

## **Autoreferat**

**1. Imię i nazwisko.**

Robert Kruszyk

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

- **2003** – Doktor nauk o Ziemi w zakresie geografii, Wydział Nauk Geologicznych i Geograficznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Tytuł rozprawy doktorskiej: *Wpływ roślinności na denudację chemiczną w strefie młodoglacjalnej Pomorza Zachodniego (zlewnia górnej Parsęty)*. Promotor w przewodzie doktorskim: prof. zw. dr hab. Andrzej Kostrzewski, recenzenci: prof. zw. dr hab. Alojzy Kowalkowski, prof. zw. dr hab. Anna Stankowska.
- **1993** – Magister, kierunek geografia w zakresie geomorfologii i paleogeografii czwartorzędu, Wydział Nauk Geologicznych i Geograficznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Tytuł pracy magisterskiej: *Uwarunkowania obiegu wody i pierwiastków chemicznych w ekosystemie leśnym na przykładzie powierzchni testowej w Wielkopolskim Parku Narodowym*. Promotor pracy magisterskiej prof. zw. dr hab. Andrzej Kostrzewski, recenzent prof. zw. dr hab. Andrzej Karczewski.

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

- **Od października 2018** roku starszy wykładowca w Zakładzie Geoinformacji Instytutu Geoekologii i Geoinformacji, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.
- **Od marca 2003** roku adiunkt w Zakładzie Geoekologii Instytutu Badań Czwartorzędu i Geoekologii, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.
- **Od października 1994** roku asystent w Zakładzie Geomorfologii Dynamicznej Instytutu Badań Czwartorzędu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

4. **Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.**

#### **4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego**

##### **Architektura i eksploracja wielkich wolumenów danych w monitoringu środowiska przyrodniczego**

Kruszyk. R., 2023. Architektura i eksploracja wielkich wolumenów danych w monitoringu środowiska przyrodniczego. *Studia i Prace z Geografii* nr 96. Wyd. Naukowe Bogucki, s. 138.

Recenzent: prof. dr hab. Marek Józwiak

#### **4.1.1. Wprowadzenie**

Od 2001 roku jestem odpowiedzialny za realizację zadania *Prowadzenie bazy danych ZMŚP oraz archiwizacja danych pomiarowych* w ramach umów *Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP) – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie badań* zawartych pomiędzy Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska a Uniwersytetem im. A. Mickiewicza w Poznaniu. Jestem członkiem Zespołu Ekspertów ZMŚP odpowiedzialnym za bazę danych ZMŚP. Od 2016 roku w ramach Centrum ZMŚP współpracuje z Centrum Programowym (Programme Centre) Międzynarodowego Programu Współpracy ds. Monitoringu Zintegrowanego (International Co-operative Programme on Integrated Monitoring on Air Pollution Effects, ICP IM) w zakresie harmonizacji i transferu danych pomiarowych ZMŚP do bazy programu ICP IM.

ZMŚP jest podsystemem monitoringu przyrody, funkcjonującym w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMS 2020). Jest to program, który traktuje środowisko przyrodnicze jako system złożony z komponentów abiotycznych i biotycznych, pozostających we wzajemnych powiązaniach i relacjach (Kostrzewski 1993, Kostrzewski i in. 1995, PMS 2020, Kostrzewski i in. 2021). Pod względem celu i zakresu monitoringu ZMŚP nawiązuje do europejskiego programu ICP IM, który jest programem interdyscyplinarnym mającym na celu ocenę i prognozowanie zmian w ekosystemach lądowych i wodnych, związanych z oddziaływaniem zanieczyszczeń powietrza (International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems 2022).

Wykorzystanie wieloletnich serii pomiarowych w prognozowaniu zmian zachodzących w środowisku przyrodniczym obszarów monitorowanych w ramach ZMŚP wymaga funkcjonowania centralnego repozytorium – bazy danych. Systemy baz danych

to pojęcie szersze niż sama baza danych. Obok bazy danych, rozumianej jako zbiór danych wraz z opisem jego struktury (schematu), system bazy danych obejmuje również model danych będący zbiorem zasad opisujących organizację i przetwarzanie danych w bazie oraz system zarządzania bazą danych czyli oprogramowanie – interfejs między bazami danych a jego użytkownikami końcowymi lub programami, umożliwiając użytkownikom pobieranie i aktualizowanie informacji oraz zarządzanie sposobem ich organizacji i optymalizacji. Systemy baz danych można podzielić ze względu na cel stosowania na systemy przetwarzania transakcyjnego OLTP (ang. *OnLine Transaction Processing*) i systemy przetwarzania analitycznego OLAP (ang. *On-Line Analytical Processing*) (Connolly, Begg 2004). Systemy OLTP to bazy danych służące do bieżącej realizacji zadań instytucji (np. bazy ewidencyjne, systemy bankowe i rezerwacyjne) gdzie nacisk położony jest na współbieżną obsługę wielu transakcji jednocześnie (Connolly, Begg 2004). Systemy OLAP są jednym z komponentów *Business Intelligence* (BI) czyli analityki biznesowej (Kowalewski, Czyczerski 2018) rozumianej jako proces zbierania, eksploracji, interpretacji i analizy danych, mającym wspomagać podejmowanie decyzji. Kluczowym elementem systemów BI jest hurtownia danych (ang. *data warehouse*). Jest to platforma integrująca dane pochodzące z różnych źródeł pozwalająca na ich przetwarzanie analityczne w celu dostarczenia właściwej informacji niezbędnej w procesie decyzyjnym (Kukliński 2009, Chądzyńska-Krasowska i in. 2013). Istotnym komponentem systemów BI jest warstwa udostępniania i prezentacji wyników. Jedną z metod prezentacji są kokpity analityczne i menadżerskie (ang. *analytical dashboard and management dashboard*).

Zakres realizowanych badań w ramach ZMŚP obejmuje trzy grupy programów badawczo-pomiarowych:

- I. Programy pomiarowe (analityczne) obejmujące monitorowanie poszczególnych komponentów środowiska przyrodniczego zlewni badawczych. Jest to podstawowy zakres badawczo-pomiarowy programu ZMŚP.
- II. Programy specjalistyczne realizowane przez stacje bazowe, które stanowią uzupełnienie programów pomiarowych. Wybór i zakres tych programów wynika ze specyfiki położenia oraz indywidualności poszczególnych elementów środowiska przyrodniczego monitorowanych zlewni oraz zakresu problematyki badawczej instytucji, która utworzyła i prowadzi daną stację ZMŚP.
- III. Programy syntetyzujące, których celem jest rozpoznanie aktualnego stanu i scenariuszy rozwoju monitorowanych geosystemów w oparciu m.in. o studia modelowe wykorzystujące dane pomiarowe pozyskane w ramach realizacji programów pomiarowych (analitycznych) i specjalistycznych. Należy do nich zaliczyć programy: *Pokrycie terenu i użytkowanie ziemi*, *Modelowania zmian bilansu wodnego i biogeochemicznego dla zlewni reprezentatywnych ZMŚP*, *Świadczenia geosystemów* oraz *Funkcjonowania geosystemów zlewni badawczych ZMŚP w warunkach zmian klimatu i narastającej antropopresji (z uwzględnieniem zjawisk ekstremalnych)*.

Badania realizowane są w zlewniach rzecznych lub jeziornych i obejmują rejestrację szerokiego spektrum właściwości fizycznych, biologicznych i chemicznych podsystemów środowiska przyrodniczego. Obecnie sieć krajowa ZMŚP obejmuje 12 stacji bazowych i ponad 420 aktywnych stanowisk pomiarowych rejestrujących 425 parametrów, w tym 239 to parametry obligatoryjne (programy analityczne). Parametry pomiarowe mierzone są z różną frekwencją od rejestracji ciągłej do obserwacji wykonywanych raz na kilka lat. Aktualnie dostępne wieloletnie serie danych zawierają 1,2 mln wyników pomiarów wykonywanych od 1994 roku do chwili obecnej. Co roku zasób ten powiększa się o kolejne 120 tys. rekordów.

#### **4.1.2. Cel i zakres pracy**

Podstawowym celem osiągnięcia naukowego było zaprojektowanie i wdrożenie systemu informatycznego, w którym kluczową rolę odgrywa baza danych w zakresie archiwizacji, przetwarzania (weryfikacji danych) oraz analizy i prezentacji wielowymiarowych danych pozyskiwanych w ramach realizowanego programu pomiarowego ZMŚP. Wykorzystanie wieloletnich serii pomiarowych do oceny aktualnego stanu, trendów z przeszłości i prognozowania zmian zachodzących w środowisku przyrodniczym obszarów monitorowanych w ramach ZMŚP wymaga funkcjonowania centralnego repozytorium mającego na celu gromadzenie oraz przetwarzanie dużych wolumenów danych, zbieranych na przestrzeni lat.

Kluczową funkcją wdrożonego systemu informatycznego jest kontrola wyników prowadzonego monitoringu. Wiarygodność danych decyduje o jakości opracowywanych syntez rocznych i wieloletnich, wyników modelowania oraz tworzonych diagnoz stanu monitorowanych geosystemów, powstałych na bazie zgromadzonych danych pomiarowych. Wyniki pomiarów są corocznie przekazywane do międzynarodowego programu ICP Integrated Monitoring (ICP IM) oraz służą wypełnianiu wymagań sprawozdawczych dyrektywy w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń powietrza (Dyrektywa NEC 2016). Nawiązują one również do tematyki danych przestrzennych objętych dyrektywą INSPIRE (Dyrektywa 2007/2/WE...Dz.U. L 108 z 25 kwietnia 2007 r.): Hydrografia (I.6), Urządzenia do monitorowania środowiska (III.7), Warunki atmosferyczne (III.13) oraz Warunki meteorologiczno-geograficzne (III.14).

Zweryfikowane dane pomiarowe były podstawą do wygenerowania szeregu parametrów statystycznych oraz wskaźników tematycznych. W tym celu wykorzystano możliwości systemów analityki biznesowej. Zaprojektowano tematyczne hurtownie danych dla wybranych grup danych monitoringowych, które następnie wykorzystano do opracowania kokpitów analitycznych (ang. *analytical dashboards*), będących połączeniem różnych elementów wizualnych – wykresów, tabel przestawnych, kartogramów, kart, mierników efektywności. Wyposażone są one we fragmentatory (ang. *slicer*) pozwalające interaktywnie filtrować dane w zależności od celów analizy. Stosuje się je powszechnie jako narzędzia wsparcia procesów decyzyjnych w zarządzaniu przedsiębiorstwem. W zaproponowanej w systemie ZMŚP implementacji, kokpity umożliwiają szybką i wieloaspektową ocenę stanu i tendencji rozwojowych

monitorowanych geоекосystemów. W pracy przedstawiono również możliwości wykorzystania kokpitów analitycznych w procesie weryfikacji danych pomiarowych.

Jednym z aspektów pracy było wykorzystanie języka UML (ang. *Unified Modeling Language*) w specyfikowaniu, konstruowaniu, wizualizacji i dokumentowaniu poszczególnych komponentów systemu informatycznego. Jest to język schematów pojęciowych, powszechnie zalecany przez normy ISO serii 19100 do modelowania informacji geograficznej (Chojka, Parzyński 2013). Stanowi on również platformę komunikacji pomiędzy projektantem systemu a jego końcowym użytkownikiem. W niniejszej pracy UML wykorzystano m.in. w opracowaniu schematów aplikacyjnych, które posłużyły do opisu struktury zbiorów danych rejestrowanych w bazie danych ZMŚP. Schemat aplikacyjny definiuje pojęcia z pewnej dziedziny – przestrzeni rozważań i jest zapisywany w języku schematu pojęciowego UML za pomocą zasad zdefiniowanych w normie *PN-EN ISO 19109 Reguły schematów aplikacyjnych* (2009). Jest on ograniczony do zakresu przedmiotowego mającego jedno konkretne zastosowanie i jest niezależny od platformy sprzętowo – programowej (Chojka 2012). Jednym z etapów tworzenia schematów aplikacyjnych jest ich integracja ze schematami znormalizowanymi – zamieszczonymi w normach z serii ISO 19100. Najczęściej integracja ta jest realizowana poprzez odwołanie się do klasy ze znormalizowanego schematu jako typu danych w tworzonym schemacie aplikacyjnym lub poprzez związek dziedziczenia, w którym tworzona klasa jest specjalizacją klasy ze schematu znormalizowanego – dziedziczy od niej atrybuty, związki oraz zachowanie (Pachelski i in. 2012). W opisie struktury danych rejestrowanych w bazie danych wykorzystano klasy z normy *Schemat metadanych PN-EN ISO 19115* (2010) – pakiet *Informacje o przytoczeniu i stronie odpowiedzialnej*, normy *Schemat przestrzenny PN-EN ISO 19107* (2020) – klasy mające zastosowanie do opisu geometrii obiektów przestrzennych oraz normy *Schemat Obserwacje i pomiary PN-EN ISO 19156* (2013) – klasy obejmujące podstawowe parametry obserwacji oraz charakteryzujące miejsce wykonania obserwacji (stanowisko pomiarowe).

