

Załącznik nr 2 do wniosku
z dnia 27.08.2018 r.
o przeprowadzanie postępowania
habilitacyjnego;
wnioskodawca: dr **Sebastian BUCZYŃSKI**

A U T O R E F E R A T

1. Imię i Nazwisko: SEBASTIAN BUCZYŃSKI

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe:

- **Stopień naukowy doktora nauk o Ziemi**, w dyscyplinie geologia, specjalność hydrogeologia, nadany uchwałą Rady Instytutu Nauk geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego w dniu 27.09.2005 r.
Tytuł rozprawy: *„Warunki hydrogeologiczne osadowych formacji trzeciorzędu bloku przedsudeckiego (na przykładzie zlewni Bystrzycy)”*.
Promotor: prof. dr hab. Stanisław Staśko.
- **Dyplom magistra geologii** uzyskany w Instytucie nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego w 2001 r., w zakresie hydrogeologii.
Ocena na dyplomie: bardzo dobry.

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Uniwersytet Wrocławski, Wydział Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska	OBECNIE (od 1.10.2007)	adiunkt
Instytut Nauk Geologicznych Zakład Hydrogeologii Podstawowej	1.10.2006 – 30.09.2007	asystent
Centrum Modelowania Procesów Hydrologicznych	1.10.2005 – 30.09.2006	samodzielny geolog

4. Charakterystyka osiągnięcia naukowego wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki
(Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. W Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.)

a) tytuł osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe przedkładam cykl ośmiu monotematycznych publikacji pod zbiorczym tytułem „**Drenaż i wielkość odpływu wód podziemnych w małych zlewniach górskich o złożonej budowie geologicznej**”

b) autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy)

1. Buczyński S., Rzonca B., 2018: ***Influence of geologic structure on the presence, discharge and physical and chemical properties of springs in the Muszynka catchment (Carpathian Flysch)***. Episodes vol. 41, no. 2: 89–96. – recenzenci tajni
2. Buczyński S., 2018: ***Temporal variability of springs in catchment areas located in the Sudeten Mountains***. Hydrology Research 49.3: 780–793. – recenzenci tajni
3. Buczyński S., 2018: ***Odływ podziemny w małych zlewniach górskich Sudetów***. Prace Geograficzne 151: 7–26. – recenzenci tajni
4. Staśko S., Buczyński S., 2018: ***Drought and its effects on spring discharge regimes in Poland and Germany during the 2015 drought***. Hydrological Sciences Journal, 63: 741–751. – recenzenci: Dr Ian Overton i recenzent tajny
5. Buczyński S., Staśko S., 2016: ***Groundwater Flow Systems in the Sudeten Mountains a Study of the Kamieńczyk Catchment Area***. Episodes vol. 39, no. 3: 491–499. – recenzenci: prof. dr hab. Jerzy Małecki i recenzent tajny
6. Buczyński S., Wcisło M., 2013: ***Predicting climate-induced changes in groundwater resources on the basis of hydrogeological model research: Case study of the Carpathian flysch belt***. Episodes vol. 36, no. 2: 105–114. – recenzenci tajni
7. Buczyński S., Rzonca B., 2011: ***Effects of crystalline massif tectonics on groundwater origin and catchment size of a large spring area in Zieleniec, Sudety Mts., SW Poland***. Hydrogeology Journal, 19: 1085–1101. – recenzenci: Prof. Fernando António Leal Pacheco i recenzent tajny
8. Rzonca B., Buczyński S., 2009: ***Water mixing processes within a crystalline massif: Sudety mountains, SW Poland***. Hydrology Research, 40.1: 53–64. – recenzenci: Dr Nico Goldscheider i recenzent tajny

c) omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Zainteresowanie tematyką drenażu i wielkości odpływu wód podziemnych w małych zlewniach górskich zapoczątkowane zostało już na etapie realizacji rozprawy magisterskiej. Wyniki publikowanych badań prof. dr hab. Stanisława Staśko (Staśko 1996, 1997, 1999) oraz zespołu hydrogeologów Uniwersytetu Wrocławskiego (Bocheńska i in., 1995, 1997; Staśko, Tarka 1993, 1994) zainspirowały i ukierunkowały mnie do prowadzenia badań mających na celu poszerzenie wiedzy w zakresie mechanizmów kształtujących warunki drenażu oraz odpływ podziemny w małych zlewniach górskich zbudowanych ze skał krystalicznych lub zwięzłych skał osadowych.

Analizując wyniki badań zwróciłem uwagę na często sygnalizowane w literaturze, a następnie potwierdzone własnymi obserwacjami duże różnice w reżimie wydajności źródeł (Bartnik, Walisch, 1997; Małecka 1997; Michalczyk, 1997; Družkowski 2000) i wielkości odpływu podziemnego (Pleczyński 1981; Orsztynowicz 1988; Malinowski 1993; Bocheńska i in., 1997) występujące nie tylko między poszczególnymi zlewniami, ale zachodzące nawet w ich obrębie na stosunkowo niewielkich powierzchniach. Otrzymane przez autorów wnioski wskazywały, że układ hydrodynamiczny w zlewniach górskich o złożonej budowie geologicznej i dużym zaangażowaniu tektonicznym jest na tyle skomplikowany, że jego rozpoznanie wymaga dalszych badań, a ekstrapolowanie uzyskanych wyników na obszary sąsiednie może być obarczone dużym błędem. Odrębnym problemem na jaki zwróciłem uwagę analizując otrzymane wyniki i przygotowując wcześniejsze prace do druku, była stosunkowo mała ilość danych z małych niekontrolowanych zlewni górskich, które można byłoby porównywać z uzyskanymi przeze mnie wnioskami. Dodatkowo pogłębienie wiedzy na temat drenażu wód podziemnych i wielkości odpływu podziemnego na obszarach wykazujących znaczne zróżnicowanie tych elementów może być wykorzystane do racjonalnego gospodarowania wodami i wspomagać gospodarkę wodną poprzez podanie wytycznych i wytypowanie najlepszych sposobów i obszarów dla budowy ujęć wód podziemnych. Z takim problem często spotykają się mieszkańcy i władze samorządowe w małych zlewniach górskich, na wysoko położonych obszarach, gdzie w wyniku deficytu opadów lokalnie wysychają małe rzeki, płytkie studnie i źródła stanowiące podstawę zaopatrzenia ludności.

Przygotowując założenia realizowanego tematu badawczego, którego wyniki stały się podstawą mojego wniosku habilitacyjnego, uwzględniłem przytoczone powyżej wnioski oraz wątpliwości wynikające z wcześniej przeprowadzonych badań. Dlatego w swoich pracach skoncentrowałem się na lokalnych, ale szczegółowych badaniach, obejmujących kartowanie hydrogeologiczne, charakterystyki krenologiczne, oraz stacjonarny monitoring reżimu wydajności źródeł i wielkości odpływu podziemnego, który można traktować jako miarę zasobów odnawialnych. Badania prowadziłem w obszarach o różnych typach skał zbiornikowych: krystalicznych, osadowych zwięzłych i krasowych. W obszarach górskich, gdzie występuje deficyt danych z otworów wiertniczych, powyższe stosunkowo niskonakładowe badania dostarczają szeregu interesujących informacji o warunkach drenażu wód podziemnych oraz wielkości odpływu krenologicznego i podziemnego.

