AUTOREFERAT

1. Imię i nazwisko

Paweł Wilk

ORCID: 0000-0003-4302-5059

Scopus: 37762593100

Web of Science: AAB-1672-2021

PBN: 5e709340878c28a0473a5a89

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

Stopień doktora **27 październik 2015 roku**

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy

doktor nauk technicznych,

dyscyplina: inżynieria środowiska

Rozprawa doktorska: „Metoda obliczania chłonności rzeki jako narzędzie do oceny stanu fizykochemicznego powierzchniowych wód płynących" (wyróżnienie)

Promotor: dr hab. inż. Mieczysław S. Ostojski, prof. IMGW-PIB

Recenzenci: dr hab. inż. Paweł Licznar, prof. PWr.

prof. dr hab. inż. Leszek Woźniak

Tytuł magistra **8 lipca 2010 roku**

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska

magister inżynier środowiska, specjalność: zaopatrzenie w wodę, usuwanie i unieszkodliwianie ścieków i odpadów oraz ochrona jakości wód

Praca magisterska: „Wykorzystanie testu Microtox do oznaczenia toksyczności osadów dennych rzeki Detroit”

Promotor: dr inż. Ewa Szalińska van Overdijk

Tytuł inżyniera **30 czerwca 2008 roku**

Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

inżynier środowiska, specjalność: technika ochrony środowiska

Praca inżynierska: „Ocena oddziaływania składowiska odpadów przemysłowych na rośliny”

Promotor: dr hab. inż. Elżbieta Grabińska-Sota, prof. PŚ

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu

2021 – nadal	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Hydrologii i Inżynierii Zasobów Wodnych
2019–2020	Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie, Departament Zarządzania Środowiskiem Wodnym - specjalista
2019 - 2021	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Gospodarki Wodnej i Systemów Wodnogospodarczych w Krakowie
2015 - 2019	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Morski w Gdyni, Ośrodek Oceanografii i Monitoringu Bałtyku
od 01.2018	adiunkt
2014–2015	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Hydrologicznej Osłony Kraju
2010–2014	Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Ośrodek Gospodarki Wodnej
od 09.2010	asystent

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

Osiągnięcie naukowe

Ze względu na wkład pracy oraz wagę problemu, za moje **najważniejsze osiągnięcie naukowe po uzyskaniu stopnia doktora** uważam wyniki badań związanych z opracowaniem **kompleksowej metody śledzenia zawiesiny w zlewniach rzek**, ze szczególnym uwzględnieniem obszarów górskich. Badania te dały możliwość **równoczesnej analizy erozji, transportu i depozycji zawiesiny** zarówno w fazie lądowej jak i korytowej zlewni poprzez wykorzystanie i rozwinięcie możliwości cyfrowej platformy makromodelu DNS/SWAT. Ponadto metoda umożliwia wskazanie konkretnych źródeł i roli zawiesiny w zlewni oraz jej kluczowych elementów takich jak zbiorniki zaporowe, wykorzystując w tym celu najlepsze cechy modeli, metod i baz danych połączonych w jednej przestrzeni cyfrowej.

Na osiągnięcie naukowe składa się monotematyczny cykl 6 publikacji o sumarycznym Impact Factor wynoszącym 20.75 oraz łącznej liczbie punktów MNiSW wynoszącej 640 (zgodnie z rokiem opublikowania artykułów). Udział własny poszczególnych autorów został przedstawiony w załączniku 5 (oświadczenia o udziale autorów publikacji).

1. Orlińska-Woźniak P., Szalińska E., **WILK P., 2020** — Do land use changes balance out sediment yields under climate change predictions on the sub-basin scale? The Carpathian basin as an example. *Water*, 12(5), 1499; https://doi.org/10.3390/w12051499 [I.1.1]

   punktacja MNiSW (2019): 100
   IF (2020): 3,103

2. Orlińska-Woźniak P., Szalińska E., **WILK P., 2020** — A Macromodel DNS/SWAT dataset for the sediment yield analysis in the Raba River basin (Carpathian Mts.). *Data in Brief - ELSEVIER*, 33, 106574, https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106574 [I.1.2]

   punktacja MNiSW (2019): 40
   IF (2020): -

3. Szalińska E., Orlińska-Woźniak P., **WILK P., 2020** — Sediment load variability in response to climate and land use changes in a Carpathian catchment (Raba River, Poland). *Journal of Soils and Sediments*, 20: 2641–2652; https://doi.org/10.1007/s11368-020-02600-8 [I.1.3]

   punktacja MNiSW (2019): 100
   IF (2020): 3.308

4. **Wilk, P**., Szlapa, M., Hachaj, P. S., Orlińska-Woźniak, P., Jakusik, E., & Szalińska, E. (2022). From the source to the reservoir and beyond-tracking sediment particles with modeling tools under climate change predictions (Carpathian Mts.). *Journal of Soils and Sediments.* https://doi.org/10.1007/s11368-022-03287-9 [I.1.4]

punktacja MNiSW (2019): 100
IF (2020): 3.536

5. Szalińska, E., Zemełka, G., Kryłów, M., Orlińska-Woźniak, P., Jakusik, E., & **WILK, P**. (2021). Climate change impacts on contaminant loads delivered with sediment yields from different land use types in a Carpathian basin. *Science of The Total Environment*, 755, 142898. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142898 [I.1.5]

punktacja MNiSW (2019): 200
IF (2021): 7.963

6. **WILK, P**. **2022.** Expanding the sediment transport tracking possibilities in a river basin through the development of a digital platform - DNS/SWAT. *Applied Sciences* 12(8), 3848; https://doi.org/10.3390/app12083848 [I.1.6]

punktacja MNiSW (2020): 100
IF (2022): 2.838

Tytuł osiągnięcia (na podstawie monotematycznego cyklu publikacji):

Opracowanie kompleksowej metody śledzenia zawiesiny w zlewniach rzek, wykorzystującej możliwości łączenia kolejnych modeli, metod i baz danych na cyfrowej platformie - Makromodel DNS/SWAT.

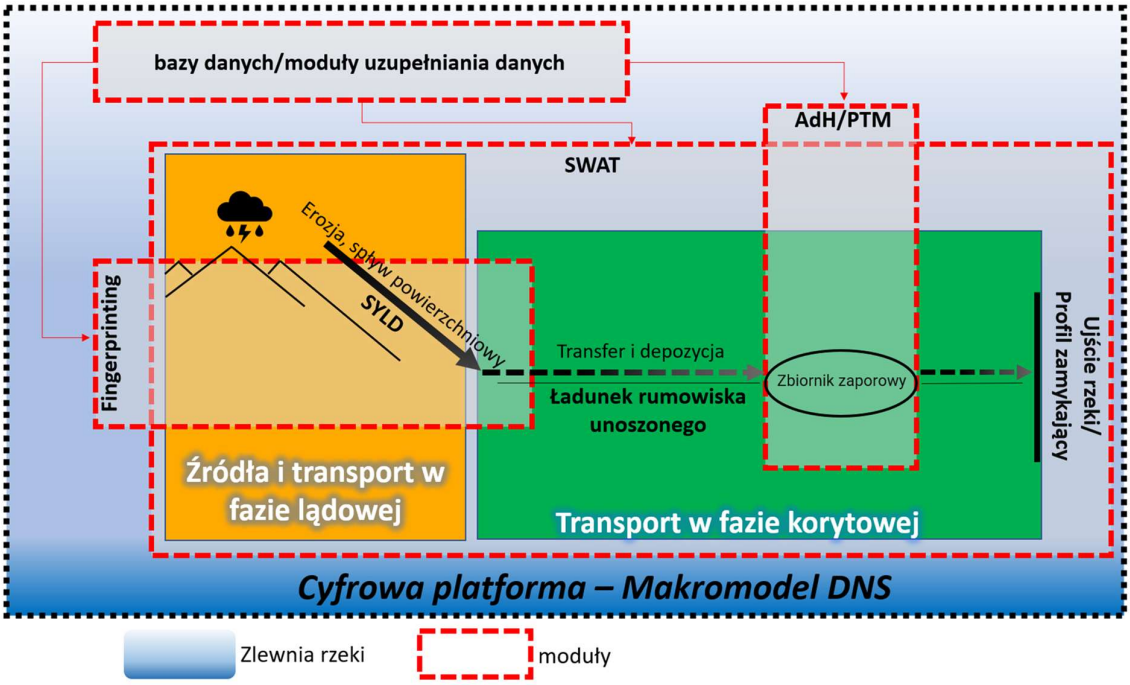
Komentarz autorski do cyklu publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

Wprowadzenie

Podstawą prowadzonych przeze mnie badań związanych ze śledzeniem transportu zawiesiny od jej źródeł poprzez transport aż do sedymentacji w zlewni była platforma cyfrowa - Makromodel DNS *(ang. Discharge-Nutrient-Sea)* (rys. 1). Narzędzie to powstało aby umożliwić łączenie najlepszych cech istniejących i zweryfikowanych modeli, metod i baz danych w jednej przestrzeni cyfrowej. Pozwala to na symulację długoterminowego wpływu, między innymi ukształtowania terenu, rodzajów gleb, użytkowania gruntów czy zjawisk meteorologicznych, na transport zanieczyszczeń, uwzględniając hydrologicznie różne elementy tworzące zlewnię. Najważniejszym elementem cyfrowej platformy - Makromodel DNS, jest moduł SWAT czyli fizyczny, częściowo rozproszony model, który działa z dziennym, miesięcznym lub rocznym krokiem czasowym. Jego podstawową cechą jest możliwość odwzorowania i ciągłej symulacji procesów hydrologicznych

(ewapotranspiracja, spływ powierzchniowy, perkolacja, przepływ wód gruntowych, straty przepływu w kanale, retencja w stawach i zbiornikach, drenaże itp.).

Początkowo platforma cyfrowa - Makromodel DNS była wykorzystywana do symulacji ładunków biogenów w fazie koryta rzeki. Pozwoliła ona między innymi na połączenie modeli SWAT i MIKE, umożliwiając prowadzenie analiz nawet na niemonitorowanych obszarach zlewni. Narzędzie to wykorzystano między innymi do symulacji ładunków zanieczyszczeń (azotu i fosforu ogólnego) wprowadzanych do wód powierzchniowych i ocenę ich wpływu na ewentualne zmiany w ekosystemie zlewni [II. 4.14, II. 4.16, II. 4.19]. Prowadzone przeze mnie badania związane z możliwością określenia chłonności rzeki (ang. river absorption capacity - RAC) [II. 4.6, II. 4.7, II. 4.10, II. 4.11, II. 4.12], pokazały możliwości odwzorowania w modelu procesów samooczyszczania się rzeki, uwypuklając jednak istotne ograniczenie związane z symulacją transportu zawiesiny. Ograniczeniem tym była, ignorowana dotychczas, możliwość szczegółowej analizy procesów transportu zawiesiny w obu fazach zlewni w module SWAT [II. 4.9]. Wykorzystywanie domyślnych wartości i metod oferowanych przez SWAT odzwierciedlających warunki w USA gdzie model został stworzony, istotnie upośledzało możliwość odwzorowania w cyfrowej przestrzeni modelu transportu cząstek gleby w polskich realiach. Skutkowało to rozbieżnościami pomiędzy wynikami modelu a rzeczywistymi procesami analizowanych zlewni. Podwójny charakter zawiesiny, która sama w sobie jest zanieczyszczeniem, a jednocześnie jej własności sorpcyjne czynią z niej doskonały nośnik innych zanieczyszczeń, wiązał się również niepewnością wyników symulacji dla innych zanieczyszczeń, takich jak biogeny. Nie można tez zapominac o konsekwencjach zaburzenia procesów transportu zawiesiny do których zalicza się między innymi zmniejszanie głębokości, żyzności i produktywności gleb, zmniejszenie przepustowości rzek, skrócenie żywotności zbiorników zaporowych, a tym samym zwiększenie ryzyka powodzi. Mimo to w dalszym ciągu wiedza w tym temacie, jak i próby skutecznego śledzenia cząstek zawiesiny są mocno ograniczone, zarówno dla fazy lądowej jak i korytowej zlewni. Na to nakładają się dodatkowo zachodzące coraz szybciej zmiany klimatu i sposobu użytkowania zlewni mające kluczowe znaczenie w utracie gleby. Problem ten ma jeszcze większe znaczenie na złożonych i dynamicznych zlewniach zlokalizowanych na obszarach górskich, gdzie procesy odpowiedzialne za transport cząstek zawiesiny w obu fazach zlewni są stochastyczne i zmienne, występują konstrukcje przeciwerozyjne i zbiorniki zaporowe, a ilość danych monitoringowych jest często znikoma. Powyższe problemy stały się więc moją główną inspiracją do poszukiwania rozwiązań w postaci skutecznego odwzorowania procesów transportu zawiesiny, będącej jednym z najważniejszych elementów moich badań. W tym celu niezbędny był więc dalszy rozwój platformy cyfrowej - Makromodel DNS poprzez dodanie wieloskalowych i wielofazowych modułów pozwalających zwiększyć jej funkcjonalność w zależności od bieżących potrzeb i otwierających nowe możliwości badawcze w modelowaniu środowiskowym.



Rysunek 1. Schemat ideowy przedstawiający możliwość śledzenia transportu zawiesiny w obu fazach zlewni rzecznej za pomocą cyfrowej platformy - Makromodelu DNS z jej kolejnymi modułami

W związku z powyższym za **najważniejszy cel moich badań** uważam opracowanie **kompleksowej metody śledzenia zawiesiny w zlewniach rzek, ze szczególnym uwzględnieniem obszarów górskich**. Metoda ta polega na wykorzystaniu cyfrowej platformy - Makromodelu DNS w celu połączenia wybranych modeli, metod i baz danych. Wykorzystanie tego narzędzia pozwoliło mi **równocześnie analizować aspekt ilościowy i jakościowy procesów erozji, transportu i depozycji zawiesiny w obu fazach zlewni** uwzględniając przy tym zmiany klimatu i użytkowania terenu oraz specyfikę hydrologicznie różnych elementów takich jak sieć kanałów czy zbiorniki zaporowe, tworzących zlewnię.