W modelowaniu struktury danych największe znaczenie mają diagramy strukturalne, w szczególności diagram klas. Diagram przypadków użycia (ang. *use case diagram*) oraz diagramy czynności (ang. *activity diagram*) pokazują dynamiczne zachowanie obiektów w systemie. Diagramy przypadków użycia pozwoliły zilustrować najważniejsze grupy użytkowników systemu oraz dedykowane im funkcje. W modelowaniu dynamicznych aspektów systemu np. procedur kontroli wyników monitoringu wykorzystano diagramy czynności.

#### **4.1.3. System informatyczny ZMŚP - architektura, baza danych**

Pierwsze prace koncepcyjne nad wdrożeniem systemu informatycznego monitoringu środowiska przyrodniczego (SIMSP) rozpoczęły się na początku lat 90 XX wieku. Prace te obejmowały standaryzację i rozbudowę infrastruktury informatycznej na poziomie koordynatora programu, określenie wymagań, jakie powinien spełniać projektowany system w zakresie gromadzenia i przetwarzania danych (model koncepcyjny bazy danych) (Zwoliński 1993, Jezierski, Wojciechowski, 1994,

Kostrzewski i in. 1995, Stach 1995, Stach, Kruszyk 1996). Etap ten zakończył się implementacją relacyjnej bazy danych.

System informatyczny oparty jest o architekturę trójwarstwową obejmującą warstwę prezentacji – interfejs użytkownika oraz wydzielony serwer aplikacji, a także serwer bazy danych. Warstwa prezentacji obejmuje zastaw aplikacji pozwalających korzystać z danych zgromadzonych w bazie danych. Należy do nich dodatek (ang. *plugin*) *ZMSP* dedykowany dla arkusza kalkulacyjnego MS Excel, którego kod został napisany w języku Visual Basic for Applications (VBA), konsola administratora wdrożona w środowisku programu MS Access oraz zestaw hurtowni tematycznych i kokpitów analitycznych przygotowanych za pomocą aplikacji Power BI Desktop. Połączenie wymienionych aplikacji z bazą danych jest realizowane poprzez standard ODBC (ang. *Open DataBase Connectivity*) oraz skonfigurowane w systemie operacyjnym źródło danych. Serwer aplikacji obejmował kontener serwletów Apache Tomcat z wdrożonym GeoServerem. Zadaniem serwera aplikacji jest pozyskanie danych z bazy, ich przekształcenie do struktur zgodnych ze schematami aplikacyjnymi wybranych tematów danych przestrzennych INSPIRE oraz wygenerowanie zestawu plików GML (Soczewski 2019). Relacyjna baza danych zarządzana jest przez system PostgreSQL z rozszerzeniem PostGIS. Serwer bazy danych działa pod kontrolą 64 bitowego systemu operacyjnego Red Hat Enterprise w wersji 7.9 (Maipo).

Kluczowym komponentem systemu informatycznego programu ZMŚP jest baza danych, której schemat jest zgodny z założeniami modelu relacyjnego, bazującego na matematycznym pojęciu relacji (Codd 1970). Dane rejestrowane w bazie danych ZMŚP można podzielić na **pięć grup tematycznych**.

- I. Grupa pierwsza uwzględnia informacje o **systemie i zakresie pomiarowym realizowanym** w ramach ZMŚP. Są to podstawowe informacje obejmujące identyfikatory stacji i stanowisk pomiarowych, dane teleadresowe jednostek badawczych, w tym laboratoriów uczestniczących w realizacji programu ZMŚP. Jednym z kluczowych zasobów są informacje o zlewniach rzecznych lub jeziornych. Obok podstawowych charakterystyk wymienionych obiektów hydrograficznych takich jak: unikalny identyfikator i nazwa zlewni, rodzaj i powierzchnia, wododziały, zasób ten został przeze mnie rozszerzony o zestaw parametrów fizjograficznych zaproponowanych przez Pociask-Karteczkę (2003). Jest to szereg wskaźników opisujących cechy geometryczne, geomorfologiczne oraz hydrograficzne zlewni badawczych. Powstałe repozytorium parametrów zlewni pozwala na wykorzystanie w programie ZMŚP numerycznych modeli hydrologicznych obiegu i jakości wody, modeli procesów erozji, transportu osadów i substancji rozpuszczonych w skali zlewni rzecznej. Archiwizacji podlegają również wszystkie zmiany systemu pomiarowego, które mogą mieć znaczenie przy interpretacji serii pomiarowych.
- II. Grupa druga jest zestawem **list kodowych** używanych w archiwizacji wyników pomiarów w bazie danych. Każda lista kodowa składa się ze zbioru kodów (najczęściej mnemoników) powiązanych z wielojęzycznymi nazwami, definicjami oraz opisami, kontrolowanymi przez określoną organizację

(Kostrzewski i in. 1995). Stosowanie krótkich alfanumerycznych kodów zamiast pełnych nazw taksonów flory i fauny, parametrów pomiarowych czy metod analitycznych pozwala ograniczyć możliwość popełniania błędów na etapie wprowadzania danych do bazy.

- III. Grupa trzecia obejmuje **wyniki monitoringu** prowadzonego w ramach poszczególnych programów pomiarowych. Wyniki te przekazywane są corocznie przez stacje bazowe do bazy i mają charakter danych ustrukturyzowanych. Każdy wynik jest opisany szeregiem informacji ważnych z punktu widzenia jego interpretacji, które można określić mianem metadanych pomiaru. Szczegółowe informacje o zasadach kodowania oraz struktura danych w ramach poszczególnych programach pomiarowych zawarte są w pracach: Kostrzewskiego i in. (1995), Stacha, Kruszyka (1996), Kruszyka, Wojciechowskiego (2014), Kruszyka (2018, 2021).
- IV. Grupa czwarta reprezentuje informacje **wykorzystywane na etapie kontroli wyników pomiarów** przekazywanych przez stacje do bazy danych. Zasób ten zawiera podstawowe informacje o procedurach weryfikacji wyników pomiarów. Są to m.in. wymagania, które muszą zostać spełnione aby dany wynik kontroli został uznany za wiążący. Kluczowym elementem są wartości kryterialne dedykowane dla poszczególnych procedur kontrolnych. Pozwalają one zaklasyfikować kontrolowany wynik pomiaru jako wartość poprawną lub błędną. Kluczową metodą kontroli danych jest identyfikacja wartości nietypowych (odstających). W tym celu wykorzystywane są statystyki wieloletnie, obliczone na podstawie dostępnych w bazie danych serii pomiarowych oraz wartości referencyjnych zdefiniowanych przez Zespół Ekspertów ZMŚP lub pozyskanych z innych sieci monitoringu np. ICP Forest (Nieminen i in. 2016, Clarke i in. 2020, Schaub i in. 2020, Ukonmaanaho i in. 2020). Archiwizacji w bazie danych podlegają również wyniki samej kontroli. Kolejną grupę informacji stanowią działania podjęte przez personel stacji ZMŚP, ewentualnie administratora lub eksperta w procesie weryfikacji wartości wątpliwych – zidentyfikowanych w procesie kontroli danych. W bazie rejestrowane są również wszystkie korekty danych pomiarowych, dokonane najczęściej na wniosek stacji lub eksperta, wykonane już po procesie weryfikacji i włączeniu do zasobu. Ostatnią kategorię danych stanowi zestawienie flag (znaczników) jakości danych pomiarowych.
- V. Obok danych pomiarowych, wyników monitoringu corocznie przekazywanych przez stacje, w bazie gromadzone są także **dane zagregowane**. Zasób ten obejmuje podstawowe statystyki oraz zestawy wskaźników tematycznych pozwalających ocenić np. warunki termiczno-opadowe i warunki hydrologiczne a także bilans biogeochemiczny zlewni. Zasób ten jest wykorzystywany w opracowaniu rocznych raportów z realizacji programu oraz w procesie weryfikacji danych surowych (wyników przekazanych przez stacje). Kolejnym komponentem są dane pomiarowe oraz zagregowane, podlegające harmonizacji – dostosowaniu do schematów aplikacyjnych programu ICP IM oraz INSPIRE.

Kluczowym komponentem zasobu są metadane serii zagregowanych, które są niezbędne przy ocenie jakości obliczonych statystyk i wskaźników tematycznych. Obejmują one m.in. kompletność serii zagregowanej.

Mój wkład w powstanie i rozwój bazy danych ZMŚP obejmował:

- Opracowanie schematów aplikacyjnych w języku UML dla każdej z wymienionych grup tematycznych. Dla grupy pierwszej, drugiej i trzeciej schematy aplikacyjne opracowano na podstawie już istniejących struktur danych w bazie. Jest to przykład tzw. inżynierii odwrotnej (wstecznej) – transformacji modelu logicznego (PSM) do schematu pojęciowego (PIM) (Zwirowicz-Rutkowska 2012).
- Rozszerzenie zakresu informacji o systemie i zakresie pomiarowym poprzez rejestrację w bazie danych historii jego zmian istotnych dla interpretacji serii pomiarowych.
- Poszerzenie zakresu informacji o zlewniach badawczych o zestawy parametrów fizjograficznych.
- Włączenie listy kodowej DB kontrolowanej przez Fiński Instytut Ochrony Środowiska (SYKE) i Szwedzką Agencję Ochrony Środowiska do systemu informatycznego ZMŚP. Podstawowy zbiór kodów: parametrów pomiarowych, wstępnych metod przygotowania próbek oraz metod analitycznych jest używany w ramach programu ICP IM. Zarządzanie listą kodową ZM, będącą uzupełnieniem list kodowych używanych w programie ICP IM.
- Opracowanie modeli pojęciowych (schematów aplikacyjnych) i ich transformacja do modeli logicznych (diagramów relacji) i następnie implementacja jako dodatkowe struktury w bazie danych w przypadku grupy tematycznej czwartej (informacje związane z procesem kontroli danych) oraz piątej (dane zagregowane i wskaźniki tematyczne).
- Przygotowanie danych źródłowych (wyników pomiarów, informacji o systemie i zakresie pomiarowym) do schematów obowiązujących w bazie danych ZMŚP oraz ich transfer do bazy.

#### 4.1.4. System informatyczny ZMŚP - funkcje

Jednym z etapów projektowania systemów informatycznych jest stworzenie wysokopoziomowego modelu *Computation Independent Model* (CIM) definiującego wymagania funkcjonalne systemu, jego użytkowników oraz domenę jego zastosowań (Zwirowicz-Rutkowska 2012). W modelu CIM podstawowe funkcje projektowanego systemu z punktu widzenia jego użytkowników (aktorów), można przedstawić za pomocą diagramu przypadków użycia. Przypadek użycia reprezentuje odrębną funkcję projektowanego systemu informatycznego, dedykowaną dla aktorów. W przypadku systemu informatycznego ZMŚP aktorzy to:

- *Administrator BD* – odpowiedzialny za archiwizację oraz weryfikację wyników pomiarów. Zadaniem administratora jest zarządzanie zgromadzonymi danymi



(usuwanie i aktualizacja danych) oraz rejestrowanie wszystkich zmian jakim podlega zasób. Do obowiązków administratora BD należy także stworzenie zbioru danych zagregowanych oraz wartości wskaźnikowych dla poszczególnych programów pomiarowych. Administrator odpowiada za bezpieczeństwo danych (tworzenie kopii zapasowych), kontrolę dostępu i uprawnień użytkowników, monitorowanie i optymalizację działania systemu informatycznego,

- *Stacja Bazowa* (twórca zasobu) – odpowiedzialna za realizację programu ZMŚP na terenie zlewni badawczej. Aktualnie w sieci ZMŚP funkcjonuje 12 stacji bazowych.
- *Dysponent danych* – Główny Inspektorat Ochrony Środowiska sprawujący funkcję zlecniodawcy, właściciela oraz dystrybutora danych.
- *Koordinator programu* – koordynacja merytoryczna i organizacyjna programu ZMŚP. Jednostką odpowiedzialną za koordynację programem jest Centrum ZMŚP.
- *Ekspert ZMŚP* – odpowiedzialny za nadzór merytoryczny nad realizacją programów pomiarowych oraz członek Zespołu Ekspertów ZMŚP.
- *Program ICP Integrated Monitoring* – system zewnętrzny, działający w oparciu o konwencję w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości (CLRTAP) (International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems 2022). Od 2016 roku do programu ICP IM przekazywane są zharmonizowane zbiory danych pomiarowych ZMŚP.
- *Geoportal GIOŚ* – system zewnętrzny, punkt dostępowy do danych środowiskowych pozyskiwanych w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Do systemu przekazywane są zharmonizowane zbiory danych pomiarowych ZMŚP.

