

# AUTOREFERAT

*Arkadiusz Krawiec*

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu  
Wydział Nauk o Ziemi  
Katedra Geologii i Hydrogeologii  
ul. Gagarina 11, 87 – 100 TORUŃ

Toruń, 11.06.2013 r.

## DANE OSOBOWE

[REDACTED] [REDACTED]  
[REDACTED] [REDACTED]

## WYKSZTAŁCENIE I STOPNIE NAUKOWE

- 2002 **Doktor nauk o Ziemi** Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi. Praca doktorska: pt. „Studium hydrogeologiczne wód leczniczych antyklinalium kujawsko-pomorskiego” promotor: prof. dr hab. Andrzej Sadurski; stopień doktora: 24.05.2002 r.
- 1996 Podyplomowe Studium Badań Środowiska „Phare-Tessa”, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Wydział Fizyki i Astronomii. Praca dyplomowa pt. „Zmiany jakości wód podziemnych w rejonie Ciechocinka pod wpływem eksploatacji solanek.”
- 1989–1994 **Studia magisterskie:** Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie; Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska; specjalność: hydrogeologia, geologia inżynierska i górnicza. Praca dyplomowa: „Ocena wpływu przemysłowych ognisk zanieczyszczeń na jakość wód podziemnych w rejonie olkuskim”; promotor: dr inż. Andrzej Haładus; tytuł magistra: 07.06.1994 r.

## ZATRUDNIENIE

Katedra Geologii i Hydrogeologii  
Wydział Nauk o Ziemi  
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu  
ul. Lwowska 1, 87 – 100 Toruń  
adiunkt

## PRZEBIEG PRACY ZAWODOWEJ

- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| 01.07-30.09.1994 r.            | Krakowskie Przedsiębiorstwo Geologiczne PRO-GEO,<br>asystent dokumentatora |
| 01.10.1994 - do chwili obecnej | Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu                                   |
| 01.10.1994-30.06.2004          | asystent w Zakładzie Geologii i Hydrogeologii WBiNoZ UMK                   |
| 01.07.2004 - do chwili obecnej | adiunkt w Katedrze Geologii i Hydrogeologii WNoZ UMK                       |

## TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Pochodzenie anomalii chlorkowych w wodach podziemnych polskiego wybrzeża Bałtyku

Urodziłem się 01.05.1970 r. w Olkuszu. Do szkoły podstawowej uczęszczałem w Bukownie, a następnie ukończyłem I Liceum Ogólnokształcące w Olkuszu. W 1999 r. zdałem egzamin wstępny na Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego. Po ukończeniu I roku geologii przeniostałem się na II rok studiów na Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Studia o specjalności: hydrogeologia, geologia inżynierska i górnicza ukończyłem w 1994 r. otrzymując stopień mgr inż. Podczas studiów w ramach indywidualnego toku nauczania specjalizowałem się także z zakresu ochrony środowiska na Politechnice Krakowskiej. Przedstawiłem pracę dyplomową pt. „Ocena wpływu przemysłowych ognisk zanieczyszczeń na jakość wód podziemnych w rejonie olkuskim”, którą wykonałem pod kierunkiem dr A. Haładusa. Wyniki wykonanych badań opublikowałem wspólnie z dr inż. A. Haładusem i dr inż. A. Adamczykiem w 1995 r. na VII Sympozjum „Współczesne problemy hydrogeologii”.

Po ukończeniu studiów pracowałem w Krakowskim Przedsiębiorstwie Geologicznym Pro-Geo prowadząc badania i prace terenowe głównie na obszarze Karpat i Roztocza (GZWP nr 428 Biłgoraj-Lubaczów; GZWP nr 425 Dębica - Stalowa Wola – Rzeszów; Dokumentacja Obszaru Wydobycia Wody dla województwa nowosądeckiego).

Od dnia 01.10.1994 r. zostałem zatrudniony na etacie asystenta w Zakładzie Geologii UMK. Podczas pracy zawodowej w 1996 r. ukończyłem roczne Podyplomowe Studium Badań Środowiska „Phare-Tessa”, na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, przedstawiając pracę dyplomową pt. „Zmiany jakości wód podziemnych w rejonie Ciechocinka pod wpływem eksploatacji solanek.”

Prace badawcze z pierwszego okresu mojej pracy w Toruniu dotyczyły wód leczniczych z rejonu Ciechocinka. W latach 1995-1996 prowadziłem badania w ramach własnego projektu badawczego (grant) KBN nr 9 T12B 015 12 pt. „Pochodzenie i stratyfikacja wód leczniczych Ciechocinka w oparciu o badania hydrochemiczne i izotopowe”. Badania te dotyczyły przede wszystkim składu chemicznego i izotopowego wód leczniczych (Krawiec 1999). Ponadto na obszarze tym wykonałem pomiary zawartości radonu w wodach podziemnych (Kachnic, Krawiec 1996; Krawiec, Turło 1997) oraz dokonałem oceny zmian jakości i zagrożeń wód podziemnych na Nizinie Ciechocińskiej (Sadurski, Krawiec 1997). Na podstawie badań środowiskowych wspólnie z pracownikami Wydziału Fizyki UMK wykazałem występowanie Cs-137 i Cs-134 na obszarze Ciechocinka związane z wpływem awarii elektrowni w Czarnobylu (praca opublikowana w Radiation Measurements - Oczkowski i in. 1996 – czasopismo wyróżnione Journal Citation Reports).

