

Autoreferat

Przemysław Wachniew

Grudzień 2020

1. Imię i nazwisko:

Przemysław Wachniew

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

- VII 1995: Doktor nauk fizycznych; tytuł rozprawy doktorskiej: „Badanie składu izotopowego węglanowych osadów jeziornych”. Stopień nadany przez Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej AGH
- VI 1990: Magister inżynier podstawowych problemów techniki; tytuł pracy magisterskiej: „Datowanie młodych osadów jeziornych metodą Pb-210”. Stopień nadany przez Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej AGH

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

od VIII 1995: adiunkt w WFiTJ/WFiIS AGH

II – IX 1990: asystent stażysta w Zakładzie Fizyki Środowiska WFiTJ AGH

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy.

Tytuł osiągnięcia:

METODY ZNACZNIKOWE W BADANIACH ŚRODOWISKA LĄDOWEGO

Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę wszczęcia postępowania habilitacyjnego zostało zawarte w zbiorze 8 recenzowanych publikacji naukowych wymienionych poniżej w porządku chronologicznym.

[1] **Wachniew, P.** (2006). Isotopic composition of dissolved inorganic carbon in a large polluted river: The Vistula, Poland. *Chemical Geology*, 233(3-4), 293-308.

[2] Małoszewski, P., **Wachniew, P.**, & Czupryński, P. (2006). Study of hydraulic parameters in heterogeneous gravel beds: Constructed wetland in Nowa Słupia (Poland). *Journal of Hydrology*, 331(3-4), 630-642.

[3] Małoszewski, P., **Wachniew, P.**, & Czupryński, P. (2006). Hydraulic Characteristics of a Wastewater Treatment Pond Evaluated through Tracer Test and Multi-Flow Mathematical Approach. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15(1).

[4] Wörman, A., & **Wachniew, P.** (2007). Reach scale and evaluation methods as limitations for transient storage properties in streams and rivers. *Water resources research*, 43(10).

[5] Łokas, E., **Wachniew, P.**, Ciszewski, D., Owczarek, P., & Chau, N. D. (2010). Simultaneous use of trace metals, ^{210}Pb and ^{137}Cs in floodplain sediments of a lowland river as indicators of anthropogenic impacts. *Water, Air, and Soil Pollution*, 207(1-4), 57-71.

[6] **Wachniew, P.** (2015). Environmental tracers as a tool in groundwater vulnerability assessment. *Acque Sotterranee-Italian Journal of Groundwater*. AS13059: 019 – 025.

[7] **Wachniew, P.**, Zurek, A. J., Stumpp, C., Gemitzi, A., Gargini, A., Filippini, M., Rozanski, K., Meeks, J., Kværner, J. i Witczak, S. (2016). Toward operational methods for the assessment of intrinsic groundwater vulnerability: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 46(9), 827-884.

[8] Łokas, E., **Wachniew, P.**, Jodłowski, P., & Gąsiorek, M. (2017). Airborne radionuclides in the proglacial environment as indicators of sources and transfers of soil material. *Journal of environmental radioactivity*, 178, 193-202.

Wprowadzenie

Niniejszy zbiór publikacji dokumentuje moje osiągnięcia w zakresie wykorzystania, rozwoju i rozpowszechniania metod znacznikowych w zastosowaniach związanych z różnymi elementami środowiska lądowego. Omówienie moich dokonań udokumentowanych poprzez publikacje poprzedzam uwagami na temat przedmiotu i istoty metod znacznikowych. Przedstawiona poniżej koncepcja rozwija i porządkuje spostrzeżenia zawarte w pracach [6] i [7] oraz w innych publikacjach mojego współautorstwa (Balderacchi i inni, 2014; Kløve i inni, 2011; Wachniew i inni, 2014; Stumpp i inni, 2016).

Metody znacznikowe to całokształt specyficznych koncepcji i procedur badawczych oraz technik analitycznych i modeli matematycznych stosowanych do poznania krążenia materii w środowisku naturalnym i stworzonym przez człowieka, w organizmach i ekosystemach oraz w procesach technologicznych. Metody umożliwiające śledzenie przebiegu procesów transportu i przemian substancji są powszechnie wykorzystywane w medycynie i wielu dziedzinach nauki i techniki. Rozwój metod znacznikowych w zastosowaniach środowiskowych, który rozpoczął się w latach 60. XX wieku, związany był z jednej strony z postępowaniem metod analitycznych, a z drugiej z nasileniem emisji różnorodnych zanieczyszczeń. Uwolnienia do środowiska substancji rozprzestrzeniających się w skali globalnej – związane między innymi z testami broni jądrowej przeprowadzanymi w atmosferze – w niezamierzony sposób stały się wielkoskalowymi eksperymentami znacznikowymi. Obserwacje krążenia tych zanieczyszczeń, wciąż obecnych w środowisku, przyczyniły się do zrozumienia obiegu wody na lądach oraz cyrkulacji atmosfery i oceanów. Okoliczności sprzyjające rozwojowi metod znacznikowych zachodzą również obecnie. Upowszechniająca się technika laserowej spektrometrii strat we wnęce optycznej upraszcza i przyspiesza analizy składu izotopów trwałych w wielu typach materiałów środowiskowych. Analizy te stają się dostępne dla większej rzeszy odbiorców, co sprzyja również powstawaniu nowych zastosowań. Jednocześnie zmienia się paradygmat nauk o środowisku, które dążą do holistycznego postrzegania ziemskiego środowiska zgodnie z koncepcją systemu Ziemi (Savenije i inni, 2014). System ten rozumiany jest jako całość jego zasadniczych elementów składowych – geosfer¹ lub innych podsystemów, np. klimatu – oraz ich wzajemnych relacji (Schellnhuber, 1999). W takim interdyscyplinarnym kontekście na znaczeniu będą zyskiwać te zastosowania metod znacznikowych, które wykraczają poza wąsko rozumiany cykl hydrologiczny, zgodnie z postulowaną koniecznością integrowania badań prowadzonych w obrębie hydrologii i pokrewnych dyscyplin (Bloeschl i inni, 2019).

Poza omówionymi poniżej osiągnięciami naukowymi mój dorobek w dziedzinie metod znacznikowych obejmuje również działalność edukacyjną i popularyzacyjną. Zapoznając się z dostępną w językach polskim i angielskim literaturą naukową oraz materiałami dydaktycznymi zauważyłem powszechne występowanie w nich pojęciowych oraz terminologicznych nieścisłości dotyczących zarówno podstawowych, jak i technicznych kwestii związanych z zastosowaniem znaczników. W szczególności, monografie i podręczniki poświęcone znacznikom, a wśród nich jedyne opracowanie wydane w języku polskim (Zuber,

¹ Najczęściej wyróżnia się cztery geosfery: litosferę, hydrosferę, biosferę i atmosferę uzupełniając je niekiedy o antroposferę, pedosferę i kriosferę. Pedosfera (gleba) jest szczególnym środowiskiem na pograniczu czterech głównych geosfer. Kriosferę traktuje się jako część hydrosfery lub jako osobną geosferę

2007), zwykle nie definiują tego terminu wprost. Niemniej jednak użyteczność metody badawczej, rozumianej jako zorganizowane, systematyczne i powtarzalne postępowanie przynoszące rozwój wiedzy naukowej, opiera się na jasnym i jednoznacznym określeniu jej przedmiotu, istoty i celu (Apanowicz, 2002). Pomimo to autorzy wielu monografii i podręczników poświęconych zastosowaniom metod znacznikowych wydają się uważać ideę „śledzenia” lub „znakowania” jakiejś substancji w środowisku za oczywistą i niewymagającą objaśnienia. W efekcie mamy do czynienia z rozmaitym pojmowaniem zakresu i celu metod znacznikowych, niekiedy niesłusznie zawężającym je do specyficznych zastosowań lub pewnych kategorii znaczników. Na przykład, pomimo że zastosowania metod znacznikowych w badaniach środowiska wykraczają poza tradycyjnie rozumianą hydrologię, często ogranicza się je do zagadnień związanych bezpośrednio z przepływem wody. Takie rozumienie znaczników reprezentują m.in. odpowiednie hasła objaśnione w Międzynarodowym Słowniku Hydrologicznym² (Magnuszewski i Soczyńska, 2001) i Słowniku Hydrogeologicznym^{3,4} (Dowgiałło i inni, 2002). W tym drugim słowniku do metod znacznikowych nawiązuje również kilka haseł opisujących zagadnienia związane z transportem masy w wodach podziemnych. Hasła te pośrednio uściślają pewne aspekty metod znacznikowych, ale jednocześnie pogłębiają zamęt terminologiczny wprowadzając – bez odpowiednich objaśnień – kolejne epitety do terminu znacznik: antropogeniczny, idealny, izotopowy. W obu powyższych słownikach, i wielu innych pracach, występuje terminologiczna nieściśłość związana z użyciem terminu „znacznik naturalny”. Kardynalną cechą wyróżniającą tę kategorię znaczników jest globalne rozpowszechnienie w środowisku, niezależnie od ich naturalnego czy antropogenicznego pochodzenia. Trafniejszym wydaje się więc być określanie tych znaczników jako „środowiskowe”. W istocie, wiele ważnych znaczników środowiskowych, np. tryt i radiowęgiel, pochodzi w znaczących częściach zarówno ze źródeł naturalnych, jak i antropogenicznych. Stosowanie znaczników środowiskowych polega więc na wykorzystywaniu ich powszechnej obecności w globalnym środowisku, natomiast mianem sztucznych powinno się określać znaczniki wprowadzane do środowiska intencjonalnie, w celu przeprowadzenia ograniczonego w przestrzeni i czasie badania znacznikowego.

Opisane powyżej na przykładzie dwóch wydanych w języku polskim słowników problemy związane z definiowaniem i użyciem terminologii znacznikowej są powszechne w literaturze naukowej i podręcznikach. Jedną z nielicznych ścisłych i adekwatnych do współczesnego rozumienia znaczników definicji podają Cook i Böhlke (2000) określając je jako „związki lub izotopy”, których „zmienne abundancje można wykorzystać do określenia

² Znacznik - „łatwo wykrywalna substancja, którą można wprowadzić do płynących wód powierzchniowych lub gruntowych w celu określenia dróg przepływu, a także pomiaru prędkości, czasu dobiegu, wieku, rozcieńczenia, itp.”