Poniżej zostaną omówione kluczowe funkcje realizowane przez system informatyczny ZMŚP.

#### *Funkcja – Pobieranie danych z bazy i transfer danych do bazy*

Jest to podstawowa funkcja dedykowana dla wszystkich aktorów, w szczególności dla *Stacji Bazowej*. Dostęp do danych (wymienionych powyżej grup tematycznych) zgromadzonych w bazie ZMŚP jest realizowany poprzez opracowany dodatek (ang. *plugin*) dedykowany dla programu MS Excel a zaimplementowany w języku Visual Basic for Applications. Dodatek *ZMSP* umożliwia również stacjom bazowym z poziomu arkusza kalkulacyjnego transfer do bazy danych wyników pomiarów z poziomu arkusza kalkulacyjnego oraz ich usuwanie w oparciu o zdefiniowane kryteria selekcji.

Mój udział w realizacji funkcji *Pobieranie danych z bazy i transfer danych do bazy* obejmował prace koncepcyjne – określenia zakresu informacji udostępnianych przez aplikację oraz przygotowanie po stronie bazy danych zestawów danych udostępnianych poprzez dodatek *ZMSP*. Sam proces implementacji aplikacji był realizowany przez Wojciechowskiego (1999) i Pieprzyka (2011).

## Funkcja – Weryfikacja wyników pomiarów

Weryfikacja danych jest komponentem systemu zapewnienia jakości i jej kontroli QA/QC (ang. *Quality Assurance – QA/Quality Control QC*). Jest ona kluczowa z punktu widzenia wiarygodności opracowywanych raportów, syntez, wyników modelowania, tworzonych scenariuszy rozwoju monitorowanych geosystemów. Wyniki monitoringu pozyskiwane w ramach ZMŚP są corocznie przekazywane do bazy danych programu ICP IM, jednocześnie są wykorzystywane w realizacji obowiązków sprawozdawczych Polski w zakresie wpływu zanieczyszczeń powietrza na ekosystemy, które nakłada dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2016/2284 z dnia 14 grudnia 2016 roku w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń atmosferycznych (Dyrektywa NEC 2016). Obliguje to do prowadzenia badań w oparciu o ustalone metodyki badawcze na stałych powierzchniach monitoringowych oraz kontroli jakości danych na wielu poziomach organizacyjnych od stacji bazowej poprzez laboratorium, administratora bazy danych do Zespołu Ekspertów ZMŚP. Degórska, Żyfka-Zagrodzińska (2021) wyróżniają pięć etapów w procesie zapewnienia i kontroli jakości danych wdrożonym w programie ZMŚP, z których etap *IV Weryfikacja formalna* i etap *V Weryfikacja merytoryczna* są przeprowadzane w oparciu o wykorzystanie bazy danych ZMŚP.

Mój wkład w opracowanie oraz wdrożenie systemu kontroli wyników pomiarów na poziomie bazy danych ZMŚP (etap IV i V systemu QA/QC) obejmował **Zaprojektowanie i wdrożenie systemu kontroli wyników pomiarów na poziomie bazy danych**, który zawiera następujące komponenty:

- I. **Weryfikację formalną** przeprowadzaną podczas transferu *danych surowych* przez Stacje do bazy danych. Etap ten jest wykonywany w środowisku arkusza kalkulacyjnego i wykorzystuje funkcje  *dodatku ZMSP*. Weryfikacja na tym etapie obejmuje kontrolę struktury danych, zdefiniowanych reguł poprawności oraz występowania powielonych danych. Kluczowym komponentem kontroli formalnej są reguły, które muszą zostać spełnione, aby wynik pomiaru został zarejestrowany w bazie danych. Reguły opisują relacje pomiędzy elementami systemu i zakresu pomiarowego np. na danym stanowisku pomiarowym realizowane są określone programy pomiarowe. Wdrożenie reguł obejmowało następujące działania: zdefiniowanie relacji, przygotowanie dodatkowych tabel w bazie, zawierających poprawne połączenia wybranych elementów systemu i zakresu pomiarowego oraz ich implementację w postaci dodatkowych funkcji dostępnych z poziomu  *dodatku ZMSP* (Wojciechowski 1999, Pieprzyk 2011). W procedurze kontroli formalnej wykorzystywane były również wartości referencyjne zdefiniowane przez Zespół Ekspertów ZMŚP. Był to podstawowy filtr mający na celu identyfikację tzw. „grubych błędów” wartości, których wystąpienie jest nieprawdopodobne i są one najczęściej efektem pomyłek popełnianych na etapie wprowadzania danych do arkusza kalkulacyjnego. Dane pomiarowe po zakończonym etapie kontroli formalnej otrzymują etykietę  *danych częściowo zweryfikowanych*.

- II. Weryfikację merytoryczną** danych pomiarowych która jest drugim etapem kontroli, realizowanym po stronie serwera bazy danych. Stosowane procedury weryfikacji merytorycznej oparte są o testy poprawności danych wykorzystywane w krajowych i europejskich sieciach monitoringu środowiska przyrodniczego (EMEP 2001, GAW 2004, Nieminen i in. 2016, Clarke i in. 2020, Schaub i in. 2020, Ukonmaanaho i in. 2020). W tym celu następujące grupy procedur:
- Identyfikację wartości odstających (nietypowych) w oparciu o wykorzystanie testu kwartyłowego, testu Hampela oraz testu 3 odchyłeń standardowych.
  - Powszechnie stosowane procedury kontroli poprawności wyników oznaczeń laboratoryjnych (test bilansu jonowego i przewodności elektrolitycznej właściwej).
  - Kontrolę zależności między parametrami pomiarowymi w ramach tego samego programu oraz między programami. Grupa ta obejmowała zarówno weryfikację zależności statystycznych między parametrami oraz zależności definicyjne oparte o współwystępowanie lub też wzajemne wykluczanie się niektórych zjawisk.
  - Wykorzystanie wartości referencyjnych – zestawów statystyk obliczonych na podstawie wieloletnich serii pomiarowych pochodzących z innych sieci monitoringowych np. ICP Forest. W przeciwieństwie do danych referencyjnych wykorzystywanych na etapie weryfikacji formalnej, które jednoznacznie identyfikowały wartości błędne, na etapie weryfikacji merytorycznej wartości referencyjne stanowią uzupełnienie pozostałych metod kontroli danych pomiarowych i pozwalają wyłącznie na identyfikację wartości wątpliwych.

Pierwszym krokiem postępowania w tym zakresie było modelowanie wymienionych procedur kontroli wyników na etapie weryfikacji merytorycznej za pomocą diagramów czynności (modelowanie pojęciowe). Diagramy czynności służą do przedstawiania procesów zachodzących w systemie na wysokim poziomie abstrakcji i wykorzystywane są do obrazowania aktywności, na które składają się mniejsze akcje (Pilone, Pitman 2007). W takim rozumieniu czynnością będzie np. procedura kontroli bilansu jonowego, natomiast akcją przeliczenie stężeń masowych jonów na stężenia gramorównoważnikowe. W kolejnym etapie na podstawie diagramów czynności opracowano procedury (funkcje) w języku SQL lub jego dialekcie PL/pgSQL dedykowanym dla systemu PostgreSQL. Kluczowym elementem w projektowaniu funkcji było uwzględnienie wymagań stosowanych procedur kontroli. Dla identyfikacji wartości odstających konieczne było obliczenie wartości referencyjnych na podstawie dostępnych serii pomiarowych.

- III. Weryfikację wartości wątpliwych.** Efektem procesu weryfikacji merytorycznej jest przyporządkowanie każdemu kontrolowanemu wynikowi pomiaru odpowiedniej etykiety: **pomiaru zatwierdzonego**, w sytuacji, w której żaden z przeprowadzonych testów kontroli nie wykazał nieprawidłowości (wynik

negatywny testu) lub w przeciwnej sytuacji etykietę **pomiaru wątpliwego**. Decyzję o zaklasyfikowaniu wartości wątpliwych do danych błędnych lub poprawnych podejmuje administrator bazy danych w porozumieniu ze stacją bazową, ewentualnie w uzgodnieniu z ekspertem ZMŚP. Rola stacji bazowej i eksperta ZMŚP w procesie weryfikacji wartości wątpliwych jest kluczowa. Jeżeli korekta danych błędnych jest możliwa, taki skorygowany wynik ponownie przechodzi całą procedurę weryfikacji. W innym przypadku jest oznaczany odpowiednim zestawem flag jakości danych (grupa flag wartość nieważna) i zostaje włączony do zasobu.

**IV. System oznaczania (flagowania) jakości danych pomiarowych.** Istotnym elementem systemu QA/QC jest wdrożony system oznakowania (flagowania) jakości wyników pomiarów obarczonych nieznanym stopniem niepewności. Zestaw obejmuje dwie kategorie flag – dedykowanych dla wyników pomiarów przekazywanych przez stacje oraz dla danych zagregowanych i udostępnianych zewnętrznym użytkownikom. Wdrożone oznaczenia (flagi) jakości danych obejmują przypadki obniżenia dokładności pomiarów z powodu odstępstw od metodyki (np. zbyt długi okres ekspozycji kolektora), zanieczyszczenie próbki, procesów naturalnych o natężeniu ekstremalnym. Oznaczone zostają również przypadki braku pomiaru związane przyczynami losowymi lub brakiem zjawiska. Oddzielną kategorię oznaczeń jakości danych dedykowano dla wyników niespełniających kryteriów akceptacji dla powszechnie stosowanych metod kontroli poprawności analiz chemicznych np. bilansu jonowego czy stosunku stężeń sodu do chlorków w opadach. Ogółem wyróżniono 47 flag jakości danych, które podzielono na dwie grupy: wartość **ważna** (ang. *valid*) oraz **nieważna** (ang. *invalid*). Podział ten nawiązuje do systemu flagowania wyników pomiarów obowiązującego w sieci EMEP (ang. *European Monitoring and Evaluation Programme*) (EMEP 2001). Wartość **nieważna** stosowana jest dla pomiarów, gdzie uzyskane wyniki weryfikacji diametralnie różniły się od przyjętych wartości kryterialnych. Powyższa kategoria dotyczy sytuacji, w których nastąpiło znaczące obniżenie dokładności na skutek odstępstw od przyjętej metodyki pomiaru, zanieczyszczenia próbki lub braku ciągłości rejestracji. Flagi typu wartość **nieważna** stosowane są do wyników pomiarów ewidentnie błędnych, w przypadku których wystąpienie zjawiska o zmierzonym natężeniu jest skrajnie mało prawdopodobne. Wyniki pomiarów oznaczone jako **nieważne** są rejestrowane w bazie, ale nie są wykorzystywane w procesie agregacji oraz jako wartości referencyjne w trakcie weryfikacji. Z kolei etykieta wartość **ważna** sygnalizuje, że nastąpiło obniżenie dokładności pomiaru np. na skutek krótkotrwałych przerw w pracy rejestratora lub wydłużenia albo skrócenia czasu ekspozycji kolektora. Nie są to odstępstwa, które radykalnie odbiegałyby od przyjętej metodyki pomiarów. Jest to dodatkowa informacja, którą należy uwzględnić przy interpretacji wyników pomiarów.

Do kontroli merytorycznej oraz weryfikacji wartości wątpliwych zaprojektowałem i wdrożyłem aplikację w mającej charakter konsoli administratora. Jest to zestaw

formularzy oraz raportów umożliwiających dostęp do danych, wzbogacony w kontrolki zaprojektowany w środowisku programu MS Access. Wybór programu MS Access jako środowiska dla tworzenia interfejsu graficznego podyktowany był dostępnością kreatorów do projektowania formularzy, raportów oraz zapytań do bazy wraz z możliwością wykorzystanie środowiska programistycznego VBA w celu automatyzacji zadań. Stworzona aplikacja pozwala zarządzać całym procesem weryfikacji merytorycznej. Do jej podstawowych funkcji należy aktywacja testów kontroli po stronie serwera, przeglądanie wyników kontroli w oparciu o zdefiniowane warunki selekcji oraz wygenerowanie raportów z wynikami kontroli, które następnie zostają udostępnione stacjom bazowym. Kluczową funkcją stworzonej aplikacji jest również możliwość połączenia wszystkich rezultatów testów kontroli danych dla pojedynczego kontrolowanego wyniku pomiaru. Uzupełnieniem stosowanych procedur kontroli danych jest analiza graficzna. W tym celu wykorzystano możliwości programu MS Access do generowania prostych wykresów pozwalających na porównywanie różnych serii pomiarowych oraz ich zestawienie z wartościami historycznymi. Jeszcze większe możliwości w analizie graficznej daje wykorzystanie kokpitów analitycznych. Kokpity są jednym z elementów warstwy prezentacji i udostępniania wyników systemów analityki biznesowej. Wykorzystane w weryfikacji wartości wątpliwych kokpity analityczne pozwalają łączyć wyniki różnych testów kontroli danych, odwoływać się do danych historycznych oraz dodatkowych zbiorów statystyk (miar) obliczonych za pomocą języka formuł DAX (ang. *Data Analysis Expressions*). Dane dla wizualizacji mogą zostać bezpośrednio pobrane z bazy danych, arkusza kalkulacyjnego, plików tekstowych lub innych źródeł np. internetowych. W ramach systemu QA/QC na poziomie V (kontrola merytoryczna) opracowano modele decyzyjne dla wybranych procedur kontroli danych (bilansu jonowego i testu przewodności). Schemat ten obejmuje wymagania, które należy spełnić w celu użycia danej procedury oraz działania, które należy podjąć w sytuacji spełnienia określonych warunków (węzły decyzyjne).