<u>W opisanych poniżej badaniach przyjęto następujące nazewnictwo:</u>

AdH - Adaptive Hydraulics Model

DNS - Discharge - Nutrient - Sea

HRU - jednostka reakcji hydrologicznej (*ang. Hydrological Response Units*)

rumowisko unoszone (zawiesina unoszona) - materiał stały transportowany wraz z wodą w korycie rzeki składający się z drobnych frakcji mineralnych SILT (0.004-0.062 mm), CLAY (0-0.004 mm) i jednej organiczno-mineralnej - SMAG (0.03 mm)

PTM - Particle Tracking Model

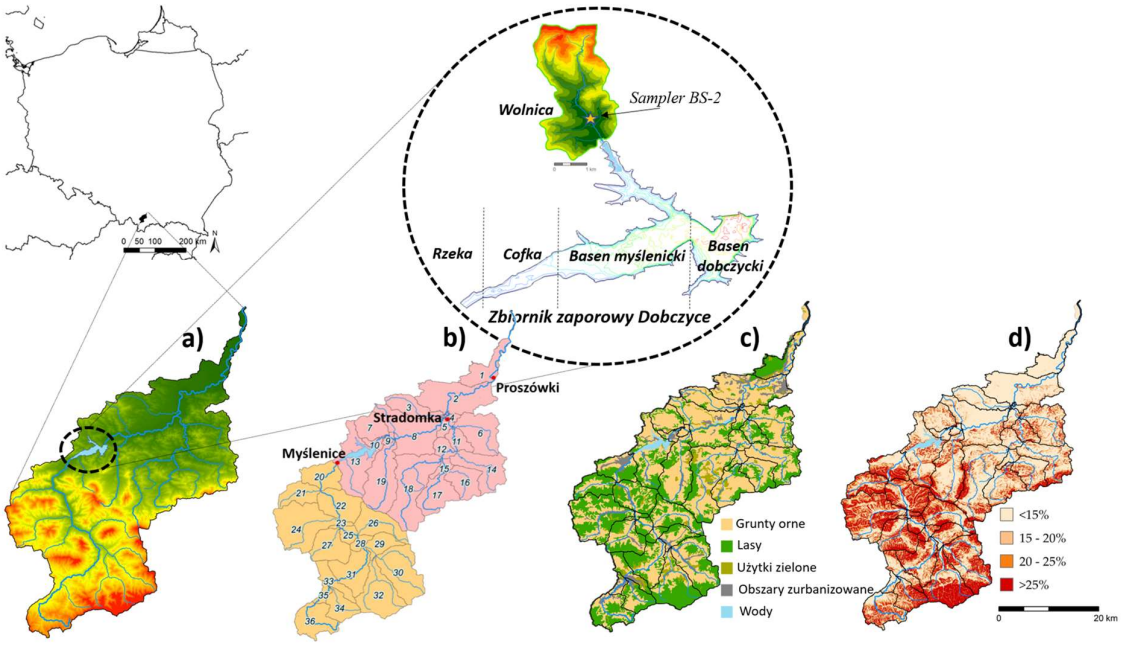
SWAT - Soil and Water Assessment Tool

SYLD - symulowany ładunek zawiesiny (t/ha) odpływający z fazy lądowej zlewni (każdej z podzlewni) do koryta rzeki (*ang. sediment yield*)

fingerprinting - metoda znaczników geochemicznych - „odcisku palca”

Odwzorowanie obszaru badań

Do badań nad transportem zawiesiny wybrałem zlewnię rzeki Raby o powierzchni 151 700 ha, będącej prawostronnym dopływem Wisły, zlokalizowanej w polskiej części Karpat Zachodnich. Była to też jedna z pierwszych prób odwzorowania górskiej zlewni w Polsce wykorzystująca model SWAT. Istotne podczas jej wyboru było również to, że zlewnia ta ma nietypowy dwoisty charakter, wynikający ze zlokalizowania w 60km rzeki zbiornika zaporowego. Zbiornik ten rozdziela część górną, o typowo górskim charakterze, od części dolnej, o charakterze podgórskim (rys. 2). Poza różnicą w ukształtowaniu terenu, obie części istotnie różnią się też użytkowaniem oraz warunkami meteorologicznymi.



Rysunek 2. Lokalizacja zlewni Raby wraz ze zbiornikiem zaporowym Dobczyce i zlewną Wolnicy, a) numeryczny model terenu, b) podział na podzlewnie górnej i dolnej Raby wraz z profilami obliczeniowymi gdzie prowadzono kalibrację (Myślenice, Proszówki) i walidację (Stradomka) modelu, c) użytkowanie terenu, d) nachylenie terenu

Do podstawowych danych wykorzystanych do odwzorowania zlewni rzeki Raby w module SWAT należą: numeryczny model terenu, mapy podziału hydrograficznego, użytkowania terenu, rodzajów gleb wraz z ich chemizmem, dane meteorologiczne dotyczące opadów, temperatury, wilgotności, prędkości wiatru oraz promieniowania słonecznego, a także dane agrotechniczne oraz pozostałe informacje o punktowych i obszarowych presjach występujących na analizowanym

obszarze. Podczas odwzorowywania zlewni Raby w module SWAT zdecydowałem się również na zmianę domyślnej metody Bagnolda do symulacji transportu zawiesiny na metodę Kodoatie, skuteczniejszą w przypadku zawieszonych i małych cząstek, a pozwalającą na analizę ładunku zawiesiny według poszczególnych frakcji [Arnold i in., 2013]. Rozbudowany został również moduł bazy danych, do którego wprowadzono informacje o presjach na tym obszarze, co pozwoliło między innymi na uwzględnienie wybranych modyfikacji koryta rzeki, takich jak zapory żwirowe i związane z nimi zaburzenia transportu rumowiska unoszonego w korycie rzeki. Problemem okazała się jednak kalibracja i walidacja modelu dla ładunku zawiesiny, ze względu na bardzo ograniczone punkty monitoringu oraz jego częstotliwość. Dlatego już na tym etapie zdecydowano się wykorzystać możliwości cyfrowej platformy - Makromodelu DNS i dodać dodatkowy moduł LOAD ESTimator [*LOAD ESTimator, 2022*] pozwalający uzupełnić ciągi danych o ładunkach zanieczyszczeń w korycie rzeki, wykorzystując do tego celu dane monitoringowe o przepływie oraz dostępne wartości stężenia zawiesiny. W ten sposób, mimo ograniczonych danych monitoringowych mogłem zwiększyć skuteczność kalibracji i walidacji modułu SWAT, która ostatecznie potwierdziła, że moduł ten dobrze sprawdza się w symulacji transportu zawiesiny, nawet na zlewni o podwójnym charakterze. Ostatecznie, model dla zlewni Raby po procesie kalibracji i walidacji, szczegółowo opisanych w publikacjach wchodzących w skład osiągnięcia naukowego, można było uznać za wiarygodną podstawę do dalszych obliczeń wykonywanych na całym lub dowolnie wybranym fragmencie tego obszaru.

Transport zawiesiny w fazie lądowej zlewni w aspekcie zmian klimatu i użytkowania terenu (publikacja 1) [I. 1.1].

Orlińska-Woźniak P., Szalińska E., ***WILK P., 2020*** *— Do land use changes balance out sediment yields under climate change predictions on the sub-basin scale? The Carpathian basin as an example. Water, 12(5), 1499 https://doi.org/10.3390/w12051499*

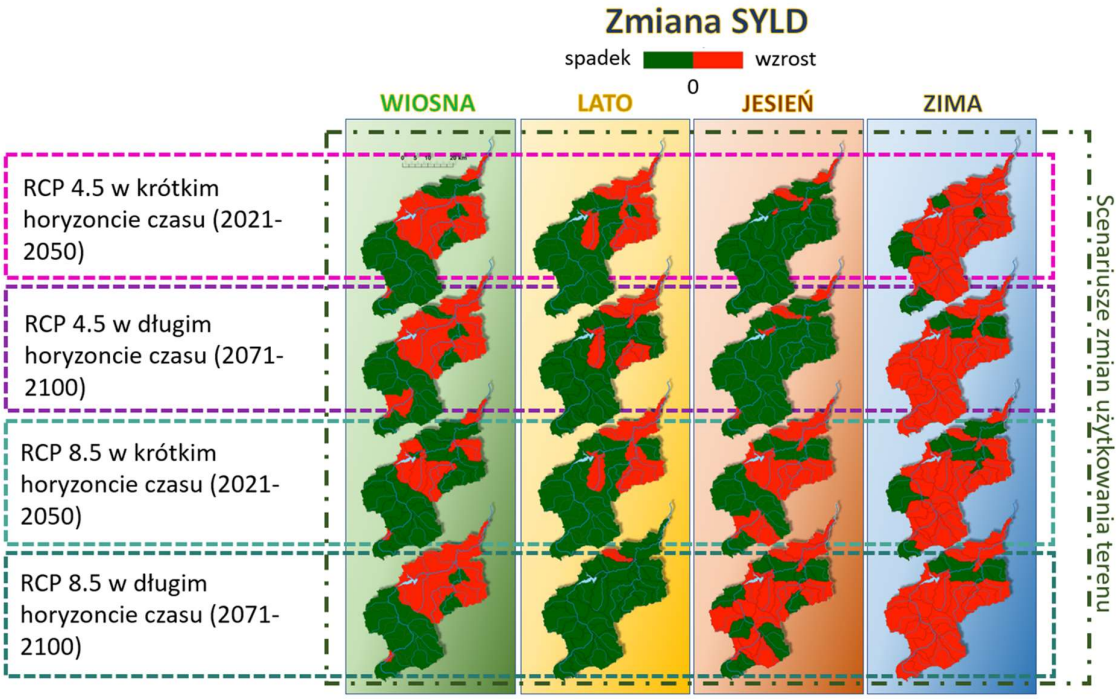
Aspektem badawczym publikacji była próba odpowiedzi na pytanie czy prognozowane zmiany użytkowania terenu zlewni rzeki Raby są w stanie zrównoważyć wzrost ładunku zawiesiny w spływie powierzchniowym, docierającej z fazy lądowej zlewni do koryta rzeki, w wyniku zmian klimatu. Badania obejmowały każdą z 36 wyznaczonych w modelu podzlewni składających się na obszar zlewni rzeki Raby (rys. 2). Podstawą analiz były wyniki symulacji ładunku zawiesiny dopływającego do koryta rzeki wraz ze spływem powierzchniowym SYLD z każdej z podzlewni w układzie sezonowym, określone jako scenariusz bazowy. Wykorzystałem tu funkcjonalność modułu SWAT, który pozwala oszacować wartości SYLD odwzorowując główne procesy (erozje i spływ powierzchniowy) inicjujące transport zawiesiny w fazie lądowej zlewni. SWAT uwzględnia wspomniane procesy dzieląc zlewnię na obszary o unikalnym użytkowaniu i nachyleniu terenu oraz rodzaju gleby - HRU. W ten sposób dla każdego HRU możliwe było symulowane poszczególnych składników hydrologicznych fazy lądowej, takich jak opady deszczu, spływ powierzchniowy i ewapotranspiracja, które następnie zostały zagregowane do poziomu wyznaczonych podzlewni.

Kolejnym etapem badań było wykorzystanie modułu baz danych na platformie cyfrowej - Makromodelu DNS uzupełnionego o przygotowane prognozy zmian klimatu oraz użytkowania terenu (LU). Scenariusze wariantowe zmian klimatu (opady i temperatura) przygotowano dla dwóch przyszłych horyzontów czasowych (2021–2050 i 2071–2100) w oparciu o RCP 4.5 i RCP 8.5 [Mezghani i in., 2017]. Wysoka rozdzielczość danych pozwoliła uzyskać prognozy zmian klimatu dla Myślenic (profil zamykający obszar górnej Raby) i Proszówek (profil zamykający obszar dolnej Raby). Dzięki temu do modelu osobno wprowadzono różne prognozy klimatyczne

dla zlewni górnej i dolnej Raby. Prognozy te wskazują, że zarówno w bliskiej (2021–2050), jak i długiej perspektywie czasu (2071–2100), można spodziewać się znaczących zmian średniej rocznej temperatury i opadów na analizowanym obszarze. Scenariusze użytkowania terenu dla lasów i obszarów zurbanizowanych oparto na projekcie FORECOM [Forecom, 2022], wdrożonym w celu lepszego zrozumienia przeszłych, obecnych i przyszłych zmian pokrywy leśnej i miejskiej w Alpach Szwajcarskich i polskich Karpatach w kontekście zmian klimatycznych. Dwa wariantowe scenariusze przyjęte w niniejszym artykule oparto na modelu DYNA-Clue dla przyszłego horyzontu czasowego 2060. W ramach projektu FORECOM opracowano dwie prognozy:

- prognoza trendu – gdzie przewiduje się, że obszary leśne i miejskie wzrosną odpowiednio o 23% i 10%;
- prognoza liberalna – gdzie przewiduje się wzrost obszarów leśnych i miejskich odpowiednio o 30% i 15%.

Reakcja poszczególnych zlewni na scenariusze klimatyczne stworzyła mozaikę ujemnych i dodatnich zmian wartości SYLD w porównaniu ze scenariuszem bazowym. Następnie nakładające się na siebie zmiany użytkowania terenu wskazywały na te zlewnie, w których utrata gleby w wyniku erozji i spływu powierzchniowego może zostać zrekompensowana lub nie (rys. 3).



Rysunek 3. Spadek wartości SYLD (kolor zielony) wskazuje na możliwość kompensacji utraty gleby z fazy lądowej zlewni wywołanych zmianą klimatu przez wprowadzenie scenariusza LU. Z kolei wzrost wartości SYLD (kolor czerwony) wskazuje na brak takiej możliwości mimo wprowadzenia scenariusza LU.

Za najważniejsze aspekty poznawcze, przedstawione w Publikacji 1, należy uznać:

- Przykład rzeki Raby (Karpaty, Polska) pokazuje, że nawet stosunkowo niewielkie zlewnie mogą wykazywać dużą zmienność pod względem cech terenu i klimatu, co ma duży wpływ na obliczenia ładunku zawiesiny w spływie powierzchniowym.
- Kluczowe jest prowadzenie badań dotyczących transportu zawiesiny w fazie lądowej zlewni górskich w podziale na mniejsze jednostki powierzchni (podzlewnie), co może pomóc w ustaleniu faktycznych czynników kontrolujących ogólną reakcję na utratę gleby ze zlewni.
- Reakcja 36 wyznaczonych podzlewni na zaimplementowane w modelu scenariusze klimatyczne stworzyła mozaikę ujemnych i dodatnich zmian wartości SYLD w porównaniu ze scenariuszem bazowym
- Dodanie do modelu prognoz użytkowania gruntów pozwoliły mi wskazać te podzlewnie, w których zmiany użytkowania gruntów mogłyby zrównoważyć wzrost wartości SYLD w wyniku zmian klimatu, oraz te, w których nie będzie to możliwe.
- Ogólna odpowiedź dla połączonych scenariuszy wykazała, że w wybranych podzlewniach górnej Raby w miesiącach wiosenno-letnich wartości SYLD mogą ulec zmianie nawet o 49%, podczas gdy na obszarze dolnej Raby skutek przewidywanych zmian byłyby mniej skuteczny (do średnio 3%).

Rozszerzony zbiór danych platformy cyfrowej - Makromodelu DNS/SWAT do wieloetapowej analizy scenariuszowej ładunku zawiesiny w spływie powierzchniowym (SYLD) w zlewni Raby. (publikacja 2) [I. 1.2].

Orlińska-Woźniak P., Szalińska E., ***WILK P.,*** *2020 — A Macromodel DNS/SWAT dataset for the sediment yield analysis in the Raba River basin (Carpathian Mts.). ELSEVIER, Data in Brief, 33, 106574, https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106574*

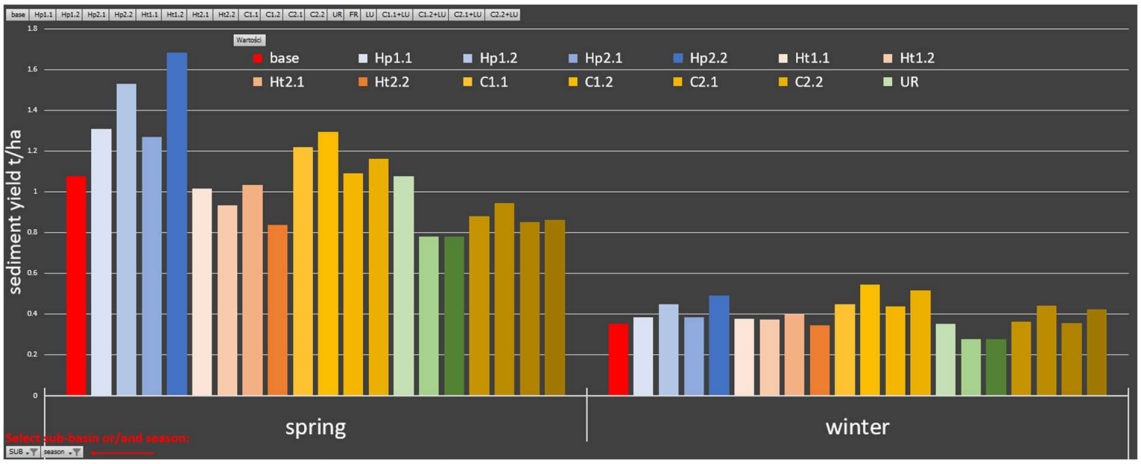
Aspektem badawczym publikacji oraz powiązanej z nią bazy danych Mendeley była możliwość rozszerzenia wcześniejszych analiz ładunku SYLD odpływającego z każdej z 36 podzlewni składających się na zlewnię rzeki Raby. W tym celu moduł baz danych na platformie cyfrowej - Makromodelu DNS/SWAT został wzbogacony o rozbudowaną, wieloetapową analizę scenariuszową. Na jej potrzeby, zostało opracowanych łącznie 20 wariantowych scenariuszy (tab. 1), symulujących prognozowane zmiany klimatu i użytkowania terenu i ich wpływ na wielkość ładunku SYLD.