³ „Substancja charakterystyczna wprowadzana w sposób naturalny lub sztuczny do strumienia wód podziemnych, umożliwiająca identyfikację i/lub opisywanie strumienia i charakteryzowanie jego ruchu (drogę filtracji, czas migracji, prędkość w przestrzeni porowej, wydatki itp.). Wyróżniamy bardzo duży zespół znaczników naturalnych i sztucznych, dobieranych w zależności od celu badania znacznikowego, właściwości systemu hydrogeologicznego (np. występowanie lub brak zdolności sorpcyjnych) itp.”

⁴ Metody znacznikowe – “Metody określania prędkości i kierunku ruchu wody podziemnej. W zależności od rodzaju stosowanego znacznika rozróżnia się metody: kolorymetryczną, izotopową, chemiczną, elektrolityczną; jako znacznika [sic] stosuje się niekiedy także spory”.

przebiegu i ram czasowych procesów środowiskowych”⁵. Definicja ta jako podstawowy warunek wykorzystania danego związku jako znacznika określa przestrzenne lub czasowe zróżnicowanie jego występowania w środowisku. Istotnie, w wielu wypadkach wykorzystanie znaczników polega na obserwacji i wyjaśnianiu czynników powodujących taką zmienność. Należy jednak zauważyć, że również brak zróżnicowania stężenia (abundancji) znacznika może oddawać przebieg procesów środowiskowych, np. niezmiennosc w przestrzeni i czasie składu izotopowego wody w zbiorniku wód podziemnych dostarcza informacji na temat warunków jego zasilania. Nieścisle jest też w powyższej definicji wskazanie nieokreślonych bliżej „procesów środowiskowych” jako przedmiotu zastosowania metod znacznikowych ponieważ znaczniki stosuje się wyłącznie do badania procesów bezpośrednio związanych z obiegiem materii - transportu masy oraz fizycznych, chemicznych i biochemicznych przemian substancji. Przykładu ewolucji sposobu rozumienia metod znacznikowych pod wpływem rozwoju metod analitycznych i holistycznego podejścia do zagadnień ekohydrologii dostarcza przeglądowa praca Abbotta i innych (2016), w której zauważono, że znacznikami mogą być prawie wszystkie własności wody i zawartych w niej substancji. Uogólniając powyższe rozważania można stwierdzić, że zastosowanie znaczników polega na **wykorzystaniu przestrzennego lub czasowego rozkładu stężeń, abundancji lub własności fizycznych substancji w poznaniu przebiegu procesów krążenia materii w środowisku**. Uzyskiwana w ten sposób wiedza może mieć charakter jakościowy – uzyskana poprzez śledzenie przemieszczania się znaczników pomiędzy różnymi składnikami środowiska oraz ilościowy – gdy obserwacje znacznikowe pozwalają określić strumienie lub szybkości przemian krążących substancji.

Chociaż metody znacznikowe mogą potencjalnie opierać się na wykorzystaniu wszelkich substancji występujących w środowisku naturalnie lub wprowadzonych do niego przez człowieka, to niezbędnym warunkiem praktycznego zastosowania danego znacznika jest dostępność odpowiednich metod analitycznych. Metody te muszą zapewniać oznaczenie stężeń, abundancji lub własności fizycznych substancji z odpowiednią – dla określonego zastosowania – precyzją i dokładnością. Rozwój metod znacznikowych zależy więc istotnie od postępu w dziedzinie technik pomiarowych. Przykładem takiego związku jest obecnie wzrost zainteresowania znacznikowymi zastosowaniami izotopologów wody zawierających ¹⁷O, któremu sprzyja rozpowszechnienie laserowych spektrometrów izotopowych.

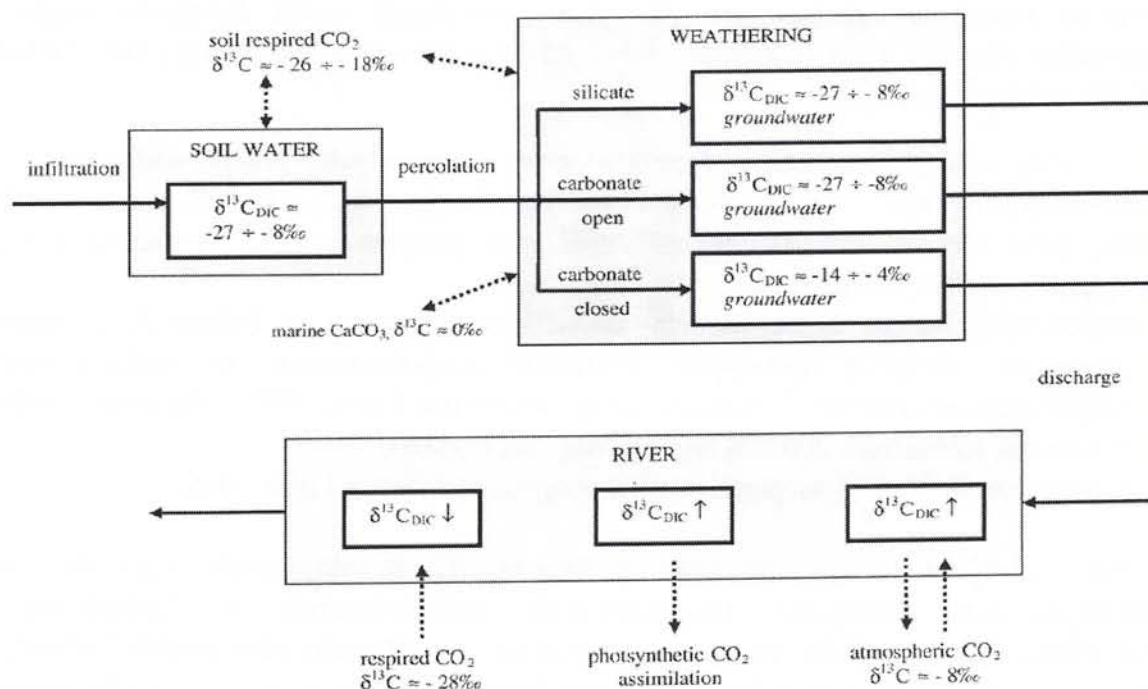
Zastosowanie znaczników środowiskowych do poznania procesów krążenia materii polega więc w istocie na wykorzystaniu ich przestrzennych lub czasowych rozkładów obserwowanych w środowisku. Interpretacja takich obserwacji wymaga rozważania badanego zjawiska w szerokim kontekście wszelkich procesów mających wpływ na obieg danej substancji. Wykorzystanie znaczników implikuje więc interdyscyplinarność podejścia badawczego oraz konieczność rozpatrywania badanych procesów w zakresach przestrzennych i czasowych wykraczających poza ramy przeprowadzonych obserwacji⁶. Ten istotny aspekt metod znacznikowych podkreślony jest w poniższym omówieniu zbioru publikacji.

⁵ “[...] variations in their abundances can be used to determine pathways and timescales of environmental processes.”

⁶ W pewnym stopniu dotyczy to również wykorzystania sztucznych znaczników. Ich stosowanie wymaga znajomości naturalnego tła i jego zmienności oraz uwzględnienia niepożądanych z punktu widzenia prowadzonego badania czynników wpływających na zachowanie znacznika w badanym środowisku.

Omówienie zbioru publikacji

Artykuł [1] prezentuje wyniki kierowanego przeze mnie projektu badawczego KBN pt. „Dynamika cyklu węglowego rzeki Wisły”. Projekt ten wpisnął się w kierunek badawczy zainicjowany w latach 90. XX wieku kiedy dostrzeżono znaczący udział, najpierw jezior, a później rzek w globalnym obiegu węgla. (Tranvik i inni, 2018). Artykuł prezentuje rezultaty jednej z pierwszych prac podjętych w tym nurcie w celu scharakteryzowania obiegu węgla w dużym systemie rzeczonym z wykorzystaniem trwałych izotopów węgla. W części ogólnej artykuł zawiera systematyczną dyskusję czynników wpływających na skład izotopowy rozpuszczonego węgla nieorganicznego ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) w wodach rzecznych. Model ten, uwzględniający procesy zachodzące w glebie, wodach podziemnych i samych rzekach, został syntetycznie przedstawiony w formie diagramu (Ryc. 1). Publikacja [1] cytowana jest w licznych artykułach poświęconych obiegowi węgla w rzekach, a także w jeziorach, jako praca referencyjna. Sam diagram został skopiowany, z niewielkimi zmianami, przez Fergussona i innych (2011). W porównaniu z innymi pracami o podobnej tematyce artykuł ten wyróżnia się przedstawieniem dużej ilości danych zgromadzonych w ramach systematycznych kampanii pomiarowych przeprowadzonych w ciągu jednego roku. Zastosowany schemat obserwacji pozwolił uchwycić sezonową i dobową zmienność warunków meteorologicznych oraz zróżnicowanie $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ i innych właściwości wody wzdłuż całego biegu Wisły (zbadane dwukrotnie - wczesnym latem i jesienią, z uwzględnieniem głównych dopływów), a z większą rozdzielczością przestrzenną w obrębie Krakowa. Obserwacje te pozwoliły uchwycić istotne cechy rzecznoego obiegu węgla, jego aspektów izotopowych i związków z procesami hydrologicznymi i biogeochemicznymi zachodzącymi w zlewni. Wkład publikacji [1] w rozwój wiedzy na ten temat jest potwierdzony przez jej liczne cytowania odnoszące się do wymienionych poniżej spostrzeżeń i wniosków przedstawionych w artykule.



Ryc. 1. Czynniki wpływające na $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ w rzekach [1].

- Wody rzek dorzecza Wisły są przesycone w CO₂ względem atmosfery. Stopień przesyconienia wykazuje dużą zmienność, a jego antykorelacja z $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ i ze stężeniem rozpuszczonego tlenu dowodzi zasadniczego wpływu procesów fotosyntezy i respiracji materii organicznej, które wykazują przy tym dużą zmienność sezonową i dobową.
- Ścieki bytowe oraz odpływy z oczyszczalni ścieków powodują lokalnie obniżenie wartości $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ w rzece, publikacja jest pierwszym przykładem takiego diagnostycznego wykorzystania składu izotopowego DIC.
- Intensyfikacja obiegu węgla w spiętrzonych odcinkach rzek oraz ich znaczenie w uwalnianiu CO₂ z wód rzecznych do atmosfery są wyraźnie potwierdzone przez obserwacje $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$.
- Wzrost udziału szybkich składowych odpływu rzecznych po intensywnych opadach atmosferycznych obniża wartość $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ w rzece poprzez wypłukiwanie CO₂ i materii organicznej z gleb i obszarów zalewowych.