Drugim aspektem mojej pracy był obszar wybrzeża Bałtyku, gdzie uczestniczyłem w pracach badawczych w ramach projektów:

- projekt badawczy (grant) KBN nr 6 PO4D 028 10 pt. „Ochrona zasobów wód podziemnych w warunkach ich eksploatacji w strefie brzegowej zachodniego wybrzeża Polski, 1996 - 1998; kierownik: Prof. dr hab. Andrzej Sadurski;
- projekt badawczy KBN nr PBZ-061-01 (zad. bad. nr 5) pt. „Rozpoznanie i ocena zasobów oraz możliwości eksploatacji wód pitnych, mineralnych i peloidów na Mierzei Wiślanej”. PPW Glob Gdańsk, kierownik. Prof. T. Jednorąg; 1994-1995.

W latach 1998-2001 prowadziłem badania w ramach współpracy Niemiecko-Polskiej w projekcie Nr POL 96/145, którego kierownikiem był prof. dr hab. inż. A. Zuber. Uczestniczyłem w badaniach terenowych na obszarze od Łeby do Świnoujścia, gdzie prowadzony był m.in. pobór próbek wód do oznaczeń gazów szlachetnych.

Wyniki części tych badań zostały opublikowane w kilku pracach. Zagrożenia zasobów wód podziemnych w strefie nadmorskiej zostały omówione w pracy Sadurskiego i Krawca (1998), wyniki badań wód mineralnych z rejonu Kamienia Pomorskiego zostały przedstawione w Przeglądzie Geologicznym (Krawiec 1999) a badania izotopowe wód z obszaru zachodniego Pobrzeża Polski oraz część wyników oznaczeń gazów szlachetnych zaprezentowane na IX Sympozium "Współczesne problemy hydrogeologii" (Krawiec 1999) oraz 16<sup>th</sup> Salt Water Intrusion Meeting "Hydrogeology of the coastal aquifers" (Krawiec i in. 2000). W pracach tych po raz pierwszy na obszarze wybrzeża polskiego Bałtyku zastosowano metody badań wód podziemnych z wykorzystaniem gazów szlachetnych.

W latach 1997-2002 czynnie uczestniczyłem w pracach związanych z kartografią hydrogeologiczną na terenie Polski północnej. W tym okresie wykonałem jako autor, bądź we współautorstwie 6 arkuszy Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1 : 50 000; arkusze: Grudziądz, Zblewo, Gostycyn, Trzebiatów, Brodnica i Zblewo.

W 1999 r. otrzymałem środki finansowe w ramach projektu badawczego (grant) KBN nr 6 P04D 036 18, które pozwoliły mi na dokończenie rozpoczętych w 1995 r. badań wód leczniczych i na ukończenie pracy doktorskiej pt. „Studium hydrogeologiczne wód leczniczych antyklinorium kujawsko – pomorskiego”. Stopień doktora nauk o Ziemi, nadany mi został uchwałą Rady Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi UMK z dnia 24.05.2002 r. Praca została napisana pod kierunkiem prof. dr hab. Andrzeja Sadurskiego, a recenzentami byli: prof. dr hab. Jacek Motyka (AGH Kraków) i prof. dr hab. Wojciech Ciężkowski (Politechnika Wrocławska).

Moje zainteresowania naukowe po doktoracie koncentrują się wokół kilku zagadnień:

1. Wody mineralne i termalne Niżu Polskiego i ich wykorzystanie do celów balneologicznych, w których stosowałem oznaczenia izotopów oraz oznaczenia gazów szlachetnych wód podziemnych;
2. Ocena zagrożenia zasobów wód podziemnych ingresją i ascensją wód słonych z wykorzystaniem metod geofizycznych i geochemicznych;
3. Czas przebywania wody w ośrodku skalnym, interakcja w systemie woda – skała i chemizm wód podziemnych;
4. Kartografia hydrogeologiczna;
5. Występowanie mikroorganizmów w wodach podziemnych.

#### **Ad. 1.**

Prace badawcze związane z wodami mineralnymi Niżu Polskiego stanowią kontynuację i rozszerzenie badań wykonanych w ramach mojego doktoratu.

Wyniki badań składu izotopowego siarki i tlenu w siarczanach wód leczniczych wykonałem we współpracy z prof. S. Hałasem (UMCS Lublin) oraz z dr hab. I. Plutą (GIG Katowice). Wykazałem, iż na obszarze antyklinorium pomorskiego w wodach leczniczych stwierdzono dwa rodzaje siarczanów:

- wody lecznicze z utworów jury (Kołobrzeg, Kamień Pomorski, Dziwnówek) są silnie wzbogacone w izotopy ciężkie siarki i tlenu w wyniku redukcji bakteryjnej,
- wody z utworów triasu (Międzywodzie, Połczyn Zdrój) mają niskie wartości  $\delta^{34}\text{S}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  charakterystyczne dla ewaporatów morskich tego okresu (Krawiec i in. 2003).