Badania obejmujące małe zlewnie górskie o złożonej budowie geologicznej rozpocząłem w roku 2003 jako drugie, niezależne od realizowanej rozprawy doktorskiej zagadnienie. W początkowym etapie monitoringiem okresowym i stacjonarnym objąłem zlewnie Jaskińca (Góry Złote) i górnej Bystrzycy Dusznickiej (Góry Orlickie). Obszary te

zostały wytypowane z kilku powodów. Posiadały one charakter zlewni górskich tj. cechowały się stosunkowo dużymi deniwelacjami terenu oraz wysokim spadkiem zlewni i doliny rzecznej. Dodatkowo zlewnie te charakteryzują się złożoną budową geologiczną (na powierzchni kilku km² występuje wiele wydzieli litologicznych i stref tektonicznych kształtujących drenaż wód podziemnych, reżim źródeł i zasoby wodne obszaru), a na ich obszarze nie stwierdzono infrastruktury mogącej lokalnie zaburzać systemy przepływu wód (elementów antropogenicznych – dużych ujęć wód podziemnych, jazów, stawów itp.). Zlewnie te pod kątem hydrogeologicznym były dotychczas badane w bardzo niewielkim zakresie, a o ich atrakcyjności stanowiły również wykartowane w trakcie prac liczne elementy przyrodnicze takie jak: jaskinie, ponory, wywierzyska i różne typy wód. Dodatkowo w gminach, w obrębie których występują wytypowane poligony badawcze (odpowiednio Łądek Zdrój i Duszniki Zdrój) władze samorządowe zwracały uwagę na problemy z zaopatrzeniem ludności w wodę i konieczność rozbudowy komunalnych ujęć wód.

Wyniki badań **[8*]** wykazały, że w zlewni Jaskińca na powierzchni poniżej 2 km² występują dwa typy wód podziemnych różniące się mineralizacją ogólną, składem chemicznym, odczynem i szeregiem innych parametrów. Występujące w zlewni procesy mieszania wód pozwoliły przeprowadzić mi, bazując na rozwiązaniu równań opisujących stężenia w składnikach i mieszaninach identyfikację ilościową. Na jej podstawie wyznaczyłem zależności między dwoma typami wód a następnie możliwe schematy drenażu wód podziemnych. Z przedstawionych czterech schematów, najbardziej prawdopodobne są jedynie dwa, które wydają się kompletne, gdyż uwzględniają bilans wodny oraz występujący w korycie Jaskińca aktywny ponor.

Przeprowadzone badania potwierdziły wcześniejsze przypuszczenia o występowaniu skomplikowanego systemu hydrogeologicznego, prawdopodobnie z dwoma niepołączonymi ze sobą systemami drenażu wód podziemnych. Jeden z nich drenuje wody przesączające się z wyżej położonych warstw węglanowych. Wody te dostają się do cieku jako *wody wodorowęglanowe*; ich udział w zasilaniu cieku jest zmienny dla różnych okresów, ale zawsze wynosi ponad połowę przepływu potoku. Drugi system (prawdopodobnie także krasowy) to odcinek podziemnego przepływu wód potoku, w którym wody są drenowane z potoku przez ponor, a następnie dostają się bezpośrednio do koryta w dolnej strefie badanej zlewni lub zgodnie z azymutem i upadem skał węglanowych przepływają w kierunku NE do sąsiadującej zlewni. Przeprowadzone badania krenologiczne i hydrologiczne wykazały, że nawet niewielkie wystąpienia skał węglanowych (wychodnie zajmują niecałe 2% obszaru badań) w dominującym zakresie

* numery cytowanych publikacji odnoszą się do spisu zawartego w *Załączniku 3 oraz punktu 4b niniejszego Autoreferatu*

kształtują systemy przepływu stanowiąc uprzywilejowaną bazę drenażu wód podziemnych.

W trakcie badania górnej części zlewni Bystrzycy Dusznickiej ze szczególnym uwzględnieniem reżimu jej źródła [7] wykazałem, że gęstość występowania tektonicznych stref nieciągłości nie zawsze musi mieć kluczowe znaczenie dla drenażu i kształtowania odpływu krenologicznego i podziemnego wód. Przeprowadzone badania potwierdziły wyniki opublikowane w zagranicznych artykułach (Magowe, Carr, 1999; Pacheco, Alencão, 2002; Earman i in., 2008), że na występowanie i odpływ krenologiczny oprócz zaangażowania tektonicznego wpływają inne czynniki związane z cechami nieciągłości takimi jak: typ spękań, wiek spękań i reżim deformacji (długość, szerokość, orientacje, drożność hydrauliczna) a rozpatrywanie pojedynczego parametru strukturalnego (np. tylko gęstości spękań) nie daje miarodajnych wyników.

Wykonane po raz pierwszy w ramach artykułu [7] badania schematu drenażu źródła Bystrzycy Dusznickiej (zastosowano m.in. nowatorskie/autorskie skumulowane częstości wydajności źródła) wykazały istnienie co najmniej czterech składowych o różnym charakterze (genezie). Przy najniższych wydajnościach, których prawdopodobieństwo wystąpienia oszacowałem na 20% i które charakteryzowały okresy ekstremalnie suche (składowa 1 – krzywa o parabolicznym kształcie) źródło drenuje jedynie matrycę skalną o niskiej odsączalności. Kolejna składowa odzwierciedla zachowanie źródła podczas okresów suchych (składowa 2 – wypukła krzywa) reprezentuje mechanizm powolnego odsączania bardzo drobnych, mało drożnych szczelin. Składowa 3, jako jedyna obrazowana prostolinijnym odcinkiem, reprezentuje najczęściej występujący przedział wydajności, a jej jednorodny charakter (lognormalny rozkład wydajności) świadczy o jednym wyraźnie dominującym mechanizmie zasilania, który gwarantuje źródłu Bystrzycy Dusznickiej względnie stałe wydajności, co przejawia się jego niską zmiennością. Składowa 4, obejmująca najwyższe wydajności źródła wykazuje silnie zmienny charakter. Wówczas na procesy drenażu dominujące przy niższych wydajnościach (składowe 1, 2 i 3) nakłada się wpływ drenażu obszarów leżących wyżej od źródła podczas roztopów i silnych opadów. Nieregularność zmienności tej części wykresu, charakteryzującej najwyższe wydajności, może być związana z różnymi mechanizmami drenażu obszarów wyżej leżących, o różnych parametrach sieci szczelin oraz innym charakterem (przebiegiem) epizodów opadowych i roztopowych. Szczególny jest wpływ silnych wiosennych opadów deszczu gwałtownie przyspieszających topnienie pokrywy śnieżnej; zachodzi to rzadko, ale przekłada się na rekordowe wartości wydajności źródła. W pracy wykazano również, że każdy kolejna składowa drenażu może, ale nie musi, pokazywać nałożenie procesu dominującego (wyższe wydajności) na inne. Przykładowo przy najwyższych wydajnościach źródło jest zasilane „dodatkowo” z bieżącej infiltracji wód opadowych/roztopowych, ale mechanizm

drenażu opisany przez składową 3 nadal zachodzi. Wątpliwe jest jednak, czy dochodzi wówczas do odsączania matrycy i najdrobniejszych szczelin składowa 1 i 2; raczej są one wtedy nasycane nadwyżkowymi wodami, by móc oddać tą retencjonowaną wodę w okresach suchych.