#### Funkcja – Agregacja danych, tematyczne hurtownie danych

- **Przygotowanie danych do zasilenia hurtowni, utworzenie metadanych dla serii zagregowanych**

Kluczowym w procesie agregacji wyników było przygotowanie wyników pomiarów i zasilenie hurtowni, które w literaturze tematu określane jest akronimem ETL – *Extract, Transform i Load* (Todman, 2011). W przypadku wdrożonych hurtowni danych jedynym źródłem danych była baza operacyjna. Ponieważ dane źródłowe miały charakter ustrukturyzowany, cały proces przygotowania danych sprowadzał się do kilku kroków. W pierwszym dokonano selekcji wyników pomiarów podlegających agregacji. W kolejnym usuwano dane oznaczone (oflagowane) jako wartości nieważne. Dla wybranych parametrów, dla których częstotliwość pomiarów zmieniała się w kolejnych latach prowadzenia monitoringu pierwszym etapem była ich integracja w celu otrzymania danych o tej samej frekwencji. Ostatnim etapem było utworzenie metadanych dla serii danych zagregowanych (miesięcznych, rocznych i wieloletnich). Elementy metadanych obejmowały m.in.: liczbę wyników pomiarów parametru w

danym okresie agregacji, N ważnych (liczba wyników pomiarów nieoznaczonych flagami z grupy *wartości nieważne*, uwzględniająca przypadki braku pomiaru, których przyczyną był brak zjawiska), wymaganą rozdzielczość czasową zapisu do bazy, a także zestaw flag, którymi oznaczono dane pomiarowe podlegające agregacji. Kluczowym elementem była kompletność serii zagregowanej rozumiana jako stosunek N ważnych do możliwej do uzyskania w danym okresie agregacji liczby wyników monitoringu. W celu zaliczenia wartości zagregowanej do *wartości ważnej* lub *nieważnej*, w oparciu o kompletność serii, dla danych meteorologicznych, hydrologicznych, zanieczyszczeń powietrza wykorzystano progi zdefiniowane przez Zespół Ekspertów ZMŚP, natomiast dla danych fizykochemicznych i chemicznych zalecane przez GAW (*Global Watch Atmosphere*).

- **Repozytorium danych pomiarowych i zagregowanych**

Repozytorium *danych pomiarowych i zagregowanych*, pełni rolę hurtowni centralnej. Jest to zasób danych pomiarowych – wyników przekazywanych przez stacje, które zostały zweryfikowane, a które są podstawą do obliczenia szeregu statystyk wykorzystywanych w obliczeniu wskaźników tematycznych oraz jako wartości referencyjne w procesie weryfikacji danych. Ponadto jest to zasób, który podlega harmonizacji i transferowi do bazy programu ICP IM oraz włączeniu do INSPIRE. Pierwszym etapem w projektowaniu repozytorium było opracowanie schematu pojęciowego zapisanego w notacji języka UML. W kolejnym kroku dokonano transformacji do modelu ROLAP (ang. *Relational OLAP*), w którym dane wielowymiarowe implementowane są przez struktury relacyjne. Struktura hurtowni nawiązywała do schematu konstelacji faktów (ang. *fact constellation schema*) gdzie dwie tabele faktów połączone są kluczami obcymi z tabelami wymiarów (Connolly, Begg 2004). W jednej z tabel faktów gromadzone są wyniki pomiarów, będące podstawowym źródłem dla procesu agregacji. Druga tabela reprezentuje właściwe repozytorium danych zagregowanych. Cały proces agregacji odbywa się po stronie serwera bazy danych. Zestawy statystyk wyliczono dla okresów miesięcznych, półrocznych, rocznych i wieloletnich. W tym celu wykorzystano zaawansowane funkcje języka SQL, dedykowane dla hurtowni danych, dostępne w systemie PostgreSQL. Należą do nich klauzule *ROLLUP*, *CUBE*, *GROUPING SET*, umożliwiające wielowymiarowe grupowanie danych, rozszerzenie *tablefunc* oraz klauzula *FILTER* używaną do tworzenia tabel przestawnych, funkcje okienkowe (ang. *window functions*), perspektywy zmaterializowane oraz klauzula *WITH* pozwalająca na stosowanie tzw. *Common Table Expressions* (CTE) czyli tymczasowych zbiorów danych, które mogą być traktowane w zapytaniach jako zmienne znane z języków programowania. Ostatnim etapem było przygotowywanie zestawu funkcji pozwalających na pobieranie danych z repozytorium danych zagregowanych w postaci tabel przestawnych. Repozytorium to umożliwia obliczenie szeregu wskaźników tematycznych, stanowiących podstawę do oceny stanu środowiska przyrodniczego zlewni badawczych. Należą do nich: dni charakterystyczne uwzględniające warunki termiczne i opadowe, obliczone na podstawie statystyk z wielolecia klasyfikacja termiczna i opadowa poszczególnych lat kalendarzowych i hydrologicznych (program

A1 – Meteorologia), przepływy charakterystyczne I i II stopnia (program H1 – Wody powierzchniowe - rzeki), zestawienie masy opadu organicznego z podziałem na frakcje oraz ładunków rocznych pierwiastków (program G2 – Opad organiczny), zestawienia ładunków rocznych jonów wnoszonych z opadem atmosferycznym, opadem podkoronowym oraz odprowadzanych ze zlewni z odpływem rzeczny. Dodatkowo przygotowano zestawienia jonów i pierwiastków wyrażone w stężeniach gramorównoważnikowych. Przygotowane funkcje pozwalają pobrać przygotowane zestawienia bezpośrednio do arkusza kalkulacyjnego za pomocą  *dodatku ZMSP*.

- **Hurtownie tematyczne**

Równoległe z repozytorium *Danych pomiarowych i zagregowanych* wdrożono cztery przykładowe hurtownie tematyczne: *Warunki termiczno-opadowe*, *Hydro*, *Opad organiczny* oraz *Transformacja składu chemicznego opadów w zbiorowiskach leśnych*. Podstawowym celem było ukazanie możliwości jakie daje wykorzystanie kokpitów analitycznych w analizie i prezentacji danych monitoringowych. Ziuziański (2014) definiuje kokpit jako rozwiązanie *Business Intelligence* służące do prezentacji, wizualizacji i raportowania danych opartych o hurtownie danych. Pierwszym etapem było opracowanie schematów pojęciowych poszczególnych hurtowni tematycznych. W procesie implementacji hurtowni wykorzystano model ROLAP, w którym wielowymiarowe dane są przechowywane za pomocą relacyjnych struktur danych - tabel faktów i wymiarów. Najczęściej stosowano podejście hybrydowe – model płatkowo-gwiazdzisty (ang. *starflake schema*) łączący schematy gwiazdy i płatka oraz konstelacji faktów (ang. *fact constellation schema*). Jako tabele wymiarów wykorzystano: *Czas* (w dwóch hierarchiach: roku kalendarzowego i hydrologicznego), *Lokalizację* (stacja, zlewnia badawcza, stanowisko pomiarowe), *Zakres pomiarowy* (program, parametr pomiarowy), *Medium* (gatunek roślin lub podtyp gleby), *Metadane pomiaru* (poziom) oraz *Metadane serii zagregowanej* (kompletność serii, flagi). Wymiary (poza *Metadanymi serii zagregowanej*) posłużyły jako poziomy grupowania. Tabele faktów najczęściej zawierały wyniki pomiarów (dane dobowe lub miesięczne) lub rzadziej dane zagregowane (dane roczne) np. w hurtowniach *Opad organiczny* i *Transformacja składu chemicznego opadów w zbiorowiskach leśnych*. Hurtownie tematyczne wdrożono wykorzystując oprogramowanie Power BI Desktop.

- Hurtownia tematyczna - *Warunki termiczno-opadowe*. Celem wdrożenia hurtowni była ocena warunków termiczno-opadowych na stacjach bazowych przy zastosowaniu szeregu wskaźników tematycznych, które można wykorzystać w opracowaniu corocznych raportów z realizacji programu na poszczególnych stacjach. W hurtowni wdrożono dwie tabele faktów. Pierwsza z nich zawierała wartości dobowe podstawowych parametrów meteorologicznych: minimalnej, średniej i maksymalnej temperatury powietrza, sumy dobowej opadów oraz wilgotności względnej powietrza. Druga tabela zawierała klasyfikację termiczno-opadową poszczególnych lat kalendarzowych. Zaprojektowany kokpit analityczny pozwala w sposób interaktywny analizować warunki termiczno-opadowe dla wybranej stacji bazowej. Obok wykresów ilustrujących rozkłady wartości rocznych

wybranych parametrów meteorologicznych kokpit zawiera zestawienia tabelaryczne klasyfikacji termiczno-opadowej poszczególnych lat. Uzupełnieniem jest zestawienie wybranych wskaźników – dodatkowych miar – obliczonych przy użyciu języka DAX. Należą do nich: wskaźnik nierównomierności opadów (Wn), czynnik deszczowy Langa (LAN), współczynnik hydrotermiczny Sielianinowa (SIEL), wskaźniki fitoklimatyczne – wskaźnik suchości klimatu De Martonne ( $AI_{dm}$ ), wskaźnik suchości leśnej (FAI) i wskaźnik suchości siedliska Vogel-Danielsa (HAI).

- Hurtownia tematyczna - *Opad organiczny*. Hurtownia zawiera informacje o masie opadu organicznego z podziałem na frakcje (dane miesięczne) oraz roczne stężenia pierwiastków w całej masie opadu organicznego. Hurtownia została zaimplementowana w oparciu o schemat konstelacji faktów. Zaprojektowany kokpit analityczny pozwala na analizę struktury rocznej opadu organicznego umożliwiając jednocześnie podgląd danych źródłowych (miesięcznych) – funkcja *drill down*. Kokpit prezentuje również za pomocą wykresu pudełkowego podstawowe statystyki masy opadu organicznego dla wielolecia. Ich uzupełnieniem są zestawy kart ilustrujące udział procentowy poszczególnych frakcji w masie opadu organicznego. Za pomocą języka DAX obliczono miary prezentujące wieloletnie statystyki dla stężeń pierwiastków oraz ich ładunków docierających z opadem organicznym. Kokpit jest w pełni interaktywny. Przykładowo wybór określonego drzewostanu skutkuje selekcją stacji bazowych – widoczne są wyłącznie te stacje, gdzie występuje wybrany drzewostan.
- Hurtownia tematyczna – *Hydro*. Podstawowym przeznaczeniem hurtowni jest wykorzystanie posiadanych serii pomiarowych w ocenie ustroju rzeczno-zlewni badawczych. Schemat hurtowni (model płatkowo-gwiazdzysty) obejmuje jedną tabelę faktów, w której jako miary umieszczono dobowe przepływy wody oraz sumy dobowe opadów. Na ich podstawie wyliczono statystyki miesięczne, roczne i wieloletnie, oraz szereg wskaźników tematycznych. W ich skład wchodzi: przepływy charakterystyczne I i II stopnia, odpływ jednostkowy, warstwa i współczynnik odpływu. Dane hydrologiczne prezentowane są za pomocą dwóch zsynchronizowanych kokpitów analitycznych. Pierwszy z nich zawiera statystyki dla lat hydrologicznych i wielolecia. Wskazanie wybranego roku i aktywacja dedykowanego przycisku skutkują „przeniesieniem” do drugiego kokpitu z jednoczesnym zastosowaniem w tym kokpicie odpowiednich filtrów na wymiarach *Czas* i *Lokalizacja*. Podobnie jak pierwszy z kokpitów, ten również zawiera zestawienia tabelaryczne i graficzne parametrów hydrologicznych dla poszczególnych miesięcy w wybranym roku hydrologicznym z możliwością wizualizacji danych dobowych.
- Hurtownia tematyczna – *Transformacja składu chemicznego opadów w zbiorowiskach leśnych*. Podstawowym celem przygotowania hurtowni była ocena stopnia transformacji właściwości chemicznych opadów



atmosferycznych w drzewostanach o zróżnicowanym składzie gatunkowym, ze szczególnym wskazaniem na procesy kształtowania równowagi kwasowo-zasadowej. Schemat hurtowni (model płatkowo-gwiazdasty) obejmuje jedną tabelę faktów, w której jako miary umieszczono wartości rocznych stężeń masowych i gramorównoważnikowych głównych jonów oraz ich ładunki. Jako wymiary wykorzystano: *Lokalizację, Czas, Metadane serii zagregowanej rocznej, Pomiar, Medium* oraz *Właściwość obserwowaną*. Jako dodatkowe miary obliczono: wskaźnik wzbogacenia (ang. *enrichment ratio* ER), stosunek stężeń sodu do stężeń chlorków, pojemność zobojętniania kwasów (ang. *Acid Neutralizing Capacity*, ANC), wskaźnik udziału czynników kwasowych oraz wskaźniki neutralizacji. Dla oceny procesów wymywania pierwiastków z organów asymilacyjnych użyto modelu sklepienia koron drzew (ang. *canopy budget model*) (Van der Mass, Pape 1991, Draaijers i.in. 1997). W oparciu o tak wdrożoną hurtownię tematyczną stworzono dwa kokpity analityczne. Pierwszy z nich umożliwia w postaci graficznej ocenę roli zbiorowisk leśnych w kształtowaniu równowagi kwasowo-zasadowej opadów. Drugi prezentuje zagadnienia transformacji składu chemicznego opadów w ekosystemach leśnych z podkreśleniem procesów wymywania wybranych jonów z organów asymilacyjnych.