W pracy dotyczącej wód leczniczych z Połczyna Zdroju (Krawiec, Dulski 2004) wykazałem, że na obszarze tym do głębokości ok. 800 m występują wody słodkie. Poniżej, znajduje się miąższa, licząca ponad 300 m, seria utworów ilastych stanowiąca bardzo dobrą izolację od głębszych poziomów. Woda w warstwach retyku ma mineralizację 0,7 g/dm<sup>3</sup>, a jej „wiek” (ujęcie Połczyn 2 o głębokości 770 m)

oszacowałem na 5500 lat. Solanka w utworach kajpru ma natomiast mineralizację  $75 \text{ g/dm}^3$  i należy do wód o bardzo długim czasie przebywania w ośrodku skalnym.

W kilku pracach (Krawiec 2005a; 2005b; 2006a; 2007b; 2009a; 2009b;) przeprowadziłem analizę możliwości wykorzystania wód mineralnych i termalnych z rejonu Piły - ujęcie Kotuń IG-1 oraz z rejonu Grudziądz – ujęcie Marusza IG-1 i Grudziądz 2 do celów balneologicznych i rekreacji. Przedstawiłem także warunki eksploatacji surowców balneologicznych w Wieńcu Zdroju (Krawiec, Kalitka 2005; Krawiec 2006c), Kamieniu Pomorskim (Krawiec, Kalitka 2009), Połczynie Zdroju (Krawiec, Kalitka 2009) i Grudziądzu (Krawiec 2011).

Badania izotopowe oraz oznaczenia gazów szlachetnych w wodach leczniczych Polski północnej pozwoliły mi także na określenie i weryfikację poglądów na genezę tych wód. Wyniki badań przedstawiłem w pracach: Krawiec (2007a; 2007b) oraz Rasała i Krawiec (2011).

W specjalnym numerze Przeglądu Geologicznego wydanym na XXXVIII Światowy Kongres Hydrogeologiczny IAH, który odbył się w Krakowie w dniach 12–17 września 2010 wspólnie z prof. W. Ciężkowskim, dr hab. J. Chowańcem, prof. W. Góreckim, dr hab. L. Rajchel oraz prof. A. Zuberem przedstawiłem zagadnienia dotyczące wód mineralnych i termalnych z obszaru Polski.

Wyniki części moich badań dotyczące wód leczniczych zostały także podane w monografii pod redakcją W. Ciężkowskiego (2007) pt „Współdziaływanie wód zwykłych i leczniczych – zasady dokumentowania, ochrony i gospodarki wodnej” oraz w pracy Therapeutic waters as geotourism values of the Polish Baltic sea coast (Geoturystyka, 1-2 (28-29): 3-12).

## **Ad. 2.**

Moje kilkunastoletnie prace i badania terenowe w strefie brzegowej południowego Bałtyku związane są z problemami występowania i identyfikacji ascenzji i ingresji wód słonych i słonawych. Zagrożenia zasobów wód podziemnych ingresją / ascenzją wód słonych z wykorzystaniem metod izotopowych, geofizycznych i geochemicznych stanowią drugi kierunek moich badań, który zainteresował mnie jeszcze przed ukończeniem pracy doktorskiej.

W latach 2004-2005 byłem kierownikiem i głównym wykonawcą projektu badawczego (grant) KBN nr 4 T12B 035 26, pt. „Ocena wrażliwości wód podziemnych na zagrożenia antropogeniczne i geogeniczne z wykorzystaniem metod izotopowych na przykładzie zachodniego Pobrzeża Bałtyku”. Badania izotopowe wykonywałem przy współpracy z dr hab. M. Dulińskim z laboratorium Zespołu Fizyki Środowiska Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo Hutniczej (WFIS AGH) w Krakowie.

Wyniki badań zostały zaprezentowane na XII Sympozjum Współczesne problemy hydrogeologii (Krawiec i in. 2005) oraz na międzynarodowych konferencjach: „Hydrogeochemia” (Krawiec 2006), XXXVIII IAH Congress Groundwater Quality Sustainability (Krawiec, Sadurski 2010a), 18<sup>th</sup> i 21<sup>th</sup> Salt Water Intrusion Meeting (Burzyński i in. 2004; Krawiec, Sadurski 2010b).

W badaniach procesów ingresji i ascenzji wód zmineralizowanych, przy współpracy z M. Rudzkim (Geofizyka Toruń), zastosowałem nowoczesne metody geofizyczne z wykorzystaniem metody tomografii elektrooporowej (ERT). Wyniki badań zostały opisane w pracach: Rudzki, Krawiec (2007) oraz Krawiec, Rudzki (2008) i zaprezentowane na I Kongresie Geologicznym w Krakowie. Na podstawie przeprowadzonych w 2011 r. badań elektrooporowych wykonana została i oddana do druku w Acta Geophysica (czasopismo indeksowane na liście JCR) praca pt. „Assessment of the marine water ingression by the method of resistivity imaging in the Vistula Spit (Poland)” (autorzy: Jochymczyk K., Krawiec A., Zogala B.).

W 2009 r. otrzymałem projekt badawczy MNiSW nr N N525 461336 pt. Pochodzenie anomalii hydrogeochemicznych w wodach podziemnych polskiego wybrzeża Bałtyku w świetle wyników badań izotopowych, hydrochemicznych, geofizycznych i oznaczeń gazów szlachetnych, którego byłem kierownikiem i głównym wykonawcą.