Istotnym wynikiem tych badań było również wyjaśnienie niezgodności bilansu wodnego sygnalizowanego wcześniej w artykułach Kryza (1975), Bartnik (2007), [59]. Na podstawie 3 letniego stacjonarnego monitoringu źródła, obliczeń bilansowych i analizy budowy geologicznej dowiodłem, że drenaż wód zasilających główne źródło Bystrzycy Dusznickiej następuje system dyslokacji z górnej części zlewni rzeki Bělá (Biała), czyli z obszaru Republiki Czeskiej (przepływ wód pod kontynentalnym działem wodnym). Wody te drenowane są zgodnie z wysokim gradientem ciśnień poprzez drożne, głębokie szczeliny o przebiegu NNW–SSE oraz NW–SE. Na podstawie szacunków objętości wody, która musiała dopłynąć w ciągu 3 lat spoza obszaru zlewni źródła (co najmniej $3\,332\,760\text{ m}^3$ wody tj. 88,8% odpływu) stwierdziłem, że powierzchnia obszaru będącego w stanie zapewnić zarejestrowany odpływ musi być aż dziesięciokrotnie większa niż wielkość zlewni topograficznej źródła.

W przypadku analogicznych, przeprowadzonych przeze mnie badań, charakteryzujących wpływ budowy geologicznej na występowanie, wydajność i parametry fizyczno–chemiczne źródeł w obrębie skał fliszowych Beskidu Sądeckiego [1] również nie uzyskałem jednoznacznych rezultatów. Tym samym wykazałem, że szereg nieciągłości jest niedrożnych dla przepływu wód podziemnych i nie predysponuje tych stref jako obszarów drenażu źródłanego. Dowiedziałem jednak, że podobnie jak to miało miejsce w rejonie Zieleńca najczęstsze wystąpienia źródeł skojarzone są z nieciągłościami tektonicznymi /lineamentami/ o przebiegu NE–SW i NW–SE. Porównując otrzymane wyniki z obserwacjami współczesnej geodynamiki (Jarosiński, 2006 a, b) wskazuję, że drożne dla ruchu wód podziemnych i kształtujące strefy uprzywilejowane dla odpływu podziemnego szczeliny pokrywają się z kierunkami największego współczesnego naprężenia poziomego.

Dalsze badania drenażu wód podziemnych w Sudetach prowadziłem w ramach kierowanego przeze mnie Projektu Badawczego NCN (DEC-2011/01/B/ST10/05121) pt. Systemy krążenia oraz warunki formowania zasobów wodnych w skałach krystalicznych i osadowych Sudetów Wschodnich. Został on zrealizowany w latach 2011–2014. Przeprowadzone w ramach projektu w 5 zlewniach badania okresowe (prowadzone przy współudziale dr Magdaleny Modelskiej, dr. Marka Wcisło, mgr Lidii Kasperczyk i mgr. Moath Almaaitah) oraz stałe pomiary wydajności źródeł reprezentatywnych i przepływu w ciekach dowiodły znaczne rozbieżności wielkości modułu odpływu podziemnego ($0,7\text{--}7,8\text{ L}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ [5]; $3,36\text{--}6,18$ [3]).

W artykułach opisujących wyniki powyższego projektu i stanowiących moje osiągnięcie habilitacyjne sformułowałem i uzasadniłem tezę wyjaśniającą:

- uzyskiwane znaczne rozbieżności pomiędzy dużymi głębokościami zwierciadła wód podziemnych w studniach, a sąsiadującymi licznymi wypływami stałych źródeł **[5]** oraz
- zróżnicowane wartości współczynników krenologicznych **[2]** wynoszące od 2,5 do 9,4 źródeł na km².

Wytłumaczenie tego zjawiska możliwe jest w oparciu o współwystępowanie stref lokalnego drenażu w strefach regionalnego zasilania wód. Duża głębokość zwierciadła wód podziemnych (28–32 m p.p.t.) na obszarach wyniesionych w połączeniu z wysokimi amplitudami wahań (4 m) jest charakterystyczna dla stref zasilania. Jednocześnie w tych samych obszarach lub w ich sąsiedztwie, stwierdza się stałe i/lub liczne źródła odprowadzające wody z lokalnego systemu krążenia. Proces drenażu źródłanego w takim przypadku można powiązać z teorią subsystemów występujących w obrębie opisywanego systemu krążenia wód podziemnych. Ich występowanie jest uwarunkowane zróżnicowanym zasięgiem warstw wodonośnych i skomplikowanymi warunkami gromadzenia i drenażu wód (Staśko 2002; Dąbrowski i in., 2010), występującymi powszechnie w zlewniach górskich o złożonej budowie geologicznej. W ramach badań przeprowadzonych w artykule **[3]** potwierdziłem, że małe zlewnie górskie położone na wyniesionych ponad doliny głównych rzek regionu obszarach bez wątplenia stanowią strefę zasilania, ale autorski wkład stanowiło oszacowanie, że około 20% infiltrującej wody bierze udział w procesie dalekiego krążenia (system regionalny). Około 60% odpływu podziemnego ma formę dopływu dokorytowego i zachodzi wzdłuż doliny rzecznej (system lokalny/przejściowy), natomiast pozostałe 20% odpływu podziemnego stanowi odpływ krenologiczny.

Przeprowadzona w ramach artykułu **[2]** szczegółowa analiza danych wykazała, że istotny wpływ na uzyskiwane wyniki oprócz elementów stałych jak wykształcenie litologiczne podłoża, warunki drenażu wód i morfologia terenu ma okres wykonywania badań. Określony po raz pierwszy współczynnik zmienności ilości źródeł oraz ich wydajności i parametrów fizyczno-chemicznych w większości przypadków, nawet w obrębie jednego roku hydrologicznego i zbliżonych warunków opadowych poprzedzających kartowanie wykazał zmienność przeciętną lub dużą. Większą ilością źródeł i wyższym wskaźnikiem krenologicznym charakteryzują się zlewnie strome. Jednocześnie zlewnie o dużej deniwelacji terenu charakteryzowały się większą zmiennością liczby źródeł (więcej źródeł okresowych) oraz większą zmiennością ich wydajności. Biorąc pod uwagę budowę litologiczną wodonośca, przeprowadzone analizy zlewni zbudowanych ze skał krystalicznych i zwięzłych skał osadowych dowiodły, że bardziej wydajne źródła występowały w zlewniach zbudowanych ze skał krystalicznych. Dodatkowo obszary zbudowane ze skał krystalicznych charakteryzowały się większą

zmiennością wydajności źródeł ($C_v=49-63\%$) i ilości wykartowanych wypływów. W zlewniach zbudowanych ze skał krystalicznych uzyskano również większe dysproporcje w modułach odpływu podziemnego, źródłanego i współczynnika zasilania źródłami **[3]**. Analiza otrzymanych wyników dowiodła **[2]**, że przepływ wody (drenaż źródłany) w skałach osadowych jest bardziej rozproszony, co powoduje, że źródła mają mniejsze ale zarazem stabilne wydajności oraz, że w przypadku skał krystalicznych na drenaż wód podziemnych i kształtowanie ich zasobów **[3]** większy wpływ wywiera sieć szczelin i spękań, co przekłada się na wyższą przewodność (większą wydajność źródeł, większe przepływy), ale warunkuje jednocześnie mniejszą pojemność wodonośca (większą zmienność wydajności).

