

Załącznik 2

Autoreferat

1. Imię i Nazwisko: Beata Jaworska-Szulc

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

- a) 1998 r. – uzyskanie stopnia mgr inż. na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Gdańskiej, na kierunku Inżynieria Środowiska, specjalność gospodarka wodna. Tytuł pracy dyplomowej: *Ocena zmian składu chemicznego wód podziemnych czwartorzędu w województwie gdańskim w świetle wyników monitoringu*. Promotor prof. dr hab. inż. B. Kozerski.
- b) 2002 r. – uzyskanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, specjalność hydrogeologia, tytuł rozprawy doktorskiej: *Wpływ agregacji poziomów wodonośnych na dokładność analizy modelowej krążenia wód podziemnych na przykładzie gdańskiego systemu wodonośnego*. Promotor prof. dr hab. inż. B. Kozerski. Politechnika Gdańska, Wydział Budownictwa Wodnego i Inżynierii Środowiska.
- c) 2004 r. – dyplom ukończenia czterosemestralnych Studiów Podyplomowych w zakresie Geologii, Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych. Praca dyplomowa: *Stratygrafia trzeciorzędu okolic Gdańska*. Promotor prof. dr hab. W. Stankowski.

3. Przebieg zatrudnienia w jednostkach naukowych

- a) 01.10.1998 r. do 30.09.2002 r.: słuchacz Studium Doktoranckiego „Geotechnika i Inżynieria Środowiska”, Politechnika Gdańska, Wydział Budownictwa Wodnego i Inżynierii Środowiska, doktorant w Katedrze Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej.
- b) od 15.12.02 – do chwili obecnej adiunkt w Katedrze Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej (od września 2005 Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego) na Wydziale Budownictwa Wodnego i Inżynierii Środowiska Politechniki Gdańskiej (od 2004 r. Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska).

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego 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. nr 65, poz. 595 ze zm.)

a) Tytuł osiągnięcia naukowego

Cykl publikacji jednotematycznych: ***Formowanie się zasobów wód podziemnych w młodo-glacialnym wielopoziomym systemie wodonośnym.***

b) Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia

Monografie

1. **Jaworska-Szulc B. (2015).** Formowanie się zasobów wód podziemnych w młodo-glacialnym systemie wodonośnym na przykładzie Pojezierza Kaszubskiego. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Monografia nr 152, 160 s. **Zał. 7.1.**

Publikacja samodzielna, udział 100%.

Publikacje naukowe znajdujące się w bazie Journal Citation Reports (JCR)

2. **Jaworska-Szulc B. (2009).** Groundwater flow modelling of multi-aquifer systems for regional resources evaluation: the Gdansk hydrogeological system, Poland. Hydrogeology Journal, 17: 1521-1542. **IF – 1,417. Zał. 7.2.**

Publikacja samodzielna, udział 100%.

3. **Jaworska-Szulc B. (2015).** Impact of Climate Change on Groundwater Resources in a Young Glacial Multi-Aquifer System. Pol. J. Environ. Stud. Vol. 24, No. 6 (2015), 2447-2457. **IF – 0,871. Zał. 7.3.**

Publikacja samodzielna, udział 100%.

4. **Jaworska-Szulc B. (2016).** Role of the Lakes in Groundwater Recharge and Discharge in the Young Glacial Area, Northern Poland. Groundwater, early view doi: 10.1111/gwat.12385. **IF – 2,307. Zał. 7.4.**

Publikacja samodzielna, udział 100%.

Publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie, o której mowa w pkt. A:

5. **Jaworska-Szulc B. (2006).** Problem zasobów odnawialnych wód podziemnych w wielowarstwowych systemach wodonośnych na przykładzie Regionu Gdańskiego. Modelowanie przepływu wód podziemnych. Poznań, Uniw. A. Mickiewicza. GEOLOGOS 10, 91-99. **Załącznik 7.5.**

Publikacja samodzielna, udział 100%.

6. **Jaworska-Szulc B., Pruszkowska-Caceres M., Przewłócka M. (2014).** Analiza kontaktu wód podziemnych i powierzchniowych na podstawie badań ich jakości na młodoglacjalnym obszarze Pojezierza Kaszubskiego. Przegląd Geologiczny. Tom 62, 4: 204-213. **Załącznik 7.6.**

Mój wkład w powstanie pracy: Przeprowadzenie badań, ich analiza, przegląd literatury, opracowanie publikacji oraz przygotowanie rysunków i tabel. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

7. **Jaworska-Szulc B., Pruszkowska-Caceres M., Przewłócka M. (2015).** Zmiany wydajności wypływów wód podziemnych młodoglacjalnego obszaru morenowego na Pojezierzu Kaszubskim. Przegląd Geologiczny. Vol. 63., nr. 10/1 (2015), s.774-779. **Załącznik 7.7.**

Mój wkład w powstanie pracy: Przeprowadzenie badań, ich analiza, przegląd literatury, opracowanie publikacji oraz przygotowanie rysunków i tabel. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

8. **Jaworska-Szulc B. (2015).** Ocena zasilania wód podziemnych na Pojezierzu Kaszubskim z zastosowaniem różnych metod i różnej skali opracowania. Przegląd Geologiczny. Vol. 63., nr. 10/1 (2015), s. 762-768. **Załącznik 7.8.**

Publikacja samodzielna, udział 100%.

c) Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników

Formowanie się zasobów wód podziemnych w wielowarstwowych systemach wodonośnych jest zagadnieniem bardzo złożonym. Obszary młodoglacjalne charakteryzują się dużym zróżnicowaniem morfologii terenu, zwłaszcza w wyniesionej strefie marginalnej; w efekcie warunki występowania wód podziemnych są tu szczególnie skomplikowane, system wodonośny obejmuje naprzemianległe warstwy wodonośne oraz serie słaboprzepuszczalne. Najwyższe wzniesienia stanowią obszary zasilania dla uformowanych tu systemów wodonośnych. Rynny subglacjalne i doliny wód roztopowych są strefami drenażu, a rozległe

pola sandrowe pełnią różne funkcje, w zależności od specyfiki danego obszaru; zwykle są obszarami zasilania lub tranzytu wód podziemnych. Na zasilanie młodogłacjalnych wielowarstwowych systemów wodonośnych wpływa zatem wiele różnych czynników, głównie wykształcenie i rozprzestrzenienie utworów przepuszczalnych i słaboprzepuszczalnych, ukształtowanie terenu, relacje wód podziemnych z wodami powierzchniowymi, spływ powierzchniowy i podpowierzchniowy, a także czynniki klimatyczne, głównie opad i parowanie. Celem moich badań było rozpoznanie powyższych czynników oddziałujących na formowanie się zasobów wód podziemnych wielopoziomowego systemu wodonośnego, a także analiza zasobów w ujęciu regionalnym.