W wytypowanych otworach badawczych, pobrałem próbki wody do szczegółowych analiz fizykochemicznych wód, oznaczeń izotopowych ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ) oraz oznaczeń stężeń gazów szlachetnych ( $^4\text{He}$ ,  $^{40}\text{Ar}$  i  $^{21}\text{Ne}$ ). Wyniki te posłużyły do określenia genezy i „wieku” wód. Na podstawie badań  $^{14}\text{C}$  oraz oznaczeń gazów szlachetnych na Mierzei Helskiej oraz na obszarze Żuław Wiślanych zlokalizowane zostały infiltrujące pod koniec plejstocenu tzw. wody „glacjalne”. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły na obszarze Żuław obecność tzw. wód „młodoreliktowych”, które udokumentowali Kozerski i Kwaterkiewicz (1988) oraz Zuber i in. (1990).

W latach 2010-2011 na zlecenie Państwowego Instytutu Geologicznego–Państwowego Instytutu Badawczego w Warszawie wykonałem opracowania pt.: „Opracowanie kryteriów identyfikacji zmian położenia zwierciadła głównego użytkowego poziomu wodonośnego w rejonie Elbląga oraz „Współwystępowanie wód zwykłych i słonych w regionie wodnym Dolnej Odry i Przymorza Zachodniego – wskazania metodyczne na potrzeby bilansowania wodnogospodarczego zlewniowych systemów krążenia wód na przykładzie polskiej części wyspy Uznam”.

### Ad. 3.

Kolejnym, istotnym kierunkiem badań jest ocena czasu przebywania wody w ośrodku skalnym. Identyfikacja systemów obiegu wody pozwala na prawidłową ochronę zasobów wód podziemnych oraz umożliwia racjonalne zagospodarowanie zasobów. Bardzo dobrym narzędziem do interpretacji zmian układu krążenia wód podziemnych jest numeryczny model filtracji. Model matematyczny przepływu wód podziemnych ułatwia także ocenę wpływu inwestycji na środowisko wód podziemnych.

W swoich pracach z obszarów Pojezierza Pomorskiego oraz Chełmińskiego-Dobrzyńskiego (Krawiec i in. 2005; Krawiec 2007; Krawiec, Śmietański 2007; Kachnic, Krawiec 2008) wykazałem jak ważnym czynnikiem kształtującym system krążenia wód podziemnych, oprócz budowy geologicznej, jest ukształtowanie powierzchni terenu. Głęboko wcięte doliny rzek i rynny jezior oraz duże deniwelacje terenu sprzyjają procesowi wymiany wód podziemnych. Około 90% całkowitego przepływu wód podziemnych na obszarze Pojezierzy koncentruje się w warstwach kenozoiku, a do głębokich poziomów wodonośnych doptywa zaledwie kilka % objętości infiltrujących na powierzchni opadów.

Wspólnie z dr hab. J. Gurwinem z Uniwersytetu Wrocławskiego wykonane zostały badania modelowe dla obszaru wyspy Uznam i wyspy Wolin (Gurwin, Krawiec 2010, 2012). Do interpretacji systemu krążenia wód podziemnych wykorzystano numeryczny model filtracji. Symulacje w zakresie dynamiki wód podziemnych przeprowadzono przy użyciu programu Groundwater Vistas. Do obliczeń prędkości, czasów przepływu i w konsekwencji do wyznaczenia przebiegu linii prądu zastosowano program MODPATH bazujący na teorii modelu przepływu tłokowego. Jednoznacznie wykazałem zasadność stosowania różnych metod badawczych oraz możliwości ich wzajemnej weryfikacji - modelowanie numeryczne, badania geofizyczne oraz wyniki oznaczeń hydrochemicznych i izotopowych do interpretacji systemu krążenia wód oraz genezy zasolenia warstw wodonośnych.

W rejonie Kamienia Pomorskiego oraz Kołobrzegu wykonałem obliczenia czasu przepływu wody na przekrojach hydrogeologicznych (Krawiec i in. 2012). Do obliczeń czasu przepływu wody w ośrodku o znanej porowatości aktywnej posłużono się programem TFS opracowanym przez K. Burzyńskiego (1997). Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, iż obecnie czas wymiany wód podziemnych w rejonie Zalewu Kamieńskiego jest prawie dwa razy dłuższy niż na początku holocenu

(7500 lat temu). Wolniejszy przepływ wód oraz obniżenie gradientów hydraulicznych po transgresji litorynowej przyczyniły się do spowolnienia tempa wymiany wód na rozpatrywanym obszarze i spowodowały sprzyjające warunki do ascencji solanek. Słonawe wody podziemne nizin nadmorskich w rejonie Kamienia Pomorskiego czy Kołobrzegu są przeważnie mieszaniną wód zmineralizowanych ascendujących z warstw mezozoicznych i współczesnych wód infiltracyjnych. Proces wymiany wody w pasie nadmorskich nizin jest bardzo powolny wskutek niskich ( $i \rightarrow 0$ ) gradientów hydraulicznych wód podziemnych.

#### **Ad. 4.**

Kolejnym polem badawczym, w którym uczestniczę jest kartografia hydrogeologiczna. Jest to zadanie realizowane przez Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy, w które jestem zaangażowany od 1997 r. Opracowania te zawierają szereg plansz – mapy GIS, bazy danych oraz teksty. W 2002 r. wykonałem arkusze Skarlin i Brodnica (współautor Kotowski T.) a 2004 r. opracowałem arkusz Jastrowie Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1 : 50 000.