Zastosowane scenariusze wariantowe uwzględniały różne możliwości, od hipotetycznych, w których zmieniany był tylko jeden parametr, po łączone, które obejmowały jednoczesną zmianę wybranych parametrów. W analizie uwzględniono także krótki (2021–2050) i długi (2071–2100) horyzont czasowy.

Tabela 1. Lista scenariuszy wariantowych wykorzystanych w analizach uwzględnionych w opracowanej bazie danych

symbol	pełna nazwa	opis
base	scenariusz bazowy	wykalibrowany i zweryfikowany model zlewni rzeki Raby
Hp1.1	hipotetyczny scenariusz opadów dla RCP 4.5 (2021-2050)	scenariusze symulacji zmian opadów
Hp1.2	hipotetyczny scenariusz opadów dla RCP 4.5 (2071-2100)	
Hp2.1	hipotetyczny scenariusz opadów dla RCP 8.5 (2021-2050)	
Hp2.2	hipotetyczny scenariusz opadów dla RCP 8.5 (2071-2100)	
Ht1.1	hipotetyczny scenariusz temperatury dla RCP 4.5 (2021-2050)	scenariusze symulacji zmian temperatury
Ht1.2	hipotetyczny scenariusz temperatury dla RCP 4.5 (2071-2100)	
Ht2.1	hipotetyczny scenariusz temperatury dla RCP 8.5 (2021-2050)	
Ht2.2	hipotetyczny scenariusz temperatury dla RCP 8.5 (2071-2100)	
C1.1	opady + temperatura dla RCP 4.5 (2021-2050)	scenariusze łączące zmiany opadów i temperatury
C1.2	opady + temperatura dla RCP 4.5 (2071-2100)	
C2.1	opady + temperatura dla RCP 8.5 (2021-2050)	
C2.2	opady + temperatura dla RCP 8.5 (2071-2100)	
UR	obszary zurbanziowane	scenariusz rozwoju obszarów miejskich o średniej/niskiej gęstości zaludnienia
FR	obszary leśne	scenariusz wzrostu obszarów leśnych
LU	użytkowanie terenu	połączone scenariusze rozwoju obszarów miejskich i wzrostu obszarów leśnych
C1.1+LU	opady + temperatura + użytkowanie terenu - RCP 4.5 (2021-2050)	scenariusze łączące prognozy zmian klimatu i użytkowania terenu
C1.2+LU	opady + temperatura + użytkowanie terenu - RCP 4.5 (2071-2100)	
C2.1+LU	opady + temperatura + użytkowanie terenu - RCP 8.5 (2021-2050)	
C2.2+LU	opady + temperatura + użytkowanie terenu - RCP 8.5 (2071-2100)	

Otrzymane wyniki symulacji modelu przedstawiono w postaci sprzężonej z artykułem graficznej bazy danych Mendeley [https://data.mendeley.com/datasets/rft94c75zb/3] [Orlińska-Woźniak i in., 2020] Jej arkusze zostały podzielone na trzy grupy: a) informacyjne; b) funkcjonalne; oraz c) dane wyjściowe. W pierwszej grupie urzytkownik znajdzie informacje o położeniu i podziale zlewni Raby na podzlewnie, wraz z charakteryzującymi je parametrami (użytkowaniem i nachyleniem terenu, rodzajem gleb), a także listę wszystkich zastosowanych scenariuszy wariantowych (tab. 1). Wybór odpowiedniej zlewni lub ich grupy jest podstawą do poruszania się po kolejnych arkuszach funkcyjnych. Znajdują się tam wyniki wpływu poszczególnych scenariuszy wariantowych na ładunek SYLD w wybranych zlewniach i/lub sezonach prezentowane w formie wykresu kolumnowego (arkusz 3. results_plot) przestawnego, gdzie za pomocą przycisków „Select sub-basin and/or season" można filtrować dowolne wartości dla podzlewni i pory roku (rys. 4). Ponadto w ten sam sposób możliwe jest śledzenie wielkości zmiany ładunku SYLD dla każdego scenariusza w porównaniu do scenariusza bazowego w t/ha (arkusz 4. change_plot) oraz w procentach (arkusz 5. changes_plot). Ostatni arkusz (arkusz 6. Output) zawiera ostateczne dane symulowane przez model i pozwala na lokalizowanie, śledzenie i w razie potrzeby pobieranie poszczególnych danych, które służą jako baza do wizualizacji w arkuszach funkcjonalnych.



Rysunek 4. Przykład graficznego przedstawienia wyników wpływu poszczególnych scenariuszy wariantowych na ładunek SYLD dla wybranej podzlewni nr 32 charakteryzującej się nachyleniem terenu przekraczającym 25% dla dwóch skrajnych pod względem utraty gleby z fazy lądowej zlewni sezonach, w formie wykresu kolumnowego przestawnego

Za najważniejsze aspekty poznawcze i użytkowe, przedstawione w Publikacji 2, należy uznać:

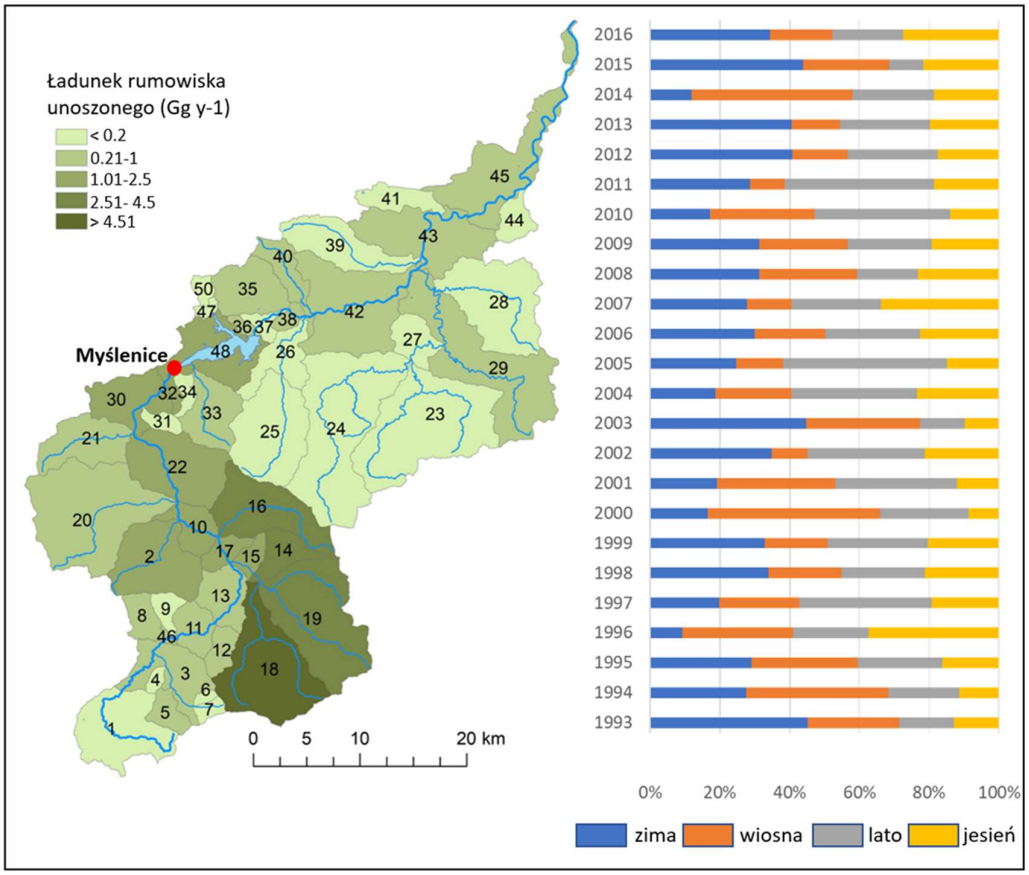
- Możliwość wykorzystania informacji o spodziewanych skutkach implementacji wybranych scenariuszy wariantowych na obszarach o podobnych warunkach (nachylenie, użytkowanie terenu czy rodzaj gleb) w innych zlewniach rzecznych na obszarze Karpat.
- Możliwość oceny realnego wpływu każdego z wybranych do budowy scenariuszy wariantowych parametrów na ładunek SYLD.
- Możliwość wykorzystania wartości ładunków SYLD i ich zmienność, jako wartości odniesienia dla innych zlewni górskich i podgórskich, zarówno w Karpatach, jak i w całej Europie Środkowej.
- Możliwość wykorzystania prezentowanej bazy danych, jako cennego źródła informacji o ładunkach SYLD zwłaszcza w kontekście obecnego permanentnego braku monitoringu tego parametru.

Śledzenie transportu rumowiska unoszonego w korycie rzeki w kontekście zmian klimatu i użytkowania terenu zlewni (publikacja 3) [I. 1.3].

*Szalińska E., Orlińska-Woźniak P., **WILK P.**, 2020 — Sediment load variability in response to climate and land use changes in a Carpathian catchment (Raba River, Poland). Journal of Soils and Sediments, 20: 2641–2652 https://doi.org/10.1007/s11368-020-02600-8*

Aspektem badawczym publikacji była możliwość wykorzystania platformy cyfrowej - Makromodelu DNS/SWAT do oszacowania ładunku rumowiska unoszonego transportowanego w fazie koryta rzeki analizowanej zlewni rzeki Raby i jego zmienności wynikającej z prognoz klimatu i użytkowania terenu. Model obejmował wszystkie 36 podzlewni wraz z ich głównymi ciekami, na które została podzielona sieć rzeczna Raby (rys. 5) jednak przedstawione tu badania skupiły się na profilu obliczeniowym Myślenice, zlokalizowanym bezpośrednio powyżej zbiornika Dobczyce. Podstawą analiz były wyniki symulacji ładunku rumowiska unoszonego

transportowanego wraz z przemieszczającą się wodą w kolejnych odcinkach sieci rzecznej Raby z miesięcznym krokiem czasowym, tworzące scenariusz bazowy. Wykorzystano tu funkcjonalność modułu SWAT w którym, wykorzystując metodę Muskingum (równania Manninga) woda kierowana jest siecią kanałów, a transportowany wraz z nią rumowisko unoszone podlega procesom erozyjno-sedymentacyjnym. Ponadto w tym badaniu zastosowano wieloetapową analizę scenariuszową. W tym celu opracowano zarówno pojedyncze wariantowe scenariusze zmian klimatu dla dwóch przyszłych horyzontów czasowych (2021–2050 i 2071–2100) opartych na RCP4.5 (opad i temperatura) [Mezghani i in., 2017], scenariusz zmian użytkowania terenu zlewni (przy użyciu dedykowanej funkcji - aktualizacja użytkowania gruntów) [Forecom, 2022] oraz warianty łączone. W konsekwencji przeprowadzona analiza scenariuszowa pozwoliła ocenić wpływ parametrów meteorologicznych, jak i scenariuszy łączonych, w przyszłych horyzontach czasowych, na ładunek rumowiska unoszonego. Otrzymane wyniki cyfrowej platformy - Makromodelu DNS/SWAT umożliwiły oszacowanie ładunku rumowiska unoszonego, który dociera z obszaru górnej Raby do zbiornika zaporowego Dobczyce przez profil obliczeniowy Myślenice. Ponadto wykonana analiza zmienności czasowych dla tego ładunku wykazała istotne statystycznie różnice pomiędzy poszczególnymi sezonami, wskazując między innymi miesiące wiosenno-letnie jako mające dominujący udział w całkowitym ładunku rumowiska unoszonego docierającego do zbiornika.



Rysunek 5. Ładunki rumowiska unoszonego w odcinkach cieku głównego poszczególnych podzlewni (ze względów technicznych naniesiony na obręb zlewni cząstkowych) wraz z ich sezonowym rozkładem dla scenariusza bazowego rzeki Raby dla profilu obliczeniowego Myślenice.

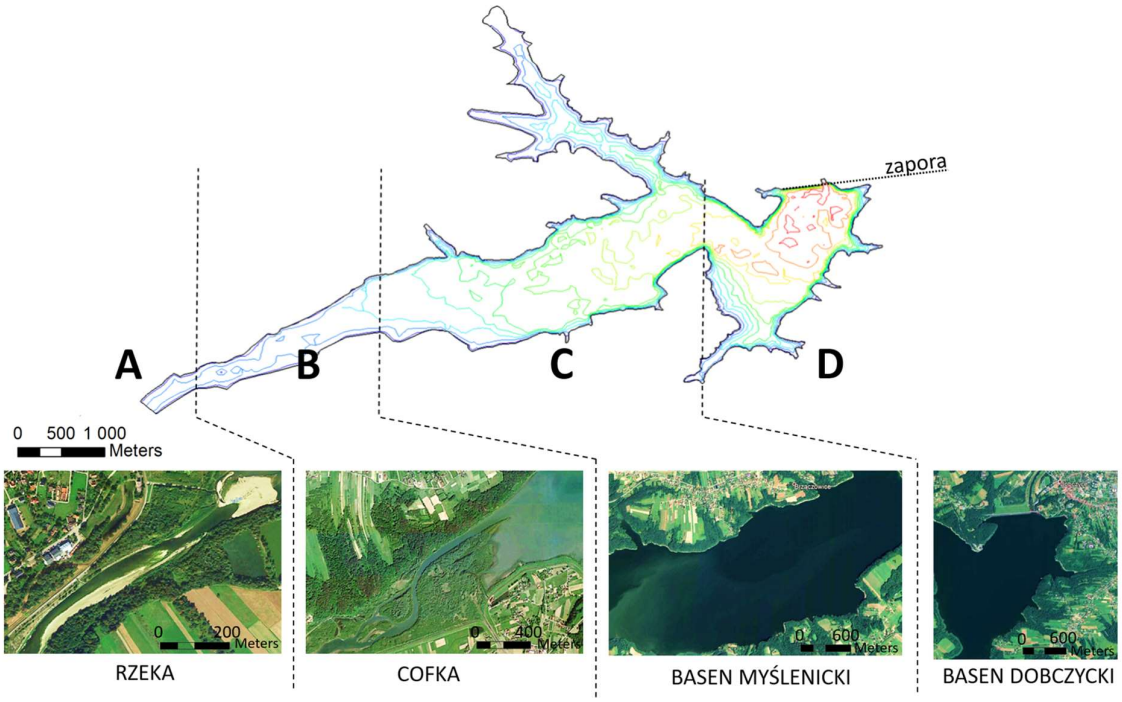
Za najważniejsze aspekty poznawcze, przedstawione w Publikacji 3, należy uznać:

- Podjęcie po raz pierwszy na górskiej rzece w polskiej części Karpat tak szczegółowych badań modelowych wpływu zmian klimatu i użytkowania gruntów na ładunki rumowiska unoszonego w fazie korytowej zlewni.
- Określenie sezonowej/rocznej zmienności wielkości ładunków rumowiska unoszonego w profilu Dobczyce poprzedzającym zbiornik zaporowy, związanej z występowaniem zjawisk meteorologicznych.
- Wykazanie silnej bezpośredniej korelacji ładunków rumowiska unoszonego ze wzrostem opadów zarówno w krótkim (2021–2050), jak i długim horyzoncie czasowym (2071–2100).
- Wskazanie znaczących różnic w reakcji rumowiska unoszonego na zmianę temperatury. Zmiana o 1–2 °C skutkowała spadkiem ładunku rumowiska unoszonego o około 5%, z kolei przy zmianie temperatury powyżej 2°C spadek ten wynosił już około 16%, co wskazuje na konieczność podjęcia dalszych badań nad powiązaniem zmian temperatury z ładunkiem rumowiska unoszonego.
- Wskazanie zmian użytkowania terenu jako głównego czynnika mającego największy wpływ na ładunki rumowiska unoszonego w połączonych scenariuszach wariantowych.