Badania prowadziłam w latach 2004-2013 na Pojezierzu Kaszubskim, w skali regionalnej dla gdańskiego systemu wodonośnego oraz w ujęciu lokalnym, dla jego strefy zasilania, w rejonie wzgórz szymbarskich. Badania regionalne stały się podstawą do dyskusji na temat zasobów całego systemu wodonośnego w oparciu o wielowarstwowy, obejmujący cztery piętra wodonośne (górne czwartorzędowe, dolne czwartorzędowe wraz mioceńskim, oligoceńsko-eoceńskie oraz kredowe), regionalny model przepływu wód o powierzchni 2800 km² (poz. I.B.2 zał. 4 oraz zał. 7.2). Natomiast w skali lokalnej zbadalam i przeanalizowałam najważniejsze czynniki wpływające na zasilanie i formowanie się zasobów wód podziemnych. Badałam głównie wpływ czynników klimatycznych, łącznie z analizą wpływu prognozowanych zmian klimatu na wody podziemne oraz czynniki hydrograficzne, gdzie oprócz analizy kontaktu wód podziemnych i powierzchniowych, badałam rolę obszarów bezodpływowych w formowaniu zasobów. Wykonałam szczegółowy lokalny model przepływu wód, o powierzchni 30 km², uwzględniający te czynniki. Model ten powstał dla centralnej części Pojezierza Kaszubskiego (wzgórza szymbarskie) stanowiącej obszar zasilania gdańskiego systemu wodonośnego i obejmował 5 czwartorzędowych warstw wodonośnych o zróżnicowanym rozprzestrzenieniu. Przeprowadziłam również kompleksową analizę zasilania i drenażu wód z wykorzystaniem różnych metod i różnej skali opracowania. Całość badań została opisana w zbiorczej monografii (zał. 4 poz. I.B.1 oraz zał. 7.1), a kilka wyodrębnionych zagadnień w osobnych publikacjach (zał. 4 poz. I.B.3, I.B.4, I.B.6, I.B.7, I.B.8 oraz zał. 7.2, 7.3, 7.4, 7.6, 7.7, 7.8).

Na podstawie obliczeń regionalnego modelu przepływu wód przedstawiłam **analizę zasobów odnawialnych w poszczególnych piętrach wodonośnych gdańskiego systemu wodonośnego**. Przedstawiłam także **konfrontację zasobów dyspozycyjnych i poboru zrównoważonego** według Bredehoeft'a [2,3]. W literaturze hydrogeologicznej trwają bowiem rozważania na temat różnych koncepcji ustalania zasobów. Z jednej strony spotkać można poglądy, popularne również w polskim środowisku hydrogeologicznym, w których zasilanie systemów wodonośnych określane jest na podstawie zasilania z infiltracji, głównie opadu, ale również z infiltracji wód powierzchniowych. Uważa się, że to naturalne zasilanie

jest kluczowe, gdyż określa górny limit możliwych do pobrania zasobów [26]. Natomiast Bredehoeft [2] kwestionuje ideę, aby zasoby dyspozycyjne - *safe yield* (wg Słownika Hydrogeologicznego [16]) mogły być wyznaczane na podstawie zasobów odnawialnych pochodzących z infiltracji opadów. Bredehoeft [2], a także Sophocleous [24] uważają, że Theis wyraził podobny pogląd już w 1940 roku w artykule „The source of water to wells: essential factors controlling the response of an aquifer to development” [25]. W celu wyznaczenia optymalnego poboru wód, ważniejsza jest analiza odpływu, a nie wartość infiltracji. W warunkach naturalnych, przed eksploatacją wód podziemnych, systemy wodonośne znajdowały się w równowadze, przez setki lat zasilanie równoważone było odpływem. Gdy dochodzi do eksploatacji, część wody zostaje zabrana z warstwy wodonośnej, a nowy stan równowagi może być osiągnięty jedynie przez zmniejszenie odpływu i zwiększenie (wzbudzenie) infiltracji. Infiltracja efektywna opadu nie ulega zmianie podczas eksploatacji, jedynie w przypowierzchniowych poziomach wodonośnych może dojść do wymuszenia większej infiltracji z wód powierzchniowych. Dlatego zasób możliwy do przechwycenia - *capture* (zasób przechwycony – tłumaczenie własne, „wychwyt” wg [20]) powinien być wyznaczony na podstawie różnicy w odpływie spowodowanej eksploatacją [3,4]. Dyskusje na temat zasobów dyspozycyjnych i roli odpływu w ich wyznaczeniu [1,2,3,24,26] zmiernają do koncepcji poboru zrównoważonego - *sustainable development* lub *sustainable yield* (zrównoważony rozwój wg [16]).

W świetle powyższych rozważań określiłam na podstawie obliczeń modelowych gdańskiego systemu wodonośnego wartość zasobu „przechwyconego” *capture*, a także różnice w zasilaniu i odpływie spowodowane eksploatacją, ustaliłam również czy aktualny pobór można określić jako zrównoważony. Jest to pierwsza tego typu analiza poboru zrównoważonego w regionalnym systemie wodonośnych przeprowadzona w Polsce. Obliczenia modelowe wykazały, że eksploatacja w obu głównych użytkowych piętrach wodonośnych, czwartorzędowo-miocenkim oraz kredowym, prowadzona jest w przybliżeniu na poziomie poboru zrównoważonego. Natomiast w piętrze oligoceńsko-eoceńskim różnica w odpływie jest większa niż pobór, czyli można zwiększyć wielkość eksploatacji zachowując zrównoważony pobór. Z kolei w górnym poziomie czwartorzędowym pobór jest większy niż różnica w odpływie i zasilaniu. Czyli pobór wód nie jest zrównoważony, a z warstwy wodonośnej zabrano część zasobów, których nie zrównoważy ani większy dopływ, ani mniejszy odpływ z warstwy. W górnym poziomie czwartorzędowym reakcja w odpływie jest najmniej zauważalna, gdyż poziom ten zanika przed linią krawędzi wysoczyzny i nie występuje w rejonie głównych baz drenażu. Wody z tego poziomu w przeważającej mierze odpływają descenzyjnie do poziomu czwartorzędowo-miocenkiego lub są drenowane przez wody powierzchniowe; odpływ lateralny stanowi jedynie niewielką część odpływu. W rezultacie odpływ całkowity zmienia się mniej dynamicznie niż w warstwach, gdzie odpływ

lateralny stanowi zasadniczą część odpływu. Nie oznacza to jednak, że w górnym poziomie czwartorzędowym należy zmniejszyć aktualny pobór.