W prowadzonych od 2007 roku, przytoczonych powyżej badaniach wykazałem dużą zmienność przestrzenną **[1, 3, 5, 7]** i czasową **[2, 7]** wielkości drenażu i odpływu podziemnego w zlewniach górskich. Jednak istotne z punktu widzenia autora i wymagające poszerzenia wiedzy było również określenie reakcji reżimu wydajności i wielkości odpływu podziemnego na zmniejszenie zasilania opadowego w małych zlewniach górskich w związku z zachodzącymi **[4]** i potencjalnymi **[6]** zmianami klimatu. W tym celu na podstawie badań archiwalnych oraz prac modelowania hydrogeologicznego scharakteryzowano zmiany wydajności źródeł oraz objętości drenowanych wód i wielkości odpływu podziemnego w reakcji na zmniejszenie zasilania opadowego.

Analiza warunków opadowych i wydajności siedemnastu źródeł z 18-lecia /1997–2015/ obserwowanych przez Państwowy Instytut Geologiczny, Bawarską Służbę Hydrologiczną i rozlewnię wód „Multivita” pozwoliła stwierdzić brak znaczących zmian wydajności w latach suchych /1999, 2003/ poprzedzonych latami z normalnym rozkładem opadów. Znaczne spadki wydajności średniej a nawet krótkotrwałe (2–3 tygodniowe) zaniki wypływu stwierdzono jednak **[4]** w trakcie roku ekstremalnie suchego /2015/, poprzedzonego rokiem suchym i niewielką miąższością pokrywy śnieżnej zimą 2014/2015.

Również w wyniku tej analizy zwróciłem uwagę, że wielkości spadku wydajności źródeł są zróżnicowane i w przypadku przeprowadzenia jedynie ogólnej/regionalnej analizy trudne do zinterpretowania, jednak na reżim wydajności źródeł ma wpływ wykształcenie litologiczne wodonośca i jego pojemność wodna. Największe zmniejszenie ilości drenowanej wody, a w skrajnych przypadkach nawet zaniki odpływu zaobserwowano w źródłach bijących ze skał krystalicznych (magmaowych i metamorficznych: granity, gnejsy i łupki krystaliczne). Otrzymane wyniki potwierdziły wnioski płynące z wcześniej opublikowanych prac, że skały krystaliczne wykazują niską zasobność, co przekłada się na szybką i gwałtowną reakcję na zmiany opadów. Brak cyklicznego zasilania powoduje szybki spadek wydajności lub nawet zanik źródeł

reprezentatywnych drenujących lokalny system przepływu. Formacje kredowe zbudowane ze zwięzłych skał osadowych (piaskowce, zlepieńce, mułowce) wykazały spadki o około 32–54%, natomiast zasobne formacje wodonośne nie wykazały istotnych zmian, czego przykładem jest wypływ w miejscowości Rudziczki drenujący osadowe formacje czwartorzędu (odnotowano spadek wydajności o 2,3%). Przeprowadzona pod tym kątem po raz pierwszy analiza danych wykazała również, że wystąpienie suszy ma większy wpływ na źródła o dużych wydajnościach. W przypadku źródeł o niskich wydajnościach pomimo czasowego zaniku wypływu, nawet po niewielkich opadach nastąpiło odbudowanie zasobów i wydajności źródeł były zbliżone do wydajności z lat o normalnych opadach. Na uwagę zasługuje fakt, że podobne reakcje uzyskali m.in. Fiorillo i Gaudagno (2010 a, b) badając źródła krasowe południowych Włoch.

Również dotychczasowe badania (Drużkowski, 2001; Loáiciga, 2003; Woldeamlak et al., 2007; Radhakrishnan, Elango, 2011) wyraźnie wskazywały, że zmniejszenie zasilania opadowego ma ujemny wpływ na wielkość zasobów wód podziemnych zwłaszcza w przypadku płytkich poziomów wodonośnych (Apaydin, 2009; Buczyński et al., 2006). Jednak przeprowadzonymi w ramach artykułu **[6]** badaniami dowiodłem, że zmniejszenie odpływu podziemnego, a zwłaszcza spadek zwierciadła wód podziemnych może również zachodzić w głębszych poziomach wodonośnych, co będzie szczególnie widoczne w partiach szczytowych. W założonym przeze mnie dla zlewni górnej Muszynki scenariuszu, zakładającym utrzymującą się przez 10 lat suszę średni spadek zwierciadła wód podziemnych wyniósł 26 m. Jednak największe odnotowane w wyniku badań modelowania hydrogeologicznego obniżenia zwierciadła sięgały nawet 40 m. Są to wartości dziesięć - piętnastokrotnie większe niż w przypadku płytkich poziomów wodonośnych (Woldeamlak et al., 2007), ale odnotowano je jedynie w środkowych partiach stoków i w strefach wododziałowych na obszarach o dużych różnicach terenu. Najmniejsze spadki zwierciadła wód podziemnych, podobnie jak to miało miejsce w przypadku płytkich poziomów (Woldeamlak et al., 2007; Radhakrishnan and Elango, 2011), występują w obszarach drenażu (dolinach rzecznych). W zlewni górnej Muszynki spadki zwierciadła w obszarach drenażu wyniosły od około 2 metrów w dolinie Muszynki do 5–10 metrów w dolinach mniejszych cieków.

Na podstawie rezultatów tego eksperymentu można stwierdzić, że w zlewniach położonych na wyniesionych ponad doliny głównych rzek regionu obszarach w przypadku wystąpienia i utrzymywania się lat o ekstremalnie niskich opadach spadki zwierciadła wód podziemnych i zmniejszenie odpływu podziemnego będą szczególnie widoczne i może to mieć katastrofalne skutki dla wrażliwych ekosystemów. Jednak wyniki badań modelowych wykazały również **[6]**, że ze względu na charakter wodonośca (skały fliszowe), prognozowany spadek zwierciadła wód podziemnych w niewielkim stopniu przełoży się na zmniejszenie zasobów wód podziemnych.