W 2007 r. brałem udział w opracowaniu pt.: „Występowanie strategicznych zbiorników wód podziemnych i braku użytkowych warstw wodonośnych w województwie kujawsko-pomorskim” (Sadurski A., Kachnic M., Krawiec A., Kotowski T., 2007) realizowanym na zlecenie Zarządu Województwa Kujawsko-Pomorskiego oraz w wykonywałem projekt pt.: Identyfikacja regionalnych obszarów deficytowych oraz obszarów na których nie występuje użytkowy poziom wodonośny, woj. kujawsko-pomorskie (Kachnic J., Kachnic M., Krawiec A., Lewandowska D., 2007) na zlecenie Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie.

W 2010 r. opracowałem arkusz Głównicy - baza danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski 1: 50 000 pierwszy poziom wodonośny wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód, za który otrzymałem wyróżnienie przez Komisję Opracowań Kartograficznych przy Ministrze Środowiska (wysoki poziom merytoryczny interpretacji autorskiej warstwy wynikowej na obszarze o zróżnicowanych warunkach geomorfologiczno-hydrogeologicznych strefy nadmorskiej).

Kolejny arkusz mapy „Baza danych GIS Mapy hydrogeologicznej Polski 1: 50 000 pierwszy poziom wodonośny występowanie i hydrodynamika, arkusz Skórcz (0168)” został przeze mnie opracowany w 2011 r.

W roku 2010 zostałem także zaproszony do współpracy z PIG-PIB do opracowania „Mapy zagospodarowania wód podziemnych zaliczonych do kopalin występujących na obszarze prowincji platformy paleozoicznej i prekambryjskiej w skali 1:500 000. Opracowanie to zawiera także 149 stron tekstu oraz 49 stron kart informacyjnych (Felter A., Kielczawa B., Krawiec A., Socha M., Sokołowski J., Myciuk K., 2010). Zarówno mapa, jak i tekst opracowania w całości posłużyły PIG-PIB do opracowania w 2011 r. „Mapy zagospodarowania wód podziemnych zaliczonych do kopalin w Polsce”.

#### **Ad. 5.**

W 2009 r. rozpocząłem współpracę z dr hab. Maciejem Walczakiem Zakładu Mikrobiologii Środowiskowej i Biotechnologii Wydziału Biologii i Ochrony Środowiska (WBiOŚ) UMK w Toruniu związaną z badaniami obecności mikroorganizmów w wodach podziemnych. Przeprowadziliśmy pilotażowe badania mikrobiologiczne w celu sprawdzenia czy istnieje życie mikrobiologiczne w poziomach wodonośnych na znacznej głębokości, a jeżeli tak, to czy występuje zróżnicowanie, np. gatunków i liczebności tych mikroorganizmów w warstwach wodonośnych w profilu pionowym. Wyniki badań wykazały niemalże powszechne występowanie mikroorganizmów w wodach podziemnych nawet na głębokościach do 3,0 km (Walczak, Krawiec A. 2011; Krawiec, Walczak 2012; Walczak i in. 2011).

W 2010 r. wszedłem w skład zespołu badawczego realizującego projekt MNiSW nr N N304 387838 pt. „Występowanie patogennych dla ludzi ameb typu "limax" i bakterii z rodzaju Legionella pneumophila w podgrzanych wodach oraz implikacje dotyczące ryzyka ich jednoczesnej inwazji” (kierownik: dr Elżbieta Lalke-Porczyk). Część wyników związanych z tym projektem została już opublikowana np. Żbikowska i in. (2013, Parasitology Research 112 (1): 77-83 - czasopismo na liście JCR) Walczak i in. (2013, Annals of Agricultural and Environmental Medicine - czasopismo na liście JCR).

Obecnie przygotowywane są do druku 2 kolejne prace związane z występowaniem bakterii w wodach i skałach (wspólnie z dr hab. E. Żbikowską oraz prof. dr hab. inż. M. Pawlikowskim i dr hab. M. Walczakiem).

### **Charakterystyka osiągnięcia naukowego będącego podstawą wszczęcia postępowania habilitacyjnego**

Główne moje osiągnięcie naukowe (Dz.U. nr 84 z dnia 18 marca 2011 r., poz. 455, art. 16, ust. 2, pkt.1), po uzyskaniu stopnia doktora, stanowiące znaczny wkład w rozwój geologii w specjalności hydrogeologia, zawarte jest w monografii mojego autorstwa pt. **Pochodzenie anomalii chlorkowych w wodach podziemnych polskiego wybrzeża Bałtyku** (Wyd. Naukowe UMK. Toruń, 2013, s. 1-143).

Od początku drogi naukowej przedmiotem moich zainteresowań badawczych były wody mineralne Niżu Polskiego oraz wody podziemne morskiej strefy brzegowej.

Monografia pt. „Pochodzenie anomalii chlorkowych w wodach podziemnych polskiego wybrzeża Bałtyku” to efekt kilkunastoletnich badań terenowych i laboratoryjnych, które początkowo prowadziłem na obszarze zachodniej i centralnej części polskiego wybrzeża Bałtyku, a w ostatnich kilku latach także na obszarze wschodniego wybrzeża Bałtyku.