Śledzenie frakcji rumowiska unoszonego od źródeł aż do depozycji w zbiorniku zaporowym przy wykorzystaniu połączenia modułów SWAT i AdH/PTM na platformie cyfrowej - Makromodel DNS (publikacja 4) [I. 1.4].

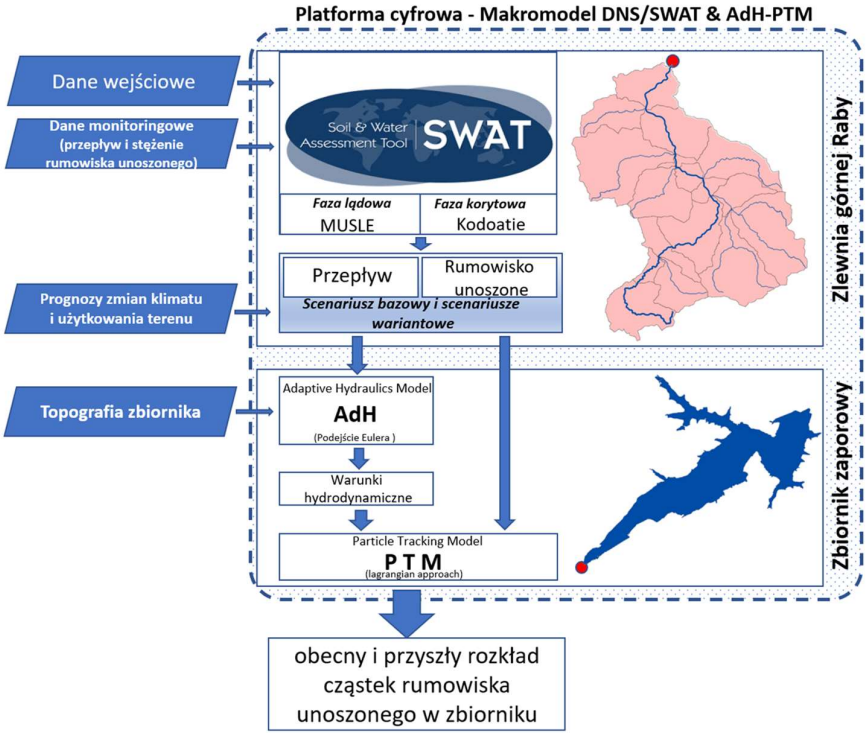
***WILK, P**., Szlapa, M., Hachaj, P. S., Orlińska-Woźniak, P., Jakusik, E., Szalińska, E. 2022. From the source to the reservoir and beyond-tracking sediment particles with modeling tools under climate change predictions (Carpathian Mts.). https://doi.org/10.1007/s11368-022-03287-9*

Aspektem badawczym publikacji było śledzenie przestrzennego i czasowego rozkładu cząstek rumowiska unoszonego od źródeł w fazie lądowej zlewni górnej Raby, aż do ich depozycji w jednej z czterech stref (A-D) zbiornika zaporowego (rys. 6). Obszar badań składał się ze zlewni górnej Raby, wydzielonej z opracowanego wcześniej modelu w oparciu o granice podzlewni oraz zbiornika zaporowego Dobczyce pełniącego funkcję ochrony przeciwpowodziowej i źródła wody pitnej dla aglomeracji Krakowa. Nadmierna depozycja cząstek rumowiska unoszonego zagraża nie tylko pojemności i funkcjonalności zbiornika, ale także stanowi dodatkowe zagrożenie będąc skutecznym nośnikiem zanieczyszczeń. Odwzorowanie transportu cząstek rumowiska unoszonego w dwóch hydrologicznie różnych elementach zlewni jakimi są zlewnia i zbiornik zaporowy wymagało połączenia na platformie cyfrowej - Makromodelu DNS modelu SWAT oraz AdH/PTM.



Rysunek 6. Podział zbiornika zaporowego Dobczyce na cztery strefy

Do analiz w modelu AdH dla zbiornika Dobczyce przyjęto miesięczny średni wysoki przepływ (SWQ) obliczony na podstawie symulowanych przez moduł SWAT danych o przepływie dla scenariusza bazowego i scenariuszy wariantowych. Dane wejściowe o rumowisku unoszonym dla modułu PTM pochodziły z profilu obliczeniowego Myślenice, wykorzystanego jako profil zamykający górną Rabę w module SWAT. Głównym wyzwaniem było połączenie dwóch różnych podejść do śledzenia transportu rumowiska unoszonego w zlewni i zbiorniku (rys. 7). Podejście w module SWAT opiera się na śledzeniu ładunku, podczas gdy moduł PTM wykorzystuje koncepcję śledzenia pojedynczych cząstek rumowiska unoszonego, w punkcie połączenia obu modeli dany ładunek masowy musiał więc zostać najpierw odpowiednio przekształcony. Problem ten rozwiązano poprzez wygenerowanie reprezentatywnej liczby cząstek dla każdej frakcji rumowiska unoszonego, proporcjonalnie do ładunku obliczonego przez moduł SWAT dla danego miesiąca.

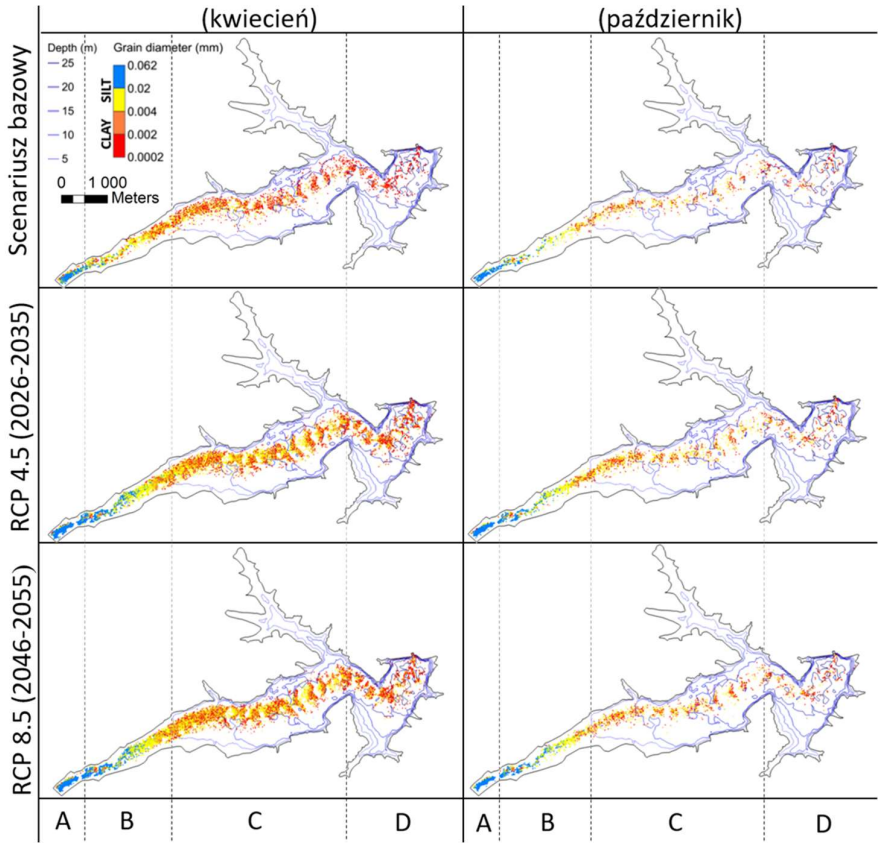


Rysunek 7. Schemat ideowy połączenia modułów SWAT oraz AdH/PTM na cyfrowej platformie - Makromodelu DNS

Ponieważ ujście Raby do zbiornika (strefa A) jest skuteczną pułapką dużych cząstek, takich jak piasek i żwir, co widać nawet na zdjęciach satelitarnych (rys. 6), w niniejszej pracy analizowano rumowisko unoszone w podziale na dwie frakcje mineralne SILT (0.004-0.062 mm), CLAY (0-0.004 mm) i jedną organiczno-mineralną - SMAG (0.03 mm). Wymagane informacje na temat zlewni jako źródła rumowiska unoszonego do całościowej oceny skutków dopływu rumowiska unoszonego do zbiornika, zostały zebrane na podstawie wcześniejszych badań przeprowadzonych na zlewni Raby w obu jej fazach. Dla wydzielonej zlewni górnej Raby zaimplementowano prognozy użytkowania terenu [Forecom, 2022] oraz prognozy zmian klimatu z miesięcznym krokiem czasowym opracowanych na podstawie Planów Adaptacji Miast do Zmian Klimatu [MPA a, b] .

Wyniki przeprowadzonych analiz w module SWAT pokazały wysokie ładunki SMAG, SILT i CLAY w scenariuszu bazowym i scenariuszach wariantowych wykazując ponadto ich istotną zmienność czasową. Moduł SWAT wskazał czasowy schemat ładunków rumowiska unoszonego z podwyższonymi wartościami w okresie maj-październik i ich spadkiem w pozostałych miesiącach roku oraz różnice w oddziaływaniu scenariuszy na poszczególne frakcje rumowiska unoszonego. Te wyniki zostały następnie wykorzystane jako dane wejściowe do modułu AdH/PTM (rys. 7) pozwalając kontynuować śledzenie dalszych losów rumowiska unoszonego w zbiorniku zaporowym.

W ten sposób możliwe było określenie procentowych udziałów poszczególnych frakcji (SMAG, SILT i CLAY), deponowanych w poszczególnych strefach zbiornika zaporowego w warunkach przepływów wysokich, w scenariuszu bazowym i scenariuszach wariantowych (rys. 8).



Rysunek 8. Rozkład frakcji CLAY i SILT w zbiorniku zaporowym Dobczyce dla dwóch wybranych scenariuszach wariantowych (RCP4.5 w krótkim horyzoncie czasowym - 2026-2035 oraz RCP8.5 w długim horyzoncie czasowym - 2046-2055) w miesiącu kwietniu i październiku, w których prognozowane zmiany wielkości opadów są największe

W związku ze znaczną ilością otrzymanych wyników będących konsekwencją miesięcznego kroku czasowego prowadzonych analiz dla scenariusza bazowego i czterech scenariuszy wariantowych, integralną częścią niniejszej publikacji jest baza danych Mendeley [https://data.mendeley.com/datasets/k9c7c666bt/1][Hachaj i in., 2021]. Baza ta składa się z kolejnych map pozwalających na graficzną interpretację wyników symulacji platformy cyfrowej - Makromodelu DNS/SWAT-AdH/PTP dla zbiornika zaporowego Dobczyce dla każdego miesiąca i każdego z czterech wyznaczonych scenariuszy wariantowych. Baza danych składa się z piętnastu arkuszy:

- research area - lokalizacja analizowanej zlewni i zbiornika;
- scenarios - lista przygotowanych scenariuszy wraz z ich opisem;
- "NOV" … "OCT" - mapy rozmieszczenia cząstek mineralnych (SILT, CLAY) rumowiska unoszonego dla Zbiornika Dobczyckiego, w scenariuszu bazowym i scenariuszach wariantowych dla poszczególnych miesięcy;
- SMAG - mapy rozmieszczenia cząstek organiczno - mineralnych (SMAG) rumowiska unoszonego dla Zbiornika Dobczyckiego, w scenariuszu bazowym i scenariuszach wariantowych.

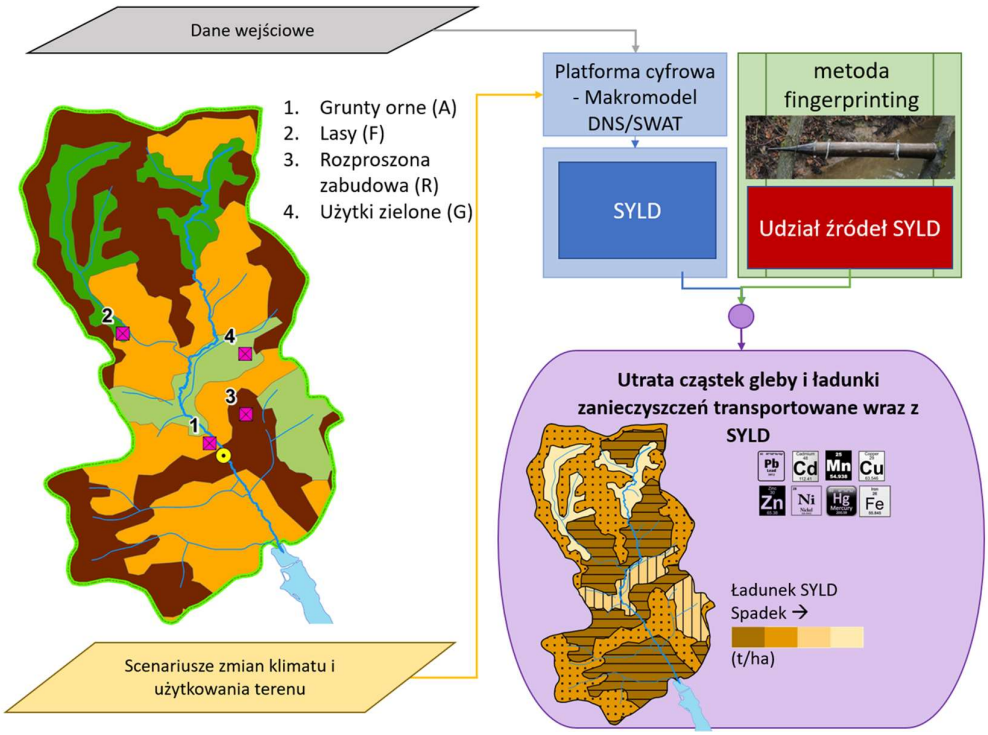
Za najważniejsze aspekty poznawcze, przedstawione w Publikacji 4, należy uznać:

- Skuteczne połączenie dwóch modeli (SWAT i AdH/PTM) w postaci modułów na platformie cyfrowej - makromodelu DNS w celu śledzenia wybranych frakcji rumowiska unoszonego od źródła ich pochodzenia (zlewnia Raby) do obszaru depozycji obejmującego kolejne strefy zbiornika zaporowego (Zbiornik Dobczyce).
- Wykorzystanie miesięcznego kroku czasowego wykorzystanych scenariuszy, które pozwoliły na szczegółową analizę badanych frakcji wskazując konkretne okresy na których powinno się skupić planując odpowiednie działania w zlewni.
- potwierdzenie korzystnego położenia i naturalnego układu zbiornika zaporowego Dobczyce w którym dwie pierwsze strefy wychwytują większość większych cząstek (SILT), nawet w okresach bardzo wzmożonych dostaw rumowiska unosoznego
- Wskazanie ryzyka związanego z drobniejszymi cząstkami (CLAY) i ich powinowactwem do wiązania zanieczyszczeń, których zwiększona mobilność jest wyraźnie widoczna zarówno w scenariuszach krótko-, jak i długoterminowych.