Na podstawie przeprowadzonych badań modelowych [6] i krenologicznych [2] mogłem wysunąć wniosek, że istotny wpływ na spadek zwierciadła wód podziemnych oraz zmniejszenie zasobów ma nie tylko charakter skał z których zbudowany jest zbiornik wód podziemnych ale również urozmaicenie rzeźby terenu. Duże różnice wysokości między obszarem zasilania i drenażu oraz niska porowatość skał zbiornikowych (np. zwięzłych skał osadowych lub krystalicznych), powoduje, że zmiany zasilania odzwierciedlają się gwałtownym spadkiem poziomu wód. Spadki zwierciadła w małych zlewniach górskich położonych na wyniesionych ponad doliny głównych rzek regionu obszarach wpływają na zmniejszenie ilości drenowanej wody, ale w niewielkim stopniu przekładają się na objętość wód występujących w masywie.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Urodziłem się 2 listopada 1977 r. we Wrocławiu. W 1996 roku zdałem maturę w VI LO im. B. Prusa we Wrocławiu i rozpocząłem studia na Wydziale Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Wrocławskiego. W roku 1999 uzyskałem na kierunku geologia dyplom licencjata z oceną bardzo dobrą. Po dwóch latach w roku 2001 z oceną bardzo dobrą i wyróżnieniem za najwyższą średnią ocen z okresu pięciu lat na specjalizacji hydrogeologicznej obroniłem pod kierunkiem prof. dr. hab. Stanisława Staśko pracę magisterską „Wody podziemne źródłowego odcinka Nysy Kłodzkiej – arkusz Międzylesie”. Wyniki badań wykonanych w ramach realizacji pracy magisterskiej opublikowałem w artykułach [58, 54, 39], jednak rozpoczęte badania krenologiczne skłoniły mnie do kontynuowania podjętego tematu głównie we współpracy z prof. dr. hab. Stanisławem Staśko oraz stypendystą Fundacji Fulbrighta dr. Bartłomiejem Rzoncą.

Badania krenologiczne zlewni górskich

Badania krenologiczne zlewni górskich prowadziłem równocześnie z realizacją otrzymanego grantu promotorskiego MNiSW (5 T12B 056 25) i obronionej w 2005 roku rozprawy doktorskiej. Tematyka badawcza i opublikowane we współpracy artykuły dotyczyły głównie charakterystyk krenologicznych zlewni górskich zbudowanych ze skał krystalicznych [26, 27, 31, 44], formowania się składu chemicznego wód źródłanych [40, 42, 45, 49, 50, 52, 53, 57], oraz funkcjonowania zbiorników wód podziemnych (systemów przepływu) w zlewniach z wystąpieniami skrasowiałych marmurów [35, 36, 38, 46, 55]. Wieloletnie obserwacje bazujące m.in. na pomiarach reżimu wydajności źródeł pozwoliły również opublikować pracę o charakterze metodycznym dotyczącą tempa denudacji chemicznej (krasowej) izolowanej wkładki marmurów [13] opublikowanej w czasopiśmie *Catena*.

W roku 2004 pod kierownictwem prof. dr. hab. Stanisława Staśko przygotowywałem nowy projekt MNiSW na realizację zagadnienia zatytułowanego Baza danych i mapa źródeł Ziemi Kłodzkiej. Projekt ten (4 T12B 027 29) był realizowany w latach 2005–2008 i pozwolił stworzyć interaktywną mapę i bazę zawierającą informację o prawie 2000 źródeł, młak i źródlisk wykartowanych na powierzchni przeszło 380 km² obejmującej masywy górskie Sudetów Wschodnich [31, 37, 44, 37]. W tym samym czasie, będąc pracownikiem międzyuczelnianego Centrum Modelowania Procesów Hydrologicznych (lata 2005–2006) miałem możliwość poszerzenia obszaru badań i swojej wiedzy o badania występowania i reżimu źródeł z wodą zwykłą oraz szczaw i wód kwasowęglowych obszarów fliszowych [18, 21].

W roku 2007 zostałem zaproszony przez Zespół Zakładu Hydrologii Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego do zapoczątkowania zespołowych prac prowadzonych w Bieszczadach Wysokich. W ramach hydrologicznego obozu naukowego dla studentów geografii wspólnie z dr. Januszem Siwką i Bartłomiejem Rzoncą przeprowadziliśmy pionierskie badania źródeł w zlewni górnej Włosatki, których wyniki opublikowano w Przeglądzie Geologicznym i Biuletynie PIG (Rzonca i in., 2008; Siwek, Rzonca, 2009), a badania okresowe są kontynuowane przez zespół hydrologów Uniwersytetu Jagiellońskiego do dziś.

Badania krenologiczne stanowiły również istotną część prac zaplanowanych w ramach kierowanego przeze mnie grantu NCN (realizacja 2001–2014). Badania te pozwoliły dowiedzieć, że analiza hydrogeochemiczna może skutecznie pomóc w identyfikacji wskaźników wód typowych dla poszczególnych składowych lokalnych systemów przepływu w zlewniach górskich o szybkiej wymianie wód. Składową reprezentującą wody wypływające w mało zmiennych źródłach o niskiej wydajności, jest odczyn poniżej 6, stężenie krzemionki powyżej 12 mg/dm³ i dominacja jonu siarczanowego. Druga składowa (odczyn obojętny, stężenie krzemionki poniżej 10 mg/dm³, dominacja jonu wodorowęglanowego) jest charakterystyczna dla źródeł o dużej wydajnościach i wysokim wskaźniku zmienności wydajności [22, 23].

Przeprowadzane analizy wpływu wysokości opadów atmosferycznych i wystąpienia ekstremalnych zdarzeń meteorologicznych na reżim wydajności źródeł dowiodły, że źródła z różnym opóźnieniem i w różnym stopniu reagują na zmniejszone wielkości opadów atmosferycznych. Spadki wydajności średnich źródeł w roku ekstremalnie suchym mogą wynieść nawet 54% w odniesieniu do roku o normalnych warunkach opadowych [16]. Dodatkowo wydzielono 3 grupy wpływów tj.

- wpływy o dużym potencjale zasobności (kilkadziesiąt – kilkaset tys. m³) oraz małej zmienności zasobów i wydajności charakterystycznych (kilka – kilkanaście %).

- źródła o małym potencjałem zasobności (od 100 do kilku – kilkunastu tys. m³), umiarkowaną i dużą zmiennością zasobów oraz wydajności minimalnych ($C_{vQmin} > 120\%$)

- źródła charakteryzujące się małymi potencjałami zasobności (kilka tys. m³), ale mniejszym wskaźnikiem zmienności wydajności ($R=2-11$) i mniejszym współczynnikiem zmienności wydajności minimalnej wynoszącym kilkanaście lub kilkadziesiąt procent. W ramach przeprowadzonych analiz stwierdziłem, że dwie pierwsze grupy źródeł można utożsamiać odpowiednio z głębokim i lokalnym systemem przepływu, natomiast trzecia grupa źródeł może być związana z przejściowym system przepływu lub co bardziej prawdopodobne z dużym udziałem w zasilaniu tych źródeł pokryw zwietrzelinowych, które cechuje wysoka pojemności wodna i oporność hydrauliczna wpływająca na wolne szczyptywanie zasobów [15].