#### 4.1.5. Podsumowanie

Do najważniejszych osiągnięć rozprawy naukowej należy zaliczyć:

- **Opracowanie schematów aplikacyjnych definiujących zawartość i strukturę danych gromadzonych w bazie ZMŚP** w oparciu o normę ISO 19109 *Reguły schematów aplikacyjnych* (2009). W opracowaniu schematów aplikacyjnych posłużono językiem modelowania UML (diagram klas) oraz wykorzystano klasy pochodzące z schematów znormalizowanych: geometrii (PN-EN ISO 19107:2020-05), metadanych (PN-EN ISO 19115 2010) oraz obserwacji i pomiarów (PN-EN ISO 19156 2013). Diagram przypadków użycia pozwolił zilustrować najważniejsze grupy użytkowników systemu oraz dedykowane im funkcje systemu informatycznego. W modelowaniu dynamicznych aspektów systemu wykorzystano diagramy czynności.
- **Zaprojektowanie i wdrożenie systemu kontroli wyników pomiarów na poziomie bazy danych.** Komponent ten obejmował weryfikację formalną na poziomie stacji bazowych, weryfikację merytoryczną i weryfikację wartości wątpliwych po stronie serwera bazy danych oraz system oznaczania (flagowania) danych obarczonych nieznanym stopniem niepewności. W ramach weryfikacji merytorycznej wykorzystano: identyfikację wartości odstających, kontrolę bilansu jonowego i testu przewodności elektrolitycznej właściwej oraz zależności między parametrami pomiarowymi.

- **Zaprojektowanie i wdrożenie *Repozytorium danych pomiarowych i zagregowanych*.** Zasób ten obejmuje podstawowe statystyki obliczone dla różnych serii czasowych. Statystyki te są podstawą wyliczenia szeregu wskaźników tematycznych, ponadto są wykorzystywane w procesie kontroli danych jako wartości referencyjne. Dane zagregowane są również przekazywane do bazy danych programu ICP IM, ponadto służą wypełnieniu wymagań sprawozdawczych dyrektywy w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń powietrza (Dyrektywa NEC 2016). Są również składnikiem danych przestrzennych objętych dyrektywą INSPIRE.
- **Wdrożenie metadanych dla serii danych zagregowanych.** Dla obliczonych statystyk i wskaźników tematycznych przyporządkowywano zestaw informacji obejmujących m.in.: kompletność serii zagregowanej. Informacje te pełnią kluczową rolę w ocenie jakości obliczonych statystyk i wskaźników tematycznych.
- **Ukazanie możliwości wykorzystania systemów analityki biznesowej (BI) w analizie danych monitoringowych.** Dotychczas systemy BI były powszechnie stosowane w biznesie w ramach wspomagania podstawowych procesów biznesowych (Celińska, Lasek 2012). Opracowane w środowisku programu Power BI Desktop hurtownie tematyczne stanowią przykład jakie możliwości daje analiza wielowymiarowa danych monitoringowych. Systemy BI umożliwiają szybką i wieloaspektową ocenę stanu i tendencji rozwojowych monitorowanych geosystemów.
- **Zaprojektowanie kokpitów analitycznych.** Kokpit integruje różne elementy wizualne (tabele przestawne, wykresy, mierniki, mapy drzewa, kartogramy) pozwalając przeglądać wyniki pomiarów w oparciu o zdefiniowane kryteria, integrować dane pochodzące z różnych źródeł oraz je analizować. Kokpity są niezwykle przydatne w procesie wizualnej analizy danych, która należy do najprostszych i efektywnych metod kontroli wyników pomiarów. Dostęp do szerokiej gamy wizualizacji, integracja z bibliotekami statystycznymi oraz możliwość tworzenia zaawansowanych agregacji w języku DAX czyni z kokpitów analitycznych w środowisku Power BI zaawansowane narzędzie do eksploracji i prezentacji wyników monitoringu.

#### 4.2. Inne osiągnięcia

Obok głównego nurtu badawczego prowadziłem również badania dotyczące problematyki transformacji składu chemicznego opadów atmosferycznych w zbiorowiskach leśnych, zawartości węgla w drewnie sosny zwyczajnej oraz roli obszarów źródłiskowych w kształtowaniu chemizmu wód cieków źródłiskowych. Pełniąc funkcję sekretarza naukowego programu ZMŚP byłem odpowiedzialny za opracowanie rocznych oraz wieloletnich syntez *Stan, przemiany i funkcjonowanie geosystemów Polski*. Szczegółowy zakres pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych zamieszczono poniżej.

#### 4.2.1. Transformacja składu chemicznego opadów atmosferycznych w geosystemach leśnych.

Problematyką zmian składu chemicznego wód opadowych w geosystemach leśnych zajmowałem się już w trakcie realizacji pracy magisterskiej pt. *Uwarunkowania obiegu wody i pierwiastków chemicznych w ekosystemie leśnym na przykładzie powierzchni testowej w Wielkopolskim Parku Narodowym* pod kierunkiem prof. dr hab. Andrzeja Kostrzewskiego w latach 1991–1992. Badania prowadziłem w drzewostanie sosnowym na obszarze Wielkopolskiego Parku Narodowego.

Ważnym etapem w poznaniu zagadnień związanych z omawianą problematyką był staż w Ökologie-Zentrum der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, kierowanym przez prof. Ottona Fränzle, gdzie zapoznałem się z systemem pomiarowym oraz zakresem prowadzonych badań transformacji składu chemicznego opadów w lasach bukowych Bornhöved na powierzchni badawczej należącej do sieci pomiarowej programu ICP Forest. Badania transformacji składu chemicznego opadów atmosferycznych w geosystemach leśnych były realizowane w ramach projektu badawczego NCN nr N N305 337334 pt. *Wpływ intensywnej gospodarki leśnej na procesy zakwaszenia i ługowania gleb na obszarach o nieznacznej depozycji zanieczyszczeń atmosferycznych* oraz projektu NCN nr N N304 274340 pt. *Aktualny stan i funkcjonowanie środowiska przyrodniczego na wybranych obszarach Pomorza Zachodniego w warunkach zmian klimatu i narastającej antropopresji* i obejmowały poniższe zagadnienia:

- **Transformacja składu chemicznego opadów atmosferycznych w drzewostanach o odmiennym składzie gatunkowym.** Celem badań było porównanie stopnia transformacji opadów w dwóch drzewostanach o odmiennym składzie gatunkowym – drzewostanie sosnowym (powierzchnia badawcza Jezioro Czarne, zlewnia górnej Parsęty) oraz buczynie (powierzchnia badawcza Jezioro Gardno, Wyspa Wolin). W literaturze tematu przyjmuje się, że drzewostany iglaste efektywniej, w porównaniu do gatunków liściastych, wychwytyują zanieczyszczenia obecne w powietrzu (Herrmann i in. 2006, Kozłowski i in. 2012). Uzyskane wyniki wskazują jednak, że depozycja pod koronami buków zdecydowanie przekraczała wartości obserwowane pod koronami sosen. Jest to efekt dodatkowego dopływu jonów związany z występowaniem mgieł adwekcyjnych, które stanowią dodatkowy przychód wody i substancji rozpuszczonych.

Problematyka prezentowana w tym punkcie została opublikowana m.in. w artykule:

**Kruszyk R., Kostrzewski A., Tylkowski J., 2015 - Variability of throughfall and stemflow deposition in pine and beech stands (the Lake Czarne and Lake Gardno catchments).** Prace Geograficzne IGiGP UJ, 143: 85-102.  
MNIŚW: 14, Google Scholar: 9

- **Analiza funkcjonowania wybranych drzewostanów sosnowych będących pod wpływem różnokierunkowej antropopresji.** Obserwacje prowadzono na

dwóch powierzchniach badawczych – Malik położonej w południowo-zachodniej części Gór Świętokrzyskich na terenie tzw. Białego Zagłębia oraz Jezioro Czarne zlokalizowanej w zlewni górnej Parsęty (Pomorze Zachodnie). Badania te prowadziłem we współpracy z dr hab. Rafałem Kozłowskim z Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach i prof. dr hab. Stanisławem Małkiem z Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie. Celem badań było porównanie procesów zmian składu chemicznego opadów w drzewostanach sosnowych położonych na terenach, gdzie nie występują lokalne emisje, a obecne zanieczyszczenia są efektem dalekiego transportu (powierzchnia badawcza Jezioro Czarne) oraz na terenach koncentracji przemysłu cementowo-wapienniczego i związanej z tym lokalnej emisji związków alkalicznych (Malik). Dla obu powierzchni badawczych, w oparciu o przeprowadzoną analizę składowych głównych, wyróżniono komponent antropogeniczny. Dla Malika był on skorelowany z stężeniami jonów:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  oraz  $\text{Mg}^{2+}$  (przemysł cementowo-wapienniczy) natomiast dla powierzchni na Pomorzu Zachodnim z jonami:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  (daleki transport, rolnictwo). Zastosowany budżetowy model sklepienia koron (Van der Mass, Pape 1991, Draaiers i in. 1997) pozwolił na stwierdzenie, że w przypadku ładunku jonów potasu docierających do gleb z opadem podkoronowym na powierzchni Malik ponad 85,8%, a w przypadku powierzchni Czarne 73,8% pochodziło z procesu wymywania z organów asymilacyjnych, z największym nasileniem przypadającym na sezon wegetacyjny. Obecność pyłów o charakterze alkalicznym na powierzchni Malik powoduje wzrost zasadowości opadów przenikających przez korony drzew o prawie 1 jednostkę pH (opad na terenie otwartym: 4,98 – opad podkoronowy: 5,91). W przypadku drzewostanu na drugiej powierzchni pH opadu podkoronowego obniża się 0,23 jednostki (5,16 – 4,93). Wskaźniki neutralizacji związków kwasogennych ( $\text{Ca}^{2+}/\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$  i  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ ) potwierdzają znaczący udział rolnictwa (jony amonowe) w kształtowaniu równowagi kwasowo-zasadowej opadów w przypadku powierzchni Jezioro Czarne. Dla Malika taką rolę odgrywają jony  $\text{Ca}^{2+}$ .

Wyniki badań były prezentowane m.in. na następujących konferencjach:

Central European Conference ECOpole'16, Zakopane 05-08.10.2016 r, poster: Kozłowski R., **Kruszyk R.**, 2016. **Study on atmospheric deposition in two pine stands (West Pomerania, Świętokrzyskie Mountains).**

Hydro 2018. Hydrology in natural and anthropogenic environments. Ist International Scientific Conference 4–7 September 2018, Kraków, Poland, poster: Kozłowski R., **Kruszyk R.**, 2018. **Study on atmospheric deposition and canopy leaching in two pine stands (West Pomerania, Świętokrzyskie Mountains).**

Problematyka prezentowana w tym punkcie została opublikowana w artykułach:

**Kruszyk R., 2013. Changes in the physical properties of precipitation in pine stands in the area with a low degree of air pollution (Western Pomerania).** *Quaestiones Geographicae*, 27-37. DOI:10.2478/quageo-2013-0017

MNiSW: 9, WoS: 1, Scopus: 1, Google Scholar: 4

**Kozłowski R., Kruszyk R., 2016. Zróżnicowanie właściwości fizykochemicznych opadu podkoronowego w wybranych drzewostanach sosnowych na Pomorzu Zachodnim i w Górach Świętokrzyskich (Białe Zagłębie).** *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, 1, 1-12.