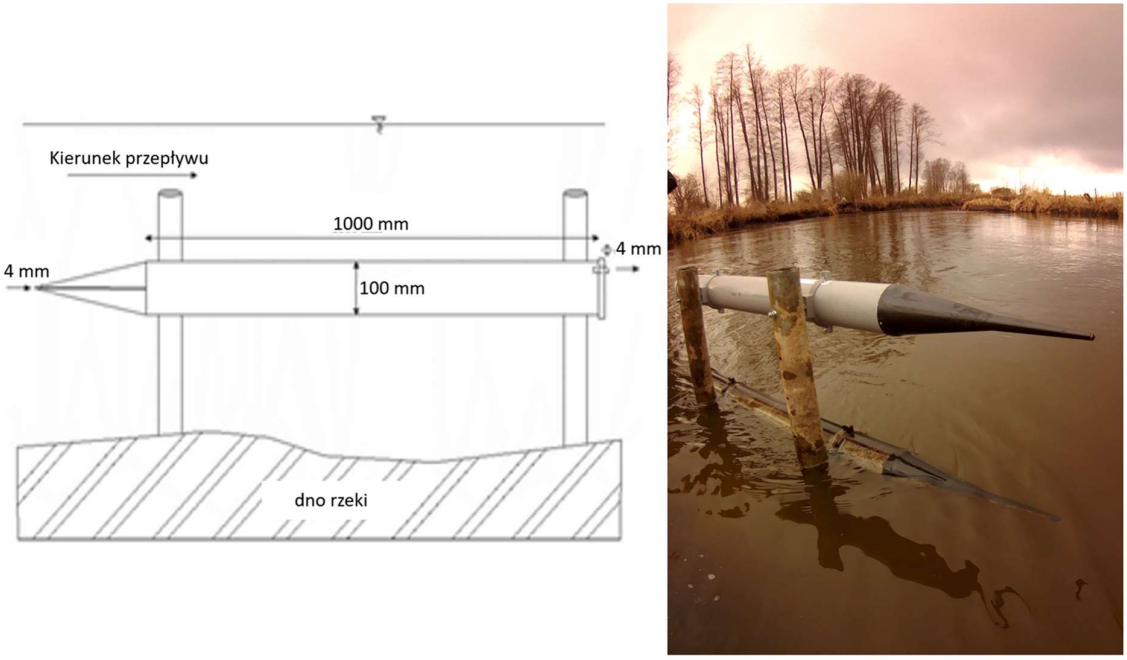
Śledzenie ładunku zanieczyszczeń transportowanych wraz z SYLD z różnych typów użytkowania terenu zlewni z uwzględnieniem wpływu zmiany klimatu (publikacja 5) [I. 1.5].

*Szalińska, E., Zemełka, G., Kryłów, M., Orlińska-Woźniak, P., Jakusik, E., & **WILK, P.** (2021). Climate change impacts on contaminant loads delivered with sediment yields from different land use types in a Carpathian basin. Science of The Total Environment, 755, 142898. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142898*

Aspektem badawczym publikacji było wskazanie źródeł zawiesiny oraz szacunków wielkości ładunku zanieczyszczeń (metali ciężkich) związanych z cząstkami gleby transportowanej wraz ze spływem powierzchniowym z fazy lądowej zlewni (SYLD). Główną motywacją do podjęcia tych badań jest problem utraty gleby, transportu zawiesiny w spływie powierzchniowym i bezpośrednio związanym z tym przenoszeniem zanieczyszczeń wraz z cząstkami gleby w fazie lądowej zlewni. W zmieniających się warunkach klimatycznych i szybkim rozwojem obszarów zlewni identyfikacja pochodzenia zawiesiny ma kluczowe znaczenie dla planowania dalszych działań mających na celu ograniczenie skutków erozji i dalszego zanieczyszczenia wód powierzchniowych. Sam moduł SWAT ma ograniczone możliwości śledzenia zanieczyszczeń transportowanych wraz z zawiesiną oraz możliwość identyfikacji źródeł pochodzenia cząstek zawiesiny w zlewni. Rozwiązaniem tego problemu była metoda fingerprinting pozwalająca uszeregować źródła zawiesiny wykorzystując zmienności składu geochemicznego gleb dla czterech rodzajów użytkowania terenu (grunty orne - A, użytki zielone - G, rozproszona zabudowa - R i lasy - F). Otwarty charakter platformy cyfrowej - Makromodelu DNS, z kolei pozwolił połączyć moduły SWAT oraz fingerprinting. Skuteczność takiej integracji została przedstawiona na przykładzie zlewni rzeki Wolnicy (fragment zlewni Raby) (rys. 2), która została wydzielona z opracowanego wcześniej modelu w oparciu o granice podzlewni. Obszar ten jest zlokalizowany zaledwie 23 km od jednego z największych obszarów zurbanizowanych w Polsce - Krakowa, gdzie stężenie pyłu zawieszonego jest jednym z najwyższych w Europie. W fazie lądowej obszaru zlewni Wolnicy wyznaczono miejsca poboru prób gleby (rys. 9), a w fazie koryta rzeki przy jej ujściu zainstalowano sampler BS-2 (rys. 10) pozwalający na stały pobór rumowiska unoszonego. Wyniki badań terenowych poszerzyły dotychczasową wiedzę na temat zlewni stając się częścią modułu danych, który następnie zasilił moduł fingerprinting.



Rysunek 9. Przyjęty schemat postępowania obrazujący kolejne etapy badań łączących moduł SWAT i metodę fingerprinting.



Rysunek 10. Schemat działania samplera BS-2 do poboru rumowiska unoszonego oraz zainstalowane urządzenie na obszarze zlewni rzeki Raby

Pobrane z wykorzystaniem samplera BS-2 próbki rumowiska unoszonego w fazie koryta rzeki Wolnica wykorzystano jako informacja o źródłach zanieczyszczeń. Procedura rozróżniania między czterema typami użytkowania terenu wskazała sześć metali ciężkich (Pb, Zn, Cd, Cu, Ni i Hg) jako optymalne znaczniki dla tej zlewni. Co więcej, wyniki wielowymiarowego modelu mieszania (*ang. multivariate mixing model*) wykazały, że udział rumowiska unoszonego był zdominowany przez cząstki gleby pochodzące z użytków zielonych (G) i lasów (F) co wynika z określonych cech geomorfologicznych i ich lokalizacji w zlewni. Wyniki wyraźnie potwierdziły, że obszary zalesione (F) dobrze radzą sobie z ograniczaniem procesów odpowiedzialnych za utratę gleby nawet na obszarach o nachyleniu terenu przekraczającym 25%. Pozostałe dwa typy użytkowania terenu (A i R), wykazały porównywalny poziom zanieczyszczenia metalami ciężkimi i podobną podatność na utratę cząstek gleby. Na analizowanym obszarze występuje np. bardzo duże zagęszczenie nieutwardzonych dróg (jedne z najwyższych na świecie), które ułatwiają transport cząstek gleby z fazy lądowej do koryta rzecznego, a także zwiększają ładunek SYLD. Wariantowe scenariusze zmian klimatu i użytkowania terenu zaimplementowane na platformie cyfrowej - Makromodelu DNS pokazały znaczny wzrost całkowitych ładunków SYLD i tym samym powiązanych z nimi zanieczyszczeń. W ten sposób można przewidywać wzrost ładunków metali ciężkich w porównaniu do scenariusza bazowego nawet o 75% (scenariusz długoterminowy RCP 8.5).

Prognozy te są szczególnie ważne, ponieważ rzeka Wolnica jest bezpośrednim dopływem do zbiornika wody pitnej (Zbiornik Dobczyce). W związku z tym ładunki zanieczyszczeń bezpośrednio wpływają na stan tego akwenu i mogą zmieniać jego ekosystem i jakość wody pitnej. Nie można przy tym zapominać, że cała zlewnia Wolnicy stanowi zaledwie 8% zlewni Zbiornika Dobczyckiego i dostarcza mniej niż 6% całkowitego ładunku SYLD. Te badania dają więc też podstawy do prowadzenia szacunków dotyczących ogólnych ładunków metali ciężkich dostarczanych do zbiornika zaporowego z całej jego zlewni.

<u>Za najważniejsze aspekty poznawcze, przedstawione w Publikacji 5, należy uznać:</u>

- skuteczne połączenie modelowania transportu zawiesiny w fazie lądowej zlewni z metodą fingerprinting, do śledzenia zmian przestrzennych i czasowych ładunku SYLD oraz związanych z nim zanieczyszczeń.
- wykazanie zależności pomiędzy ładunkami SYLD i związanymi z nimi zanieczyszczeniami a warunkami meteorologicznymi i topograficznymi, zwłaszcza w zlewniach o niewielkiej zmienności użytkowania terenu i rodzajów gleb.
- sklasyfikowanie konkretych typów użytkowania terenu pod kątem ładunku SYLD oraz zanieczyszczeń przekazywanych przez system zlewni
- istotną rolę obszarów leśnych jako buforu ograniczającego transport SYLD, a wraz z nim zanieczyszczeń do koryt rzecznych, co ma kluczowe znaczenie dla gospodarowania gruntami w zlewniach karpackich, ze względu na przewidywany wzrost lesistości.

Możliwości i ograniczenia platformy cyfrowej - Makromodelu DNS/SWAT w kontekście śledzenia SYLD i rumowiska unoszonego w zlewniach rzecznych (publikacja 6) [I. 1.6].

***WILK, P**. 2022. Expanding the sediment transport tracking possibilities in a river basin through the development of a digital platform - DNS/SWAT. Appl. Sci. 12(8), 3848 https://doi.org/10.3390/app12083848*

Aspektem badawczym publikacji była szczegółowa prezentacja cyfrowej platformy - Makromodelu DNS, jej możliwości i ograniczeń na tle dotychczasowych badań związanych z łączeniem modeli, metod i baz danych w celu śledzenia transportu zawiesiny w zlewniach rzek. Bez wątpienia proponowane narzędzie może być odpowiedzią na wiele z dotychczasowych problemów z uwagi na jego otwarty charakter i elastyczność (rys. 1). Wciąż jednak pozostają jeszcze konieczne do rozwiązania kwestie, które mogą udoskonalić proces odwzorowania zlewni w cyfrowej przestrzeni modelu zwiększając tym samym dokładność modelowania i zmniejszając niepewność wyników.

Pierwszym z ograniczeń pozostaje możliwość precyzyjnego odwzorowania spływu powierzchniowego, kluczowe dla szacowania transportu zawiesiny w fazie lądowej zlewni. Moduł SWAT szacuje spływ powierzchniowy za pomocą jednej z dwóch metod: Green i Ampt [Mao i in., 2016] oraz Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) [Viji i in., 2015]. Fizyczna metoda Green i Ampta, choć dokładniejsza, jest znacznie mniej popularna ze względu na wymaganą wysoką rozdzielczość czasową danych wejściowych o opadach (krok czasowy poniżej 24 h). Model empiryczny SCS-CN, który opiera się głównie na właściwościach gleby, użytkowaniu terenu i warunkach hydrologicznych, jest szeroko stosowany do szacowania spływu powierzchniowego z dobowymi opadami jako danymi wejściowymi. Trzeba jednak pamiętać, że zwłaszcza na zlewniach górskich, zaufanie do wyników SCS-CN powinno być ograniczone, ponieważ ta metoda może powodować problemy z niedoszacowaniem zarówno wysokich jak i niskich przepływów w stosunku do danych z monitoringu. Ponadto nie uwzględnia czasu trwania i intensywności opadów. Badania skutków zastosowania metody Green i Ampta w modelu SWAT są ciągle bardzo nieliczne, niemniej jednak sugerują, że to podejście pozwala uniknąć ograniczeń metody SCS-CN. W związku z powyższym planuję kontynuować badania związane z możliwością wykorzystania danych opadowych o wysokiej rozdzielczości czasowej przygotowane na potrzeby realizacji projektu - Polski Atlas Natężeń Deszczów (PANDa) [II. 9.3] opisanego szerzej w punkcie 5. Takie dane pozwolą mi na zmianę metody odwzorowania spływu powierzchniowego i tym samym lepsze dopasowanie symulacji do danych obserwowanych zwłaszcza w okresach powodzi i niżówek.

Kolejnym ograniczeniem jest sposób odwzorowania przez moduł SWAT procesów fazy koryta rzeki, która steruje przemieszczaniem się wody i rumowiska unoszonego w sieci rzecznej aż do profilu ujściowego. Woda kierowana jest siecią kanałów metodą Muskingum z wykorzystaniem równania Manninga a transportowane wraz z wodą rumowisko unoszone podlega procesom erozyjno-sedymentacyjnym. Procesy te są obliczane za pomocą uproszczonej wersji równania Bagnolda, w którym maksymalna ilość rumowiska unoszonego transportowanego z każdej z podzlewni jest funkcją maksymalnej prędkości przepływu w kanale. Jednak równanie Bagnolda, domyślne w module SWAT, jest uważane za niepraktyczne do zastosowania w całej sieci rzecznej. Moduł SWAT oferuje wprawdzie możliwość wyboru alternatywnej metody śledzenia rumowiska unoszonego w fazie koryta rzeki (Kodoatie, Molinas i Wu oraz Yang Sand and Gravel), z której skorzystałem w opisanych badaniach ale zasada ich działania jest podobna i w praktyce nie

rozwiązuje problemu. Z tego też powodu niektórzy badacze sugerują, że SWAT obecnie nie posiada solidnej reprezentacji procesów transportu rumowiska unoszonego w korycie rzeki. Niezbędne jest więc ostrożne i krytyczne podejście do uzyskanych wyników, zwłaszcza w przypadku zlewni, w których koryto rzeki zostało zidentyfikowane jako główne źródło rumowiska. Wykorzystanie cyfrowej platformy - Makromodel DNS daje jednak nadzieję na rozwiązanie tego problemu wykorzystując moduł SWAT jedynie do symulacji transportu SYLD w fazie lądowej zlewni a następnie wykorzystanie innego modelu (np. HSPF - Hydrological Simulation Program - Fortran), który lepiej radzi sobie z odwzorowaniem transportu rumowiska unoszonego w fazie koryta rzeki.

Ograniczeniem pozostają również obszary zurbanizowane, których szybki rozwój jest trudny do odwzorowania w modelach ze względu na ograniczony dostęp do danych stanowiących podstawę konstruowania scenariuszy wariantowych. Podjąłem już badania związane z możliwością odwzorowania spływów powierzchniowych z obszarów o zwartej i rozproszonej zabudowie i ich reakcji na prognozowane scenariusze rozwoju obszarów miejskich oraz zmian w opadach (publikacja w przygotowaniu). Obecnie wydaje się jednak, że również w tym przypadku niezbędne będzie dodanie kolejnego modułu na platformie cyfrowej - Makromodelu DNS/SWAT takiego jak np. CLUE pozwalający na przestrzenny, wieloskalowy, ilościowy opis pokrycia terenu poprzez określenie i kwantyfikację fizycznych i ludzkich czynników wpływających na użytkowanie gruntów. Umożliwi to między innymi symulację skutków przyszłych scenariuszy zmiany użytkowania gruntów na podstawie m.in. trendów historycznych.