Istotnym rezultatem artykułu jest obserwacja, że w nizinnej rzece o umiarkowanym stopniu przeobrażenia hydromorfologicznego, drenującej zlewnię, której geologia nie jest zdominowana przez skały pozbawione minerałów węglanowych, a roślinność wykorzystuje fotosyntezę typu C₃, przy średnich stanach wody wartości $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ oscylują pomiędzy -12‰ a -11‰. Wartości $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ spoza tego przedziału wskazują na wpływ czynników antropogenicznych – ścieków bytowych, sztucznych spiętrzeń lub występują podczas wezbrań i niżówek. Artykuł wykazuje, że obserwacje $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ prowadzone w profilu zamykającym zlewnię rzeki (lub jej część) dostarczają syntetycznej informacji o procesach obiegu węgla w zlewni, które kształtują się pod wpływem czynników tak różnorodnych jak m. in. użytkowanie powierzchni ziemi, budowa geologiczna i klimat. Przedstawione w pracy [1] wyniki zostały uwzględnione w planowaniu obserwacji emisji dwutlenku węgla z krakowskiego odcinka Wisły, w których brałem udział w ramach działań Akcji COST SIBAE (Jasek-Kamińska i inni, 2020).

Artykuły [2-4] prezentują rezultaty prac badawczych przeprowadzonych w międzynarodowym projekcie PRIMROSE (5 Program Ramowy UE). Mój wkład w realizację projektu, poza kierowaniem działaniami AGH jako partnera projektu, związany był z następującymi naukowymi zadaniami:

- rozpowszechnianiem i rozwijaniem metod znacznikowych w badaniach procesów przepływu wody i transportu substancji rozpuszczonych w hydrofitowych oczyszczalniach ścieków i rzekach ([2-4]; Wachniew i inni, 2003; Wachniew, 2007; Wachniew i Róžański, 2002; Wörman i inni, 2004; 2005),
- badaniem emisji gazów cieplarnianych z oczyszczalni (Søvik i inni, 2006),

Prace [2-4] prezentują zastosowania sztucznych, niereaktywnych znaczników w scharakteryzowaniu transportu rozpuszczonych zanieczyszczeń w hydrofitowych oczyszczalniach ścieków [2,3] i rzece [4]. Artykuł [2] jest cytowany jako przykład udanego zastosowania sztucznych znaczników do scharakteryzowania przepływu w hydrofitowej oczyszczalni ścieków. Zastosowanie jednocześnie dwóch znaczników, trytu i jonu bromkowego pozwoliło, poprzez analizę i modelowanie krzywych przejścia, wydzielić

składowe przepływu, określić dla nich objętości i prędkości przepływu wody oraz wielkość dyspersji hydrodynamicznej, a także wykluczyć obecność obszarów złoza oczyszczalni nie uczestniczących w przepływie (stref martwych). Występowanie w żwirowych złożach oczyszczalni trzech lub, w powtórzonym teście znacznikowym czterech, składowych przepływu było nieoczekiwanym z punktu widzenia funkcjonowania oczyszczalni wynikiem. Badanie znacznikowe w trafny sposób odzwierciedliło niewłaściwą strukturę przepływu wynikająca z błędów popełnionych podczas projektowania lub wykonania oczyszczalni oraz z kolmatacji żwirowego złoza. Artykuł [2] wykazuje, że wykorzystująca modele pudełkowe metoda interpretacji krzywych przejścia znacznika w heterogenicznym ośrodku porowatym znajduje zastosowanie w charakteryzowaniu przepływu w hydrofitowych oczyszczalniach ścieków. Artykuł porusza również kwestię wyboru warunków brzegowych - właściwych dla rozwiązania równania adwekcyjno-dyspersyjnego opisującego transport znacznika w oczyszczalni ścieków. W artykule zwrócono uwagę na nieadekwatność powszechnie stosowanych w modelowaniu oczyszczalni warunków brzegowych von Neumanna, zagadnieniu które szczegółowo opisałem w osobnej pracy (Wachniew, 2007).

Artykuł [3] dotyczy określenia warunków przepływu w stawie hydrofitowej oczyszczalni typu Lemna. Stawy takie, których powierzchnię pokrywa biorąca udział w procesie oczyszczania rzęsa wodna (*Lemna L.*), stosowane są jako drugi lub trzeci stopień oczyszczania ścieków służący głównie usuwaniu substancji biogenych. Rozmiary stawów wynikają z kompromisu pomiędzy wymogami efektywności usuwania, która rośnie z długością czasu przebywania ścieków, oraz możliwościami finansowymi i dostępnością terenu. Praca ta była prawdopodobnie pierwszą próbą określenia rzeczywistego rozkładu czasów przebywania dla oczyszczalni typu Lemna. Rozkład czasów przebywania charakteryzuje tempo przepływu, a więc skuteczność oczyszczania, trafniej niż teoretyczny czas wymiany ścieków wynikający z założeń projektowych. W tym przypadku badanie znacznikowe wykazało, że transport substancji rozpuszczonych wprowadzanych do stawu odbiega od preferowanego przepływu tłokowego i zachodzi z trzema składowymi przepływu charakteryzującymi się transportem dyspersyjnym. Z drugiej strony wykazano brak stref martwych, które zmniejszałyby efektywną objętość stawu.

Mój wkład w powstanie artykułów [2] i [3] obejmował: udział w planowaniu, przygotowaniu i przeprowadzeniu testów znacznikowych, interpretację wyników modelowania krzywych przejścia w kontekście poprawnego funkcjonowania oczyszczalni, przeprowadzenie dyskusji wyników, sformułowanie wniosków, stworzenie przeważającej części tekstu artykułów (poza opisem modeli matematycznych), redakcję ostatecznych wersji tekstu uwzględniających uwagi recenzentów.

Również artykuł [4] dotyczy wpływu procesów hydrodynamicznych na transport substancji rozpuszczonych (zanieczyszczeń), w tym przypadku w rzekach. Krzywe przejścia sztucznych znaczników uzyskiwane w rzekach generalnie są niezgodne z przewidywaniami opartymi na powszechnie stosowanym do ich interpretacji jednowymiarowym równaniu adwekcyjno-dyspersyjnym wykazując większą częstotliwość występowania długich czasów przejścia. Spowodowane to jest spowolnieniem przepływu wody w korytach rzecznych związanym z występowaniem w nich przeszkód, roślinności, meandrów, bocznych kanałów, zatok, przepływu hyporeicznego⁷, itp. Wydłużenie czasu przejścia rozpuszczonych substancji,

⁷ Strefa hyporeiczna to obszar dna i brzegów koryta rzeczno, przez który przesącza się woda rzeczna opuszczając na pewien czas koryto rzeki.

zwłaszcza w związku z ich przejściem przez strefę hyporeiczną, sprzyja usuwaniu zanieczyszczeń niesionych przez rzekę. Zrozumienie i ilościowe opisanie tych procesów jest więc istotne dla oceny możliwości wykorzystania naturalnych procesów oczyszczania w zmniejszeniu ładunków zanieczyszczeń w zlewniach rzecznych. Model adwekcyjno-dyspersyjny wymaga w tym celu uzupełnienia o opis procesów wymiany substancji rozpuszczonych pomiędzy głównym korytem rzeki, a strefami, w których są one przejściowo zatrzymywane. Testy znacznikowe są podstawowym narzędziem służącym do empirycznego wyznaczenia parametrów takich modeli. Artykuł [4] podejmuje dwa ważne problemy związane z interpretacją wyników testów znacznikowych w rzekach: (i) ograniczenia metod wykorzystywanych do estymacji parametrów modeli transportu oraz (ii) możliwość uogólnienia wyników uzyskanych dla konkretnego odcinka rzeki i warunków przepływu. Artykuł opiera się na wynikach dwóch testów znacznikowych przeprowadzonych z zastosowaniem dużej aktywności trytu (wody trytowej) w rzece Hobøl w południowej Norwegii. Wyjątkowość krzywych przejścia uzyskanych w tych testach i ich znaczenie w dyskusji powyższych zagadnień wynikają stąd, że zostały uzyskane przy znacząco różnych wielkościach przepływu rzeczno oraz jednocześnie dla kilku przekrojów pomiarowych rozmieszczonych wzdłuż długiego, ponad 14 kilometrowego odcinka rzeki. Dodatkowo, użycie dużej aktywności trytu pozwoliło uzyskać statystycznie istotne wyniki dla końcowych odcinków krzywych przejścia („ogonów” krzywych przejścia - *breakthrough tails*), których znajomość jest kluczowa w analizie wymiany znacznika pomiędzy rzeką i jej strefą hyporeiczną. Artykuł prezentuje więc cenny i unikatowy materiał doświadczalny, na którego podstawie sformułowano wnioski istotne dla rozwoju metod poznania i matematycznego opisu wpływu strefy hyporeicznej na transport substancji rozpuszczonych w rzekach. Zastosowany model matematyczny (ASP – *Advective-storage-path*) opisuje wymianę substancji pomiędzy korytem rzeki i jej strefą hyporeiczną poprzez statystyki rozkładu prawdopodobieństwa czasów przejścia w strefie hyporeicznej. Najważniejsze wnioski artykułu to: (i) wartości parametrów modelu silnie zależą od metody ich dopasowania i przyjętej miary jakości dopasowania, (ii) wraz ze wzrostem długości badanego odcinka rzeki w krzywych przejścia znacznika uwidacznia się coraz szerszy zakres czasów przejścia znacznika w strefie hyporeicznej, dlatego przeniesienie uzyskanych wartości parametrów do odcinków rzek dłuższych niż objęte testem znacznikowym może być niewłaściwe.

Mój wkład w powstanie artykułu [4] obejmował udział w planowaniu, przygotowaniu oraz przeprowadzeniu testów znacznikowych, obróbkę danych pomiarowych i ich interpretację na gruncie zastosowanego modelu matematycznego oraz udział w stworzeniu tekstu artykułu.