Obszar badań obejmuje polską część wybrzeża Bałtyku południowego od wyspy Uznam po Zalew Wiślany. Do szczegółowych analiz wybrano 7 obszarów cząstkowych. W obrębie zachodniego Pobrzeża Bałtyku są to: polska część Wyspy Uznam i Wyspa Wolin, rejon Kamienia Pomorskiego oraz rejon Kołobrzegu. Z terenu wschodniego Pobrzeża wytypowano cztery obszary, tj: Dąbki-Rowy, Łeba-Dębki, obszar Mierzei Helskiej i Mierzei Wiślanej oraz rejon Żuław Wiślanych. Obszary te rozmieszczone są w różnych jednostkach geologiczno-strukturalnych oraz regionach hydrogeologicznych. Problem zasolenia wód podziemnych został przedstawiony na obszarach: wysp, mierzei, nizin nadmorskich, wybrzeży klifowych oraz delty Wisły (Żuławy).

W wytypowanych otworach badawczych, pobrano próbki wody do szczegółowych analiz fizykochemicznych wód, oznaczeń izotopowych ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ) oraz stężeń gazów szlachetnych ( $^4\text{He}$ ,  $^{40}\text{Ar}$  i  $^{21}\text{Ne}$ ). W jednym z obszarów przeprowadzono pilotażowe oznaczenia mikrobiologiczne w próbkach wody o zróżnicowanej mineralizacji, które wyróżniały się długim czasem przebywania w ośrodku skalnym. W celu rozpoznania zasięgu ingresji i ascenzji wód słonych i solanek przeprowadzone zostały prace geofizyczne z wykorzystaniem metody tomografii elektrooporowej (ERT).

W pracy przedstawiono kompleksowe wyniki badań hydrogeochemicznych i izotopowych wód w aspekcie ich genezy i wieku. Zawarto także wyniki obliczeń czasu przepływu wody na przekrojach hydrogeologicznych dla rejonu Kamienia Pomorskiego i Kołobrzegu (Krawiec i in. 2012). Do obliczeń czasu przepływu wody w ośrodku o znanej porowatości aktywnej posłużono się programem TFS opracowanym przez Burzyńskiego (1997). Dla obszaru wyspy Uznam i wyspy Wolin wykonane zostały badania modelowe (Gurwin i in. 2009; Gurwin, Krawiec 2010, 2012). Symulacje w zakresie dynamiki



wód podziemnych przeprowadzono przy użyciu programu Groundwater Vistas. W obszarach badawczych na podstawie wyników badań izotopowych, oznaczeń stężenia  $^4\text{He}$  i trytu oraz wyników modelowania matematycznego określono czas wymiany wód w poszczególnych systemach wodonośnych.

Zwykłe wody podziemne na obszarze południowego wybrzeża Bałtyku występują głównie w czwartorzędowym piętrze wodonośnym. W części zachodniego wybrzeża, wody słodkie eksploatowane są lokalnie z piętra kredowego w synklinie Trzebiatowa oraz sporadycznie z jurajskiego piętra wodonośnego w Mrzeżynie, Podczelu i Pogorzeliczy. W części wschodniej, oprócz powszechnie eksploatowanego piętra czwartorzędowego, znaczenie użytkowe mają także piętra wodonośne miocenu i oligocenu oraz kredy. Wody słodkie najczęściej są typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  lub  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  i występują głównie w poziomach czwartorzędowych. Lokalnie występują także w stropowych partiach osadów kredy i jury. W warstwach neogenu, paleogenu oraz kredy znajdują się najczęściej wody o większym zróżnicowaniu typów chemicznych:  $\text{HCO}_3\text{-Na}$ ,  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$ ,  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na-Ca}$  czy  $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na}$ . Wody słone (brakiczne) i słone występujące głównie w piętrze wodonośnym kredy i jury są przeważnie typu  $\text{Cl-Na}$ .

Występujące w podłożu osadów kenozoiku liczne dyslokacje wpływają na system krążenia wód podziemnych i często są przyczyną łączenia się różnych poziomów wodonośnych. Połączenia takie, szczególnie pomiędzy wodami mineralnymi występującymi w utworach jury lub kredy i wodami z warstw czwartorzędu mogą powodować anomalie chlorkowe w płytszych warstwach. Na Polskim wybrzeżu Bałtyku stwierdzono występowanie głównie anomalii chlorkowych. Podstawową przyczyną ich powstawania są procesy ascencji i ingresji wód słonych i słonawych. Wyróżniono kilka czynników, które decydują o występowaniu anomalii chlorkowych w analizowanym obszarze (systemy krążenia, ewolucja hydrogeologiczna, pojemność wodna warstw).

Systemy krążenia wód podziemnych są w znacznej mierze zależne od budowy geologicznej, morfologii wybrzeża i tektoniki - stref dyslokacyjnych. Wody z warstw mezozoiku mają zwykle wyższe wysokości hydrauliczne niż wody występujące w poziomach czwartorzędowych, co przyczynia się do ascencji wód słonych do płytszych poziomów wodonośnych. W części zachodniej wybrzeża brak ilastych osadów neogenu i paleogenu o charakterze izolującym znacznie ułatwia przepływ wód słonych z podłoża mezozoicznego do warstw czwartorzędu. Niskie wysokości hydrauliczne w użytkowych warstwach wodonośnych, często wywołane przez nadmierną eksploatację, w obszarach nizin nadmorskich oraz wysp i mierzei są przyczyną ingresji wód morskich oraz ascencji solanek z mezozoicznego podłoża.