Za najważniejsze aspekty poznawcze, przedstawione w Publikacji 6, należy uznać:

- wskazanie zalet i wad platformy cyfrowej - Makromodelu DNS/SWAT na tle dotychczasowych badań wykorzystujących możliwości łączenia modeli, metod i baz danych
- Przegląd dostępnych narzędzi matematycznych do śledzenia transportu zawiesiny w zlewniach, ze szczególnym uwzględnieniem ograniczeń występujących na obszarach górskich takich jak zachodnie Karpaty.
- Wskazanie możliwości zmiany metody odwzorowania spływu powierzchniowego w module SWAT poprzez wykorzystanie dostępnych danych opadowych o wysokiej rozdzielczości czasowej opracowanych na potrzeby projektu PANDa
- wskazanie możliwości zastąpienia obecnego sposobu odwzorowania przez moduł SWAT procesów fazy koryta rzeki, polegającej na wykorzystaniu dodatkowego bardziej precyzyjnego modelu (HSPF) jako kolejny moduł platformy cyfrowej - Makromodelu DNS;
- możliwość lepszego odwzorowania spływów powierzchniowych z obszarów miejskich i ich reakcji na prognozowane scenariusze zmian użytkowania terenu obszarów o zwartej i rozproszonej zabudowie oraz zmian w opadach

Podsumowanie

W powyższym cyklu publikacji przedstawiono nową kompleksową metodę śledzenia zawiesiny w fazie lądowej i korytowej uwzględniając również kolejne aspekty jej transportu w zlewni takie jak zbiorniki zaporowe czy związane z nią zanieczyszczenia. Metoda polega na wykorzystaniu przestrzeni cyfrowej - Makromodelu DNS z jej najważniejszym modułem - SWAT do integracji kolejnych narzędzi, metod i baz danych. Odwzorowanie obszaru pilotażowej zlewni rzeki Raby w modelu pozwoliło w pierwszej kolejności na badania fazy

lądowej, które szczegółowo opisano w **Publikacji 1**. Otrzymane wyniki jednoznacznie wskazały dużą zmienności ładunku SYLD, wynikającą ze zróżnicowania cech terenu i klimatu, której można się spodziewać nawet na niewielkiej zlewni lub jej fragmentach. Jednocześnie, możliwość prowadzenia symulacji w oparciu o mniejsze jednostki powierzchni (podzlewnie), z uwzględnieniem scenariuszy klimatycznych i użytkowania terenu, pozwalają z dużą dokładnością wskazać te obszary, które obecnie i w przyszłości będą najbardziej narażone na utratę gleby. Jednocześnie efektem symulacji transportu ładunków SYLD dla każdej z podzlewni z uwzględnieniem wieloetapowej analizy scenariuszowej oraz miesięcznego kroku czasowego jest bardzo duża ilość trudnych do interpretacji danych. Dlatego też, ważnym aspektem badań była możliwość ich uporządkowania i wizualizacji w postaci dostępnej dla każdego użytkownika bazy danych opisanej i przedstawionej w **Publikacji 2**. W ten sposób otrzymano praktyczne i wygodne narzędzie, pozwalające między innymi na ocenę realnego wpływu poszczególnych scenariuszy wariantowych na ładunek SYLD a także wykorzystanie tych informacji jako wartości odniesienia dla innych górskich obszarów zlewni. Uwzględniając informacje o ładunku SYLD, możliwe było kontynuowanie śledzenia transportu rumowiska unoszonego w fazie koryta rzeki. Chociaż odwzorowanie procesów erozyjno-sedymentacyjnych tej fazy w zlewni górskiej stwarza więcej problemów, to wyniki przedstawione w **Publikacji 3** pokazały możliwość uchwycenia sezonowej zmienności ładunków rumowiska unoszonego dla każdego odcinka cieku głównego poszczególnych podzlewni. Ostatecznie udowodniono skuteczność platformy cyfrowej - Makromodelu DNS/SWAT w połączeniu ze scenariuszami wariantowymi w symulacji ładunków rumowiska unoszonego dla każdego z wyznaczonych profili obliczeniowych w tym również profilu Myślenice poprzedzającego zbiornik zaporowy. Wykazana przydatność modułu SWAT do śledzeniu transportu cząstek gleby w zlewni okazała się być jednak niewystarczająca do badania czasowo-przestrzennego rozkładu cząstek rumowiska unoszonego w zbiorniku zaporowym. Niezbędne było połączenie dwóch modeli (SWAT i AdH/PTM), na które pozwolił otwarty charakter platformy cyfrowej - Makromodelu DNS. Opisane w **Publikacji 4** podejście, pozwoliło wskazać strefy zbiornika gdzie należy oczekiwać depozycji konkretnych frakcji rumowiska unoszonego uwzględniając przy tym ich obecną i przyszłą zmienność w poszczególnych miesiącach roku. Badania te pozwoliły również wskazać ryzyko związane z drobniejszymi cząstkami (CLAY) i ich powinowactwem do wiązania zanieczyszczeń, których zwiększona mobilność w zbiorniku zaporowym jest wyraźnie widoczna w scenariuszach wariantowych. Aspekt jakościowy związany ze śledzeniem transportu cząstek gleby był kontynuowany w **Publikacji 5**, gdzie przedstawiono możliwość dodania do platformy cyfrowej - Makromodelu DNS/SWAT modułu fingerprinting. Pozwoliło to na śledzenie przestrzennych i czasowych zmian ładunku SYLD oraz związanych z nim zanieczyszczeń (metali ciężkich) wskazując ich powiązania z warunkami meteorologicznymi i topograficznymi. Badania te pokazały również istotną rolę obszarów leśnych jako buforu ograniczającego transport SYLD, a wraz z nim zanieczyszczeń do koryt rzecznych. Ostatnia z publikacji (**Publikacja 6**) składającej się na opisany cykl, pozwoliła podsumować zalety, ale i wskazać ograniczenia wykorzystywanej cyfrowej platformy - Makromodelu DNS na tle dotychczasowych badań wykorzystujących możliwość łączenia kolejnych narzędzi. Przedstawiono w niej możliwe sposoby uniknięcia dotychczasowych problemów takich jak sposób odwzorowania spływu powierzchniowego (metoda SCS-CN), procesów fazy koryta rzeki czy obszarów zurbanizowanych. Przeprowadzone w ramach tej publikacji analizy określają również kierunek dalszych badań związanych z rozwojem zaproponowanego narzędzia.

Podsumowując, można stwierdzić, że koncepcja platformy cyfrowej - Makromodelu DNS jako wspólnej przestrzeni łączącej dostępne modele, metody i bazy danych i wykorzystującej ich najlesze cechy, przyniosła zamierzone korzyści. Wykorzystując to narzędzie udało się skutecznie śledzić cząstki zawiesiny od jej źródeł poprzez transport aż do depozycji na obszarze zlewni. Uwzględniono przy tym różne pod względem hydrologicznym elementy zlewni takie jak zbiorniki zaporowe oraz zanieczyszczenia, które w naturalny sposób są wiązane na cząstkach zawiesiny.

Literatura:

Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Srinivasan, R., Williams, J. R., Haney, E. B., & Neitsch, S. L. (2013). SWAT 2012 input/output documentation. Texas Water Resources Institute.

Dosio A (2016) Projections of climate change indices of temperature and precipitation from an ensemble of bias-adjusted high-resolution EURO-CORDEX regional climate models. J Geophys Res-Atmos 121(10): 5488–5511. https://doi.org/10.1002/2015JD024411

FORECOM Project—Forest Cover Changes in Mountainous Regions—Drivers, Trajectories and Implications. Available online: http://www.gis.geo.uj.edu.pl/FORECOM/index.html (dostęp: 12.07.2022)

Hachaj, P.S., Szlapa, M., Orlińska-Woźniak, P., Jakusik, E., Wilk, P., Szalińska, E. (2021), "Sediment particle distribution in a dammed reservoir under climate and land use scenarios (Carpathian Mts.)", Mendeley Data, V1, doi: 10.17632/k9c7c666bt.1

LOAD ESTimator (LOADEST) - FORTRAN program for estimating constituent loads in streams and rivers. Available online: https://water.usgs.gov/software/loadest/ (dostęp: 12.07.2022)

Mao, L., Li, Y., Hao, W., Zhou, X., Xu, C., & Lei, T. (2016). A new method to estimate soil water infiltration based on a modified Green–Ampt model. Soil and Tillage Research, 161, 31-37. https://doi.org/10.1016/j.still.2016.03.003

Mezghani, A.; Dobler, A.; Haugen, J.E.; Benestad, R.E.; Parding, K.M.; Piniewski, M.; Kardel, I.; Kundzewicz, Z.W. CHASE-PL Climate Projection dataset over Poland-bias adjustment of EURO-CORDEX simulations. J. Earth Syst. Sci. 2017, 9, 905–925.

MPA (2021a) Development of urban adaptation plans for cities with more than 100,000 inhabitants in Poland. http://44mpa.pl/project-background/?lang=en (accessed 20.02.2021)

MPA (2021b) MPA project – urban adaptation plans. http://klimada.mos.gov.pl/en/ Accessed 20 February 2021

Orlińska-Woźniak, P; Szalinska, E; ***WILK, P.****, 2020, A database for a sediment yield analysis in the Raba River basin (Carpathian Mts), Mendeley Data, V3, doi: 10.17632/rft94c75zb.3*

Yang Y, Bai L,Wang B,Wu J, Fu S (2019) Reliability of the global climate models during 1961–1999 in arid and semiarid regions of China. Sci Total Environ 667:271–286. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.188

Viji, R., Prasanna, P. R., & Ilangovan, R. (2015). Modified SCS-CN and Green-Ampt methods in surface runoff modelling for the Kundahpallam watershed, Nilgiris, Western Ghats, India. Aquatic Procedia, 4, 677-684. https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.087

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

Przed uzyskaniem stopnia doktora

Po ukończeniu w 2004 roku Technikum Ochrony Środowiska, rozpocząłem studia inżynierskie na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach na kierunku Inżynieria środowiska, specjalność: technika ochrony środowiska. Pozwoliło mi to między innymi uczestniczyć w prowadzeniu badań związanych z oddziaływaniem na środowisko i przemieszczaniem się zanieczyszczeń w wodach gruntowych pochodzących ze składowiska odpadów przemysłowych „Rudna Góra" prowadzonych w Katedrze Biotechnologii Środowiskowej. Ich efektem była obrona pracy inżynierskiej "Ocena oddziaływania składowiska odpadów przemysłowych na rośliny" pod kierunkiem Pani dr hab. inż. Elżbiety Grabińskiej-Soty, prof. PŚ w 2008 roku.

Studia kontynuowałem na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej na kierunku inżynieria środowiska, specjalność: zaopatrzenie w wodę, usuwanie i unieszkodliwianie ścieków i odpadów oraz ochrona jakości wód. W trakcie studiów uczestniczyłem między innymi w projekcie *Cause* and *Effect Linkages* of *Contamination* and *Delisting Criteria* in the *Detroit River AOC* realizowanym przez *Great Lakes Institute for Environmental Research – University of Windsor.* Jego celem było określenie wpływu zanieczyszczeń związanych z osadami dennymi rzeki Detroit na organizmy żywe. Rezultatem tych działań była obrona pracy magisterskiej "Wykorzystanie testu Microtox do oznaczenia toksyczności osadów dennych rzeki Detroit" pod kierunkiem Pani dr inż. Ewy Szalińskiej van Overdijk oraz publikacja naukowa w czasopiśmie Technical Transactions [II. 4.23], w której potwierdziłem rolę biotestów jako miarodajnych narzędzi do oceny toksyczności w sytuacji współistnienia licznych zanieczyszczeń związanych z cząstkami osadów.

Po ukończeniu studiów w 2010 roku, rozpocząłem pracę w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowym Instytucie Badawczym (IMGW-PIB) w Warszawie, gdzie na stanowisku asystenta dalej rozwijałem moje dotychczasowe zainteresowania, związane z gospodarką wodną i transportem zanieczyszczeń na obszarach zlewni rzecznych. Już w początkowym okresie mojej pracy miałem szansę pogłębiać swoją wiedzę oraz doświadczenie. W tym czasie w IMGW-PIB z moim udziałem został utworzony zespół zajmujący się modelowaniem środowiskowym, który rozpoczął prace od realizacji dwóch tematów naukowo-badawczych:

Wpływ realizacji krajowego programu oczyszczania ścieków komunalnych na stan wód Bałtyku (w latach 2011-2012) [I. 9.10], **Zmiana gospodarki wodnej na obszarach zanieczyszczonych azotem i fosforem** [I. 9.9] oraz ich kontynuacji pod tytułem **Wpływ zmian gospodarki wodnej na obszarach zanieczyszczonych związkami biogennymi na stan wód Bałtyku** (w 2013 roku) [I. 9.8]

Celem realizacji tych tematów było wdrożenie w IMGW-PIB szeroko wykorzystywanego na świecie i zyskującego popularność w Polsce, modelu SWAT (Soil & Water Assessment Tool). Żeby to osiągnąć, niezbędna była między innymi rozbudowa baz danych dotyczących zarówno fazy lądowej zlewni jak i zanieczyszczeń wód powierzchniowych w fazie koryta rzeki, potrzebnych zarówno do budowy modeli jak i ich prawidłowej kalibracji i weryfikacji. Badania terenowe, laboratoryjne i kameralne skupiały się na zlewniach pilotażowych Gąsawki, Warty oraz Regi. Dla wspomnianych rzek zostały opracowane bazy danych wejściowych wymaganych przez model SWAT. Jego budowa oraz kalibracja ilościowa oraz jakościowa stanowiły wstęp do oceny wpływu zanieczyszczeń obszarowych (azot i fosfor) docierających z obszaru zlewni do koryta rzeki, punktowych źródeł zanieczyszczeń trafiających bezpośrednio do fazy koryta rzeki i wreszcie całkowitych ładunków zanieczyszczeń docierających do profilu obliczeniowego zamykającego zlewnię i transportowanych dalej do Bałtyku (Rega). Niniejsze tematy badawcze pozwoliły mi też opracować podstawy pierwszych analiz scenariuszowych dotyczących zmian wielkości nawożenia oraz wielkości zrzutów z oczyszczalni ścieków na wielkość ładunków azotu i fosforu ogólnego w profilu ujściowym rzeki. Scenariusze te obejmowały:

- zmniejszenie wielkości wprowadzanych zrzutów z oczyszczalni zgodnie z Krajowym Programem Oczyszczania Ścieków Komunalnych,
- zmianę stosowanych dawek azotu i fosforu elementarnego zgodnego z Kodeksem Dobrych Praktyk Rolniczych

W ramach realizacji wspomnianych zadań nawiązałam również współpracę z krajowym Zarządem Gospodarki Wodnej w Warszawie skąd pochodziły dane dotyczące Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych. Efektem były między innymi krajowe i międzynarodowe publikacje dotyczących zasobów wodnych i ich zagrożeń.

Publikacje:

- Gębala, J., Orlińska-Woźniak, P., & **Wilk, P**. (2013). Zanieczyszczenia związkami azotu pochodzenia rolniczego wód powierzchniowych w Polsce-wybrane problemy oceny jakości wód. *Gospodarka Wodna*, (11), 424-430. [II. 4.21]
- Orlińska-Woźniak, P., **Wilk, P**., & Gębala, J. (2013). Water availability in reference to water needs in Poland. *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications*, *1*(1), 45-50. [II. 4.20]
- Ostojski, M. S., Niedbala, J., Orlinska-Wozniak, P., **Wilk, P**., & Gębala, J. (2014). Soil and water assessment tool model calibration results for different catchment sizes in Poland. *Journal of Environmental Quality*, *43*(1), 132-144. https://doi.org/10.2134/jeq2011.0365 [II. 4.19]
- Ostojski, M., **Wilk, P**., Gębala, J., Orlińska-Woźniak, P. (2015). Godzinowa zmienność stężeń fosforu ogólnego na przykładzie zlewni rzeki Słupi. *Polish Journal of Agronomy*, *22*, 33-41 [II. 4.18]

Rozdziały w monografiach:

- Ostojski, M., **Wilk, P**., Orlińska, P. (2011). Konflikty o wodę – koordynacja wdrażania strategii morskiej [w:] Maciejewski, M., Ostojski, M.S. Konflikty i dylematy w gospodarce wodnej IMGW-PIB [II. 2.8]
- Ostojski, M., Orlińska, P., **Wilk, P**. (2011). Znaczenie badań naukowych dla ochrony środowiska wodnego Morza Bałtyckiego [w:] Miętus, M., Sztobryn, M. Stan środowiska polskiej strefy przybrzeżnej Bałtyku w latach 1986-2005, IMGW-PIB [II. 2.7]
- Ostojski, M., Niedbała, J., Orlińska, P., **Wilk, P**., Wróbel, J. (2011). Konflikty ekologiczne towarzyszące budowie zbiorników [w:] Winter, J., Kosik, A., Wita, A. Bezpieczeństwo zapór – nowe wyzwania. IMGW-PIB [II. 2.6]
- **Wilk, P**., Orlińska, P., Wróbel, J. (2012). Odtworzenie danych chwilowych dotyczących jakości stężenia azotu i fosforu w rzece Gąsawce w latach 2009-2011 [w:] Lewandowska-Robak, M. Problematyka zrównoważonego rozwoju w systemach małych zlewni rzecznych. Rozwój zrównoważony na przykładzie zlewni Noteci. WSŚ [II. 2.5]
- Ostojski, M., Niedbała, J., Orlińska-Woźniak, P., **Wilk, P**., Gębala, J., Maczuga, M. (2013). Ocena wpływu roślinności na przepustowość koryta wielkiej wody na odcinku Wisły w rejonie Sandomierza [w:] Walczykiewicz, T. Wybrane problemy sterowania i zarządzania zasobami wodnymi na tle zadań gospodarki wodnej. IMGW-PIB [II. 2.4]

W latach 2014-2017 uczestniczyłem w realizacji czterech kolejnych tematów naukowo-badawczych w ramach działań statutowych IMGW-PIB, których podstawą był dalszy rozwój modelowania środowiskowego:

Szczegółowa analiza wpływu zanieczyszczeń obszarowych na jakość wód powierzchniowych [I. 9.7]

Celem tego tematu badawczego było przede wszystkim opracowanie metodyki wyznaczania obszarów szczególnie narażonych na zanieczyszczenia azotem pochodzenia rolniczego, z których odpływ azotu ze źródeł rolniczych należy ograniczyć – OSN. Efektem tych prac była możliwość wyznaczania obszarów OSN dla pilotażowej zlewni rzeki Warty wykorzystując do tego celu opracowany Makromodel DNS/SWAT z modułem OSN, który jest uniwersalnym narzędziem do określania ładunków zanieczyszczeń na profilach ujściowych zlewni rzek lub zamykających jednolite części wód powierzchniowych (JCW). W ramach realizacji tego tematu uczestniczyłem również w pracach **Międzyresortowego Zespołu ds. opracowania Programu Działań mającego na celu ograniczenie odpływu azotu ze źródeł rolniczych dla obszaru całego kraju** przygotowanego w KZGW pod nadzorem Ministerstwa Środowiska, gdzie moim zadaniem było między innymi wyznaczenie obszarów kraju gdzie terminy stosowania nawożenia zostaną wydłużone lub skrócone z uwagi na warunki klimatyczne.