W testach znacznikowych opisanych w artykułach [2 – 4] tryt zastosowano jako znacznik sztuczny. Należy zauważyć, że zasada badania znacznikowego polegająca na wprowadzeniu do badanego obiektu pewnej porcji znacznika i następnie obserwowaniu zmian jego stężenia nie różni się w istocie od śledzenia przemieszczania się przez hydrosferę „bombowego” maksimum stężenia trytu⁸. Zastosowania trytu jako sztucznego i środowiskowego znacznika różnią się zakresami czasów charakteryzujących dynamikę badanych procesów. W przedziałach czasu charakterystycznych dla procesów transportu

⁸ Próby broni jądrowej przeprowadzane w atmosferze były nasilone w latach 1963-4 co, po ich późniejszym znacznym ograniczeniu i w końcu zaprzestaniu, zaznaczyło się globalnie wyraźnym maksimum stężenia trytu w opadach atmosferycznych.

badanych w pracach [2 – 4] (dni – tygodnie) stężenia środowiskowej składowej trytu nie wykazują zmienności. W przypadku rzek zastosowanie sztucznych znaczników pozwala określić wartości parametrów opisujących procesy transportu i transformacji substancji rozpuszczonych w korycie rzeki i hydraulicznie związanych z korytem strefach opóźniających przepływ wody. Natomiast tryt jako znacznik środowiskowy wykorzystywany jest w rzekach do określania czasów przejścia wód podziemnych przez zlewnię oraz ich udziału w odpływie rzeczny, a więc procesów o charakterystycznych czasach rzędu lat lub dziesiątek lat.

Artykuły [5] i [8] dotyczą wykorzystania naturalnych i sztucznych radionuklidów metalicznych⁹ jako znaczników krążenia materii (cząstek stałych) w środowisku lądowym. Praca [5] prezentuje niektóre wyniki uzyskane w ramach kierowanego przeze mnie projektu badawczego KBN „Wyznaczenie tempa przyrostu aluwiów oraz zawartości wybranych zanieczyszczeń w osadach pozakorytowych wyżynnych i nizinnych rzek Polski”. Jednym z głównych celów projektu było określenie tempa depozycji osadów akumulowanych na równinach zalewowych rzek z wykorzystaniem ^{210}Pb i ^{137}Cs zawartych w tych osadach. Datowanie osadów jeziornych i morskich oraz torfów za pomocą tych radionuklidów jest ważnym narzędziem rekonstrukcji zmian środowiska, a w zakresie ^{210}Pb było przedmiotem mojej działalności naukowej od uzyskania magisterium (Baumgart-Kotarba i inni, 1993, Fiałkiewicz-Kozieł i inni, 2014, Goslar i Wachniew, 1996, Hołyńska i inni, 1998, Hołyńska i inni, 2002, Kotarba i inni, 2002, Wachniew, 1992, 1993). Ważnym rezultatem pracy [5] było uzyskanie koherentnych oszacowań średniego tempa akumulacji osadów pozakorytowych w przełomie Warty koło Mstowa. Wykorzystano do tego metodę zaproponowaną w przełomowych pracach Wallinga i He (1997, 1998), które poszerzyły zakres zastosowań ^{210}Pb i ^{137}Cs o osady pozakorytowe. W publikacji podsumowującej pierwszy okres rozwoju tej metody (Du i Walling, 2012), uwzględniającej m.in. artykuł [5], stwierdzono jej przydatność do osadów tworzących się w dolinach rzek reprezentujących różne warunki środowiskowe i stopień antropopresji oraz wskazano na potrzebę krytycznej ewaluacji stosowanych modeli wieku osadów. Akumulacja pozakorytowa zachodzi bowiem nieregularnie, a ilość i jakość materii deponowanej w danym miejscu mogą znacznie się różnić pomiędzy kolejnymi wylewami rzeki. Zróżnicowanie to zwiększa niepewność oszacowań tempa depozycji, ale z drugiej strony radionuklidy i inne składniki deponowanych osadów można wykorzystać w sposób wykraczający poza określanie czasu ich depozycji, jako znaczniki krążenia drobnoziarnistych cząstek stałych w obrębie zlewni. Badania zmienności składu osadów pozakorytowych w ich pionowych przekrojach mają również duże znaczenie dla poznania przebiegu procesów geomorfologicznych i biogeochemicznych oraz wpływu tych procesów na wodne ekosystemy i krążenie zanieczyszczeń w zlewniach (Fryirs, 2013, Walling, 2005).

Znaczenie artykułu [5] wykracza więc poza określenie tempa i warunków depozycji osadów pozakorytowych i dotyczy szerszego zagadnienia krążenia materii w zlewni rzecznej. Znaczniki środowiskowe są w tym kontekście stosowane w ramach dwóch podejść metodycznych (Koiter i inni, 2013): *sediment tracing* oraz *sediment fingerprinting*. Pierwsze z nich polega na śledzeniu przemieszczania się znaczników związanych z cząstkami stałymi

⁹ Niektóre izotopy pierwiastków metalicznych (np. ^{137}Cs , ^{241}Am , izotopy plutonu) uwalniane do środowiska w związku z wytwarzaniem i wykorzystaniem paliwa jądrowego i broni jądrowej rozpowszechnione są globalnie, co umożliwia wykorzystanie ich jako znaczników środowiskowych.

w procesach erozji i transportu rzeczno. Wykorzystywane są w tym celu zarówno znaczniki środowiskowe, jak i sztuczne. Istotą drugiego podejścia jest wywodzenie z własności zdeponowanych osadów względnego udziału materii pochodzącej z różnych źródeł w obrębie zlewni. Za konieczny element metody *fingerprinting* uważano początkowo korekcję stężeń znaczników ze względu na rozkład wielkości uziarnienia oraz zawartość materii organicznej (Collins i inni, 1997). Obecnie jednak podważa się zasadność stosowania takich poprawek (Smith i Blake, 2014) zauważając, że zróżnicowanie własności osadów nie musi być związane z selektywnym działaniem procesów transportu i może oddawać macierzyste cechy materii pochodzącej z różnych obszarów źródłowych w zlewni.

Zbieżne z powyższym poglądem Smitha i Blake'a (2014), i wyprzedzające jego opublikowanie, podejście zaproponowałem w pracy [5]. Głębokościowe profile stężeń metali w drobnej frakcji (ziarna wielkości $<63 \mu\text{m}$) osadów pozakorytowych nie są skorelowane z profilami zawartości drobnej frakcji i materii organicznej oraz wykazują wyraźne maksima. Datowanie osadów za pomocą ^{137}Cs potwierdziło przypuszczenie, że maksima te związane są z okresem największych emisji zanieczyszczeń w ściekach z Huty Częstochowa. Znacznikowy ślad tych emisji nie został więc zatarty podczas transportu cząstek przenoszących zanieczyszczenie, ani po ich zdeponowaniu na terasie zalewowej. Obserwacja ta została potwierdzona dla innych rzek zanieczyszczonych metalami ze źródeł przemysłowych w pracach Maanan i innych (2013) oraz Martina i innych (2012) powołujących się w tej kwestii na artykuł [5]. Natomiast wzbogacenie górnych części profili osadów w drobną frakcję i materię organiczną może oddawać wpływ wielu czynników antropopresji, które od lat 50. XX wieku zachodziły w zlewni Górnej Warty, np. zmian sposobu użytkowania ziemi, prac hydrotechnicznych, obciążenia nieoczyszczonymi ściekami bytowymi i przemysłowymi. Określenie wpływu poszczególnych procesów wymagałoby zbadania kolejnych cech osadów – znaczników wskazujących na pochodzenie materii tworzącej osady. Analogiczne podejście do znacznikowej interpretacji profili osadów pozakorytowych zastosowałem do rdzeni osadów pobranych w przełomie Wisły pod Tyńcem (Szymańda i inni, 2018), gdzie również zapisała się zmienna w czasie dostawa zanieczyszczeń metalami związana z rozwojem a następnie ograniczeniem przemysłu ciężkiego w zlewni Górnej Wisły.

Koncepcję wykorzystania składników gleb i osadów jako znaczników przebiegu procesów kształtujących powierzchnię ziemi rozwijałem w odniesieniu do obszarów podlegających deglacji. Praca [8] jest częściową syntezą badań nad promieniotwórczością w lądowym środowisku arktycznym, w których uczestniczyłem w ramach interdyscyplinarnych zespołów badawczych. Artykuł [8] i wcześniejsze prace mojego współautorstwa (Łokas i inni, 2013, Łokas i inni, 2014) powstały m. in. na podstawie materiałów i obserwacji terenowych zebranych podczas trzech wypraw naukowych na Spitsbergen w latach 2005 – 2008, które przygotowywałem i w których uczestniczyłem. Prace te, obejmujące systematyczne badania charakterystycznych elementów lądowego środowiska arktycznego: torfów, aluwiów, gleb tundrowych i gleb inicjalnych przedpolia lodowca, znacznie poszerzyły wiedzę na temat występowania w Arktyce sztucznych i naturalnych radionuklidów. Zaskakującym wynikiem tych obserwacji było stwierdzenie występowania w glebach inicjalnych na przedpolach lodowców wysokich stężeń aktywności sztucznych radionuklidów. Poszukując przyczyn takiego wzbogacenia gleb przedpolia w radionuklidy transportowane drogą atmosferyczną zauważyłem, że jedynym jego wyjaśnieniem jest

obecność w nich materiału pochodzącego z kriokonitu¹⁰. Przed opublikowaniem tej hipotezy (Łokas i inni, 2014) silne wzbogacenie kriokonitu w sztuczne radionuklidy było znane jedynie z lodowców alpejskich (Bossew i inni, 2007, Tieber i inni, 2009). Późniejsze badania potwierdziły jednak, że kumulowanie przez kriokonit radionuklidów i innych zanieczyszczeń transportowanych globalnie drogą atmosferyczną jest jego naturalną cechą i dotyczy również lodowców arktycznych (Baccolo i inni, 2020).