Aktualna eksploatacja wód podziemnych w gdańskim systemie wodonośnym wynosi zaledwie 30% zasobów dyspozycyjnych. Jednak przedstawiona powyżej analiza zrównoważonego poboru wykazała, że aktualny pobór jest zbliżony do poboru zrównoważonego, a w górnej czwartorzędowej warstwie nawet go przekracza. Koncepcja poboru zrównoważonego dotyczy sytuacji dynamicznej i nie określa konkretnej wartości poboru dla danego miejsca czy regionu. Jeżeli zasób możliwy do przechwycenia jest uzależniony głównie od reakcji w odpływie, to znaczy, że można go zwiększyć w miejscach, gdzie taka reakcja nastąpi, czyli głównie w rejonie baz drenażu. Nasuwa się wniosek, że najlepszymi miejscami prowadzenia poboru wody w gdańskim systemie wodonośnym są obszary nizin nadmorskich. Tutaj można „przechwycić” wody spływające z wysoczyzny zanim ulegną drenażowi w Zatoce Gdańskiej i Puckiej. Badania modelowe wykazały, że prowadzona eksploatacja wyraźnie zaznacza się w mniejszym odpływie podmorskim. Pobór wód w tej strefie musi się jednak odbywać z dużą ostrożnością, ze względu na możliwość zaburzenia równowagi między wodami podziemnymi i słonymi wodami Zatoki Gdańskiej.

Podjęłam również próbę ustalenia zasobów odnawialnych dla poszczególnych pięter wodonośnych. W poziomach płytkich przyjmuje się zwykle jako zasób odnawialny wody pochodzące z zasilania infiltracyjnego, a w poziomach głębszych wody pochodzące z przesiąkania descenzyjnego. W ten sposób otrzymujemy moduł zasobów odnawialnych dla górnego poziomu czwartorzędowego $19,4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$, dla poziomu czwartorzędowo-mioceńskiego $17,1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$, oligoceńsko-eoceńskiego $16,9 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$ i dla kredowego $6,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{km}^2$. Prowadzi to jednak do uznania tego samego zasobu dla kolejnych pięter wodonośnych. Infiltracja opadu przyjęta w poziomie pierwszym stanowi bowiem potencjalnie część przesiąkania descenzyjnego do poziomów głębszych. Z kolei przesiąkanie descenzyjne może się odbywać na przestrzeni kilku poziomów, tak jak ma to miejsce w gdańskim systemie wodonośnym, od górnego poziomu czwartorzędowego aż do poziomu kredowego. W efekcie część wody „zabrana”, np. przez eksploatację na dowolnym etapie descenzji, zmniejsza zasoby pięter głębszych. Zasoby odnawialne całego gdańskiego systemu wodonośnego, utożsamiane z infiltracją efektywną opadu, są w rezultacie ponad dwukrotnie mniejsze niż zsumowane zasoby poszczególnych pięter wodonośnych (zał. 4 poz. I.B.1, I.B.5 oraz zał. 7.1 tab. 2.9 i zał. 7.5). Aby uniknąć takiej sytuacji, prowadzącej do przeszacowania zasobów, w skali regionalnej oszacowałam zasoby odnawialne dla całej jednostki hydrogeologicznej, po czym wydzieliłam z nich część przypadającą na poszczególne piętra wodonośne.

Jeśli przyjąć za zasób odnawialny gdańskiego systemu wodonośnego całkowitą infiltrację efektywną opadów oraz infiltrację jezior położonych w strefie zasilania, powyżej zwierciadła wód górnego poziomu wodonośnego, wówczas otrzymujemy 45 852 m³/h do podziału na cztery piętra wodonośne. Dla poziomów głębszych można przyjąć, że zasobem jest wartość descenzji pomniejszona o ascenzję do pięter leżących wyżej oraz o dalszą descenzję do pięter głębszych. W efekcie dla warstwy oligoceńsko-eoceńskiej otrzymujemy 1741 m³/h, a dla kredowej 2735 m³/h. Pozostałe 41 376 m³/h to zasób odnawialny poziomów czwartorzędowych wraz z warstwą mioceńską, z czego znaczna większość przypada na poziom czwartorzędowo-mioceński ze względu na jego duże rozprzestrzenienie i dobre parametry hydrauliczne. Dokładne ustalenie części zasobu odnawialnego przypadającej na pierwszy i drugi poziom czwartorzędowy jest bardzo trudne. W istotnej mierze zależy od struktury poboru, ponieważ eksploatacja warstwy górnej na wysoczyźnie zmniejsza zasoby i możliwości poboru wód z poziomu czwartorzędowo-mioceńskiego na nizinach nadmorskich.

Na podstawie badań prowadzonych w skali regionalnej i lokalnej wyróżniłam kilka charakterystycznych cech wpływających na formowanie się zasobów wód podziemnych na wysoczyznach młodoglacjalnych.

1. Naprzemianległe występowanie osadów kolejnych zlodowaceń w postaci warstw przepuszczalnych i słabo przepuszczalnych sprawia, że **systemy wodonośne są** w tym przypadku **wielowarstwowe**. W efekcie istotną rolę w kształtowaniu zasobów odgrywają **przepływy pionowe między warstwami**. Na obszarach zasilania płytkie zawieszane wody podziemne przesączają się descenzyjnie w głąb systemu wodonośnego. Natomiast w strefach drenażu dochodzi do ascenzji wód z głębszych poziomów wodonośnych do poziomów płytszych.
2. Kolejnym specyficznym czynnikiem wpływającym na formowanie zasobów na wysoczyznach młodoglacjalnych jest **występowanie zawieszonych wód podziemnych**. Napotymano nawet dwa lub trzy poziomy wód zawieszonych powyżej pierwszego poziomu wodonośnego, przy czym zwierciadło wód zawieszonych występuje kilkadziesiąt metrów powyżej zwierciadła pierwszego poziomu wodonośnego (lokalnie nawet powyżej 80 m). W związku z wysokim położeniem wód zawieszonych dochodzi do ich przesączania do poziomów wodonośnych znajdujących się niżej. Wyniki badań lokalnych i regionalnych wykazały, że **przypowierzchniowe poziomy wodonośne pełnią funkcję alimentacyjną dla głębszych poziomów wodonośnych**.