Określenie metody wyznaczania chłonności odcinka rzeki [I. 9.6]

Celem tego kierowanego przeze mnie tematu naukowo-badawczego było opracowanie metody obliczenia chłonności rzeki z wykorzystaniem modelu matematycznego tego procesu. Pozwoliło mi to na określenie chłonności danego odcinka rzeki, rozumianej jako wprowadzony do danego odcinka rzeki ładunek zanieczyszczeń, który nie spowoduje trwałych i nieodwracalnych zmian w ekosystemie wodnym ani zmiany klasyfikacji jakości wody w danym profilu bilansowym rzeki. Znajomość wielkości chłonności rzeki pozwala podejmować takie działania, które zapobiegną degradacji jakości wody w rzece, a w konsekwencji ekosystemów wodnych i od wody zależnych, zachodzącej w wyniku działalności człowieka. Badania obejmowały uszczegółowienie pojęcia

samooczyszczania odcinka rzeki, przez wprowadzenie ładunku granicznego, ładunku tła i ładunku krytycznego, pozwoliło mi to na określenie ładunku zanieczyszczeń, jaki rzeka może przeprowadzić przez profil obliczeniowy bez wystąpienia nieodwracalnych zmian w ekosystemie wodnym i od wody zależnym. Otrzymane w ramach tego tematu wyniki były częścią mojej pracy doktorskiej. Ponadto pozwoliły mi szczegółowo opisać matematyczne podstawy modelowania środowiskowego oraz skutki wyboru przepływu charakterystycznego co ostatecznie dało mi podstawy do opracowania parametru RAC (*ang. river absorption capacity*).

Po uzyskaniu stopnia doktora

Budowa modelu i dokonanie symulacji zagadnień z gospodarki wodnej w zlewniach rzek Przymorza [I. 9.5]

Prace w tym zadaniu dotyczyły opracowania uniwersalnej metody, z wykorzystaniem modelu matematycznego, do określania rekomendowanych działań zmierzających do ograniczenia antropopresji rolniczej. Podstawą tej metody jest kontrola i minimalizacja odprowadzania do wód powierzchniowych zanieczyszczeń przyczyniających się do powstawania zjawiska eutrofizacji, przy jednoczesnej maksymalizacji produkcji rolnej. Badania skupiały się na matematycznym opisie jednostkowych procesów przemian i transportu ładunków zanieczyszczeń przedostających się do wód wraz ze spływem powierzchniowym, a następnie transportowanych dalej w korycie rzeki. Opracowaną metodę oparto na scenariuszu bazowym. Odzwierciedlał on rzeczywisty stan rolniczego użytkowania terenu (uzyskany z przeprowadzonej ankietyzacji) w pilotowej zlewni rzeka Rega. Kolejnym krokiem było zestawienie go z wybranymi scenariuszami wariantowych zmian prowadzonej działalności rolniczej i w konsekwencji wyborze scenariusza rekomendowanego.

Analiza zmienności sezonowej oraz dobowej wielkości odprowadzanych ładunków substancji biogennych do morza Bałtyckiego [I. 9.4]

Prace w tym temacie skupiały się przede wszystkim na możliwościach rozbudowy baz danych dotyczących ładunków azotu i fosforu w fazie koryta rzeki. Zakres działań obejmował w pierwszej kolejności pomiary terenowe rzeki Regi i Słupi przed, w trakcie oraz po zakończeniu sezonu wegetacyjnego roślin. Otrzymane w ten sposób wyniki zostały wykorzystane do szczegółowych analiz zmienności dobowej ładunków zanieczyszczeń odprowadzanych do Morza Bałtyckiego. Uwzględniono przy tym etap wegetacyjny roślin oraz zmienność ładunku zanieczyszczeń w zależności od lokalizacji miejsca poboru prób w przekroju obliczeniowym rzeki. Badania te pozwoliły mi również zainicjować w IMGW-PIB rozpoczęcie pilotażowego programu automatycznego poboru prób z fazy koryta rzeki na potrzeby oznaczeń biogenów. Ich konsekwencję było uruchomione półautomatycznych autosamplerów, na dwóch zlewniach w Polsce (Charnowo - rzeka Słupia, Gorzów Wlkp. - rzeka Odra), które w ciągu kilku lat działania pozwoliły znacząco poszerzyć wiedzę o dobowej zmienności ładunków zanieczyszczeń w tych zlewniach.

Efektem realizacji powyższych tematów badawczych były między innymi kolejne krajowe i międzynarodowe publikacje:

- **Wilk, P**., Gębala, J., Orlińska-Woźniak, P., & Ostojski, M. (2016). The importance of hourly nutrient concentration variability in terms of assessment of the surface water state

in Słupia Pilot River. *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications*, *4*. [II. 4.17]

- Ostojski, M. S., Gębala, J., Orlińska-Woźniak, P., & **Wilk, P**. (2016). Implementation of robust statistics in the calibration, verification and validation step of model evaluation to better reflect processes concerning total phosphorus load occurring in the catchment. Ecological Modelling, 332, 83-93. [II. 4.16]
- **Wilk, P**., Orlinska-Wozniak, P., & Gebala, J. (2017). Zmienność stosunku stężeń azotu i fosforu dla wybranych zlewni rzek przymorza. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, *26*(1 [75]). [II. 4.15]
- **Wilk, P**., Orlińska-Woźniak, P., Gębala, J., & Ostojski, M. (2017). The flattening phenomenon in a seasonal variability analysis of the total nitrogen loads in river waters. *Technical Transactions*, *114*(11), 137-159. [II. 4.14]
- **Wilk, P**., Orlińska-Woźniak, P., Grabarczyk, A., & Gębala, J. (2018). Rozkład stężenia zanieczyszczeń azotu ogólnego i fosforu ogólnego w profilu poprzecznym rzeki Słupi. *Gospodarka Wodna*, (3), 87-93. [II. 4.13]
- **Wilk, P**., & Grabarczyk, A. (2018). The effect of selected inviolable flow characteristics on the results of environmental analysis using the example of river absorption capacity. *Archives of Environmental Protection*, *44*(2). [II. 4.12]
- **Wilk, P**., Orlińska-Woźniak, P., & Gębala, J. (2018). The river absorption capacity determination as a tool to evaluate state of surface water. *Hydrology and Earth System Sciences*, *22*(2), 1033-1050. [II. 4.7]
- **Wilk, P**., Orlińska-Woźniak, P., & Gębala, J. (2018). Mathematical description of a river absorption capacity on the example of the middle Warta catchment. *Environment Protection Engineering*. 44 (4) 99-116 [II. 4.11]
- **Wilk, P**., & Grabarczyk, A. (2018). Using on-line analyzers and RAC parameters to determine the amount of TN and TP pollutants discharged from Poland into the Baltic Sea. *Geology, Geophysics and Environment*, *44*(2). [II. 4.10]
- Szalińska, E., Orlińska-Woźniak, P., & **Wilk, P**. (2018). Nitrate vulnerable zones revision in Poland—Assessment of environmental impact and land use conflicts. *Sustainability*, *10*(9), 3297. [II. 4.8]
- **Wilk, P**., & Orlińska-Woźniak, P. (2019). Use of the macromodel DNS/SWAT to calculate the natural background of TN and TP in surface waters for the RAC parameter. *Architecture Civil Engineering Environment*, *12*(1). [II. 4.6]
- **Wilk, P.,** Orlińska-Woźniak, P., & Szalińska, E. (2019). Szacowanie wartości ładunku azotu ogólnego odprowadzanego ze zlewni rolniczych w kontekście zmian sposobu realizacji dyrektywy azotanowej. *Ochrona Środowiska*, *41*(1). [II. 4.5]

Rozdziały w monografiach:

- Orlińska-Woźniak, P., **Wilk, P**., Gębala, J. (2014). Zastosowanie modelu SWAT w metodykach identyfikacji źródeł i stref zasięgu zanieczyszczeń związkami biogennymi w zlewniach [w:] Walczykiewicz, T. Wybrane przykłady systemów wspomagania decyzji i modelowania w gospodarce wodnej. IMGW-PIB [II. 2.3]

Próby dalszego rozwoju symulacji transportu zanieczyszczeń w zlewniach rzecznych napotkały jednak istotne problemy w postaci ograniczonej a czasem wręcz braku wiedzy o transporcie zawiesiny zarówno w fazie lądowej jak i koryta rzeki. Dotychczasowe domyślne wartości wykorzystywane przez model okazały się niewystarczające, podobnie zresztą jak dane

monitoringowe pochodzące z państwowego monitoringu środowiska. Głównie z tych powodów moja dalsza działalność naukowa skupiała się już niemal wyłącznie na możliwościach wykorzystania platformy cyfrowej - Makromodelu DNS pozwalającej rozszerzyć możliwości modelu SWAT również na potrzeby wieloetapowych analiz scenariuszowych uwzględniających zmiany klimatu i użytkowania terenu zlewni.

Kierowany przeze mnie w latach 2018 - 2019 statutowy temat naukowo-badawczy **Wpływ użytkowania zlewni oraz prognozowanych zmian klimatu na ilość i jakość powierzchniowych wód płynących** [I. 9.3] dał początek pracom nad określeniem wpływu zmian klimatu i użytkowania terenu na ilość i jakość zawiesiny transportowanej z obszaru zlewni do wód powierzchniowych (SYLD), a następnie dalej wraz z wodami rzeki do wyznaczonych profili obliczeniowych. Cel został zrealizowany poprzez odwzorowanie po raz pierwszy w Polsce na platformie cyfrowej - Makromodel DNS/SWAT górskiej zlewni rzeki Raby reprezentującej zlewnię karpacką silnie narażoną na zjawisko erozji. Region południowej Polski został również zakwalifikowany jako najbardziej narażony na zmiany klimatyczne. Prace w tym temacie obejmowały również, kalibrację i walidację modułu SWAT realizowane osobno dla górnej i dolnej części zlewni.. Z kolei integracja badań terenowych i laboratoryjnych z modelowaniem matematycznym pozwoliła stworzyć szczegółową bazę danych, stanowiącą podstawę do opracowania prognoz zmian temperatury i opadów w oparciu o wybrane scenariusze RCP (Representative Concentration Pathways). Zadanie pozwoliło również na opracowanie i zastosowanie scenariuszy zmian użytkowania gruntów na obszarze zlewni pilotażowej.

W efekcie (poza osiągnięciem habilitacyjnym) powstała następująca publikacja:

- Szalińska, E., & **Wilk, P**. (2018). Sediment quantity management in Polish catchment-river-sea systems–should we care? *Economics and Environment*, *66*(3), 13-13. [II. 4.9]

Do kontynuowania badań związanych z odwzorowaniem transportu zawiesiny i związanej z nią zanieczyszczeń niezbędne była rozbudowa możliwości platformy cyfrowej - Makromodel DNS. W tym celu rozpocząłem współpracę z Katedrą Ochrony Środowiska Akademii-Górniczo-Hutniczej, która została następnie sformalizowana w 2021 roku jako interdyscyplinarna **Grupa Badawcza „Transport Zanieczyszczeń w Zlewni"** (http://ochrsrod.agh.edu.pl/index.html). Współpraca szybko została rozszerzona również o pracowników Katedry Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej Politechniki Krakowskiej tworząc zespół o ogromnym potencjale intelektualnym, badawczym i rozwojowym.

Pozwoliło to kontynuować badania między innymi w kolejnym kierowanym przeze mnie temacie naukowo-badawczym realizowany w ramach Funduszu Badań Własnych IMGW-PIB w latach 2020-2022 **Zagrożenie erozją - metoda określania tendencji do erozji wodnej w wybranej zlewni** [I. 9.1] pozwolił mi opracować nową kompleksową metodykę śledzenia transport zawiesiny uwzględniając stochastyczne i zmienne procesy erozji i depozycji, co w modelach wciąż stanowiło duże wyzwanie, zwłaszcza na obszarach górskich. Współpraca naukowców z trzech instytucji w ramach Grupy Badawczej „Transport Zanieczyszczeń w Zlewni" pozwoliła między innymi uwzględnić w tych badaniach miesięczne scenariusze zmian klimatu, scenariusze użytkowania terenu, metodę fingerprinting oraz modele AdH/PTM wnosząc istotny wkład w rozwój wiedzy o obecnym i przyszłym transporcie cząstek zawiesiny w zlewniach górskich rzek. W ramach tego tematu powstała większość publikacji składających się na moje osiągnięcie naukowe szczegółowo opisane w punkcie 2 oraz załączniku nr 4 [I. 1.1 - 1.6].