Charakterystyczną cechą występowania radionuklidów w glenach inicjalnych stref proglacjalnych jest też duże przestrzenne zróżnicowanie ich zawartości. Na obszarze przedpola lodowca Werenskiolda (Spitsbergen) o polu powierzchni ok. 4 km² wartości stężeń aktywności oraz sumarycznych zasobów radionuklidów w profilach gleby zmieniają się w zakresie czterech rzędów wielkości, niespotykanym w innych środowiskach lądowych. W artykule [8] zaproponowałem model wyjaśniający zróżnicowanie zawartości radionuklidów w strefie proglacjalnej. Radionuklidy osadzone na powierzchni lodowca z opadami atmosferycznymi są potencjalnymi znacznikami procesów glaciologicznych, hydrologicznych i geomorfologicznych wpływających na transport materii pomiędzy lodowcem i jego przedpołem. Na przykład, zróżnicowanie zawartości radionuklidów w profilach glebowych stwierdzone na przedpolu lodowca Werenskiolda można powiązać ze strukturą sieci drenażu lodowca oraz z przebiegiem procesów geomorfologicznych zachodzących na jego przedpolu. Z obszarów lodowca o silnie rozwiniętym drenażu materiał kriokonitowy jest efektywnie usuwany z wodami roztopowymi, a w obrębie przedpola jest rozcieńczany przez niezawierające zanieczyszczeń cząstki mineralne pochodzące z rozdrabniania skał pod lodowcem. Brak mierzalnych ilości sztucznych radionuklidów w glebach i osadach wyróżnia więc obszary przedpola, na których akumulowany jest głównie materiał pochodzący z wietrzenia subglacjalnego. W częściach lodowca o słabo rozwiniętym drenażu zachodzi bezpośredni kontakt czoła lodowca z odsłoniętą moreną denną. W takich warunkach materiał kriokonitowy jest deponowany na przedpolu lodowca. Wypłukiwanie cząstek kriokonitu i ich depozycja w bezodpływowych zagłębieniach moreny dennej prowadzi do powstania gorących punktów, w których stężenia sztucznych radionuklidów mogą osiągać poziomy stwierdzone na obszarach skażonych w wyniku wypadków jądrowych. Na te dwie skrajne sytuacje nakłada się bezpośrednia depozycja radionuklidów z atmosfery na obszar przedpola. Na terenach odsłoniętych przez cofający się lodowiec przed wystąpieniem maksimum globalnego opadu promieniotwórczego (pierwsza połowa lat 1960) skutkuje to nagromadzeniem w profilach glebowych zasobów radionuklidów porównywalnych ze stwierdzonymi na obszarze sąsiedniej tundry. Z przestrzennego rozkładu ilości znaczników promieniotwórczych nagromadzonych na obszarze przedpola można więc wywieść przebieg procesu deglacjacji, zmiany jego tempa oraz zmiany w funkcjonowaniu systemu lodowiec – strefa proglacjalna. Pełne wykorzystanie potencjału znaczników promieniotwórczych w tym zakresie wymaga jednak poszerzenia wiedzy na temat procesów przechwytywania zanieczyszczeń przez kriokonit oraz transportu materii kriokonitowej na przedpole lodowca. Badania nad tymi zagadnieniami kontynuuję we współpracy z nieformalną grupą utworzoną z inicjatywy

¹⁰ Kriokonit – nagromadzenie mineralnego pyłu i materii organicznej na powierzchni lodu lub śniegu. Typową formą kriokonitu są granulki o średnicy rzędu milimetrów powstające z udziałem mikroorganizmów, głównie sinic. Ciemne zabarwienie kriokonitu zmniejsza albedo powierzchni lodu powodując powstanie zagłębień wypełnionych wodą, które są ośrodkami życia na lodowcach. Spajające granulki kriokonitu substancje, wydzielane przez mikroorganizmy, efektywnie przechwytyują i kumulują zanieczyszczenia opadające na powierzchnię lodowca z atmosfery (Wachniew i inni, 2020).

badaczy z Uniwersytetu w Plymouth. Jednym z moich działań w ramach tego zespołu było współprzewodniczenie sesji pt. „Contaminants in polar and alpine environments: an emerging hazard” na konferencji EGU 2019. Obecny stan wiedzy na temat kriokonitu i jego udziału w krążeniu zanieczyszczeń został podsumowany w popularnonaukowej książce „Sekretne życie lodowców” wydanej w serii „Nauka dla ciekawych” przez Wydawnictwa AGH (Wachniew i inni, 2020).

Artykuły [6, 7] są rezultatami projektu badawczego GENESIS “Groundwater and dependent ecosystems: New scientific and technical basis for assessing climate change and land-use impacts on groundwater systems” (7. Program Ramowy UE). Zasadniczymi celami projektu było zaproponowanie: (i) nowych metod i narzędzi w dziedzinie gospodarowania wodami podziemnymi oraz (ii) odpowiednich zmian w dyrektywie Parlamentu Europejskiego dotyczącej ochrony wód podziemnych (Groundwater Directive). Projekt GENESIS zaowocował nowymi badaniami oraz przeglądem istniejącej wiedzy na temat zagrożeń dla zasobów wód podziemnych oraz zależnych od nich ekosystemów. Moim zadaniem w projekcie było kierowanie pracami jednego z siedmiu pakietów roboczych: „Groundwater flow characterization”. W działaniach tego pakietu szczególną rolę odgrywały metody znacznikowe, których zastosowanie wspierałem i koordynowałem w większości z 16 obiektów badawczych projektu.

Dokonany przeze mnie przegląd Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW), związanych z nią dyrektyw oraz przewodników wydanych w ramach Wspólnotowej Strategii Wdrażania RDW wykazał, że znaczniki są w nich jedynie wzmiankowane i to wyłącznie w kontekście datowania wód podziemnych. Dziwił zwłaszcza brak odniesień do metod znacznikowych w przewodniku poświęconym zastosowaniu modeli konceptualnych w określaniu zagrożeń dla wód podziemnych (EC, 2010), podczas gdy obserwacje znacznikowe są niezastąpione w określaniu relacji pomiędzy ogniskami a receptorami zanieczyszczeń [6], (Stumpp i inni, 2016). Moje działania w ramach projektu zmierzały więc do upowszechnienia wśród naukowców, decydentów, interesariuszy i studentów metod wykorzystujących znaczniki w określaniu i prognozowaniu statusu wód podziemnych i zależnych ekosystemów, m. in. poprzez konferencje: „Integrated Management of Groundwater Resources and Groundwater Dependent Ecosystems” (Praga, 2014; wraz z towarzyszącym jej kursem dla doktorantów) oraz „Flowpath 2014” (Viterbo, 2014; konferencja włoskich hydrogeologów). Naukową stroną tych działań było przeprowadzenie analizy znaczenia metod znacznikowych w określaniu podatności wód podziemnych i zależnych ekosystemów na zanieczyszczenia i inne zagrożenia ich dobrego statusu. Wyniki te zawarte są w publikacjach [6-7] oraz innych omówionych poniżej artykułach mojego współautorstwa, nie wchodzących w skład niniejszego zbioru publikacji.

Przeglądowa praca Balderacchi’ego i innych (2013) rozważa źródła zanieczyszczeń i procesy wpływające na ich obecność w wodach podziemnych oraz dyskutuje specyficzne dla poszczególnych klas zanieczyszczeń (w tym radionuklidów opisanych w rozdziale mojego autorstwa) kwestie związane z ich monitorowaniem. Tłem dla tej publikacji była dyskusja nad koniecznością uzupełnienia dyrektywy dotyczącej ochrony wód podziemnych o wskaźniki oraz odpowiednie wartości progowe dla nieuwzględnionych wcześniej zanieczyszczeń (Balderacchi i inni, 2014, Witczak i inni, 2012), w tym radionuklidów (Dinh Chau i inni, 2011). Zgodnie z przyjętym przez Balderacchi’ego i innych (2013) modelem oddziaływań pomiędzy człowiekiem a środowiskiem (DPSIR: *driver – pressure – state – impact –*

response) wskaźniki zanieczyszczeń rozpatrywane z interdyscyplinarnej perspektywy oddają złożone relacje pomiędzy aktywnością człowieka a jej środowiskowymi skutkami. Wskaźniki zanieczyszczeń można więc traktować jako znaczniki procesów wpływających na jakość wód podziemnych, których istotą są interakcje zachodzące pomiędzy antroposferą a hydrosferą. Również szeroko cytowana praca Kløve i innych (2011) podkreśla, że zrozumienie zależności ekosystemów od wód podziemnych wymaga zastosowania interdyscyplinarnej perspektywy uwzględniającej czynniki hydrogeologiczne, biogeochemiczne i ekologiczne. W pracy tej zarysowano swoiste dla różnych typów ekosystemów uwarunkowania ich zależności od wód podziemnych oraz wynikające stąd zagrożenia. Podmokłe lasy reprezentuje w tym przeglądzie torfowisko Wielkie Błoto w Puszczy Niepołomickiej, gdzie metody znacznikowe powiązane z obserwacjami geofizycznymi dla określenia wpływu eksploatacji wód podziemnych na zależny od nich ekosystem (Wachniew i inni, 2014; Żurek i inni, 2015). W artykule Kløve i innych (2011) zasygnalizowałem możliwe zastosowania znaczników do określania stopnia zależności ekosystemów oraz ich podatności na zmiany jakości wód podziemnych. Zagadnienie to zostało rozwinięte w późniejszej pracy (Wachniew i inni, 2014), w której na przykładzie ekosystemu Wielkiego Błota podkreślono wagę niedostatecznie reprezentowanego w polityce środowiskowej zagadnienia konfliktów występujących w sytuacji, gdy eksploatacja wody podziemnej zagraża zależnemu od niej ekosystemowi.