Rozpoznanie warunków hydrogeologicznych formacji trzeciorzędowych bloku przedsudeckiego

Istotnym kierunkiem badań, rozpoczętym w ramach studiów doktoranckich i realizacji w latach 2003–2005 grantu promotorskiego MNiSW (5 T12B 056 25), były badania warunków hydrogeologicznych osadowych formacji trzeciorzędu bloku przedsudeckiego. Efektem finalnym tych prac było obronienie w roku 2005 rozprawy doktorskiej oraz powstanie szeregu artykułów [41, 48, 51, 56], w których scharakteryzowałem m. in. tło hydrogeochemiczne i jakość wód podziemnych bloku przedsudeckiego, reżim zwierciadła wód podziemnych oraz tendencje zachodzące w gospodarce wodami podziemnymi. Ważnym nurtem była reinterpretacja archiwalnych próbnych pompowań [47], pozwalająca na kompleksową ocenę właściwości filtracyjnych badanych warstw. Na podstawie wyników próbnych pompowań 170 studni wykazałem dużą zmienność parametrów hydrogeologicznych, często ujawniającą się już w skali lokalnej (poszczególnych komunalnych ujęć wód). Wartości współczynnika filtracji policzone wg wzorów Dupuita wyniosły od 9×10^{-7} m/s do 4×10^{-3} m/s. Wydajności jednostkowe studni na bloku przedsudeckim wahają się w granicach od 0,05 do 25,4 m³/h/m, a przewodność warstwy wodonośnej od 0,061 do 25,1 m²/h. Trzeciorzędowe warstwy wodonośne ze względu na zmienność parametrów hydrogeologicznych (odchylenie wskaźnika Y) należą do środowiska średnio zróżnicowanego, charakteryzującego się przewodnością od niskiej do wysokiej, przy czym prawdopodobieństwo ujęcia warstwy o niskiej przewodności wynosi poniżej 10%.

Od roku 2006 będąc asystentem a następnie od 2007 roku adiunktem w Zakładzie Hydrogeologii Podstawowej Wydziału Nauk o Ziemi i Kształtowania Środowiska Uniwersytetu Wrocławskiego uzupełniłem badania wód podziemnych bloku przedsudeckiego, pod kątem rozpoznania reżimu temperatury z uwzględnieniem

możliwości wykorzystania niskotemperaturowych źródeł mocy cieplnej [24, 33]. W pracach tych wykazałem m.in. związek temperatury wód podziemnych z tzw. miejską wyspą ciepła oraz określiłem szacunkowe wartości mocy cieplnej możliwe do uzyskania z płytkich ujęć wód podziemnych na bloku przedsudeckim, które wyniosły odpowiednio dla poziomu holocenso-plejstocenskigo 59 980 kW i poziomu pliocenso-miocenskigo 87 618 kW.

Aktualnie prowadzone przeze mnie badania warunków hydrogeologicznych bloku przedsudeckiego, wykorzystujące dotychczas wykonane badania podstawowe, koncentrują się na rozpoznaniu możliwości eksploatacyjnych struktury Bogdaszowickiej pod kątem budowy nowego ujęcia wód podziemnych dla miasta Wrocławia i optymalnej lokalizacji studni dla zakładanego poboru wód w ilości 18–20 tys. m³/d.

Współwystępowanie i mieszanie się wód w ośrodkach fliszowych

Będąc pracownikiem międzyuczelnianego Centrum Modelowania Procesów Hydrologicznych (lata 2005–2006) miałem możliwość poszerzenia obszaru badań i swojej wiedzy o dane zebrane w terenie zbudowanym ze skał fliszowych w ramach prac nad „Dokumentacją hydrogeologiczną w celu ustalenia zasobów zwykłych i mineralnych wód podziemnych dla górnej zlewni Muszynki” [pkt II, E poz. 17]. Badania na tym terenie, prowadzone we współpracy z różnymi osobami (prof. dr hab. Stanisław Staśko, mgr Jan Farbisz, dr Marek Wiśło, dr Magdalena Modelska, dr Marta Jakubiak), kontynuuję do dziś [25, 34, 43]. Finansowane ze środków CCHBC projekty miały na celu określenie m.in. optymalnej lokalizacji dla nowych otworów studziennych, podanie wytycznych dla eksploatacji wód podziemnych oraz lepsze rozpoznanie funkcjonowanie fliszowego systemu hydrogeologicznego rejonu Tylicza w warunkach ciągłego poboru oraz współwystępowania wód leczniczych i zwykłych. Odpowiedzi na praktyczne aspekty uzyskiwano przy wykorzystywaniu danych hydrogeologicznych z obszernej bazy rozlewni w Tyliczu oraz badań własnych obejmujących badania geofizyczne, hydrogeologiczne, hydrologiczne, analizy przestrzenne GIS, badania izotopowe i modelowanie hydrogeologiczne.

Ostatni szeroko zakrojony projekt obejmował przeprowadzenie oceny współoddziaływania wód zwykłych i leczniczych w kontekście eksploatacji wód zwykłych w obszarze zasobowym wód leczniczych. Wyniki tych badań są obecnie uzupełniane o uwagi recenzentów z czasopism listy JCR [9, 10]. Badania te, zwracając uwagę na ograniczenia modeli hydrogeologicznych (żaden model hydrogeologicznych nie odwzorowuje wszystkich procesów, które mogą być odpowiedzialne za mieszanie wód), dowiodły, że zwiększenie poziomu eksploatacji wód leczniczych w jednej ze studni (P-1) z 9,9 na 55,5 m³/d wpływa na spadek udziału składnika głębokiego krążenia (z 27% do 17%). Model wykazał natomiast, że obecność otworu ujmującego wody zwykłe

(wprowadzono na modelu studnię fikcyjną F) w strefie spływu do ujęcia wód leczniczych (P-1) nie wpływa na proporcje wód dopływających do studni P-1. Test przeprowadzony z wydajnością studni F wynoszącą 90 m³/d wykazał jedynie 1% wzrost udziału wód leczniczych w wodzie dopływającej do studni P-1 [10].

W drugim artykule bazując na badaniach składu chemicznego, izotopów O-H-S i badaniach hydrodynamicznych stwierdziliśmy, że wody zwykłe i lecznicze wykazują różne pochodzenie i drogi cyrkulacji. Zasoby wód słodkich eksploatowanych studnią P-IVa powstają w granicach zlewni w wyniku przepływu lokalnego, natomiast skład chemiczny i izotopowy wody leczniczej eksploatowanej pobliską studnią P-VII wskazuje na drenaż głębszej części warstwy wodonośnej. Nie otrzymano również danych wskazujących na mieszanie wód w wyniku eksploatacji. Przeprowadzonymi badaniami dowiedziono, że analiza $\delta^{34}\text{S}(\text{SO}_4^{2-})$, a zwłaszcza $\delta^{18}\text{O}(\text{SO}_4^{2-})$, stanowi ważne uzupełnienie innych badań chemicznych, izotopowych i hydrodynamicznych [9].