Równolegle uczestniczyłem również w realizacji drugiego tematu naukowo-badawczego realizowanego w ramach Funduszu Badań Własnych IMGW-PIB p.t. **Metoda oceny potencjału eutrofizacyjnego powierzchniowych wód płynących** [I. 9.2], którego celem było opracowanie metody oceny potencjału eutrofizacyjnego wód płynących umożliwiającej uzyskanie pełnej informacji na temat jakości wód w określonej zlewni w celu kompleksowego, nowoczesnego gospodarowania wodami. W ramach tego zadania uczestniczyłem między innymi w pracach związanych ze stworzeniem algorytmu ewaluacji numerycznych parametrów fizyczno-chemicznych oraz klimatyczno-geograficznych warunkujących procesy zachodzące w zlewni. Wdrożeniu pilotażowym w modelach hydrologiczno-jakościowych zlewni stworzonych oraz wykorzystywanych w IMGW-PIB. Efektem prac w tym temacie był mój udział w publikacjach naukowych:

- Orlińska-Woźniak, P., **Wilk, P**., & Szalińska, E. (2020). Delimitation of nutrient vulnerable zones-a comprehensive method to manage a persistent problem of agriculture. *Agricultural Systems*, *183*, 102858. [II. 4.3]
- Orlinska-Wozniak, P., Szalińska, E., Jakusik, E., Bojanowski, D., & **Wilk, P**. (2021). Biomass Production Potential in a River under Climate Change Scenarios. *Environmental science & technology*, *55*(16), 11113-11124. [II. 4.2]

Współpraca w ramach **Grupy Badawczej „Transport Zanieczyszczeń w Zlewni"** umożliwiła również otrzymanie realizowanego obecnie **grantu uczelnianego** pod tytułem **"Rozbudowa platformy cyfrowej - Makromodelu DNS/SWAT do modelowania procesów transportu ilościowego i jakościowego zanieczyszczeń w zlewni"** w ramach konkursu **"System grantów uczelnianych na prace badawcze realizowane z udziałem doktorantów"** [II. 9.2] w projekcie "Inicjatywa Doskonałości - Uczelnia Badawcza. Otrzymane środki są wykorzystywane na rozwój adaptacyjnej cyfrowej platformy jaką jest Makromodel DNS (Discharge-Nutrients-Sea) zintegrowanej z modułem SWAT o nowe wieloskalowe i wielofazowe moduły pozwalające zwiększyć jej funkcjonalność w zależności od bieżących potrzeb i otwierające nowe możliwości badawcze w modelowaniu środowiskowym. Działania skupiają się w pierwszej kolejności na rozwiązaniu problemu związane z ilością i jakością danych monitoringowych, dając pierwszeństwo badaniom terenowym takim jak pobór prób gleby, zawiesiny i osadów na zlewni rzeki Nurzec w profilach obliczeniowych zintegrowanych z cyfrowym odwzorowaniem zlewni i odpowiadającym im jednostkom zlewni (HRU). Pozwoli to stworzyć bazy danych jakościowych parametrów dla np. gleb, osadów czy zawiesiny, w obrębie jednostek o różnych typach użytkowania terenu (rolniczy, miejski, leśny, przemysłowy). Drugim etapem będą badania stopnia zanieczyszczenia zlewni, m.in. metalami ciężkimi, biogenami, mikroplastikami, czy zanieczyszczeniami ropopochodnymi. Ponadto planowany jest rozwój modułu METEO uwzględniając przede wszystkim dane dotyczące prędkości wiatru i nasłonecznienia, które nie są standardowo wykorzystywane w aktualnych prognozach, a są istotne z uwagi na ich wpływ na procesy zachodzące na zlewniach. Kontynuowane będa również prace nad modułem CHLA pozwalającym symulować produkcję biomasy nie tylko w jeziorach, ale również korycie rzek. Nowością będzie również stworzenie modułu URBAN, który pozwoli na śledzenie obiegu zanieczyszczeń w zawiesinie pochodzących ze zlewni miejskich. Rozwój platformy nastąpi w oparciu o badania prowadzone w wybranych zlewniach w całej Polsce dla których model SWAT został już zbudowany (Raba, Wełna, Wieprz, Ina) lub jest w trakcie budowy (Nurzec), a reprezentują powszechne typy użytkowania terenu występujące w Polsce. Efektem realizacji wspomnianego grantu jest między innymi publikacja:

- Bojanowski, D., Orlińska-Woźniak, P., **Wilk, P**., Szalińska, E. Estimation of nutrient loads with the use of mass-balance and modelling approaches on the Wełna River catchment example (central Poland). *Scientific Reports (12) 13052 https://doi.org/10.1038/s41598-022-17270-4* [II. 4.1]

Poza tematami naukowo-badawczymi realizowanymi w ramach zadań statutowych oraz funduszu badań własnych IMGW-PIB uczestniczyłem również w realizacji projektów zewnętrznych.

Przed uzyskaniem stopnia doktora

Projekt **GLOWASIS (2011-2012)** [https://www.copernicus.eu/en/global-water-scarcity-information-service] [II 9.7], którego głównym celem była wstępna walidacja Globalnego Serwisu Informacyjnego o Niedoborze Wody - GMES (*ang. Global Service for Water Scarcity Information*). Prace w tym projekcie skupiały się na umożliwieniu kompleksowej obsługi informacji o niedoborach wody na podstawie danych satelitarnych i czujnikach in-situ, udoskonalaniu modeli prognozowania oraz łączeniu statystycznych danych. Moim głównym zadaniem jako uczestnika tego projektu było opracowanie potencjalnego zestawu parametrów niedoboru wody pod kątem dostępności danych. Ponadto brałem również udział w analizie krajowej i międzynarodowej dokumentacji prawnej regulującej zagadnienia gospodarki wodnej w kontekście niedoboru wody oraz możliwości oceny niedoboru wody na podstawie zdjęć satelitarnych. prace w projekcie pozwoliły również na nawiązanie międzynarodowej współpracy z Vienna University of Technology co zaowocowało między innymi publikacją naukową:

- Ostojski, M., Niedbała, J., Orlińska, P., **Wilk, P**., Wróbel, J., Kidd, R.A. (2012) Water Availability in Reference to Water Needs in Poland: The Importance of Correct Estimation of Water Resources, IEEE EarthZine https://earthzine.org/water-availability-in-reference-to-water-needs-in-poland-the-importance-of-correct-estimation-of-water-resources-3/ [II. 4.22]

W latach 2012-2013 uczestniczyłem również w projekcie LIFE11 INF/PL/000480 - **Agrosafe: Wzmocnienie świadomości polskich rolników w celu zmniejszenia wpływu rolnictwa na eutrofizację wód [**https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/project/details/3692**]** [II. 9.6]**.** Projekt ten miał głównie znaczenie edukacyjne skierowane na podniesienie świadomości rolników, a także właścicieli kąpielisk i zarządców dróg wodnych. Jednym z moich zadań w projekcie było podnoszenie świadomości ekologicznej rolników poprzez prowadzenie spotkań szkoleniowo - edukacyjnych przy współpracy z jednostkami zewnętrznymi, takimi jak: Ośrodki Doradztwa Rolniczego, RZGW, WIOŚ, władze samorządowe, organizacje pozarządowe. Spotkania te miały na celu szersze wdrożenie dobrych praktyk rolniczych, ograniczenia stosowania nawozów i poprawy środowiska wodnego, zwłaszcza na obszarze objętym projektem. W dłuższej perspektywie działania te prowadziły to do popraawy jakość środowiska, w szczególności gleby i wody, a także zmniejszenia zanieczyszczenia powietrza powodowanego przez gospodarstwa rolne.

Z kolei realizowany w latach 2011 - 2013 projekt **Baltic Compass** [https://keep.eu/projects/6149/Baltic-COMPASS-Comprehensive-EN/] [II. 9.5], był odpowiedzią na potrzebę ponadnarodowego podejścia do ograniczenia eutrofizacji Morza Bałtyckiego oraz wkładu w adaptację i wdrożenie Bałtyckiego Planu Działań HELCOM (BSAP). Projekt miał na celu w szczególności uzupełnienie luk w zdolnościach i zasobach interesariuszy do zwalczania eutrofizacji i komunikacji na różnych poziomach polityki. W ramach prac w tym projekcie uczestniczyłem w budowie, kalibracji, weryfikacji i walidacji oraz analizie wyników modelu SWAT dla zlewni rzeki Redy, którego zadaniem było oszacowanie ładunku zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego dopływającego do Morza Bałtyckiego.

Przebieg i wyniki prac związanych z budową i kalibracją modelu dla zlewni rzeki Redy opublikowano w postaci raportu:

- Orlińska, P., Wróbel, J., **Wilk, P**. Wyniki kalibracji ilościowej modelu SWAT zlewni rzeki Redy.https://docplayer.pl/29338796-Wyniki-kalibracji-ilosciowej-modelu-swat-zlewni-rzeki-redy.html

W latach 2014-2015 miałem możliwość kierować czterema zadaniami realizowanymi w ramach projektu **METEO RISK - System numerycznego prognozowania pogody i przewidywania zagrożeń meteorologicznych** [http://meteorisk.imgw.pl/] [II. 9.4]**,** którego celem było zwiększenie ochrony przed skutkami zagrożeń naturalnych i usprawnienie systemu przewidywania zagrożeń i zdarzeń niebezpiecznych o charakterze meteorologicznym. W ramach tego projektu udało mi się rozbudować dwie stacje PSHM w Szczecinie i Tczewie o automatyczne analizatory on-line pozwalające analizować stężenia i ładunki azotu i fosforu ogólnego nawet z godzinowym krokiem czasowym na profilach ujściowych zlewni Wisły i Odry. Analizatory posłużyły do budowy szczegółowej bazy danych stężeń i ładunków odprowadzanych z terenu Polski. Powstała w ten sposób baza danych znacząco poprawiła możliwości budowy kolejnych modeli symulacyjnych jakości wód dla wszystkich jednolitych części wód powierzchniowych (JCWP) zlewni Wisły i Odry.

Po uzyskaniu stopnia doktora

W latach 2016-2018 wspólnie z firmą RETENCJAPL uczestniczyłem w projekcie **Opracowanie i wdrożenie Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów (PANDa)** [https://atlaspanda.pl/] [II. 9.3] w ramach działania 1.1 Projekty B+R przedsiębiorstw, Poddziałanie 1.1.1 Badania przemysłowe i prace rozwojowe realizowane przez przedsiębiorstwa POIR. Celem projektu było opracowanie Polskiego Atlasu Natężeń Deszczów (PANDa) w postaci łatwego w obsłudze kalkulatora natężeń deszczów miarodajnych, dostępnego w Internecie. Moim zadaniem jako zastępcy kierownika w pierwszym etapie projektu był udział w opracowaniu i zweryfikowaniu ogólnopolskiej cyfrowej bazy szeregów opadowych (okres 1986 – 2015) w rozdzielczości rzędu pojedynczych minut. Budowa takiej bazy przebiegała dwutorowo i polegała na przygotowaniu, zeskanowaniu, digitalizacji oraz weryfikacji pasków pluwiograficznych dla wybranych do projektu 100 stacji opadowych, równomiernie rozłożonych na obszarze Polski, a następnie połączeniu otrzymanych danych z danymi cyfrowymi dostępnymi dla późniejszych lat. W drugim etapie uczestniczyłem w opracowaniu metodyki i przeprowadzeniu analizy Quality Assurance ciągów czasowych zarejestrowanych w ramach badań przemysłowych wysokości opadów krótkotrwałych dla wszystkich wybranych do analiz deszczomierzy. Ponadto w ramach tego etapu IMGW-PIB przy współpracy z Politechniką Wrocławską opracowywałem i testowałem oprogramowanie pozwalające na wyszukiwanie maksymalnych

wysokości opadów dla zadanych przedziałów czasowych. Efektem projektu PANDa jest pierwszy atlas opadów maksymalnych obejmujący swoim zasięgiem całą Polskę, dostosowany w pełni do wymogów praktyki projektowania i modelowania systemów odwodnienia.

Ponadto w ramach prac w tym projekcie byłem współautorem dwóch rozdziałów powstałej monografii:

- **Wilk, P**., Wereski, S., Mikolajewski, K., & Licznar, P. (2020). Cyfrowa baza szeregów opadowych [w:] Licznar, P., Zaleski, J. Metodyka opracowania Polskiego Atlasu Natężenia Deszczów (PANDa), IMGW-PIB [II. 2.1]
- Licznar, P., Siekanowicz-Grochowina, K., Oktawiec, M., Zaleski, J., **Wilk, P.**, Wereski, S., Mikołajewski, K. (2020). Maksymalne wysokości i natężenia opadów i ich modele [w:] Licznar, P., Zaleski, J. Metodyka opracowania Polskiego Atlasu Natężenia Deszczów (PANDa), IMGW-PIB [II. 2.2]

Od 2020 w ramach współpracy z Instytutem Ochrony Środowiska - PIB oraz Wydziałem Nauk o Zwierzętach Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie trwa realizacja przygotowanego przeze mnie projektu p.t. **Utworzenie, kalibracja, wdrożenie i analiza baz danych jakości wód oraz wariantów scenariuszowych dla rzeki Nurzec w oparciu o modelowanie i badania terenowe** [II. 9.1] będący częścią większego tematu „Wykonanie ekspertyz z zakresu wpływu obszarów użytkowanych rolniczo, ze szczególnym uwzględnieniem hodowli zwierzęcej na jakość i bioróżnorodność siedlisk flory i fauny związanych z powierzchniowymi wodami płynącymi" w ramach programu priorytetowego nr 5.1.1 „Wsparcie Ministra Środowiska w zakresie realizacji polityki ochrony środowiska. Celem tego projektu jest opracowanie rozwiązań pozwalających na trwałe zredukowanie ilości zanieczyszczeń obszarowych. Zostanie on osiągnięty poprzez przeprowadzenie kompleksowych badań (modelowych, terenowych, laboratoryjnych) nad wpływem hodowli zwierzęcej, na jakość i bioróżnorodność siedlisk związanych z powierzchniowymi wodami płynącymi. Na potrzeby projektu wykorzystałem platformę cyfrową - Makromodel DNS/SWAT pozwalającą symulować procesy zachodzące w zlewni rzeki Nurzec ze szczególnym uwzględnieniem obiegu związków biogennych, przenikania różnych form azotu (związek z działalnością rolniczą) i akumulacji węgla w łańcuchu gleba-roślinność-zwierzęta.

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

- udział w Festiwalu Nauki w Krakowie jako reprezentant wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej (12-15 maja 2010) - Technologia - Sztuka - Życie - http://festiwalnauki.pk.edu.pl/2010/index.php?option=com_content&view=article&id=8&Itemid=9
- udział w komitecie organizacyjnym XIV Międzynarodowej Konferencji Technicznej Kontroli Zapór. zamek Książ 13-16 czerwca 2011 r.
- udział w komitecie organizacyjnym XV Międzynarodowa Konferencja Technicznej Kontroli Zapór. Jastrzębia Góra, 18-21 czerwca 2013 r.

7. Inne informacje ważne z punktu widzenia kandydata dotyczące jego kariery zawodowej

- W 2010 roku odbyłem praktyki nauczycielskie w Zespole Szkół Geodezyjno – Drogowych i Gospodarki Wodnej w Krakowie.
- W 2010 roku odbyłem miesięczną praktykę na Stacji Morskiej Uniwersytetu Gdańskiego na Helu zajmując się między innymi badaniem jakości wody w zatoce Puckiej.
- W 2011 roku ukończyłem Studium Pedagogiczne w Centrum pedagogiki i Psychologii Politechniki Krakowskiej uzyskując przygotowanie pedagogiczne.
- W 2011 roku na Texas A&M University w College Station ukończyłem kurs modelowania SWAT na poziomie podstawowym i zaawansowanym.
- W 2015 roku byłem polskim delegatem na 17 Światowym Kongresie Meteorologicznym WMO odbywający się w Genewie.
- W 2016 roku ukończyłem kurs dokształcający "Wody Pod Presją - praktyczny kurs oceny presji obiektów gospodarki komunalnej na wody powierzchniowe" prowadzony na Wydziale Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej.
- W 2019 roku otrzymałem Nagrodę Dyrektora IMGW-PIB za osiągnięcia naukowe i promowanie nauki pod afiliacją IMGW-PIB.
- W 2019 roku zostałem powołany w skład Rady Naukowej X kadencji (2019-2022) Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej - PIB a w jej ramach również jako członek Komisji Inżynierii, Gospodarki Wodnej i Jakości Wód RN IMGW-PIB i Komisji ds. Planu i Finansów RN IMGW-PIB i Komisji Skrutacyjnej RN IMGW-PIB.
- W latach 2018-2020 - członek Science and Management of lntermittent Rivers and Ephemeral Streams (SMIRES). WG1: Prevalence, distribution and trends of IRES. Compile hydrological data to locate, map and analyse trends in flow intermittence in IRES https://www.smires.eu/working-groups/
- W latach 2019-2020 pracując jako specjalista ds. modelowania w Państwowym Gospodarstwie Wodnym – Wody Polskie przyczyniłem się do wdrożenia modelu SWAT dla trzech zlewni (Ina, Wełna oraz Wieprz) w PGW-WP, służącego obecnie jako uzupełnienie dla wykorzystywanych metod obliczeniowych do bilansowania biogenów

PODPIS ZAUFANY
PAWEŁ
WILK
11.08.2022 14:30:42 [GMT+2]
Dokument podpisany elektronicznie podpisem zaufanym

……..……..…….

(podpis wnioskodawcy)