Prace [6] i [7] dyskutują przydatność metod znacznikowych w określaniu podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie. Pomimo dużej popularności i wagi przypisywanej analizom podatności wód podziemnych ich przydatność bywa kwestionowana ze względu na duże znaczenie czynników subiektywnych w najbardziej rozpowszechnionych metodach, np. metodzie DRASTIC. Powyższe artykuły odpowiedziały na postulowaną konieczność oparcia oszacowań podatności na solidnych i zestandaryzowanych podstawach naukowych (Neukum i inni, 2008). Praca [6] przedstawia miejsce i znaczenie metod znacznikowych w analizach podatności bazujących na fizycznym opisie procesów wpływających na ruch wody podziemnej i przemieszczanie się zanieczyszczeń. Istotą zobiektywizowanych oszacowań podatności jest określanie dróg krążenia oraz czasów przejścia wody pomiędzy ogniskami zanieczyszczeń a ujęciami lub naturalnymi strefami drenażu wód podziemnych (Stumpp i inni, 2016). Metody znacznikowe znakomicie uzupełniają pod tym względem zastosowanie numerycznych modeli przepływu wody i transportu zanieczyszczeń, a nawet mogą je zastąpić w przypadkach, gdy brak jest takich modeli. Nawet ograniczona ilość obserwacji podstawowych znaczników środowiskowych, jakimi są stosunki izotopów trwałych i zawartość trytu w wodzie, pomaga w wytypowaniu zagrożonych zanieczyszczeniem części zbiorników wód podziemnych. Artykuł [7] omawia zasady zobiektywizowanych oszacowań podatności na tle bardziej rozpowszechnionych w praktyce metod subiektywnych. Wskaźniki podatności oparte na fizycznym opisie transportu zanieczyszczeń w wodach podziemnych muszą oddawać tempo ich rozprzestrzeniania się. Wykorzystanie potencjału metod znacznikowych pozwala określić zarówno średnie czasy przejścia wody przez systemy wód podziemnych, jak i rozkłady gęstości ich prawdopodobieństwa co pozwala we wszechstronny i ilościowy sposób scharakteryzować podatność na zanieczyszczenie. Artykuł dyskutuje przydatność zarówno środowiskowych, jak i sztucznych znaczników w odniesieniu do wyzwania jakim jest określanie podatności silnie heterogenicznych systemów wód podziemnych. Metody znacznikowe pozwalają scharakteryzować przepływ wód podziemnych i transport zanieczyszczeń w szerokim zakresie przestrzennym i czasowym, co pozwala

uwzględnić wypadkowy wpływ niejednorodności występujących w różnych skalach przestrzennych. Mój wkład w artykuł [7] polegał na współtworzeniu jego ogólnej koncepcji, opatrzeniu go wprowadzeniem i podsumowaniem oraz napisaniu fragmentów dotyczących fizycznych aspektów podatności i wykorzystania znaczników oraz redakcja całości tekstu. Artykuły [6] i [7] są pierwszym systematycznym i wyczerpującym przedstawieniem różnych aspektów metod znacznikowych w określaniu podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia i wraz z pracą Stumpp i innych (2016) dostarczają funkcjonalnego opisu tych zastosowań.

Cytowane publikacje

Abbott, M. B. i Refsgaard, J. C., 2012. Distributed hydrological modelling. Springer Science & Business Media.

Apanowicz, J., 2002. Metodologia ogólna. Wyższa Szkoła Administracji i Biznesu.

Baccolo, G., Łokas, E., Gaca, P., Massabò, D., Ambrosini, R., Azzoni, R. S., Clason, C., Di Mauro, B., Franzetti, A. i Nastasi, M., 2020. Cryoconite: an efficient accumulator of radioactive fallout in glacial environments. *The Cryosphere* 14, 657-672.

Balderacchi, M., Benoit, P., Cambier, P., Eklo, O. M., Gargini, A., Gemitzi, A., Gurel, M., Kløve, B., Nakic, Z., Predaa, E., Ruzicic, S., **Wachniew, P.** i Trevisan, M., 2013. Groundwater pollution and quality monitoring approaches at the European level. *Critical reviews in environmental science and technology* 43, 323-408.

Balderacchi, M., Filippini, M., Gemitzi, A., Kløve, B., Petitta, M., Trevisan, M., **Wachniew, P.**, Witczak, S. i Gargini, A., 2014. Does groundwater protection in Europe require new EU-wide environmental quality standards? *Frontiers in Chemistry* 2, 32.

Baumgart-Kotarba, M., Kotarba, A. i **Wachniew, P.**, 1993. Młodo holoceńskie osady jeziorne Morskiego Oka w Tatrach Wysokich i oraz ich datowanie radioizotopami ^{210}Pb i ^{14}C . *Dokumentacja Geograficzna* 4-5, 45-61.

Bloeschl, G., Bierkens, M. F. P., Chambel, A., Cudennec, C., Destouni, G., Fiori, A., Kirchner, J. W., McDonnell, J. J., Savenije, H. H. G., Sivapalan, M., Stumpp, C., Toth, E., Volpi, E., Carr, G., Lupton, C., Salinas, J., Szeles, B., Viglione, A., Aksoy, H., Allen, S. T., Amin, A., Andreassian, V., Arheimer, B., Aryal, S. K., Baker, V., Bardsley, E., Barendrecht, M. H., Bartosova, A., Batelaan, O., Berghuijs, W. R., Beven, K., Blume, T., Bogaard, T., de Amorim, P. B., Boettcher, M. E., Boulet, G., Breinl, K., Brilly, M., Brocca, L., Buytaert, W., Castellarin, A., Castelletti, A., Chen, X., Chen, Y., Chen, Y., Chiffard, P., Claps, P., Clark, M. P., Collins, A. L., Croke, B., Dathe, A., David, P. C., de Barros, F. P. J., de Rooij, G., Di Baldassarre, G., Driscoll, J. M., Duethmann, D., Dwivedi, R., Eris, E., Farmer, W. H., Feiccabrino, J., Ferguson, G., Ferrari, E., Ferraris, S., Fersch, B., Finger, D., Foglia, L., Fowler, K., Gartsman, B., Gascoin, S., Gaume, E., Gelfan, A., Geris, J., Gharari, S., Gleeson, T., Glendell, M., Bevacqua, A. G., Gonzalez-Dugo, M. P., Grimaldi, S., Gupta, A. B., Guse, B., Han, D., Hannah, D., Harpold, A., Haun, S., Heal, K., Helfricht, K., Herrnegger, M., Hipsey, M., Hlavacikova, H., Hohmann, C., Holko, L., Hopkinson, C., Hrachowitz, M., Illangasekare, T. H., Inam, A., Innocente, C., Istanbuluoglu, E., Jarihani, B., Kalantari, Z., Nardi, F., Neale, C., Nesterova, N., Nurtaev, B., Odongo, V., Panda, S., Pande, S., Pang, Z., Papacharalampous, G., Perrin, C., Pfister, L., Pimentel, R., Polo, M. J., Post, D., Sierra, C. P., Ramos, M.-H., Renner, M., Reynolds, E., Ridolfi, E., Rigon, R., Riva, M., Robertson, D. E., Rosso, R., Roy, T., Sa, J. H. M., Salvadori, G., Sandells, M., Schaeffli, B., Schumann, A., Scolobig, A., Seibert, J., Servat, E., Shafiei, M., Sharma, A., Sidibe, M., Sidle, R. C., Skaugen, T., Smith, H., Spiessl, S. M., Stein, L., Steinsland, I., Strasser, U., Su, B., Szolgay, J.,

Tarboton, D., Tauro, F., Thirel, G., Tian, F., Tong, R., Tussupova, K., Tyrallis, H., Uijlenhoet, R., van Beek, R., van der Ent, R. J., van der Ploeg, M., Van Loon, A. F., van Meerveld, I., van Nooijen, R., van Oel, P. R., Vidal, J.-P., von Freyberg, J., Vorogushyn, S., **Wachniew, P.**, Wade, A. J., Ward, P., Westerberg, I. K., White, C., Wood, E. F., Xu, Z., Yilmaz, K. K. i Zhang, Y., 2019. Twenty-three Unsolved Problems in Hydrology (UPH)—a community perspective. *Hydrological Sciences Journal* 64, 1141-1158.

Bossey, P., Lettner, H., Hubner, A., Erlinger, C. i Gastberger, M., 2007. Activity ratios of ^{137}Cs , ^{90}Sr and $^{239+240}\text{Pu}$ in environmental samples. *Journal of environmental radioactivity* 97, 5-19.

Collins, A., Walling, D. i Leeks, G., 1997. Source type ascription for fluvial suspended sediment based on a quantitative composite fingerprinting technique. *Catena* 29, 1-27.

Cook, P. G. i Böhlke, J.-K., 2000. Determining timescales for groundwater flow and solute transport, Environmental tracers in subsurface hydrology. Springer, pp. 1-30.

Dinh Chau, N., Dulinski, M., Jodlowski, P., Nowak, J., Rozanski, K., Slezziak, M. i **Wachniew, P.**, 2011. Natural radioactivity in groundwater—a review. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 47, 415-437.

Dowgiałło, J., Kleczkowski, A., Macioszyk, T. i Różycki, A., 2002. Słownik hydrogeologiczny. Dep. Geologii, Min. Środowiska, PIG, Warszawa.

Du, P. i Walling, D., 2012. Using ^{210}Pb measurements to estimate sedimentation rates on river floodplains. *Journal of environmental radioactivity* 103, 59-75.

EC, 2010. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive, Guidance Document No 26: Guidance on Risk Assessment and the Use of Conceptual Models for Groundwater.

Ferguson, P. R., Dubois, K. D. i Veizer, J., 2011. Fluvial carbon fluxes under extreme rainfall conditions: inferences from the Fly River, Papua New Guinea. *Chemical Geology* 281, 283-292.

Fiałkiewicz-Kozieł, B., Kołaczek, P., Piotrowska, N., Michczyński, A., Łokas, E., **Wachniew, P.**, Woszczyk, M. i Sensuła, B., 2014. High-resolution age-depth model of a peat bog in Poland as an important basis for paleoenvironmental studies. *Radiocarbon* 56, 109-125.

Fryirs, K., 2013. (Dis) Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. *Earth Surface Processes and Landforms* 38, 30-46.

Goslar, T. i **Wachniew, P.**, 1996. Evidence for the climatic and anthropogenic changes inferred from the youngest section of laminated sediment of Lake Gosciąz, Poland, Isotopes in water resources management. V. 1. Proceedings of a symposium. International Atomic Energy Agency, Vienna, pp. 366-368.

Hołyńska, B., Ostachowicz, B., Ostachowicz, J., Samek, L., **Wachniew, P.**, Obidowicz, A., Wobrauschek, P., Strel, C. i Halmetschlager, G., 1998. Characterisation of ^{210}Pb dated peat core by various X-ray fluorescence techniques. *Science of the total Environment* 218, 239-248.

Hołyńska, B., Ostachowicz, J., Samek, L., Strel, C., **Wachniew, P.** i Wobrauschek, P., 2002. Time dependence characterization of Pb and Br concentrations in samples from ombrotrophic peat bogs in Austria and Poland by energy-dispersive x-ray fluorescence spectrometry. *X-Ray Spectrometry: An International Journal* 31, 12-15.