Zdobyte w latach 2005–2009 doświadczenie zaowocowało zaproszeniem mnie w 2010 roku do udziału w konsorcjum wykonującym „Dokumentację hydrogeologiczną ustalającą zasoby dyspozycyjne wód podziemnych w obszarach bilansowych współwystępujących wód leczniczych i zwykłych wód podziemnych w wydzielonym rejonie Karpat – zlewnia Popradu”. W ramach szeroko zakrojonych prac byłem odpowiedzialny za przeprowadzenie stacjonarnych i okresowych pomiarów hydrologicznych oraz wykonanie badań modelowych wraz z obliczeniami zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych wód leczniczych i zwykłych [pkt II, E poz. 5]

Modelowanie hydrogeologiczne

Pierwszy samodzielnie wykonany model hydrogeologiczny o powierzchni 1144 km² obejmujący swym zasięgiem zlewnię Bystrzycy zrealizowałem w ramach rozprawy doktorskiej. Wykorzystując model określiłem w rozprawie wielkość zasobów odnawialnych wód podziemnych (543 711 m³/d), które są kształtowane głównie przez infiltrację opadów atmosferycznych (67,5%) a w mniejszym stopniu przez dopływ wody z południa z wypiętrzonego masywu Sudetów (17,5%) i zasilania z rzek (15%). Zasoby dyspozycyjne wód podziemnych wyniosły 118 874 m³/d. Policzone dla otrzymanego bilansu wodnego moduły odnawialności trzeciorzędowego zbiornika wód podziemnych kształtowały się na poziomie 3,52 m³/h/km². Wartość ta jest zbliżona do wartości, jaką uzyskał Dąbrowski (1997) dla trzeciorzędowego zbiornika wód podziemnych Wielkopolski oraz wartościami przedstawionymi przez Dąbrowskiego i in., (1999) dla zlewni górnej Warty dla pod czwartorzędowych warstw mezozoicznych.. Dodatkowo otrzymana wartość modułu 3,52 m³/h/km² (84,5 m³/d/km²) jest wyższa od wartości zamieszczonej w atlasie hydrogeologicznym Polski pod redakcją Paczyńskiego (1995),

który stwierdza, że moduł zasobów odnawialnych dla tego rejonu mieści się w przedziale 20-50 m³/d/km².

W kolejnych latach byłem współautorem lokalnych i regionalnych modeli hydrogeologicznych, które wykorzystano w celu określenia wpływu odwodnień związanych z wydobywaniem kopalin ze złoża rud miedzi LGOM [29], ustalenia wytycznych dla rolniczego wykorzystania ścieków [28], oceny możliwości intensyfikacji informacji na terenach wodonośnych Wrocławia [20, 19], rozpoznania możliwości eksploatacyjnych struktury Bogdaszowickiej pod kątem budowy nowego ujęcia wód podziemnych dla miasta Wrocławia czy wymienionych wcześniej w autoreferacie i zał. 3 dokumentacji i projektów prac geologicznych dla ustalenia zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych [pkt II, E poz. 5, 11, 12, 17, 20].

Moje zainteresowania modelowaniem małych zlewni górskich doprowadziły do współpracy na tym polu z prof. dr. hab. Stanisławem Staśko i dr. Markiem Wciśło i do wspólnego opublikowania artykułu metodycznego opisującego problematykę realizacji modeli numerycznych przepływu wód podziemnych w obszarach o zróżnicowanej rzeźbie terenu i niskim stopniu rozpoznania wierceniami w którym przedyskutowano podstawowe problemy metodyczne towarzyszące badaniom i zaproponowano ich skuteczne rozwiązania na konkretnych przykładach [34].

Badania z wykorzystaniem rezonansu magnetycznego

W bieżących pracach na uwagę zasługują zespołowe artykuły opisujące wyniki po raz pierwszy wykonanych w Polsce badań przy użyciu metody rezonansu magnetycznego (Magnetic Resonance Sounding), które pozwoliły oszacować rozbieżności uzyskanych wyników i ocenę wiarygodności metody MRS w warunkach spotykanych na terenie Polski. Pilotażowe badania przeprowadzono zarówno na terenach zurbanizowanych tj. SE części Wrocławia [14, 17] jak i słabo rozpoznanych obszarach Dolnego Śląska zbudowanych m.in. ze skałach krystalicznych. Interpretacja wyników została opublikowana m.in. w *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* [11].

Pozostałe prace

Za istotne w moim dorobku uważam badania realizowane w dużych zespołach oraz konsorcjach interdyscyplinarnych, w tym również we współpracy międzynarodowej, które pozwoliły zrealizować dwie plansze *mapy wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie* w skali 1:500 000 [30], rozpoznać *geoekologiczne warunki środowiska przyrodniczego Parku Narodowego Gór Stołowych w aspekcie jego ochrony* [32] oraz zbadać *cykl obiegu siarki w warunkach polarnych* [12, 73]. Wyniki moich badań przeprowadzonych na obszarze polarnym opublikowane w *Geochemica et*

Cosmochimica Acta [12] wraz z pracą stanowiącą osiągnięcie naukowe, o którym mowa w art. 16 ust. 2 ustawy [6], były podstawą przyznania mi przez kapitułę konkursu Nagrody Rektora Uniwersytetu Wrocławskiego za osiągnięcia naukowe uzyskane w 2013 roku, oraz w 2015 roku Nagrody Asa Polskiej Hydrogeologii w uznaniu bogatego dorobku badawczego w zakresie hydrogeologii.

W przypadku szeregu realizowanych projektów badawczych, w związku z pełnioną funkcją Opiekuna Sekcji Hydrogeologicznej Studenckiego Koła Naukowego Geologów UWr. dołożyłem starań, aby oprócz walorów naukowych projekty te cechowały się dużym *potencjałem dydaktycznym*. Studenci i doktoranci współtworząc publikacje biorą aktywny udział w badaniach terenowych i kameralnych. Badania koncentrują się głównie na problematyce krenologicznej, zróżnicowaniu składu chemicznego wód i zagrożeniach ich jakości oraz hydrogeologii obszarów zurbanizowanych. Efektem dotychczasowej współpracy są liczne prace magisterskie, publikacje [21, 23, 27, 55, 71] oraz zorganizowanie IV International Field Workshop For Young Hydrogeologist – cyklu spotkań młodych hydrogeologów zapoczątkowanych na Uniwersytecie Śląskim pod patronatem IAH przez prof. dr hab. Andrzeja Witkowskiego. Z okazji niniejszego spotkania wydano tom zawierający zbiór dwunastu recenzowanych artykułów [62].