3. Inną typową cechą obszarów młodogłacjalnych jest powszechne **występowanie obszarów bezodpływowych**. Na obszarach bezodpływowych chłonnych dochodzi do intensywnej infiltracji opadu, gdyż część wód, która bierze udział w spływie powierzchniowym, zasila w efekcie wody podziemne, gromadząc się w obniżeniu terenu powoli infiltruje do warstw wodonośnych. W centralnej części Pojezierza Kaszubskiego obszary bezodpływowe stanowią nawet do 40% powierzchni. Przeprowadziłam dokładne rozpoznanie obszarów bezodpływowych i wykorzystałam je do zdefiniowania infiltracji efektywnej w obliczeniach modelowych. W efekcie otrzymałam wartość średniej infiltracji w strefie zasilania gdańskiego systemu wodonośnego 147 mm czyli około 22,5% opadu.
4. Występujące na obszarach młodogłacjalnych znaczne deniwelacje terenu oraz wielopiętrowość systemów wodonośnych wpływają w decydującym stopniu także na **wzajemne relacje wód podziemnych i powierzchniowych**. Na podstawie badań regionalnych **wyróżniłam charakterystyczne typy jezior** ze względu na ich rodzaj kontaktu z wodami podziemnymi (zał. 4 poz. I.B.1, I.B.4 oraz zał. 7.1 i 7.4). Oprócz typowych jezior drenujących występujących zwykle w dolinach subglacjalnych i dolinach wód roztopowych, często identyfikowałam wody powierzchniowe o charakterze infiltrującym. Występują one na wysoczyznach morenowych, rzadziej na wysokich poziomach sandrowych. Zwykle wypełniają zagłębienia bezodpływowe ewapotranspiracyjne, gdzie spływ powierzchniowy i podpowierzchniowy zasila zbiornik powierzchniowy w centrum zagłębienia bezodpływowego, a później pośrednio wody podziemne. Jeziora drenujące charakteryzują się podwyższoną mineralizacją w zakresie 250–350 mg/dm³, z kolei jeziora infiltrujące wykazują niską mineralizację - poniżej 100 mg/dm³. Wśród jezior infiltrujących, wyodrębniłam dwa dodatkowe typy o nieco podwyższonej mineralizacji (od 130 do 300 mg/dm³) związanej z pośrednim kontaktem z warstwą wodonośną lub z drenowaniem lokalnych zawieszonych wód. Wyróżniłam także jeziora przepływowe, charakteryzujące się mineralizacją w zakresie 170-200 mg/dm³. Szczegółowe badania wzgórz szymbarskich potwierdziły zaproponowane wydzielenia typów wód powierzchniowych oraz wykazały, że ciekły drenujące oraz źródła zwykle wykazują wyższą mineralizację niż zbiorniki wód powierzchniowych o charakterze drenującym. W przypadku drenujących cieków mineralizacja wynosiła 250-420 mg/dm³, a w przypadku stałych źródeł morenowych nawet 400-615 mg/dm³.

Przeprowadziłam również **analizę wpływu prognozowanych zmian klimatu na zasoby wód podziemnych** (zał. 4 poz. I.B.1, I.B.3 oraz zał. 7.1 i 7.3). Analiza trendów zmian temperatury i opadu dla 60-letniej historii pomiarów meteorologicznych na stacji w

Kościerzynie wykazała stały konsekwentny trend wzrostu temperatur, wynoszący średnio $+0,0182^{\circ}\text{C}/\text{rok}$. Na podstawie analizy temperatur w Kościerzynie, można przypuszczać, że temperatura średnia roczna wzrośnie przez najbliższe 50 lat o $0,9^{\circ}\text{C}$, jeżeli aktualne trendy zostaną zachowane. Również analiza średnich i rocznych miesięcznych sum opadu, wykazuje trend rosnący, jest to średnio $1,8472\text{ mm}/\text{rok}$. W kontekście formowania się zasobów wód podziemnych wspomniane trendy mogą przyczynić się do wzrostu zasilania. Zwłaszcza, że sumy opadu rosną głównie w okresie poza wegetacyjnym. Jeśli aktualne trendy zostaną zachowane to suma opadu biorącego udział w zasilaniu wód podziemnych prawdopodobnie wzrośnie w ciągu 50 lat o 36 mm , czyli o $5,5\%$, co jest zgodne z przewidywanymi trendami w raporcie IPCC [14,15]. Dodatkowym czynnikiem sprzyjającym zwiększonej infiltracji może być przewidywany [14,15] i również zgodny z trendami dla stacji w Kościerzynie wzrost temperatur w miesiącach zimowych. W świetle powyższych prognoz przeprowadziłam symulację zwiększenia rocznej sumy opadu o $5,5\%$ i przeanalizowałam jak wpłynie to na zasoby wód podziemnych i strukturę ich przepływu. Wyniki symulacji modelowych wykazały, że prognozowane zmiany klimatu przyczynią się do zmian w przepływach w całym czwartorzędowym systemie wodonośnym. Jednak najbardziej widoczne są zmiany w poziomie pierwszym, największy procentowy wzrost przepływu dotyczy odpływu ze źródeł oraz przepływu descenzyjnego do poziomów głębszych. Zwierciadło wody w płytkich poziomach wodonośnych podniesie się o około 1 m .

Wyniki moich badań można odnieść do innych obszarów młodoglacjalnych o podobnych warunkach hydrogeologicznych, głównie w Ameryce Północnej i Europie. Wiele ciekawych opracowań regionalnych na obszarach młodoglacjalnych wykonano w Kanadzie, a także w północnych stanach Stanów Zjednoczonych Ameryki. Dotyczą one głównie parametrów przepuszczalności warstw słaboprzepuszczalnych [5,7,10,11,22,23] czy infiltracji efektywnej [5,6,8]. Liczne są również regionalne badania modelowe [12,18,21] zwykle jednak nie przedstawiają one systemów wielowarstwowych, z wyjątkiem nielicznych opracowań [9,13,17]. Przeprowadzona przeze mnie analiza struktury zasilania wielopoziomowego systemu wodonośnego, a także roli wód powierzchniowych i przepływów pionowych, stanowi uzupełnienie dotychczasowej wiedzy na temat hydrogeologii obszarów młodoglacjalnych. Pozwala także sformułować wnioski na temat dalszych badań, potrzebnych do jeszcze dokładniejszego rozpoznania badanego zagadnienia. Wykazałam, że szczególnie ciekawym zagadnieniem badawczym jest rola obszarów bezodpływowych chłonnych i ewapotranspiracyjnych na obszarach zasilania wielopoziomowych systemów wodonośnych. Innym problemem badawczym, jest uszczegółowienie metody wskaźnikowej określania infiltracji efektywnej opadów, zwłaszcza wydzielenie dodatkowych wskaźników infiltracji dla osadów półprzepuszczalnych, takich jak np. morenowe gliny piaszczyste.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