MNiSW: 6

**Kozłowski R., Kruszyk R., Małek S., 2020. The Effect of Environmental Conditions on Pollution Deposition and Canopy Leaching in Two Pine Stands (West Pomerania and Świętokrzyskie Mountains, Poland),** *Forests* 11(5), 535. doi:<https://doi.org/10.3390/f11050535>

IF5: 2,804, MNiSW: 100, WoS: 3, Scopus: 3, Google Scholar: 7

- **Transformacja składu chemicznego opadów atmosferycznych w drzewostanie sosnowym na obszarze zurbanizowanym.** Badania prowadzone są od 2016 roku w drzewostanie sosnowym, położonym na terenie miasta Poznania. Powierzchnia badawcza funkcjonuje w ramach sieci pomiarowej Stacji Bazowej ZMŚP Poznań–Morasko (13ZM). W literaturze tematu przyjmuje się, że gatunki iglaste powodują zakwaszenie wód opadowych (Kowalska i in. 2016). Tereny zurbanizowane w porównaniu do obszarów pozamiejskich charakteryzują się wyższym poziomem zanieczyszczenia powietrza, zwłaszcza pyłowych. Główną tego przyczyną jest m.in. oddziaływanie emitorów lokalnych czy emisje zanieczyszczeń pochodzących z komunikacji. Uzyskane wyniki potwierdziły, że w wyniku procesów splukiwania substancji osadzonych na powierzchni roślin oraz wymywania z organów asymilacyjnych przewodność elektrolityczna właściwa opadu podkoronowego była prawie trzykrotnie większa od notowanej na terenie otwartym. Notowane miesięczne pH opadu podkoronowego w latach 2016 – 2022 nie było niższe od wartości 5,68, czyli nie obserwowano opadów kwaśnych. Średnia ważona wartość pH dla tego okresu wyniosła 6,13 – wartość lekko podwyższona wg klasyfikacji Jansena (1988). Jest efekt wpływu obecnych w powietrzu zanieczyszczeń pyłowych. Dominującymi elementami w składzie chemicznym opadu podkoronowego są jony wapniowe oraz amonowe.

Problematyka prezentowana w tym punkcie została opublikowana w artykułach:

**Kruszyk R., Major M., Olejarczyk M., 2017. Transformacja właściwości fizykochemicznych wód opadowych w drzewostanie sosnowym na przykładzie małej zlewni zurbanizowanej (Różany Strumień, Poznań).** W: M. Kejna M., J. Uscka-Kowalkowska (red.). *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie środowiska przyrodniczego*

Polski w warunkach globalnych zmian klimatu. Biblioteka Monitoringu Środowiska, vol. XXXI: 217-222. ISBN 978-83-231-3826-6

**Kruszyk R., Major M., 2018: Dopływ wybranych pierwiastków z opadem podkoronowym i organicznym do gleby w drzewostanie sosnowym na przykładzie małej zlewni zurbanizowanej Różanego Strumienia w Poznaniu,** Monitoring Środowiska Przyrodniczego, vol. XX, s. 51-60

**Kruszyk R., Chudzińska M., 2020. Zmiany składu chemicznego opadów atmosferycznych w układzie teren otwarty-las na obszarze miasta Poznania (zlewnia Różanego Strumienia).** W: A. Olszewski, A. Andrzejewska (red.). Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Aktualny stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoeosystemów jako cecha wskaźnikowa zmian klimatu, Biblioteka Monitoringu Środowiska, vol. XXXIV Wyd. Naukowe Bogucki, 197-210, ISBN 978-83-7986-325-9.

#### **4.2.2. Udział węgla w drewnie sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris L.*) w warunkach siedliska boru świeżego**

W projekcie podjęto próbę określenia związku pomiędzy prostymi do uchwycenia cechami biometrycznymi drzew a akumulacją węgla w ksylemie sosen zwyczajnych. Do tego celu wybrano 110 letni drzewostan sosnowy wyrosły w warunkach siedliska boru świeżego. Projekt był realizowany pod kierunkiem prof. dr hab. Mariusza Bembenka z Katedry Użytkowania Lasu Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Badania przeprowadzono na powierzchni testowej Jezioro Czarne, położonej w zlewni górnej Parsęty (Pomorze Zachodnie). Badania były finansowane w ramach grantu międzyuczelnianego we współpracy z Uniwersytetem Przyrodniczym w Poznaniu oraz projektu badawczego **NCN nr N N305 337334** pt. *Wpływ intensywnej gospodarki leśnej na procesy zakwaszenia i ługowania gleb na obszarach o nieznacznej depozycji zanieczyszczeń atmosferycznych*. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zawartość węgla w tkance drzewnej obniża się wraz ze wzrostem pierśnicy drzewa. Między drewnem młodocianym a dojrzałym stwierdzono różnicę w zawartości węgla wynoszącą 1,22%, przy czym większym udziałem tego pierwiastka cechowało się drewno juwenilne. Mniejszym udziałem C cechowało się drewno drzew grubszych i wyższych z bardziej rozbudowanymi koronami, o wyższej biomasy suchych igieł. Stwierdzono, że predykcja ilości węgla w tkance drzewnej możliwa jest przy wykorzystaniu stosunkowo łatwych do pomiaru parametrów drzew i drzewostanów tj. pierśnicy i wysokości drzewa oraz długości i szerokości korony.

Problematyka prezentowana w tym punkcie została opublikowana w artykule:

Bembenek M., Giefing F. D., Jelonek T., Kraszewski Zb, **Kruszyk R.**, Tomczak A., Woszczyk M., Mederski S. P., 2015. **Carbon content in juvenile and mature wood of scots pine (*Pinus sylvestris L.*)**. *Baltic Forestry* 21(2), 279-284.

IF5: 0,563, MNiSW: 15, WoS: 5, Scopus: 5, Google Scholar: 6

#### 4.2.3. Rola obszarów źródłiskowych w kształtowaniu chemizmu wód cieków źródłiskowych na obszarach młodoglacjalnych Pomorza Zachodniego

W latach 2012 – 2013 byłem członkiem zespołu badawczego pod kierunkiem dr hab. Małgorzaty Mazurek, który realizował badania mające na celu poznanie roli obszarów źródłiskowych w kształtowaniu chemizmu wód cieków źródłiskowych na obszarach młodoglacjalnych. Badania były współfinansowane w ramach projektu **NCN nr N N304 274340** pt. *Aktualny stan i funkcjonowanie środowiska przyrodniczego na wybranych obszarach Pomorza Zachodniego w warunkach zmian klimatu i narastającej antropopresji*. Podstawą analizy były przeprowadzone okresowe kartowania hydrochemiczne na terenie obszaru źródłiskowego Żarnowo położonego na południowym zboczu doliny Parsęty (Pomorze Zachodnie, Pojezierze Drawskie). Próbkę wody pobierano ze stanowisk zlokalizowanych w miejscach wypływu wód podziemnych w strefie podzboczowej badanych nisz, w strefie hyporeicznej oraz na strugach w poszczególnych niszach i na cieku odwadniającym cały badany obszar źródłiskowy. Przeprowadzone badania hydrochemiczne wskazują, że obszary źródłiskowe zasilane są z podsystemu stokowego przez wody o różnym składzie chemicznym, które mieszają się w obrębie nisz. Charakterystyczne dla osadów czwartorzędowych zróżnicowanie facjalne osadów wpływa na kierunek i czas przepływu wód podziemnych w poziomach wodonośnych. W efekcie wypływy wód podziemnych położone w sąsiadujących ze sobą niszach reprezentują odmienne właściwości fizykochemiczne odzwierciedlające warunki przepływu wód podziemnych. Chemizm wód wypływających z badanego zespołu nisz odzwierciedla również zmiany jakim one podlegają w strefie hyporeicznej oraz podczas organizacji odpływu.

Wyniki przeprowadzonych badań składu chemicznego wód występujących w niszach źródłiskowych Żarnowo pozwalają stwierdzić, że:

- Jony pochodzenia geogenicznego (związane ze składem mineralogiczno-petrograficznym osadów), takie jak:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  charakteryzują się małą zmiennością czasową, jak i zróżnicowaniem przestrzennym w obrębie poszczególnych nisz źródłiskowych.
- Czynniki antropogeniczne reprezentowane jest przez siarczany oraz chlorki, których obecność należy łączyć prawdopodobnie z dopływem zanieczyszczeń bytowych i/lub zanieczyszczeniami z terenów użytkowanych rolniczo położonymi w zlewni „zerowego rzędu”. Najwyższe stężenia tych jonów obserwowano w miejscach eksfiltracji wód podziemnych w strefach podzboczowych badanych nisz. Są one dobrymi migrantami i mogą być transportowane wraz z wodami podziemnymi aż do regionalnej bazy drenażu jaką stanowi dolina Parsęty.
- Azotany, obok żelaza i manganu, należą do składników o największym w układzie poziomym, gradiencie stężeń w badanych niszach źródłiskowych. Zawartość azotanów w strefie hyporeicznej, na skutek procesów biogeochemicznych związanych z obecnością deficytów tlenowych i zmianą

stopnia utlenienia azotu w wodach interstycjalnych (czynniki redoks), ulega znacznej redukcji.

- Wody płynące w cieku 1 rzędu drenującego nisze źródłiskowe odzwierciedlają skład chemiczny przekształcony w stosunku do alimentujących wód podziemnych. Transformacja ta dotyczy zwłaszcza stężeń metali ciężkich i związków biogenych, przede wszystkim azotanów.

Wyniki badań były prezentowane m.in. na następujących konferencjach:

II Krajowym Kongresie Hydrologicznym, Warszawa, 17-19 września 2014 – referat: Mazurek M., **Kruszyk R.**, Szpikowska G., **Transformacja składu chemicznego wód podziemnych w niszach źródłiskowych na obszarach młodoglacjalnych (dorzecze Parsęty).**

European Geosciences Union, Wiedeń, Austria, 18-22.04.2016 – poster: Mazurek M., **Kruszyk R.**, Szpikowska G., **Formation of the chemical composition of water in channel head in postglacial areas (West Pomerania, Poland).**

Second Workshop of the IAG Working Group on Denudation and Environmental Changes in Different Morphoclimatic Zones (DENUCHANGE). Calape, Spain, 12-14 September 2019 – referat: Mazurek M., **Kruszyk R.**, Szpikowska G., **Hydrochemical changes of water in channel head of headwater stream in the lowland area (West Pomerania, Poland).**

Problematyka prezentowana w tym punkcie została opublikowana m.in. w następujących artykułach:

Mazurek M., Kruszyk R., Szpikowska G., 2015. **Role of channel heads in determining the water chemistry of 1st-order streams in the post-glacial areas of West Pomerania.** Prace Geograficzne IGiGP UJ, 143: 47-64.

MNiSW: 14, Google Scholar: 4.

Mazurek M., Kruszyk R., Szpikowska G., 2020. **Source-to-mainstream: Hydrochemical water changes in a channel head in the young glacial area (Pomeranian Lakeland, Poland).** Geomorphology, 371. doi: 10.1016/j.geomorph.2020.107445

IF5: 4,623, MNiSW: 100, WoS: 4, Scopus: 4, Google Scholar: 5

#### **4.2.4. Opracowania merytoryczne w ramach Programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP)**

Program ZMŚP jest podsystemem Monitoringu przyrody funkcjonującego w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMS) (PMS 2020). Celem ZMŚP jest dostarczenie danych do określania aktualnego stanu środowiska oraz – w oparciu o wieloletnie cykle obserwacyjne – przedstawienie krótko i długookresowych przemian środowiska w warunkach zmian klimatu i narastającej antropopresji (Kostrzewski 1993, Kostrzewski i in. 1995, PMS 2020, Kostrzewski i in. 2021). Program ZMŚP w zakresie organizacji systemu pomiarowego i metod badań nawiązuje do programu europejskiego Integrated Monitoring (International Co-operative Programme on Integrated Monitoring



on Air Pollution Effects – ICP IM) (International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems 2022).