Najszybsze zmiany składu chemicznego wód zachodzą w warstwach wodonośnych o małej miąższości. W przypadku intensywnego poboru wód z warstwy wodonośnej o niewielkiej miąższości, w niesprzyjających warunkach może nastąpić szybka degradacja jej zasobów poprzez dopływ wód słonych z podłoża lub od linii brzegowej morza. Jeżeli warstwa wodonośna czy system wodonośny mają dużą miąższość (pojemność wodną), a zatem także duże zasoby, to wszelkie zmiany zachodzą znacznie wolniej. W analizowanym obszarze sumaryczna miąższość kenozoicznych warstw wodonośnych w części wschodniej polskiego wybrzeża jest najczęściej 2-3 razy większa niż ma to miejsce w rejonie zachodnim.

Ewolucja hydrogeologiczna analizowanego obszaru, szczególnie pod koniec plejstocenu i na początku holocenu miała istotny wpływ na formowanie się składu chemicznego i genezę wód podziemnych. Podczas zlodowacenia w miejscach gdzie podłoże nie było zamrożone lub wieloletnia zmarzlina miała charakter nieciągły, zachodziło zasilanie wodami z topniejącego łądolodu. Wówczas następowała intensywna wymiana wód podziemnych.

Na podstawie badań  $^{14}\text{C}$  oraz oznaczeń gazów szlachetnych zostały zlokalizowane na Mierzei Helskiej (Jastarnia, Hel) oraz na obszarze Żuław Wiślanych (np. Grochowo, Gozdawa, Trutnowy) infiltrujące pod koniec plejstocenu tzw. wody „glacjalne”. W Juracie eksploatowane są wody o wartościach delt przekraczających dolną granicę typowych wartości dla zasilania glacjalnego na obszarze Polski:  $\delta^{18}\text{O} = -13,6\text{‰}$  i  $\delta^2\text{H} = -102,5\text{‰}$ . Znaczący udział wód infiltrujących w klimacie chłodnym zaznacza się także w próbkach z Ustki, Jarosławca, Dąbek i Łeby, dla których wartości NGT wynoszą od 4,3 do 5,3 $^{\circ}\text{C}$ . Wody tej genezy występują głównie na obszarze wschodniej części wybrzeża w głębokich poziomach plejstocenu i stropowych warstwach kredy na głębokościach od 90 do ponad 180 m.

Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły obecność tzw. wód „młodoreliktowych”, w centralnej i północnej części Żuław, gdzie gradienty hydrauliczne są bardzo niskie, występują strefy utrudnionej wymiany wód, a także strefy wód stagnujących. W rejonach tych mogły przetrwać tzw. wody młodoreliktowe lub też komponenty tych wód, zmieszane z wodami o innej genezie np. wodami współczesnymi czy też starszymi wodami przenikającymi do płytszych poziomów wodonośnych w wyniku ascencji z podłoża mezozoicznego.

Przeprowadzone badania wykazały anomalnie wysokie koncentracje fluoru w wodach z rejonu południowej i centralnej części obszaru Żuław Gdańskich, co wcześniej opisywali Sadurski (1986b), Borawska i Sadurski (1987) oraz Kozerski i in. (1987). W rejonie miejscowości Krzywe Koło oraz Suchy Dąb stężenia jonu  $\text{F}^-$  w poziomie plejstoceno-holoceno dochodzą do 6,0 mg/dm $^3$ . Wysokie stężenia fluorków występują także w głębszych poziomach wodonośnych kenozoiku i kredy (Trutnowy, Krzywe Koło, Wiśniówka i Niedzwiedziówka).

W rejonie południowego wybrzeża Morza Bałtyckiego następuje drenaż wód podziemnych z różnych systemów obiegu wód. Różnowiekowe strugi wód często mieszają się ze sobą przyczyniając się do wieloskładnikowej genezy wody. Dodatkowo na zmiany chemizmu wody na tym obszarze bardzo znacząco wpłynął człowiek poprzez nadmierną eksploatację warstw wodonośnych (głównie w latach 70. i 80. XX wieku). Proces wnikania wód słonych do użytkowych warstw wodonośnych miał wówczas największe nasilenie. Obecnie uległ on znacznemu zahamowaniu, co jest wynikiem ograniczenia poboru wód na ujęciach i uporządkowania gospodarki wodno-ściekowej na tym obszarze. Zaniechano eksploatacji ujęć wód, w których stale notowano podwyższone stężenia jonu  $\text{Cl}^-$ . Część ujęć w miejscowościach wypoczynkowych jest eksploatowana tylko sezonowo, co wpływa na lepszą odnawialność zasobów. Praktycznie wszystkie ujęcia wody zarządzane są przez dobrze zorganizowane przedsiębiorstwa/spółki wodociągowe, które dążą do minimalizacji strat i ochrony zasobów wód podziemnych. Nowe ujęcia wody lokalizowane są w znacznej odległości od obszarów zagrożonych ingresją lub ascencją wód słonych i solanek. W strefie brzegowej są także rejon, w których całkowicie zlikwidowano pobór wód (Dźwirzyno, Kołobrzeg, Mielno, Unieście), a wodę słodką doprowadza się z ujęć odległych o kilka-kilkanaście km od brzegu morza. Na niektórych obszarach, gdzie wyłączono ujęcia albo znacznie ograniczono pobór wód (np. w rejonie Gdańska) obserwuje się także proces odbudowy zasobów. Następuje powolne występowanie zdegradowanych przez wody słone warstw wodonośnych. Proces ten zachodzi także na obszarze Mierzei Helskiej, gdzie po zaprzestaniu eksploatacji pierwszego poziomu wodonośnego stężenie jonów chlorkowych znacznie zmalało i kształtuje się aktualnie na poziomie poniżej 100 mg/dm $^3$ . Lokalnie proces występowania zaznacza się także w rejonie Mielna i Unieścia, gdzie występowanie soczewy wód słodkich potwierdzono badaniami geoelektrycznymi.