a. Przed uzyskaniem stopnia doktora

W roku 1998 ukończyłam studia magisterskie na ówczesnym Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Gdańskiej, na kierunku Inżynieria Środowiska, specjalność gospodarka wodna. Pracę magisterską pod tytułem: *Ocena zmian składu chemicznego wód podziemnych czwartorzędu w województwie gdańskim w świetle wyników monitoringu* przygotowałam pod kierunkiem prof. Bohdana Kozerskiego i obroniłam w czerwcu 1998 r. Za pracę tę otrzymałam nagrodę Fundacji „Czysta Woda”. W ramach pracy magisterskiej w oparciu o dane z Państwowego Monitoringu Środowiska dokonałam oceny zmian składu chemicznego wód podziemnych z piętra czwartorzędowego. Analizowałam punkty sieci krajowej i regionalnej. Monitoring sieci krajowej prowadzony od 1991 r. obejmował 26 otworów hydrogeologicznych, gdzie badano 49 parametrów jakości wody. Natomiast sieć regionalna prowadzona od 1995 r. obejmowała 34 otwory i wykonywano w niej 40 oznaczeń parametrów jakości wody. W pracy określiłam typy wód podziemnych, były to głównie wody $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ lub $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$, czyli typowe wody infiltracyjne wysoczyzn młodoglacjalnych. Wyznaczyłam również tło hydrogeochemiczne, oraz dokonałam oceny jakości analiz prowadzonych w ramach monitoringu. W 18% próbek wody stwierdziłam błąd bilansu jonowego powyżej błędu dopuszczalnego (zał. 4 poz. II.1). W efekcie sformułowałam wnioski odnośnie funkcjonowania monitoringu, które zostały wykorzystane w opracowaniu projektu monitoringu jakości wód podziemnych w województwie pomorskim w 1999 r., w którego byłam współautorem.

Po uzyskaniu tytułu zawodowego magistra inżyniera, od października 1998 roku kontynuowałam naukę jako słuchacz studium doktoranckiego „Geotechnika i Inżynieria Środowiska” na ówczesnym Wydziale Budownictwa Wodnego Inżynierii Środowiska Politechniki Gdańskiej. W 1999 roku odbyłam trzy miesięczny staż doktorski na Uniwersytecie Josepha Fouriera w Grenoble we Francji, poświęcony zagadnieniom modelowania w gospodarce wodnej a w szczególności numerycznemu modelowaniu przepływu wód podziemnych.

W 2000 pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Bohdana Kozerskiego rozpoczęłam pracę na moją rozprawę doktorską pt.: *Wpływ agregacji poziomów wodonośnych na dokładność analizy modelowej krążenia wód podziemnych na przykładzie gdańskiego systemu wodonośnego*. Projekt ten uzyskał finansowanie Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w postaci grantu promotorskiego Nr KBN 6 P04D 086 19. W ramach rozprawy doktorskiej

opracowałam model przepływu wód podziemnych dla części gdańskiego systemu wodonośnego. Model miał powierzchnię 594 km² i obejmował strefę krawędzi wysoczyzny oraz obszary drenażu wód. W niewielkim stopniu również obszar zasilania. Był to pierwszy regionalny model przepływu wód, który powstał dla regionu gdańskiego. Wyjściowy model odwzorowywał 5 poziomów wodonośnych: górny czwartorzędowy, dolny czwartorzędowy, mioceński, oligoceński oraz kredowy. W kolejnych etapach dokonywałam uproszeń w schematyzacji systemu wodonośnego poprzez agregację warstw wodonośnych. W efekcie powstały trzy kolejne modele. Dwa z nich zawierały agregację warstw lokalnie pozostających w kontakcie i mających podobne warunki hydrodynamiczne. Model pierwszej agregacji składał się z czterech poziomów wodonośnych: górnego czwartorzędowego, dolnego czwartorzędowego wraz z mioceńskim, oligoceńskim oraz kredowym. Taka schematyzacja była zgodna z naturalnymi warunkami hydrodynamicznymi gdańskiego systemu wodonośnego, gdyż warstwa mioceńska zwykle pozostaje w kontakcie hydraulicznym z poziomem czwartorzędowym i wraz z nim tworzy główne użytkowe piętro wodonośne. Model w drugiej agregacji składał się z trzech poziomów wodonośnych, czwartorzędowo-mioceńskiego, oligoceńskiego oraz kredowego. Trzecia agregacja dotyczyła warstw oddzielonych od siebie i różniących się wysokością ciśnień piezometrycznych. Połączono w niej obie warstwy trzeciorzędowe (mioceńską i oligoceńską), co mimo podobieństwa stratygraficznego nie wiązało się z podobieństwem hydrodynamicznym. W efekcie model obejmował cztery poziomy wodonośne: górny czwartorzędowy, dolny czwartorzędowy, mioceński wraz z oligoceńskim oraz kredowy.

Przeprowadzone obliczenia uwzględniające agregacje warstw wodonośnych wskazały, że łączne traktowanie warstw o zbliżonych parametrach hydrodynamicznych ma niewielki wpływ na bilans całego systemu wodonośnego, który zmieniał się maksymalnie o 0,2-0,6%. Bardziej wyraźnie wpływa natomiast na warunki przepływu wewnątrz systemu, poszczególne składniki bilansu zmieniały się w zakresie od 0 do 4,2%. Z kolei łączenie warstw różniących się parametrami filtracyjnymi i hydrodynamiką prowadzi do większych rozbieżności w bilansie całego układu, o około 4%, a także do większych rozbieżności w poszczególnych składnikach bilansu, do 4,8%. Na tej podstawie sformułowałam wniosek, że wierność w odtwarzaniu rozprzestrzenienia i geometrii struktur hydrogeologicznych, ma w modelowaniu mniejsze znaczenie, niż dokładne odtworzenie ich parametrów hydrodynamicznych i filtracyjnych.

Badania prowadzone w pracy doktorskiej bezpośrednio wiązały się z zagadnieniem modelowania przepływu wód podziemnych, które stało się głównym przedmiotem moich zainteresowań w kolejnych latach. Modele wykonywałam z wykorzystaniem programu Modflow szeroko stosowanego na świecie, jednak w Polsce w tamtym okresie tylko w niektórych ośrodkach badań hydrogeologicznych. W roku 2001 wykonałam swój pierwszy

model do celów użytkowych. Miał on za zadanie określenie zasobów wód podziemnych dla potrzeb rolniczych w zlewni rzeki Łupawy (zał. 4 poz. II.2).

Dnia 29.11. 2002 r. uchwałą Rady Wydziału Budownictwa Wodnego i Inżynierii Środowiska Politechniki Gdańskiej uzyskałam stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie – inżynieria środowiska, specjalność – hydrogeologia.

b. Po uzyskaniu stopnia doktora

Po obronie doktoratu podjęłam pracę na stanowisku adiunkta w Katedrze Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej na Wydziale Budownictwa Wodnego i Inżynierii Środowiska Politechniki Gdańskiej, gdzie pracuję do dzisiaj (obecnie Katedra Geotechniki, Geologii i Budownictwa Morskiego, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska).