W ramach wykonywania umów *Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP) – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie badań* zawartych pomiędzy Głównym Inspektorem Ochrony Środowiska a Uniwersytetem im. A. Mickiewicza w Poznaniu – Centrum Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, byłem odpowiedzialny za:

- **Opracowanie rocznych syntez Stan geokostemów Polski w okresie od 2003 do 2006 roku oraz od 2009 do 2010 roku.** Raport pod tytułem „Stan geokosystemów Polski” stanowi roczne sprawozdanie z realizacji badań w ramach programu ZMŚP na stacjach bazowych. Opracowane syntezы były również prezentowane na sympozjach ZMŚP. Raporty są dostępne pod adresem internetowym: <https://centrumzmsp.web.amu.edu.pl/raporty/>
- **Przygotowanie (redaktor tomu) syntezy opartej na wieloletnich seriach pomiarowych Stan, przemiany i funkcjonowanie geokosystemów Polski w latach 1994–2004 na podstawie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego.** Byłem również współautorem artykułu pod tytułem „Stan i przemiany środowiska przyrodniczego wybranych geokosystemów Polski w latach 1994–2015” (2018) zamieszczonego w tomie *Stan i przemiany środowiska przyrodniczego geokosystemów Polski w latach 1994–2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego* (redakcja A. Kostrzewski, M. Majewski).
- **Opracowanie rocznych raportów z realizacji wybranych programów pomiarowych ZMŚP.** Od roku 1996 jestem odpowiedzialny za realizację programów: Chemizm opadu podkoronowego (C2), Chemizm spływu po pniach (C3), Roztwory glebowe (F1) oraz Opad organiczny (G2) w Stacji Bazowej Parsęta (06ZM) natomiast od roku 2016 odpowiadam również za prowadzenie programów: Chemizm opadu podkoronowego (C2), Chemizm spływu po pniach (C3), Opad organiczny (G2) i Uszkodzenia drzew i drzewostanów (K1) w Stacji Bazowej Poznań-Morasko (13ZM).

Poniżej zamieszczono pozycje literatury wykorzystanej w opracowaniu punktu 4.

Literatura:

- Celińska D., Lasek M., 2012. Jaki system Business Intelligence wybrać i zastosować? A może open source? *Informatyka Ekonomiczna* 4(26), 20–37.
- Chądzyńska-Krasowska A., Mrówka-Matejewska E., Jankowski-Lorek M., 2013. Podstawy hurtowni danych. Ćwiczenia w środowisku SQL Server 2008 R2 Business Intelligence Development Studio. Wyd. Polsko-Japońskiej Wyższej Szkoły Technik Komputerowych, t. 63.
- Chojka A., 2012. Wprowadzenie do modelowania informacji przestrzennej - metodyka MDA i diagramy klas UML. *Roczniki Geomatyki* t. X, 35–42.
- Chojka A., Parzyński Z., 2013. Umlologia w praktyce. *Acta Sci. Pol. Geodesia et Descriptio Terrarum* 12(3), 5–16.
- Clarke N., Žilindra D., Ulrich E., Mosello R., Derome J., Derome K., König N., Lövblad G., Draaijers G.P.J., Hansen K., Thimonier A., Waldner P., Verstraeten A., 2020. Part XIV: Sampling and Analysis of Deposition. Version 2020-1. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.): *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air*

- pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 34 p. + Annex [<http://www.icpforests.org/Manual.htm>].
- Codd E.F., 1970. A relational model of data for large shared data banks. *Communications of the Association of Computing Machinery* 13(6), 377–387.
- Connolly T, Begg C., 2004. Systemy baz danych. Praktyczne metody projektowania, implementacji i zarządzania. Wyd. RM, Warszawa.
- Degórska A., Żyfka-Zagrodzińska E., 2021. Zapewnienie jakości danych. W: A. Kostrzewski, M. Majewski (red.), *Zintegrowany Monitoring, Organizacja, system pomiarowy, metody badań, Wytyczne do realizacji*. Biblioteka Monitoringu Środ., Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Warszawa: 344-354.
- Draaiers G.P.J., Erisman J.W., van Leuven N.F.M., Romer F.G., Te Winkel B.H., Veltkamp A.C., Vermeulen A.T., Wyers G.P., 1997. The impact of canopy exchange on differences observed between atmospheric deposition and throughfall fluxes. *Atmos. Environ.* 31, 387–397. [http://doi.org/10.1016/S1352-2310\(96\)00164-1](http://doi.org/10.1016/S1352-2310(96)00164-1).
- Dyrektywa 2007/2/WE Parlamentu Europejskiego i rady z dnia 14 marca 2007 r. ustanawiająca infrastrukturę informacji przestrzennej w Wspólnocie Europejskiej (INSPIRE). Dz.U. L 108 z 25 kwietnia 2007 r.
- Dyrektywa NEC 2016. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2016/2284 z dnia 14 grudnia 2016 r. w sprawie redukcji krajowych emisji niektórych rodzajów zanieczyszczeń atmosferycznych, zmiany dyrektywy 2003/35/WE oraz uchylenia dyrektywy 2001/81/WE.
- EMEP Manual for sampling and chemical analysis EMEP/CCC-Report 1/95. Revised 2001, (<https://projects.nilu.no/ccc/manual>).
- GAW 2004. Manual for the GAW Precipitation Chemistry Programme. Guidelines, Data Quality Objectives and Standard Operating Procedures. Nr 160.
- Herrmann M., Pust J., Pott R., 2006, The chemical composition of throughfall beneath oak, birch and pine canopies in Northwest Germany, *Plant Ecology*, 184, 273-285.
- International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems (2022). Manual for Integrated Monitoring. Edition 7. The Swedish University of Agricultural Sciences.
- Jansen W., Block A., Knaack J., 1988: Acid rain. History, generation, results . *Aura* 4: 18–19.
- Jezierski J., Wojciechowski A., 1994. Komputerowy system wspomagania monitoringu środowiska przyrodniczego. Maszynopis. Przedsiębiorstwo Informatyczne AdvaCom. Poznań.
- Kostrzewski A., 1993. Geoekosystem obszarów nizinnych. Koncepcja metodologiczna. W: A. Kostrzewski (red.), *Geoekosystem obszarów nizinnych*. PAN, Komitet Naukowy przy Prezydium PAN „Człowiek i Środowisko”. *Zeszyty Naukowe* 6, 11–18.
- Kostrzewski A., Majewski M., Szpikowski J., 2021. Założenia metodologiczne i metodyczne Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. W: A. Kostrzewski, M. Majewski (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Organizacja, system pomiarowy, metody badań. Wytyczne do realizacji*, Biblioteka Monitoringu Środ., Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Warszawa: 21–37.
- Kostrzewski A., Mazurek Mł., Stach A., 1995. *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji i system pomiarowy, wybrane metody badań*. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa.
- Kowalska A., Astel A., Boczoń A., Polkowska Ż., 2016: Atmospheric deposition in coniferous and deciduous tree stands in Poland. *Atmos Environ.* 133: 145-155. DOI:10.1016/j.atmosenv.2016.03.033
- Kowalewski M., Czyczerski M., 2018. Kokpity menadżerskie i Business Intelligence w zarządzaniu dokonaniem przedsiębiorstwa. *Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia*, nr 4, cz.1, 1–19. DOI: 10.18276/frfu.2018.94/
- Kozłowski R., Józwiak M., Józwiak M., Bochenek W., 2012, Ocena wielkości wymywania jonów  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  i  $Mg^{2+}$  w wybranych drzewostanach w warunkach kwaśnej depozycji, *Sylvan*, 156(8), 607-615.
- Kruszyk R., 2021. Zasady gromadzenia i przekazywania danych do Centralnej Bazy Danych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. W: A. Kostrzewski, M. Majewski (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Organizacja, system pomiarowy, metody badań. Wytyczne do realizacji*, Biblioteka Monitoringu Środ., Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Warszawa: 355-374.
- Kruszyk R., Wojciechowski M., 2014. System informatyczny Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – architektura i funkcje systemu. *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, Vol. 16, 11–20.
- Kukliński M., 2009. Budowa i funkcjonowanie hurtowni danych w kontekście efektywności podejmowania decyzji gospodarczych. *Equilibrium* 1 (2), s. 171–180.
- McGuire M., Gangopadhyay A., Komlodi A., Swan Ch., 2008. A user-centered design for a spatial data warehouse for data exploration in environmental research. *Ecological Informatics* (3), 273–285.

- Nieminen T.M., De Vos B., Cools N., König N., Fischer R., Iost S., Meesenburg H., Nicolas M., O’Dea P., Cecchini G., Ferretti M., De La Cruz A., Derome K., Lindroos A.J., Graf, Pannatier E., 2016. Part XI: Soil Solution Collection and Analysis. Version 2016-2. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, [<http://www.icp-forests.org/manual.htm>].
- Pachelski W., Chojka A., Zwirowicz-Rutkowska A., 2012. Podstawy budowy infrastruktury informacji przestrzennej. Wyd. Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie.
- Pieprzyk M., 2011. Microsoft Excel jako interfejs do baz danych. Praca magisterska, Politechnika Poznańska.
- Pilone D., Pitman N., 2007. UML 2.0. Almanach. Wyd. Helion, Gliwice.
- PMŚ 2020. Strategiczny Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2020-2025.
- Pociask-Karteczka 2003. Zlewnia. Właściwości i procesy. Wyd. Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- PN-EN ISO 19107:2020-05, Informacja geograficzna - Schemat przestrzenny. Polska Norma. Polski Komitet Normalizacyjny.
- PN-EN ISO 19109 2009. Informacja geograficzna. Reguły schematów aplikacyjnych. Polska Norma. Polski Komitet Normalizacyjny.
- PN-EN ISO 19115 2010. Informacja geograficzna. Metadane. Polska Norma. Polski Komitet Normalizacyjny.
- PN-EN ISO 19156 2013. Informacja geograficzna. Obserwacje i pomiary. Polska Norma. Polski Komitet Normalizacyjny.
- Schaub M., Calatayud V., Ferretti M., Pitar D., Brunialti G., Lövbld G., Krause G., Sanz M.J., 2020. Part XV: Monitoring of Air Quality. Version 2020-1. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 11 p. + Annex [<http://www.icp-forests.org/manual.htm>]. ISBN: 978-3-86576-162-0.
- Soczewski P., 2019. Procedura harmonizacji danych przestrzennych INSPIRE Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Maszynopis, s. 97.
- Stach A., 1995. Zasady przygotowania danych pomiarowych przez Stacje Bazowe ZMŚP. W: A. Kostrzewski (red.). ZMŚP, propozycje programowe, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Stach A., Kruszyk R., 1996. Stan aktualny i plany rozwoju Centralnej Bazy Danych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. W: VII Ogólnopolskie Sympozjum ZMŚP – Toruń, 19–21.09.1996. Funkcjonowanie i monitoring geoeosystemów z uwzględnieniem lokalnych problemów ekologicznych, 71–72.
- Todman Ch., 2011. Projektowanie hurtowni danych. Wspomaganie zarządzania relacjami z klientem. Wyd. Helion, Gliwice, ss.292.
- Ukonmaanaho, L., Pitman R., Bastrup-Birk A., Breda N., Rautio P., 2020. Part XIII: Sampling and Analysis of Litterfall. Version 2020-1. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute for Forests Ecosystems, Eberswalde, Germany, 18 p. + Annex [<http://www.icp-forests.org/manual.htm>].
- Van der Mass M.P., Pape Th., 1991. Hydrochemistry of two Douglas fir ecosystems and a heather ecosystem in the Veluwe the Netherlands. RIVM report no. 102.1.01. Agricultural University of Weningen, The Netherlands.
- Wojciechowski M., 1999. Komputerowy system wspomaganie monitoringu środowiska przyrodniczego. Poznań, maszynopis.
- Ziuziański P., Furmankiewicz M., 2015. Rola kokpitu menadżerskiego w procesie podejmowania decyzji. Zesz. Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Organizacja i Zarządzanie, z 77, 311-321
- Zwirowicz-Rutkowska A., 2012. Zastosowanie metodyki MDA - wybrane zagadnienia transformacji schematów aplikacyjnych UML do struktur relacyjnych baz danych. Roczniki Geomatyki t. X, z.1(51), 95–106.
- Zwoliński Zb., 1993. Projekt systemu informatycznego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. W: A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Wybrane problemy. Biblioteka Monitoringu Środ., Warszawa: 101–109.

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

- Staż w Ökologie-Zentrum der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 8-15 VIII 1999, prof. Otto Fränze – w ramach stażu zostały przedstawione podstawowe założenia projektu badań ekosystemów lasów bukowych Bornhöved w oparciu o stałe powierzchnie badawcze w ramach programu ICP Forest. Badania te obejmowały monitoring: meteorologiczny, chemizmu opadów w ekosystemie leśnym, roztworów glebowych oraz gleb. Doświadczenia zebrane podczas stażu zostały wykorzystane w organizacji systemu pomiarowego powierzchni badawczej Jezioro Czarne.
- Współpraca z programem Integrated Monitoring (ICP IM). Aktualnie program ICP IM koordynowany jest przez Swedish University of Agricultural Sciences (SLU) z siedzibą w Uppsali. ICP IM jest interdyscyplinarnym programem monitoringu działającym w celu oceny i prognozowania zmian w ekosystemach lądowych i wodnych pod wpływem zanieczyszczeń powietrza oraz zmian klimatu, wynikających z zanieczyszczenia powietrza (International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems 2022). Program wspomaga realizację Konwencji w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości (International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems 2022). Sieć pomiarowa ICP IM obejmuje 50 stacji pomiarowych zlokalizowanych w 17 krajach (od roku 2016 do sieci zostały włączone stacje ZMŚP). Mój udział w programie ICP IM obejmuje harmonizację danych pomiarowych ZMŚP oraz ich transfer do Centrum Programowego. Przekazywane dane są wykorzystane m.in. w opracowaniu syntez obejmujących długookresowe trendy w odpływie azotu ze zlewni rzecznych monitorowanych w ramach ICP IM. Zharmonizowane dane pomiarowe ZMŚP są wykorzystywane także w rocznych raportach ICP IM (*27th Annual Report 2018 i 29th Annual Report 2020 Convention on Long-range Transboundary Air Pollution International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems Sirpa Kleemola and Martin Forsius eds.* ) oraz publikacjach naukowych Vuorenmaa, J i in. 2018. *Long-term changes (1990–2015) in the atmospheric deposition and runoff water chemistry of sulphate, inorganic nitrogen and acidity for forested catchments in Europe in relation to changes in emissions and hydrometeorological conditions.* Science of the Total Environment, 625:1129–1145. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.245>.