Spis literatury nie ujętej w załączniku 3:

- Apaydin A., 2010: Response of groundwater to climate variation: fluctuations of groundwater level and well yields in the Halacli aquifer (Cankiri, Turkey): Environ. Monit. Assess., v. 165, 653–663.
- Bartnik A., 2007: Zróżnicowanie przestrzenne wybranych cech fizykochemicznych wód źródeł zlewni Bystrzycy Dusznickiej. w Jokieli P., Moniewski P., Ziułkiewicz M. (red.), 2007 - Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne. Wydział Nauk Geograficznych UŁ, Wyd. Regina Poloniae, Częstochowa, 181–191.
- Bartnik A., Walisch M. 1997: Źródła zlewni Bystrzycy Dusznickiej, Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys., 2, 61–72.
- Bocheńska T., Gurwin J., Wąsik M., 1995: Hydrogeologia zlewni górnej Kaczawy. Acta Universitatis Wratislaviensis, Prace Geol.-Miner. XLVII, Wrocław.
- Bocheńska T., Gurwin J., Marszałek H., Wąsik M., 1997: Remarks about Water-bearing and Groundwater Chemistry of Hard rocks in Western Sudetes, Acta Universitatis Wratislaviensis nr 2052 Hydrogeology, Wyd. Uniw. Wroc., Wrocław.
- Buczyński S., Stasko S., Tarka R., 2006: Dynamika stanów wód podziemnych na przedpolu Sudetów na przykładzie stacji w Zebrzydowie, Współczesne Problemy Hydrogeologii, t. XII, Toruń, 71–75.
- Dąbrowski S., 1997: Odnowalność trzeciorzędowego zbiornika wód podziemnych wielkopolski. Współczesne Problemy Hydrogeologii VIII, Poznań-Kiekrz: 33–39.

- Dąbrowski S., Kapuściński, J., Nowicki K., Przybyłek J, Szczepański, A., 2010: Metodyka modelowania matematycznego w badaniach i obliczeniach hydrogeologicznych – poradnik. Hydroconsult, Min. Środowiska, Poznań.
- Dąbrowski S., Rynarzewski W., Pawlak A., 1999: Odnawialność wód podziemnych w zlewni górnej Warty według badań modelowych. Współczesne Problemy Hydrogeologii IX, Warszawa-Kielce: 29–36.
- Drużkowski M. 2000: Variability of natural effluents as an indicator of groundwater retention in the Carpathian foothills (southern Poland), Environ. Geol. 40: 90–98.
- Earman S., McPherson B.J.O.L., Phillips F.M., Ralser S., Herrin J.M., Broska J., 2008: Tectonic influence on ground water quality: insight from complementary methods. Ground Water 46 (3), 354–371.
- Fiorillo F., Guadagno, F.M., 2010a: Analysis of spring discharges during droughts: example from karst systems of southern Italy. In: B. Andreo, F. Carrasco, J. Durán, and J. LaMoreaux, eds. Advances in research in Karst Media. Environmental earth sciences. Berlin: Springer.
- Fiorillo F., Guadagno, F.M., 2010b: Karst spring discharges analysis in relation to drought periods, using the SPI. Water Resources Management, 24, 1867–1884.
- Jarosiński M., 2006a: Recent tectonic stress field investigations in Poland: a state of the art.: Geological Quarterly, v. 50, no. 3, 303–321.
- Jarosiński M., 2006b: Źródła współczesnych naprężeń tektonicznych w Europie Środkowej w świetle modelowań elementami skończonymi. Przegląd Geologiczny 54:700–709.
- Kryza J., 1975: Zieleniec – źródła Bystrzycy Dusznickiej. Przewodnik XLVII Zjazdu PTG w Świdnicy. Wyd. Geol. Warszawa, 268–273.
- Loáiciga H.A., 2003: Climate Change and Ground Water: Annals of the Association of American Geographers, 93(1), 30–41.
- Magowe M., Carr J. R., 1999: Relationship between lineaments and ground water occurrence In Western Botswana, Ground Water, v. 37, No. 2, 282–286.
- Malinowski J., 1993: Zasoby i ochrona wód podziemnych, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.
- Małecka D., 1997: Źródła masywu tatrzańskiego. Acta Universitatis Lodziensis. Folia Geographica Physica 2: 9–25.
- Michalczyk Z., 1997: Źródła wyżyny Lubelskiej i Rostocza. Acta Universitas Lodziensis, Folia Geographica Physica 2: 73–93.
- Orsztynowicz J., 1988: Studium naukowo-badawcze do Atlasu hydrologicznego Polski, Średnie roczne i wieloletnie odpływy podziemne na obszarze Polski w okresie 1951–1980, IMGW, Zakład Dynamiki Wód Podziemnych, Warszawa.

- Pacheco F. A. L., Alencão A. M. P., 2002: Occurrence of springs in massifs of crystalline rocks, northern Portugal. *Hydrogeology Journal* 10, 239-253.
- Paczyński B. (red.), 1995: Atlas hydrogeologiczny Polski. skala 1:500 000, cz. II – Zasoby, jakość i ochrona zwykłych wód podziemnych, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Pleczyński J., 1981: Odnawialność zasobów wód podziemnych, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Radhakrishnan N., Elango L., 2011: Study of influence of terrain and climatic factors on groundwater level fluctuation in a minor river basin using GIS. *Geo-spatial Information Science*, v. 14, no. 3, 190–197.
- Rzonca B., Kołodziej A., Laszczak E., Mocior E., Plenzler J., Płaczowska E., Rozmus M., Siwek J., Ścisłowicz B., Wójcik S., Ziółkowski L., 2008: Źródła w zlewni górnej Wołosatki w Bieszczadach Wysokich. *Przegląd Geologiczny*, 56, 8/2, 772–779.
- Siwek J., Rzonca B., 2009: Tło hydrochemiczne wód w zlewni Wołosatki w Bieszczadach Wysokich. *Biuletyn PIG*, 436, 469–474.
- Staśko S., 1996: Wody podziemne w skałach krystalicznych na podstawie badań wybranych obszarów Sudetów polskich. *Wyd. Uniwer. Wrocł., Prace Geol.-Min. LIII*, Wrocław.
- Staśko S., 1997: Groundwater in hard rock its vulnerability and sustainability, *Acta Universitatis Wratislaviensis nr 2052 Hydrogeology*, Wyd. Uniw. Wroc, Wrocław.
- Staśko S., 1999: Wyniki hydrogeologicznych badań skał krystalicznych w Sudetach. *Współczesne problemy hydrogeologii*, Tom IX, Warszawa – Kielce, 337–342.
- Staśko, S., 2002: Zawodnienie szczelinowych skał krystalicznych w Sudetach. *Biuletyn PIG*, 404, 249–262.
- Staśko S., Tarka R., 1993: Wstępne wyniki badań zasilania wód podziemnych w obszarach górskich Sudetów. *Współczesne Problemy Hydrogeologii*. Oficyna Wyd. „Sudety”, Wrocław, 117–121.
- Staśko S., Tarka R., 1994: Obliczanie zasobów wód podziemnych w obszarach górskich na przykładzie badań wybranych zlewni Sudetów. *Zesz. Nauk. AR 248*, Wrocław, 279–286.
- Woldeamlak, S.T., Batelaan, O., De Smedt, F., 2007: Effect of climate change on the groundwater system in the Grote-Nete catchment, Belgium: *Hydrogeology Journal*, v. 15, 891–901.

Sebastian Buczyński