W październiku 2002 r., krótko przed obroną doktoratu, rozpoczęłam czterosemestralne Studia Podyplomowe w zakresie Geologii na Uniwersytecie Adama Mickiewicza w Poznaniu na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych. Studia ukończyłam w czerwcu 2004 r. W ramach pracy dyplomowej, pod kierunkiem profesora W. Stankowskiego, zajęłam się zagadnieniem stratygrafii trzeciorzędu okolic Gdańska. W oparciu o nowe dane stratygraficzne zestawiałam profil stratygraficzny osadów trzeciorzędu (neogenu i paleogenu) na Niżu Polskim, ze szczególnym odniesieniem do Pomorza Gdańskiego. W świetle nowych poglądów na stratygrafię trzeciorzędu przeanalizowałam nazewnictwo poziomów wodonośnych, które było stosowane niezmiennie od początku XX wieku. Ze względu na udokumentowane występowanie osadów eocenu zaproponowałam, aby dolny poziom trzeciorzędowy, uznawany dotąd za poziom oligoceński, nazywać poziomem oligoceńsko-eoceńskim lub bardziej ogólnie paleogeńskim (górnego i środkowego paleogenu) (zał. 4 poz. II.E.4).

W dalszym ciągu kontynuowałam badania nad modelowaniem przepływu wód podziemnych oraz schematyzacją warunków hydrogeologicznych. Rozbudowałam model strefy krawędziowej gdańskiego systemu wodonośnego, wykonałam dodatkowe obliczenia zasobów wód podziemnych dla wydzielonych obszarów bilansowych. Wyniki badań przedstawiłam w kilku publikacjach, które zawierały elementy rozprawy doktorskiej (zał. 4 poz. II.A.1, II.E.1, II.E.3, II.E.24, II.E.25).

Badania nad dokładnością modeli hydrogeologicznych kontynuowałam jeszcze w 2010 (zał. 4 poz. II.E.10). Jednak już od 2004 moje zainteresowania skupiały się na obliczeniach zasobów wód podziemnych, zarówno w skali regionalnej jak i lokalnej. Wówczas rozpoczęła się realizacja grantu MNiSW (nr KBN 4T12B 06026) pt.: *Gdański system*

wodonośny, pod kierownictwem prof. dr hab. inż. B. Kozerskiego. W ramach tego projektu wyznaczyłam granice gdańskiego systemu wodonośnego i poszczególnych pięter wodonośnych, a także opracowałam regionalny model przepływu wód podziemnych (zał. 4 poz. II.E.2). W kolejnych latach uzupełniłam te badania modelowe i analizę zasobów wód w ujęciu regionalnym o nowe aspekty związane z koncepcją poboru zrównoważonego i nowym podejściem do wyznaczania zasobów odnawialnych. Wyniki tych analiz przedstawiłam powyżej (pkt. 4.c), gdyż stanowią część dokumentowanego osiągnięcia (pkt. 4.a).

Od 2003 r. do chwili obecnej wykonałam liczne opracowania modeli przepływu wód podziemnych stanowiące podstawę do ustalenia zasobów oraz stref ochronnych ujęć wód podziemnych. Opracowania te wykonywałam we współpracy z gdańskimi przedsiębiorstwami geologicznymi i zwykle stanowiły one wyodrębnioną część dokumentacji hydrogeologicznej. Były to modele przepływu wód dla następujących ujęć:

- w roku 2003 ujęcie wód podziemnych Bitwy pod Płowcami w Sopocie (we współpracy z Przedsiębiorstwem Geologicznym POLGEOL),
- w roku 2004 ujęcie wód podziemnych Wiczlino w Gdyni (we współpracy z Przedsiębiorstwem Hydrogeologicznym w Gdańsku),
- w roku 2006 ujęcia wód podziemnych Głobino i Westerplatte w Słupsku (we współpracy z Zakładem Usług Hydrogeologicznych Zygmunt Kliński),
- w roku 2006 ujęcie wód podziemnych w Suwałkach (we współpracy z Przedsiębiorstwem Geologicznym POLGEOL),
- w roku 2007 ujęcie wód podziemnych Wielki Kack w Gdyni (we współpracy z Przedsiębiorstwem Hydrogeologicznym w Gdańsku),
- w roku 2008 ujęcie wód podziemnych Krzywe Błota we Włocławku (we współpracy z Przedsiębiorstwem Geologicznym POLGEOL),
- w roku 2009 ujęcie wód podziemnych Wrzosy w Toruniu (we współpracy z Przedsiębiorstwem Geologicznym POLGEOL),
- w roku 2009 ujęcie wód podziemnych Morsk w Świeciu (we współpracy z Przedsiębiorstwem Geologicznym POLGEOL),
- w roku 2010 ujęcie wód podziemnych Cedron w Wejherowie (we współpracy z Przedsiębiorstwem Geologicznym POLGEOL),
- w roku 2012 zbiorczy, regionalny, model dla gdyńskich ujęć: Wielki Kack, Wiczlino, Sieradzka i Kolibki (we współpracy z Przedsiębiorstwem Hydrogeologicznym w Gdańsku),
- w 2015 ujęcie Bąkowo w gminie Kolbudy (we współpracy z Zakładem Usług Hydrogeologicznych Zygmunt Kliński),

Efektom powyższych badań modelowych przepływu wód podziemnych oprócz obliczeń zasobów było wykonanie analizy możliwości eksploatacji trójmiejskich ujęć w warunkach ich intensywnego współdziałania (zał. 4 poz. II.E.5, II.E.6, II.E.7, II.E.8, II.E.27), a także symulacje poboru wód w strefie brzegowej morza z uwzględnieniem prognozowanego

podniesienia się poziomu morza (zał. 4 poz. II.E.26). Wykonałam również analizy optymalnego poboru wód dla innych ujęć zlokalizowanych w Polsce północnej (zał. 4 poz. II.E.9, II.E.29).

Uczestniczyłam także w ustalaniu zasobów oraz obszarów ochronnych Głównych Zbiorników Wód Podziemnych. W roku 2011 wykonałam regionalny model przepływu wód dla GZWP 208 - Biskupiec (zał. 4 poz. II.E.13) (we współpracy z Przedsiębiorstwem Hydrogeologicznym w Gdańsku), a w roku 2015 dla GZWP 133 – Młotkowo (wraz z A. Gumułą-Kawęcką i we współpracy z Przedsiębiorstwem Hydrogeologicznym w Gdańsku, zał. 4 poz. II.E.18).