- Jasek-Kamińska, A., Zimnoch, M., **Wachniew, P.** i Różański, K., 2020. Urban CO₂ Budget: Spatial and Seasonal Variability of CO₂ Emissions in Krakow, Poland. *Atmosphere* 11, 629.
- Kløve, B., Ala-Aho, P., Bertrand, G., Boukalova, Z., Ertürk, A., Goldscheider, N., Ilmonen, J., Karakaya, N., Kupfersberger, H., Kværner, J., Lundberg, A., Mlieusnić, M., Moszczyński, A., Muotka, T., Preda, E., Rossi, P., Siergieiev, D., Šimek, J., **Wachniew, P.**, Angheluta, V. i Widerlund, A., 2011. Groundwater dependent ecosystems. Part I: Hydroecological status and trends. *Environmental Science & Policy* 14, 770-781.
- Koiter, A., Owens, P., Peticrew, E. i Lobb, D., 2013. The behavioural characteristics of sediment properties and their implications for sediment fingerprinting as an approach for identifying sediment sources in river basins. *Earth-Science Reviews* 125, 24-42.
- Kotarba, A., Łokas, E. i **Wachniew, P.**, 2002. ²¹⁰Pb Dating of young holocene sediments in high-mountain lakes of the Tatra Mountains. *Geochronometria: Journal on Methods & Applications of Absolute Chronology* 21, 73-77.
- Łokas, E., Mietelski, J., Ketterer, M. E., Kleszcz, K., **Wachniew, P.**, Michalska, S. i Miecznik, M., 2013. Sources and vertical distribution of ¹³⁷Cs, ²³⁸Pu, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu and ²⁴¹Am in peat profiles from southwest Spitsbergen. *Applied geochemistry* 28, 100-108.
- Łokas, E., Bartmiński, P., **Wachniew, P.**, Mietelski, J., Kawiak, T. i Środoń, J., 2014. Sources and pathways of artificial radionuclides to soils at a High Arctic site. *Environmental Science and Pollution Research* 21, 12479-12493.
- Maanan, M., Landesman, C., Maanan, M., Zourarah, B., Fattal, P. i Sahabi, M., 2013. Evaluation of the anthropogenic influx of metal and metalloid contaminants into the Moulay Bouselham lagoon, Morocco, using chemometric methods coupled to geographical information systems. *Environmental Science and Pollution Research* 20, 4729-4741.
- Magnuszewski, A. i Soczyńska, U., 2001. Międzynarodowy słownik hydrologiczny. Wydawn. Naukowe PWN.
- Martin, C. W., 2012. Recent changes in heavy metal contamination at near-channel positions of the Lahn River, central Germany. *Geomorphology* 139, 452-459.
- Neukum, C., Hötzl, H. i Himmelsbach, T., 2008. Validation of vulnerability mapping methods by field investigations and numerical modelling. *Hydrogeology Journal* 16, 641-658.
- Savenije, H. H., Hoekstra, A. Y. i van der Zaag, P., 2014. Evolving water science in the Anthropocene. *Hydrology and earth system sciences* 18, 319-332.
- Schellnhuber, H. J., 1999. 'Earth system' analysis and the second Copernican revolution. *Nature* 402, C19-C23.
- Smith, H. G. i Blake, W. H., 2014. Sediment fingerprinting in agricultural catchments: a critical re-examination of source discrimination and data corrections. *Geomorphology* 204, 177-191.
- Søvik, A., Augustin, J., Heikkinen, K., Huttunen, J., Necki, J., Karjalainen, S., Kløve, B., Liikanen, A., Mander, Ü., Puustinen, M., Teiter, S. i Wachniew, P., 2006. Emission of the greenhouse gases nitrous oxide and methane from constructed wetlands in Europe. *Journal of environmental quality* 35, 2360-2373.

Stumpp, C., Żurek, A. J., **Wachniew, P.**, Gargini, A., Gemitzi, A., Filippini, M. i Witczak, S., 2016. A decision tree tool supporting the assessment of groundwater vulnerability. *Environmental Earth Sciences* 75, 1057.

Szmańda, J. B., Łokas, E., **Wachniew, P.**, Michno, A., Kalicki, T., Szwarzewski, P., Przegiętka, K. i Radwanek-Bąk, B., 2018. Sedymentacja mad wiślanych w tyńcu. *Prace Geograficzne* 155, 157-172.

Tieber, A., Lettner, H., Bossew, P., Hubmer, A., Sattler, B. i Hofmann, W., 2009. Accumulation of anthropogenic radionuclides in cryoconites on Alpine glaciers. *Journal of environmental radioactivity* 100, 590-598.

Tranvik, L. J., Cole, J. J. i Prairie, Y. T., 2018. The study of carbon in inland waters—from isolated ecosystems to players in the global carbon cycle. *Limnology and Oceanography Letters* 3, 41-48.

Wachniew, P., 1992. Wyznaczanie aktywności ^{210}Pb (^{210}Po) w osadach jeziornych. *Raport INT* 259, 7-18.

Wachniew, P., 1993. Szybkość sedymentacji w jeziorze Gosciaz na podstawie pomiarów koncentracji ^{210}Pb . *Polish Botanical Studies. Guidebook Series* 8.

Wachniew, P. i Rozanski, K., 2002. Tracers and isotopes in constructed wetland studies. *Wissenschaftliche Mitteilungen* 19, 19-23.

Wachniew, P., Czupryński, P., Chmura, W., Małoszewski, P., Necki, J. M., Ozimek, T. i Zimnoch, M., 2003. An assessment of the hydraulic properties and performance of a subsurface flow constructed wetland, Nowa ślupia, Poland. *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis* 94, 205-208.

Wachniew, P., 2007. Tracer tests in constructed wetlands: application of one-dimensional convective-dispersive equation for modelling. *Publications of the Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences* E-6, 155-162.

Wachniew, P., Witczak, S., Postawa, A., Kania, J., Żurek, A., Różański, K. i Duliński, M., 2014. Groundwater dependent ecosystems and man: Conflicting groundwater uses. *Geological Quarterly* 58, 695-706.

Wachniew, P., Łokas, E. i Zawierucha, K., 2020. Sekretne życie lodowców. Wydawnictwa AGH, pp. 70.

Walling, D. i He, Q., 1997. Use of fallout ^{137}Cs in investigations of overbank sediment deposition on river floodplains. *Catena* 29, 263-282.

Walling, D. i He, Q., 1998. The spatial variability of overbank sedimentation on river floodplains. *Geomorphology* 24, 209-223.

Walling, D., 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. *Science of the total environment* 344, 159-184.

Witczak, S., Kania, J., Żurek, A., Duliński, M., Różański, K. i **Wachniew, P.**, 2012. Kierunki zmian w dyrektywach Unii Europejskiej (RDW i DWP) w świetle realizacji europejskiego projektu FP7 GENESIS. W: *Materiały na XIX sympozjum naukowo-techniczne pt. Gospodarowanie wodami podziemnymi w aktualnych uwarunkowaniach*. PZITS Oddz. w Częstochowie, 3-12.

Wörman, A., Kløve, B., **Wachniew, P.**, Czupryński, P. i Packman, A., 2005. Tracer test in Hobol creek, Norway, under different flow conditions. *Acta Geophysica Polonica* 53, 517.

Wörman, A., Kløve, B. i **Wachniew, P.**, 2004. Kinematic model of solute transport in stream networks: Example with phosphate retention in Morsa watershed, Norway. *Archives of hydro-engineering and environmental mechanics* 51, 41-53.

Zuber, A., 2007. Metody znacznikowe w badaniach hydrogeologicznych. *Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław*.

Żurek, A., Witczak, S., Dulinski, M., **Wachniew, P.**, Rozanski, K., Kania, J., Postawa, A., Karczewski, J. i Moscicki, W., 2015. Quantification of anthropogenic impact on groundwater-dependent terrestrial ecosystem using geochemical and isotope tools combined with 3-D flow and transport modelling. *Hydrology & Earth System Sciences* 19.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

- Wystąpienia na międzynarodowych konferencjach, w tym dwa wykłady plenarne (Załącznik 4, pkt 7.3).
- Udział w organizowaniu międzynarodowych konferencji (Załącznik 4, pkt 8).
- Udział, w tym kierowanie pracami zespołów zadaniowych, w międzynarodowych projektach badawczych (Załącznik 4, pkt 9).
- Funkcje pełnione w międzynarodowych towarzystwach naukowych (Załącznik 4, pkt 10).
- Praca w komitetach redakcyjnych czasopism naukowych (Załącznik 4, pkt 12).
- Wizyty w instytucjach naukowych i wspólnie prowadzone badania terenowe:

Instytucja	Termin wizyty	Zakres aktywności naukowej
The Jožef Stefan Institute Ljubljana Slovenia	Jednotygodniowe pobyty w XII 1996, IX 1999, V 2000	Prace terenowe na jeziorze Bled, współpraca w zakresie izotopowych aspektów obiegu węgla w środowisku wodnym
Atominstytut TU Wien	Jednotygodniowe pobyty w X 1998 i X 1999	Pobieranie prób torfów w Alpach Austriackich (Mondsee, Wurzeralm), współpraca w dziedzinie analiz radiometrycznych torfów
Uniwersytet w Uppsali Szwecja	Jednotygodniowy pobyt XI 1999	Współpraca w dziedzinie modelowania transportu zanieczyszczeń w rzekach
BIOFORSK, Norwegian Institute for Agricultural and Environmental Research, Ås, Norwegia	X 2001, VIII 2002	Testy znacznikowe w rzece Hobøl

GSF-National Research Center for Environment and Health, Neuherberg, Niemcy	Dwa jednotygodniowe pobyty w II 2004 i II 2005	Modelowanie wyników testów znacznikowych w oczyszczalniach ścieków
Instytut Geofizyki PAN, Warszawa	VI/VII 2006	Test znacznikowy w rzece Narwi
Stacja Polarna im. Stanisława Baranowskiego Uniwersytetu Wrocławskiego na Spitsbergenie	VIII-IX 2007 VII 2008	Prace terenowe w rejonie lodowca Werenskiolda, współpraca w zakresie badań chemizmu wód strefy aktywnej
KTH Royal Institute of Technology Sztokholm, Szwecja	XI 2015	Test znacznikowy w rzece Tullstorp
ECOLOGIC Institute Berlin, Niemcy	Jednotygodniowy pobyt w IX 2017	Przygotowanie wniosku do konkursu H2020 WIDEASPREAD Twinning