Występowanie wód słonych w płytszych poziomach wodonośnych spowodowane ascencją zostało udokumentowane w rejonie: Kołobrzegu, Mielna, Międzywodzia, Kamienia Pomorskiego, Łeby

czy Dąbek, gdzie z tego powodu zlikwidowano szereg studzien. Na południowym wybrzeżu Bałtyku wpływ wód zmineralizowanych dopływających z podłoża mezozoicznego zaznacza się także w czynnych obecnie ujęciach. Sytuacja taka ma miejsce np. w rejonie Kamienia Pomorskiego, Pobierowa, Trzęsacza, Niechorza, Dąbek, Darłówka, Jarosławca, Ustki, Helu czy Juraty. W miejscach tych, wskutek zmniejszenia poboru wód, stężenia jonu  $Cl^-$  ustabilizowały się na poziomie od 100 do 300  $mg/dm^3$ . Ingresje wód morskich na badanym obszarze mają ograniczony zasięg i obecnie notowane są sporadycznie, głównie w pierwszym poziomie wodonośnym, na obszarach wysp oraz mierzei (Świnoujście, Wolin, Mielno, Dąbkowice, Rąbka, Dębki czy Jurata). Na polskim wybrzeżu Bałtyku stwierdzono obszary anomalii chlorkowych, gdzie wpływ wód morskich oraz ascenzja wód zmineralizowanych z podłoża nakładają się na siebie powodując degradację zasobów wód pitnych (Wyspa Uznam, Międzywodzie-Dziwnów, Mielno-Unieście czy rejon Dąbek i Dąbkowic).

Ważnym zagadnieniem w strefie brzegowej morza jest racjonalny pobór wód podziemnych. W miejscowościach wypoczynkowych i uzdrowiskach, szczególnie w okresie letnim, znacznie wzrasta zapotrzebowanie na wody słodkie. W sezonie letnim w większych miejscowościach nadmorskich pobór wód wzrasta około 2-3 razy, a na niektórych małych ujęciach pobór jest nawet kilkunastokrotnie większy. Na wybrzeżu południowego Bałtyku nadmierna eksploatacja warstw wodonośnych spowodowała powstawanie anomalii chlorkowych i była przyczyną zamknięcia wielu ujęć wód podziemnych. Kontrola wielkości poboru i jakości wód słodkich oraz bezpiecznie oszacowane zasoby eksploatacyjne dla poszczególnych obszarów wodnogospodarczych zapobiegną w przyszłości degradacji zasobów wód podziemnych poprzez zasolenie.

Interesujące są wyniki badań mikrobiologicznych z rejonu Kołobrzegu, które wskazują, że w wodach podziemnych, zarówno słodkich, jak i w solankach, pochodzących z różnych głębokości występują mikroorganizmy. W badanych wodach stwierdzono zarówno bakterie heterotroficzne, jak i chemoautotroficzne, tlenowe i beztlenowe, uczestniczące w przemianach związków siarki i żelaza. Generalnie ilość komórek zdolnych do wzrostu w badanych wodach jest niska. Związane jest to z tym, iż znaczna część mikroorganizmów należy do kategorii niehodowanych, a tym samym niewykrywalnych przez typowe laboratoria mikrobiologiczne. Kontynuacja badań mikrobiologicznych pozwoli na szczegółowe poznanie składu i populacji tych drobnoustrojów.

Rozwój badań izotopowych i datowanie na podstawie oznaczeń stężeń gazów szlachetnych stwarzają możliwości bardziej precyzyjnego określenia „wieku” wody. Lepszej dokumentacji i rozpoznania wymaga obecność wód „młodo-reliktowych” na Żuławach Wiślanych. Potrzebne są także dalsze badania tzw. „wód glacialnych” infiltrujących do systemu wodonośnego w klimacie chłodnym, których występowanie zostało potwierdzone na ujęciach w Jastarni, Helu czy Żuławach Wiślanych. Perspektywiczne są rozpoczęte badania mikrobiologiczne zmierzające do poznania składu populacji drobnoustrojów. Powinny one pozwolić na ocenę przemian geochemicznych jakie te organizmy powodują w warstwach wodonośnych, w których występują. W przyszłości badania te mogą przyczynić się do rozróżnienia pochodzenia wód o zróżnicowanej mineralizacji.

Monografia stanowi istotny wkład do hydrogeologii regionalnej Polski i wybrzeża morskiego. Przedstawia pełną charakterystykę ogółu zagadnień geologiczno-hydrogeologicznych, dotyczących strefy kontaktu wód słonych i słodkich w polskiej strefie brzegowej Morza Bałtyckiego. Dotychczas nie było w literaturze polskiej takiej monografii.

*Andżelika Krawiec*