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

**6.1. Działalność dydaktyczna.**

Moja działalność dydaktyczna obejmowała:

- **Prowadzenie zajęć na kierunkach:** Geografia (specjalności: Geoinformacja, Kształtowanie środowiska przyrodniczego, Ewolucja środowiska w czwartorzędzie, Geoekologia, Hydrologia, meteorologia i klimatologia,

Ekologia miasta), Turystyka i rekreacja, Geoinformacja inżynierska na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych oraz Ochrona środowiska na Wydziale Biologii. Ponadto prowadziłem zajęcia na studiach podyplomowych: Przyroda, Monitoring środowiska przyrodniczego oraz Geoinformacja. W poszczególnych latach prowadziłem między 120 a 762 godzin. Prowadzone zajęcia obejmowały następujące przedmioty:

- Dydaktyka geografii, Metodyka geografii.
- Systemy informacji geograficznej, Systemy informacji geograficznej – zastosowania, Systemy informacji geograficznej w turystyce, Źródła danych przestrzennych, Geoinformację, Kartografia i przestrzenne systemy informacyjne, Zarządzanie projektami i systemami geoinformacyjnymi, Metadane infrastruktury informacji przestrzennej, Infrastruktura informacji przestrzennej.
- Bazy danych i podstawy programowania, Systemy baz danych, Administracja bazami danych, Systemy baz danych w monitoringu środowiska przyrodniczego.
- Obieg energii i materii – uwarunkowania naturalne i antropogeniczne, Zagrożenia i ochrona środowiska abiotycznego, Migracja pierwiastków w epigeosferze, Geografia fizyczna, Geoekologia, Monitoring środowiska przyrodniczego, Geochemia środowiska i ekotoksykologia, Fizyka i chemia Ziemi, Geochemia krajobrazu.
- Seminarium licencjackie, Laboratorium licencjackie, Pracownie magisterską.
- **Sprawowanie funkcji promotora i recenzenta praca licencjackich i inżynierskich** na kierunkach: Geografia, Geografia specjalność Geoinformacja oraz Geoinformacja inżynierska.

Byłem promotorem 21 oraz recenzentem 63 prac licencjackich i inżynierskich.
- **Podnoszenie kompetencji dydaktycznych.** Uczestniczyłem w następujących szkoleniach, warsztatach i kursach:
  - Geograficzne systemy informacji w monitoringu środowiska, 19 – 24 listopad 1996, Politechnika Gdańska.
  - Udział w Warsztatach praktycznego stosowania zapisów dyrektywy INSPIRE „Zadania służby geodezyjnej i kartograficznej związane z implementacją dyrektywy INSPIRE” w dniach 28 kwietnia oraz 12 – 13 maja 2009 roku w Poznaniu.
  - Udział w szkoleniu „Analiza i interpretacja danych hydrogeochemicznych z wykorzystaniem programu AquaChem”, Kraków 15 listopada 2011 roku.
  - Zdalny kurs pt. Podstawy e-learningu, zrealizowany w ramach projektu „UAM: Unikatowy Absolwent = Możliwości. Wzrost potencjału

dydaktycznego Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza poprzez proinnowacyjne kształcenie w jęz. angielskim, interdyscyplinarność, e-learning, inwestycje w kadry”. Kurs był realizowany w dniach 5 listopada – 9 grudnia 2012.

- Wdrożenie wymagań dyrektywy INSPIRE /Dostosowanie zasobów danych przestrzennych PMS do wymagań dyrektywy INSPIRE – etap I, 23 – 26 czerwca 2014 roku, Instytut Systemów Przestrzennych i Katastralnych S.A, Katowice.
- Udział w szkoleniu Zaawansowany SQL, programowanie w PL/SQL organizowanym przez firmę JSystems w Warszawie w dniach 19 – 23 październik 2015 roku.
- Administracja bazami danych PostgreSQL w dniach 16 – 18 maja 2016 roku organizowanym przez firmę JSystems w Warszawie.
- Mapy internetowe – prezentacja treści kartograficznych w postaci interaktywnych aplikacji, 18 – 22 czerwca 2018 roku, projekt Zintegrowane Centrum Podnoszenia Kompetencji (POWR.03.04.00-00-D107/16).
- Przestrzenne rozszerzenia baz danych (PostGIS) dla początkujących, 25–29 czerwca 2018 roku, projekt Zintegrowane Centrum Podnoszenia Kompetencji (POWR.03.04.00-00-D107/16).
- Data Mining w środowisku programistycznym R, 14 – 20 września 2017 roku, projekt Zintegrowane Centrum Podnoszenia Kompetencji (POWR.03.04.00-00-D107/16).
- Statystyka w środowisku programistycznym R, listopad – grudzień 2017 roku, projekt Zintegrowane Centrum Podnoszenia Kompetencji (POWR.03.04.00-00-D107/16).
- Administracja Bazami Danych PostgreSQL z elementami HA, optymalizacji i replikacji organizowanym przez firmę JSystems w Warszawie w dniach 31 lipiec – 3 sierpień 2017 roku.
- Tuning baz danych i SQL w PostgreSQL, szkolenie w terminie 31 sierpnia – 1 września 2020 roku organizowanym przez firmę JSystems.
- Programowanie w JavaScript kurs w terminie 14 – 12 grudzień 2020 organizowanym przez firmę JSystems.
- Analiza Power BI - DAX + M organizowanym przez firmę JSystems w terminie 13–15 czerwca 2022 roku.
- Zaawansowany SQL i programowanie baz danych PostgreSQL w języku PL/pgSQL organizowanym przez firmę JSystems w terminie 13–17 listopada 2023 roku.

- **Prowadzenie kursów i szkoleń.**
  - Przeprowadzenie kursu Bazy danych i SQL dla początkujących w ramach projektu Zintegrowane Centrum Podnoszenia Kompetencji (POWR.03.04.00-00-D107/16) w terminie 25–28 września 2017 roku.
  - Przeprowadzenie szkolenia *Kontrola danych na poziomie bazy ZMŚP* w ramach XXV Szkoły ZMŚP w Toruniu, 16 – 18 czerwiec 2019 roku.
  - Współprowadzenie szkolenia *Zapewnienie i kontrola jakości danych* w ramach XXVI Szkoły ZMŚP w Kielcach (on-line), 22 – 23 października 2020 roku.

## 6.2. Działalność organizacyjna.

Moja działalność organizacyjna obejmowała:

- Członek Komisji Rekrutacyjnej przy WNGiG na kierunku Geografia, rok 1997.
- Opieka nad praktykami pedagogicznymi na kierunku Geografia w latach 1997 – 2001.
- Sprawowanie funkcji opiekuna roku dla Geoinformacji (studia inżynierskie i magisterskie w latach: 2015 – 2020).
- Udział w pracy komisji dydaktycznej do spraw kierunku Geografia, specjalność Geoekologia w zakresie ułożenia programu studiów (rok akademicki 2013/2014, 2014/2015).
- Byłem odpowiedzialny za przygotowanie umów do NFOŚiGW pt. *Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie pomiarów* w latach 2004 – 2005 (numer umowy 31/2004/F) oraz 2009 – 2011 (18/2009/UAM) odpowiednio na kwoty: 1 229 000 zł i 2 420 000 zł.
- Członek Rady Instytutu Geoekologii i Geoinformacji (roczna kadencja).
- Członek Wydziałowej Komisji ds. Dorobku Naukowego (roczna kadencja).
- Członek Komitetu Okręgowego Olimpiady Geograficznej w ramach edycji XXII – XXVI (rok szkolny od 1995/1996 do 1999/2000).
- Przygotowanie i złożenie wniosku Studium podyplomowe Monitoring Środowiska Przyrodniczego w ramach Programu Wiedza Dla Eksperta Program Operacyjny Kapitał Ludzki (POKL.04.01.01-00-143/10-00), okres realizacji 2010 – 2013.
- Kierownik Studiów podyplomowych Monitoring Środowiska Przyrodniczego realizowanych w ramach projektu Wiedza dla Eksperta POKL.04.01.01-00-143/10-00 w roku akademickim 2011/2012 i 2012/2013.

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

- **Organizacja systemu pomiarowego powierzchni badawczej Jezioro Czarne** położonej w zlewni górnej Parsęty (Pomorze Zachodnie). Obserwacje prowadzone są tam od 1996 roku do chwili obecnej. Powierzchnia badawcza została włączona do sieci pomiarowej programu ZMŚP w ramach Stacji Bazowej Parsęta (06ZM). System pomiarowy obejmuje: stanowisko monitoringu opadu podkoronowego (identyfikator ZMŚP 06ZM-008-C2), spływu po pniach drzew (06ZM-080-C3), opadu organicznego (06ZM-041-G2) oraz roztworów glebowych (06ZM-042-F1). Od 2016 roku wymienione stanowiska pomiarowe zostały włączone do sieci pomiarowej międzynarodowego programu ICP IM.
- **Organizacja systemu pomiarowego dla Stacji Bazowej Poznań-Morasko (13ZM)** w ramach programów pomiarowych ZMŚP: Chemizm opadu podkoronowego (identyfikator stanowiska: 13ZM-006-C2), Chemizm spływu po pniach drzew (13ZM-006-C3) i Chemizm opadu organicznego (13ZM-006-G2). Obserwacje prowadzone są od 2016 roku do chwili obecnej. W roku 2023 wymienione stanowiska zostały włączone do sieci pomiarowej programu ICP IM.
- **Administracja Centralną Bazą Danych programu ZMŚP.** Zadanie to było realizowanych w ramach umów pt. *Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie pomiarów* o numerach: JG 83/2001, JG 16/2002, 3/2003/F, 31/2004/F, 51/2006/F, 18/2009/UAM, 35/2012/F, 18/2015/F, 19/2018/F, DM/13/2020/F, GIOŚ/ZP/179/2022/DMS/NFOŚ zawartych pomiędzy Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska w Warszawie a Uniwersytetem im. A. Mickiewicza w Poznaniu. W ramach wymienionych umów byłem odpowiedzialny za realizację zadania pt. *Prowadzenie bazy danych ZMŚP oraz archiwizacja danych pomiarowych*. Zakres moich obowiązków obejmował:
  - Archiwizację danych pomiarowych w bazie za dany rok sprawozdawczy.
  - Weryfikację przekazanych danych pomiarowych – etap weryfikacji formalnej i merytorycznej, które stanowią jeden z komponentów systemu zapewniania i kontroli jakości danych w programie ZMŚP.
  - Wygenerowanie statystyk i wskaźników tematycznych dla serii pomiarowych. Dane te są wykorzystywane przez stacje ZMŚP w opracowaniu sprawozdań rocznych, wieloletnich syntez oraz w studiach prognostycznych.
  - Harmonizację danych pomiarowych do programu ICP IM (od roku 2016).
  - Opracowanie zharmonizowanych zbiorów danych przestrzennych INSPIRE. Dane pomiarowe ZMŚP obejmowane są przez następujące tematy danych przestrzennych: Urządzenia do monitorowania środowiska, Warunki atmosferyczne, Warunki meteorologiczno-geograficzne, Hydrografia. Zharmonizowane zbiory danych ZMŚP są udostępniane poprzez usługi



danych przestrzennych ATOM i WFS z poziomu geoportalu INSPIRE i GIOŚ.

- Działania administracyjne obejmujące m.in. opracowanie procedur zapewniających bezpieczeństwo danych, konfigurację i optymalizację ustawień serwera bazy danych.
- Prace koncepcyjne oraz wdrożenie nowych funkcji (m.in. opracowanie hurtowni tematycznych oraz kokpitów analitycznych).

W ramach realizacji tego zadania współpracuję od 2001 roku z dr hab. inż. Markiem Wojciechowskim z Instytutu Informatyki Politechniki Poznańskiej.

- **Członek Zespołu Ekspertów programu ZMŚP**, odpowiedzialny za administrację Centralną Bazą Danych ZMŚP (od 2009 roku do chwili obecnej).

.....  
(podpis wnioskodawcy)