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

6.1 Osiągnięcia dydaktyczne

6.1.1 Zajęcia dydaktyczne prowadzone na studiach dziennych I i II stopnia.

Przedmiot	Kierunek, stopień studiów	Forma zajęć
Fizyka I, Fizyka II	Studenci I stopnia różnych kierunków na wydziałach AGH: IMiR, GGiOŚ, GGiŚ, IMiC, EAiE	Ćwiczenia audytorijne, laboratorium
Fizyka współczesna	Fizyka techniczna II	Seminarium
Fizyka środowiska	Fizyka techniczna I, Fizyka medyczna I	Seminarium, projekt
Globalne cykle biogeochemiczne	Przedmiot obieralny	Wykład, projekt
Modelowanie procesów fizycznych/Modelowanie procesów transportu w środowisku	Fizyka techniczna I Informatyka stosowana II	Laboratorium, projekt
Znaczniiki środowiskowe w badaniach środowiska/Application of tracers in environmental studies	Hydrogeologia i geologia inżynierska II (WGGiOŚ)	Wykład, ćwiczenia prowadzone w języku polskim lub angielskim
Application of tracers for engineering problems	Inżynieria środowiska I (WGGiOŚ)	Wykład, ćwiczenia

6.1.2 Zajęcia na kursach dla doktorantów

Kurs	Zajęcia
Hydrogeology of groundwater dependent ecosystems (GDEs): novel techniques for hydrological and ecological monitoring, assessment and analysis 3-4 March 2014, Prague, Czech Republic	Wykłady: “Tracer methods in GDEs” “Vulnerability assessments based on travel time estimation”
	Zajęcia praktyczne: “Development of conceptual models for groundwater and dependent ecosystem cases” “Design of measurement campaign and monitoring programmes for groundwater and dependent ecosystems”
Isotopes and environmental tracers in hydrology Seminar and workshop – University of Oulu, October 1-3, 2018	Wykłady: “Environmental tracers in water resources research” “Environmental tracers for understanding of a coupled glacier - proglacial zone system”

6.1.3 Opieka nad 25 pracami magisterskimi oraz 13 pracami inżynierskimi zrealizowanymi na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH..

6.2 Osiągnięcia organizacyjne

- Organizowanie Seminariów Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej w latach 1998 – 2003
- Kierownik ds. Współpracy z Unią Europejską w WFiIS w latach 2005 – 2008
- Pełnomocnik Dziekana WFiIS ds. Programów Europejskich w latach 2008 - 2013
- Koordynator dla kierunku Fizyka Techniczna w projekcie „Teraz Fizyka” realizowanym w WFiIS AGH w latach 2010 – 2015
- Udział w pracach nad przygotowaniem wniosku o przyznanie WFiIS statusu KNOW (2012-2017)
- Praca w Zespole ds. Jakości Kształcenia WFiIS w latach 2013-2020
- Kierowanie pracownią chemiczną WFiIS w budynku U5 AGH
- Praca w zespole WFiIS przygotowującym zmiany w programie studiów II stopnia kierunku fizyka techniczna

6.3 Osiągnięcia popularyzatorskie

Wykłady:

- „Czy natura może zagrozić rozwojowi cywilizacji?” Wykład na Jagiellońskich Dniach Nauki, 18 V 2002
- „Środowisko Ziemi oczami fizyka: - wykład dla laureatów konkursu fizycznego w Oświęcimiu, VI 2006.
- „Termodynamika Ziemi – termodynamika życia” - wykład inaugurujący rok akademicki 2006/7 w WFiTJ AGH, X 2006.

- „Termodynamika czyli świat jako proces” – wykład dla nauczycieli fizyki, Katowice, XII 2006.
- „Arktyka jako geofizyczne laboratorium” - wykład dla uczestników Studenckiego Koła Naukowego Fizyków Bozon WFiTJ AGH, X 2007.
- „Fizyka efektu cieplarnianego” – wykład wygłoszony podczas Nocy Naukowców w Krakowie, IX 2008.
- „Topniejąca Arktyka: przyczyny i skutki” - wykład w Technicznym Uniwersytecie Otwartym AGH. Kraków, IV 2012
- „Kriokonit. Sekretne życie lodowców” - wykład na spotkaniu Towarzystwa Przyjaciół Nauk o Ziemi w Krakowie, X 2019.

Książka popularnonaukowa:

Sekretne życie lodowców — Przemysław WACHNIEW, Edyta Łokas, Krzysztof Zawierucha ; Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie. — Kraków : Wydawnictwa AGH, 2020 + CD. — 70, [1] s.. — (Nauka dla Ciekawych : seria popularnonaukowa z płytą. O Ziemi i Kosmosie ; nr 13). — ISBN: 978-83-66364-23-3

7. Inne informacje

7.1 Rozpowszechnianie wyników projektów

Projekty badawcze UE, w których uczestniczyłem (PRIMROSE, GENESIS, BONUS SOILS2SEA) dotyczyły problemów gospodarki zasobami wodnymi a przez to ich cele, poza czysto naukowymi, obejmowały interakcje z różnymi grupami interesariuszy oraz opinią publiczną. Projekty te z jednej strony uwzględniały uwarunkowania społeczno-ekonomiczne oraz związane z polityką środowiskową, a z drugiej strony zmierzały do wpływania na te czynniki. W ramach poszczególnych projektów brałem udział w wymienionych poniżej działaniach.

PRIMROSE

- Współpraca z Urzędem Gminy Nowa Słupia w zakresie oceny funkcjonowania hydrofitowe oczyszczalni ścieków. Odnośne wyniki projektu zostały przedstawione Urzędowi.
- Upowszechnianie metody hydrofitowego oczyszczania ścieków w Polsce poprzez wydanie poradnika¹¹ oraz udzielanie konsultacji zainteresowanym.

GENESIS

- Upowszechnianie w Polsce założeń polityki środowiskowej UE odnośnie wód podziemnych^{12,13}.
- Promowanie użycia metod znacznikowych w przygotowanych w ramach projektu materiałach (*Policy Briefs*) oraz podczas spotkań z decydentami UE (*WFD Working Group C*).

BONUS SOILS2SEA

- Organizacja i prowadzenie spotkań i warsztatów z interesariuszami projektu: - spotkanie z lokalnymi interesariuszami w Częstochowie (17.04.2014)

¹¹ Bergier, T., Czech, A., Czupryński, P., Łopata, A., Wachniew, P., & Wojtał, J. (2004). Roślinne oczyszczalnie ścieków—Przewodnik dla gmin. *Natura Systems, Kraków*.

¹² Witczak, S., Kania, J., Żurek, A., Duliński, M., Różański, K., & Wachniew, P. (2013). Gospodarowanie wodami podziemnymi w Polsce a kierunki zmian w dyrektywach UE w świetle realizacji europejskiego projektu GENESIS. *Gospodarka Wodna*.

¹³ Witczak, S., Kania, J., Malina, G., Postawa, A., Żurek, A., Duliński, M., Różański, K., Wachniew, P. & Nikiel, G. (2013). Nowe wyzwania w hydrogeologii—europejski projekt FP7 GENESIS. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, (456 Hydrogeologia z. 14/2), 633-643.

- targi POLEKO w Poznaniu (15.10.2014), wywiady z rolnikami i przedstawicielami Urzędu Gminy Mykanów;
 - warsztaty „Przyszłość regulacji formalno-prawnych dla ograniczenia nadmiernej emisji związków azotu i fosforu z gospodarstw rolnych – Twój Głos” (11.12.2014), Częstochowa
 - warsztaty „Przyszłość regulacji formalno-prawnych dla ograniczenia nadmiernej emisji związków azotu i fosforu z gospodarstw rolnych – część II” (14.10.2016), Ujęcie wody Wierzchowisko;
 - warsztaty „Future governance approaches for reducing excess nutrients at local farm scale” z udziałem polskich i szwedzkich rolników (15-16.11.2016), Jordberga Gård, Szwecja;
 - spotkanie z przedstawicielami lokalnego koła Polskiego Związku Wędkarskiego poświęcone prezentacji wyników projektu odnoszących się do jakości wód rzeki Kocinki (7.08.2017), Częstochowa;
 - warsztaty dla polskich i rosyjskich interesariuszy “Future governance approaches for reducing excess nutrients at local farm scale – Upscaling”; (15-16.11.2017), Olsztyn.
- Udział w produkcji i wystąpienie w filmie dokumentalnym "Soils2Sea: Reducing nutrient loadings into the Baltic Sea"
<https://www.youtube.com/watch?v=LUouES4SeJk>
 - Udział w stworzeniu polskiej wersji wytycznych dla decydentów (*Policy Brief*)
http://soils2sea.eu/xpdf/bonus-soils2sea-policy-brief_polish.pdf
 - Wywiady dla mediów:
 - PAP: <http://www.pap.pl/aktualnosci/news,1235098,dr-wachniew-polskie-wody-bedazanieczyszczone-jeszcze-przez-kilkadziesiat-lat.html>
 - Polskie Radio Kraków: <http://www.radiokrakow.pl/wiadomosci/aktualnosci/polskie-wody-bedazanieczyszczone-jeszcze-przez-kilkadziesiat-lat/>
 - Fakt: <http://www.fakt.pl/pieniadze/finanse/do-baltyku-trafiaja-zwiazki-azotu-z-nawozow/gs2cqdz>
 - Polska TV Kraków: <https://krakow.tvp.pl/35720568/23012018-1830>
 - Polska TV Bydgoszcz <http://bydgoszcz.tvp.pl/35689410/20012018>
 - Polskie Radio: <https://www.polskieradio.pl/13/2772/Artykul/1733436>

7.2 Pozostałe informacje

Na elektronicznych nośnikach załączonych do wniosku przedstawiam kopie oświadczeń współautorów o ich udziale w artykułach tworzących zbiór publikacji. Dla publikacji [7] są to oświadczenia 4 głównych współautorów.

Jednocześnie oświadczam, że;

- mój udział w artykułach tworzących zbiór publikacji jest opisany w autoreferacie;
- współautor artykułów [2] i [3], prof. Piotr Małoszewski zmarł w 2017 roku.

Przemysław Wachniew