W latach 2002 – 2010 wraz z B. Kozerskim, M. Pruszkowską-Caceres i M. Przewłocką prowadziłam badania składu chemicznego i analizy zmian jakości wód podziemnych regionie gdańskim. W ramach tych badań brałam udział we współpracy naukowo-dydaktycznej z hydrogeologami z Uniwersytetu Technicznego KTH (Kungliga Tekniska Högskolan) w Sztokholmie. Współpraca prowadzona w latach 2002-2004 obejmowała badania jakości wód podziemnych na tarasie nadmorskim oraz badania geofizyczne pozornej oporności właściwej. W efekcie udało się zaobserwować cofający się w stronę Zatoki Gdańskiej front zasolenia wód podziemnych (zał. 4 poz. II.E.23, II.E.30). Pozostałe badania nad jakością wód podziemnych w regionie gdańskim obejmowały analizę antropogenicznych zmian składu chemicznego wód podziemnych (zał. 4 poz. II.E.31, II.E.33), naturalne procesy odbudowy zasobów i jakości wód (zał. 4 poz. II.E.21, II.E.22, II.E.32), a także analizę zmian zasolenia (zał. 4 poz. II.E.28, II.E.32). Do najdalej idących przeobrażeń składu chemicznego, w efekcie intruzji wód zasolonych Martwej Wisły i Zatoki doszło w wyniku intensywnego poboru wód, którego maksimum przypadło na lata 1980-85. Wraz z wyżej wymienionym zespołem badawczym wykazaliśmy, że po ograniczeniu poboru od lat 90-tych, obserwuje się zmniejszenie koncentracji jonu chlorkowego. Prowadzi to do wyraźnego wystądzania wód i odnowy ich zasobów.

W roku 2010 wykonałam model przepływu wód podziemnych na obszarze projektowanego tunelu pod Martwą Wisłą, na zlecenie Gdańskich Inwestycji Komunalnych. Analizowałam wpływ projektowanego wówczas tunelu na wody podziemne. Przeprowadzone symulacje wykazały, że tunel w bardzo niewielkim stopniu wpłynie na przepływ wód podziemnych (powoduje zmiany położenia zwierciadła wody od 0 do 3 cm) i w najmniejszym stopniu nie zaznacza się w bilansie przepływu wód (uzyskane wyniki obliczeń modelu znalazły później potwierdzenie podczas realizacji inwestycji w obserwacjach położenia zwierciadła wody w piezometrach). Wykazałam, że nie ma zagrożeń ilościowych dla zasobów wód podziemnych piętra plejstoceno-holoceno w sąsiedztwie budowy tunelu. Jedyne zagrożenia wynikające z budowy tunelu, to zagrożenia dla jakości wód podziemnych (zał. 4 poz. II.E.11, II.E.12). Później w latach 2011-2014 byłam członkiem

powołanego zarządzeniem Prezesa Gdańskich Inwestycji Komunalnych Zespołu Konsultantów Naukowych przy budowie tunelu pod Martwą Wisłą. Wraz z inż. B. Bucą wnioskowaliśmy o wprowadzenie monitoringu jakości wód w sąsiedztwie realizacji inwestycji (zał. 4 poz. II.E.15). Monitoring zasolenia wód podziemnych w sąsiedztwie budowanego tunelu pozwolił na rozpoznanie przestrzennej i czasowej zmienności zasolenia wód podziemnych. Było to szczególnie ważne w procesie mrożenia gruntu przy budowie przejść poprzecznych między dwiema nitkami tunelu. Rozpoznanie problemu pomogło dostosować proces mrożenia do panujących warunków. Monitoring wahań zwierciadła wód podziemnych wykazał z kolei, że są one silnie uzależnione od poziomu zwierciadła wody w Martwej Wiśle. W mniejszym stopniu zaznacza się prowadzona w sąsiedztwie eksploatacja czy drenaż, choć przyczynia się do zachwiania równowagi między wodami podziemnymi i zasolonymi wodami Martwej Wisły i prowadzi do okresowej infiltracji zasolonych wód rzecznych do warstwy wodonośnej na zachodnim brzegu rzeki (zał. 4 poz. II.E.16).

W latach 2010-2013 brałam udział w realizacji projektu MNiSW pt.: *Lokalne systemy wód podziemnych wysoczyzn młodoglacjalnych na przykładzie wzgórz szymbarskich na Pojezierzu Kaszubskim* (nr NN 307404538), pod kierownictwem prof. dr hab. inż. B. Kozerskiego. Badania obejmowały głównie płytkie wody podziemne oraz wody powierzchniowe. Wiele z uzyskanych wyników wykorzystałam do analizy warunków formowania się zasobów wód podziemnych na wysoczyznach młodoglacjalnych, i opisałam powyżej w ramach dokumentowanego osiągnięcia. Badania skupiały się także na analizie składu chemicznego wód. W zespole z M. Pruszkowską-Caceres i M. Przewłócką na podstawie uzyskanych wyników dokonaliśmy analizy składu chemicznego i izotopowego czwartorzędowych wód podziemnych w centralnej części Pojezierza Kaszubskiego, a także określiliśmy warunki formowania się składu chemicznego wód podziemnych i powierzchniowych (zał. 4 poz. II.E.14, II.E.20).

W 2015 r. wykonałam wraz z mgr inż. A. Gumułą-Kawęcką symulacje modelowe migracji zanieczyszczeń w okolicy składowiska odpadów w Gdańsku-Szadółkach. Przeprowadzone przez nas badania umożliwiły określenie kierunku i szybkości migracji odcieków ze składowiska w Szadółkach w wielowarstwowym systemie hydrogeologicznym. Na podstawie rozkładu stężeń zanieczyszczenia oraz bilansu masy jonów chlorkowych stwierdziłyśmy, że zanieczyszczenie migruje w kierunku południowo-wschodnim i jest transportowane do wód powierzchniowych. Migracja odcieków ze składowiska następuje w pierwszej i drugiej czwartorzędowej warstwie wodonośnej, przy czym transport zanieczyszczeń do drugiej warstwy wodonośnej zachodzi głównie przez okna hydrogeologiczne. Nie stwierdziłyśmy możliwości zanieczyszczenia odciekami ze składowiska trzeciego poziomu czwartorzędowego, który stanowi główny poziom użytkowy na badanym obszarze (zał. 4 poz. II.E.19).

W 2015 wraz z dr hab. M. Pruszkowską-Caceres i dr M. Lidzbarskim uczestniczyłam w opracowaniu historii rozwoju badań hydrogeologicznych w ośrodkach naukowych i naukowo-badawczych w Gdańsku (zał. 4 poz. II.E.17).

Aktualnie jednym z przedmiotów moich zainteresowań naukowych jest uszczegółowienie metody wskaźnikowej określania infiltracji efektywnej opadów, zwłaszcza wydzielenie dodatkowych wskaźników infiltracji dla osadów półprzepuszczalnych, takich jak np. morenowe gliny piaszczyste. W ramach mojej wieloletniej praktyki związanej z budową modeli przepływu wód podziemnych dostrzegłam potrzebę zweryfikowania i udoskonalenia metody wskaźnikowej. W wielu moich opracowaniach modeli przepływu podejmowałam takie próby i tak np. w dokumentowanym osiągnięciu (zał. 4 poz. I.B.1 oraz zał. 7.1 rozdz. 3.6.1) na podstawie własnych doświadczeń i studiów literatury z obszarów młodoglacjalnych zaproponowałam nowe wydzielenie do wskaźników Pazdry i Kozerskiego [19] - wskaźnik infiltracji 0,12, dla piaszczystych glin morenowych. Aktualnie jestem współautorem projektu badawczego MNiSW pt.: *Zasilanie infiltracyjne na obszarze sandrowym*, który uzyskał decyzję o finansowaniu w 2016 r. i będzie realizowany pod kierownictwem dr hab. inż. A. Szymkiewicza. W ramach tego projektu, w pewnym stopniu z mojej inicjatywy powstanie praca doktorska dotycząca uściślenia wskaźnika infiltracji na obszarach sandrowych.

Od uzyskania stopnia doktora opublikowałam łącznie 42 publikacje, w tym 6 niepuktowanych. Łączna liczba punktów, zgodnie z rokiem publikacji, po uwzględnieniu mojego udziału wynosi 270,7 (lub 344,4 wg listy MNiSW z 2015r.) W tym publikacje stanowiące cykl jednotematycznego osiągnięcia naukowego 134,4 (lub 191,6 wg listy MNiSW z 2015r.). Łączny IF wynosi 4,961, a indeks Hirscha 3.



Literatura:

Spis publikacji, których jestem autorem lub współautorem znajduje się w Załączniku 4.

- [1] Alley W.M., Leak S.A. (2004): The Journey from Safe Yield to Sustainability. *Ground Water*, 42 1:12-16.
- [2] Bredehoeft J.D. (1997): Safe yield and the water budget myth. *Ground Water*, 35(6):929.
- [3] Bredehoeft J.D. (2002): The water budget myth revisited: why hydrogeologists model. *Ground Water*, 40(4):340-345.
- [4] Bredehoeft J.D. (2007): It is the Discharge. *Ground Water*, 45(5):523.

- [5] Cherkauer D.S. (2004): Quantifying Ground water Recharge at Multiple Scales Using PRMS and GIS. *Ground Water* 42, no. 1: 97-110.
- [6] Cherkauer D.S., Sajjad A.A. (2005): Estimating Ground Water Recharge from Topography, Hydrogeology, and Land Cover. *Ground Water* 43, no. 1: 102-112.
- [7] Desbartas A.J., Hinton M.J., Logan C.E., Sharpe D.R. (2001): Geostatistical mapping of leakage in a regional aquitard, Oak Ridges Moraine area, Ontario, Canada. *Hydrogeology Journal* 9:79-96.
- [8] Ferguson G., Woodbury A.D., Matile G.L.D. (2003): Estimating Deep Recharge Rates Beneath an interlobate Marine Using Temperature Logs. *Ground Water* 41 no. 5:640-646.
- [9] Frind E.O., Muhammad D.S., Molson J.W. (2002): Delineation of Three-Dimensional Well Capture Zones for Complex Multi-Aquifer Systems. *Ground Water* 40 no. 6:586-598.
- [10] Gerber R.E., Howard K. (2000): Recharge through regional till aquitard: Three-Dimensional Flow Model Water Balance Approach. *Ground Water* 38 3:410-422.
- [11] Gerber R.E., Boyce J.I., Howard K.W.F. (2001): Evaluation of heterogeneity and field-scale groundwater flow regime in leaky till aquitard. *Hydrogeology Journal* 9:60-78.
- [12] Hayley K., Schumacher J., MacMillan G.J., Boutin L.C. (2014): Highly parameterized model calibration with cloud computing: an example of regional flow model calibration in northeast Alberta, Canada. *Hydrogeology Journal* 22:729-737.
- [13] Herzog B.L., Larson D.R., Abert C.C., Wilson S.D., Roadcap G.S. (2003): Hydrostratigraphic Modeling of a Complex, Glacial-Drift Aquifer System for Importation into Modflow. *Ground Water* 41, no. 1:57-65.
- [14] IPCC, (2007). The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, University Press, s. 996. ISBN 978-0-521-88009-1.
- [15] IPCC (2013). The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, University Press, ISBN 978-1-107-05799-1.
- [16] Kleczkowski A.S., Dowgiałło J., Macioszczyk T., Rózkowski A. (red.) (2002): Słownik hydrogeologiczny. Ministerstwo Środowiska, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- [17] Martin P.J., Frind E.O. (1998): Modeling a Complex Multi-Aquifer System: The Waterloo Moraine. *Ground Water* No. 4. 36:679-690.
- [18] Nastev M., Rivera A., Lefebvre R., Martel R., Savard M. (2005): Numerical simulation of groundwater flow in regional rock aquifers, southwestern Quebec, Canada. *Hydrogeology Journal* 13:835-848.

- [19] Pazdro Z.: *Hydrogeologia Ogólna*. Wyd. Geol. Warszawa 1983.
- [20] Rogoż M.: *Słownik Hydrogeologiczny, angielsko-polski, polsko-angielski*. Wydawnictwo Naukowe Scholar, Warszawa 2013.
- [21] Ross M., Parent M., Lefebvre R. (2005): 3D geologic framework models for regional hydrogeology and land-use management: a case study from a Quaternary basin of southwestern Quebec, Canada. *Hydrogeology Journal*, 13:690–707.
- [22] Sharpe D.R., Russell H.A.J., Logan C. (2002): Geological characterization of a regional aquitard: Newmarket Till, Oak Ridges Moraine area, southern Ontario. In *Ground and Water: Theory to Practice: Proceedings of the 55th Canadian Geotechnical and 3rd joint IAHCNC and CGS Groundwater Specialty Conferences*, 219-226.
- [23] Skalbeck J.D., Reed D.M., Hunt R.J., Lambert J.D. (2009): Relating groundwater to seasonal wetlands in southeastern Wisconsin, USA. *Hydrogeology Journal* 17:215-228.
- [24] Sophocleous M. (1997): Managing water resources systems: Why „safe yield” is not sustainable. *Ground Water*, 35(4):561.
- [25] Theis C.V. (1940): The source of water to wells: essential factors controlling the response of an aquifer to development. *Civil Engineering*, p. 277-280.
- [26] Zhou Y. (2009): A critical review of groundwater budget myth, safe yield and sustainability. *Journal of Hydrology* 370 207-213.