia kopalniana z podstawami hydrogeologii ogólnej*. GIG, Katowice.
- Roszak W., 1991: *Kształtowanie się składu chemicznego płytkich wód podziemnych w pradolinie Odry w rejonie Wrocławia*. Wyd. Uniw. Wrocław, Wrocław.
- Rózkowski J., 2006: *Wody podziemne utworów węglanowych południowej części Jury Krakowsko-Częstochowskiej i problemy ich ochrony*. Katowice, Wyd. UŚ. ISBN 83-226-1570-1.
- Rychlicki S., 2006: *Metody usuwania zanieczyszczeń węglowodorowych ze środowiska gruntowo-wodnego*. Wyd. AGH, Kraków.
- Sadurski A., 1989: *Górnokredowy system wód podziemnych Pomorza Wschodniego*. Zeszyty Nauk. AGH, Kraków.
- Sadurski A., Krawiec A. (red.) (2005): *Współczesne Problemy Hydrogeologii*. T. XII, Wyd. UMK, Toruń.
- Sawicki J., 2000: *Zmiany naturalnej infiltracji opadów do warstw wodonośnych pod wpływem głębokiego drenażu górniczego*. Oficyna Wyd. Polit. Wrocławskiej.
- Staśko S., 1996: *Wody podziemne w skałach krystalicznych na podstawie badań wybranych obszarów Sudetów polskich*. Prace geologiczno-mineralogiczne LIII. Wrocław. Wyd. Uniw. Wrocław. ISBN 83-229-1413-X.
- Szczepańska J., Kmiecik E., 1998: *Statystyczna kontrola jakości danych w monitoringu wód podziemnych*. Wyd. AGH, Kraków.
- Szczepańska J., Kmiecik E., 2005: *Ocena stanu chemicznego wód podziemnych w oparciu o wyniki badań monitoringowych*. Uczel. Wyd. Nauk.-Dydakt., AGH, Kraków.
- Szymanko J., 1980: *Koncepcje systemu wodonośnego i metod jego modelowania*. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Tarka R., 2006: *Hydrogeologiczna charakterystyka utworów kredy w polskiej części Sudetów*. Acta Univ. Wratislaviensis. Wrocław, Wyd. Uniw. Wrocław, ISBN 83-229-2740-1.
- Ulman-Bortnowska M., 1995: *Dokumentowanie zbiorników wód podziemnych i ustalanie zasad ochrony obszarów ich zasilania (wskazania)*. MOŚZNiL, Warszawa.
- Wilk Z. (red.), 2003: *Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa*. Tom 1. Wyd. AGH, Kraków.
- Wilk Z., Bocheńska T., 2003: *Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa*. Tom 2. Wyd. AGH, Kraków.
- Wilk Z., Kulma R., 2004: *Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa*. Tom 3. Wyd. AGH, Kraków.
- Witczak S., Adamczyk A., 1994–1995: *Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania*. Tom I i II. PIOŚ. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa.