

Dr inż. Leszek Hejduk

AUTOREFERAT

**Katedra Inżynierii Wodnej
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Warszawa, 2018**

Spis Treści

1. Dane personalne	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe.....	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	3
4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)	4
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego	4
4.2. Wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego.....	4
4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.....	6
4.3.1. Wprowadzenie oraz omówienie celu	6
4.3.2. Omówienie wyników badań będących podstawą osiągnięcia.....	8
4.3.3. Podsumowanie wyników.....	19
4.3.4. Omówienie ewentualnego wykorzystania wyników	20
4.3.5. Literatura	21
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych	23
6. Podsumowanie osiągnięć naukowo-badawczych	28
7. Podsumowanie działalności dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzatorskiej	28

1. Dane personalne : Leszek Hejduk

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

1 września 1996	Politechnika Warszawska. Uzyskanie tytułu zawodowego magistra inżyniera w zakresie inżynierii środowiska w specjalności Gospodarka Wodna i Hydrologia. Tytuł pracy magisterskiej: "Zastosowanie specjacji fosforu do oceny stopnia eutrofizacji wód powierzchniowych na przykładzie osadów dennych Jeziora Zegrzyńskiego".
1 września 2000	Szkoła Główna Handlowa. Uzyskanie tytułu zawodowego magistra w zakresie zarządzania i marketingu. Tytuł pracy magisterskiej: "Sklep Internetowy".
1 września 2001	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Uzyskanie stopnia naukowego doktora nauk rolniczych w zakresie kształtowania środowiska. Tytuł rozprawy doktorskiej „Transport rumowiska unoszonego i fosforu w wezbraniach zlewni rzeki Zagożdżonki”.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Od 10 październik 2001	Mianowanie na stanowisko adiunkta w Katedrze Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska (obecnie Katedra Inżynierii Wodnej) na Wydziale Inżynierii i Kształtowania Środowiska (obecnie Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska) Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego (SGGW) w Warszawie.
1 stycznia 2013 do 31 grudnia 2016	Powołanie przez Dziekana Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska do pełnienia funkcji kierownika Zakładu Inżynierii Rzeczej.
19 stycznia 2017 do 31 stycznia 2021 roku	Powołanie przez Rektora Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie do pełnienia funkcji kierownika Zakładu Inżynierii Rzeczej w Katedrze Inżynierii Wodnej na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska.

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego:

Wpływ wybranych czynników hydrologicznych na transport form fosforu w małej zlewni

4.2. Wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

Na osiągnięcie naukowe składa się 8 publikacji których sumaryczna ilość punktów wg.MNiSW wynosi: 62 pkt. (w tym 4 prac abstraktowane w WoS i 1 praca z IF). Artykuły uszeregowano pod względem kolejności omawianych zagadnień.

Tabela 1. Zestawienie publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe.

Lp.	Autorzy	Tytuł/rok wydania/nazwa wydawnictwa/udział procentowy	Punkty MNiSW ¹ i lub IF ²
1	Hejduk L., Banasik K., Hejduk A.	Monitoring ilości i jakości wody w małej zlewni, Hydrologia w inżynierii i gospodarce wodnej. T. 1 / pod red. Beniamina Więzika. - (Monografie / Polska Akademia Nauk. Komitet Inżynierii Środowiska ; nr 68). - Warszawa, 2010. - S. 401-409. <i>Mój udział procentowy szacuję na 75%.</i>	4/- (praca abstraktowana w WoS)
2	Banasik K., Hejduk L.	Long term changes in runoff from a small agricultural catchment. Soil and Water Research, 7, 2012 (2), 64–72, <i>Mój udział procentowy określam na 50%.</i>	15/0,333 (praca abstraktowana w WoS)
3	Hejduk L., Hejduk A., Baryła A., Hewelke E.,	Influence of selected factors on erodibility in catchment scale on the basis of field investigation, 2017, Journal of Ecological Engineering, 18(1):256–267 <i>Mój udział procentowy określam na 60%.</i>	12/- (praca abstraktowana w WoS)
4	Hejduk L., Hejduk A., Banasik K.,	Suspended sediment transport during rainfall and snowmelt floods in a small lowland catchment (central Poland).Chapter in Soil Erosion and Sediment Redistribution in River Catchments: measurement, modeling and management. 2006, Edited by P.N.Owens and A.J.Collins CABI International. www.cabi.org, <i>Mój udział procentowy określam na 70%.</i>	6/- (praca abstraktowana w WoS)

5	Hejduk L. Banasik K.	Variations in suspended sediment grain sizes in flood events of a small lowland river. IAHS Publ. 337, 189-196, 2010. <i>Mój udział procentowy określam na 80%.</i>	10/- (praca abstraktowana w WoS)
6	Hejduk L.	Sezonowa zmienność stosunku N do P w górnej części zlewni rzeki Zagożdżonki Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowania Środowiska. Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 55, 2012: 27–37. <i>Praca całkowicie przygotowana przez mnie, w 100%.</i>	5/-
7	Hejduk L.	Relacje pomiędzy wybranymi formami fosforu a rumowiskiem unoszonym w rzece Zagożdżonce. Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowania Środowiska vol.20 Issue 4(45) 2011 pp.311-320. <i>Praca całkowicie przygotowana przez mnie, w 100%.</i>	5/-
8	Hejduk L.	Estimation of influence of land management on river water quality based on model calculation. Rozdział w Prediction and the reduction of diffuse pollution, solid emission and extreme flows from rural areas-case study of small agricultural catchments. 2011. <i>Praca całkowicie przygotowana przez mnie, w 100%.</i>	5/-

¹ z roku wydania

² Impact Factor z roku wydania

4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

4.3.1. Wprowadzenie oraz omówienie celu

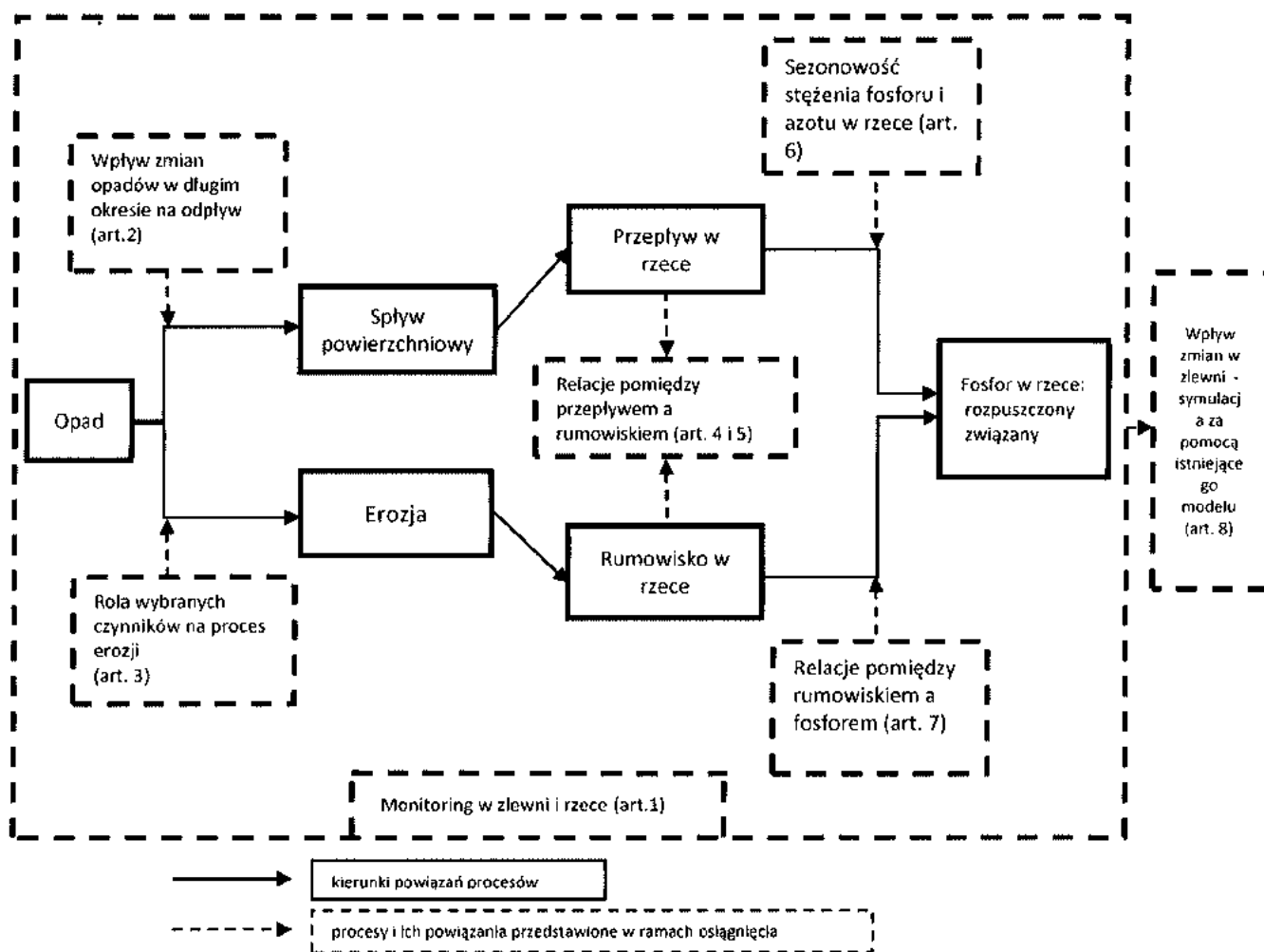
Efektywna ochrona środowiska jak i zrównoważone wykorzystanie jego zasobów wymaga znajomość zarówno procesów zachodzących w środowisku jak i powiązań pomiędzy tymi procesami (Sharpley et al., 2013). Istniejący zasób wiedzy, opisującej w sposób matematyczny procesy w środowisku, pozwolił zarówno na stworzenie złożonych modeli środowiska (Arnold et al., 2012) jak i modeli procesów szczególnie istotnych z punktu widzenia wpływu na jakość środowiska (Wade et al., 2002). Ze względu jednak, na złożoność zjawisk w środowisku, istniejące modele mają ograniczone zastosowania. Ograniczenia te związane są z nieznanymi niektórymi procesami lub dużym ich uproszczeniem, co wynika z różnych przyczyn. Obecnie, badania zarówno samych nierozpoznanych w pełni procesów, jak i nierozpoznanych w pełni powiązań między nimi, prowadzone są głównie w celu polepszania istniejących modeli (Hrachowitz et al., 2016; Jackson-Blake et al., 2015) łączenia istniejących modeli (Arnold et al., 2012) jak również tworzeniu nowych modeli (Davison et al., 2008).

W środowisku naturalnym głównym czynnikiem sprawczym uruchamiającym procesy transportu na określonym obszarze są opady (Hively et al., 2006). Ze względu na obszar, na którym zachodzą procesy uruchamiane przez opad, jednostką przestrzeni względem której tworzone są modele procesów w środowisku jest najczęściej zlewnia (Arnold et al., 2012; Davison et al., 2008). Powiązania pomiędzy procesami zachodzącymi w zlewniach, można opisać poprzez następujące po sobie lub równolegle trwające zdarzenia. Czynnikiem sprawczym - opad atmosferyczny wywołuje spływ powierzchniowy, który z jednej strony przyczynia się do intensyfikacji procesu erozji gleb na obszarze zlewni a z drugiej strony do rozpuszczenia substancji znajdujących się w glebie lub w głębszych warstwach gruntu (Wade et al., 2002). Wraz ze spływem powierzchniowym transportowane są cząstki materiału wyerodowanego z powierzchni terenu, które transportują związane ze sobą zanieczyszczenia w szczególności fosfor. Woda wraz transportowanym materiałem trafia do cieku aby następnie wraz z odpływem rzeczny trafić do odbiornika (np. większej rzeki, zbiornika wodnego) (Sharpley et al., 2013). Na powyższe procesy transportu ma wpływ wiele czynników zarówno naturalnych jak i antropogenicznych. Pośród czynników naturalnych pełniących istotną rolę ale w dalszym ciągu nie do końca rozpoznanych, można wyróżnić długookresowe zmiany wysokości opadu (Kundzewicz i Krysanova, 2010), ilości i jakości materiału transportowanego w rzece (Withers and Jarvie, 2008), zmienności sezonowej stężeń biogenów oraz relacje pomiędzy ilością a ładunkiem form fosforu (D. J. Ballantine et al., 2009). Czynnikiem antropogenicznym, który wymaga dalszych analiz jest wpływ ilości zastosowanych nawozów na danym obszarze na ładunki biogenów eksportowanych z obszaru zlewni (Sharpley et al., 2013; Ballantine et al., 2008). W szczególności mało poznanymi zagadnieniami są procesy transportu zanieczyszczeń związanych z rumowiskiem w przypadku małych zlewni o zagospodarowaniu rolniczo-leśnym. Jedną z głównych przyczyn powodujących braki wiedzy w tego typu zlewniach jest niedostateczna liczba danych pomiarowych. W ocenie administratorów cieków, koszty prowadzenia monitoringu, znacznie przekraczają korzyść wynikające z ewentualnych, ukierunkowanych działań naprawczych. Dlatego w obecnych warunkach jedynym źródłem danych z takich zlewni są specjalne programy monitoringu prowadzone w zlewniach badawczych.

Małe zlewnie pełnią tu wyjątkową rolę, ponieważ pozwalają na szczegółowe badania pojedynczych procesów oraz czynników wpływających na te procesy (Littlewood et al., 2010). Jednocześnie dane gromadzone w małych zlewniach umożliwiają kalibrację modeli pozwalających na obliczenia wpływu zmian klimatu na jakość wód (Marcinkowski et al., 2017; Ockenden et al., 2017) oraz badania innych powiązań pomiędzy wielkoskalowymi zjawiskami meteorologicznymi (np. oscylacja północnotlentycka) a procesami zachodzącymi w zlewniach w szczególności w aspekcie transportu azotu i fosforu (Mellander et al., 2018). Poprzez badania w małych zlewniach zmniejsza się również niepewność określania czynników wynikająca ze zróżnicowania przestrzennego danego terenu (Soranno et al., 2015).

Wyniki badań własnych prezentowane w cyklu artykułów, stanowiących osiągnięcie naukowe, uzupełniają wiedzę w zakresie istotnych czynników hydrologicznych wpływających na transport biogenów (Rys1).

Wybór analizowanych procesów wynikał przede wszystkim z istotności danego procesu dla stanu wód, słabego rozpoznania takiego procesu oraz czasu niezbędnego dla przeprowadzenia badań terenowych.



Rys. 1. Schemat powiązań wybranych procesów w zlewni rolniczej

Głównym celem przeprowadzonych prac była więc identyfikacja i kwantyfikacja czynników wpływających na procesy transportu form fosforu w małych zlewniach.

Cel główny zawiera w sobie cele szczegółowe odpowiadające poszczególnym istotnym czynnikom tj.:

- zbadanie długookresowych zmian odpływu w małej zlewni i hipotetycznego wpływu tych zmian na odpływ w przyszłości (czynnik wpływający na ładunki zanieczyszczeń transportowanych w formach rozpuszczonych)
- zbadanie wpływu parametrów hydro-meteorologicznych na ilość materiału erodowanego z obszaru zlewni (czynnik wpływający na ilość fosforu transportowanego wraz z cząstkami gleby)
- zbadanie zmienności wielkości cząstek rumowiska unoszonego (czynnika wpływającego na ilość fosforu związanego z rumowiskiem i transportowanego w rzece)
- zbadanie zmienności i zależności pomiędzy przepływem i koncentracją rumowiska unoszonego (czynnik wpływający na proces transportu fosforu w formie związanej z cząstkami rumowiska w rzece)
- zbadanie sezonowości stężeń fosforanów oraz relacji pomiędzy fosforanami i azotanami (czynnik wpływające na całkowity ładunek transportowanego fosforu)

4.3.2. Omówienie wyników badań będących podstawą osiągnięcia

Wyniki, stanowiące podstawę osiągnięcia, uszeregowano w sposób umożliwiający powiązania pomiędzy poszczególnymi analizowanymi procesami. W pierwszej kolejności na podstawie systemu monitoringu zlewni [Tabela 1, Lp. 1] przedstawione będą wyniki analiz skupiających się na wpływie zmian opadów na odpływ [Tabela 1, Lp. 2], oraz czynnikach wpływających na procesy erozji na obszarze zlewni [Tabela 1, Lp. 3], następnie przedstawiane zostaną wyniki badań nad relacją pomiędzy rumowiskiem rzeczny a przepływem w zakresie czynników mających wpływ na transport biogenów w rzece tj. zmienności stężeń rumowiska [Tabela 1, Lp. 4] oraz zmienności wielkości cząstek rumowiska [Tabela 1, Lp. 5]. Wynik analiz zmienności jakości wody [Tabela 1, Lp. 6] w aspekcie sezonowości oraz powiązań pomiędzy transportem rumowiska i jakością wody [Tabela 1, Lp. 7] a także możliwości modelowania transportu zanieczyszczeń w małych zlewniach [Tabela 1, Lp. 8] uzupełniają zakres analizowanych procesów.

Badania prowadzone były w zlewni rzeki Zagożdżonki, przy czym, poszczególne wyniki badań odniesione były do profili zamykających zlewnie cząstkowe tej zlewni, lub dotyczyły wielu punktów wzdłuż rzeki. System monitoringu zlewni badawczej przedstawiony w publikacji pod numerem 1 w tabeli 1, stanowi więc pierwszy element powiązań przedstawionych na Rys.1 (art. 1).

W publikacji [Tabela 1, Lp. 1] przedstawiono rozbudowywany i unowocześniany system monitoringu ilości i jakości wody w zlewni rzeki Zagożdżonki, który pozwolił na uzyskiwanie precyzyjnych danych o jakości środowiska dla tej zlewni. Ciągła rejestracja wielu wskaźników pozwala na prowadzenie badań nad zmiennością zjawisk związanych zarówno z zasobami wodnymi, jak i zmiennością jakości wody w rzece Zagożdżonce. Zastosowanie elektronicznego systemu ułatwia zarządzanie systemem monitoringu. Między innymi, możliwa jest stała kontrola działania systemu, co pozwala na szybką reakcję w sytuacjach awaryjnych a także w przypadku zdarzeń

ekstremalnych np. wezbrań powodziowych, w celu przeprowadzenia dokładniejszych pomiarów hydrometrycznych. System monitoringu obejmuje górną część zlewni rzeki Zagożdżonki, która leży w pasie Nizin Środkowo - Polskich. Wg podziału fizyczno - geograficznego górna część zlewni do profilu Płachty Stare należy do Równiny Radomskiej wchodzącej w skład Regionu Wzniesienia Południowomazowieckiego. Maksymalna deniwelacja terenu wynosi 37 m (148 - 185 m.n.p.m.). Na podstawie typów reżimów rzecznych Polski wg. Dynowskiej, zlewnię rzeki Zagożdżonki można zaliczyć do reżimu umiarkowanego z wezbraniem wiosennym i zimowym oraz zasilaniem gruntowo-deszczowo-śnieżnym. Badania w zlewni prowadzone były dla dwóch profili zamykających tj. w miejscowości Czarna (51°25'56.08"N, 21°27'1.29"E) oraz Płachty Stare (51°26'43.74"N, 21°27'35.83"E). Powierzchnia całkowita zlewni po profil Czarna wynosi 23,4 km², natomiast jej hydrologicznie aktywna powierzchnia (tj. biorąca udział w tworzeniu odpływu bezpośredniego i produkcji rumowiska unoszonego) wynosi 19,5 km². Powierzchnia zlewni po profil Płachty Stare wynosi 82,4 km² (powierzchnia hydrologicznie aktywna 62,8 km²). W hydrologicznie aktywnej części zlewni do profilu Czarna występują trzy rodzaje gleb (według klasyfikacji PTG). Piaski gliniaste zajmują powierzchnię 9,8 km², piaski słabo gliniaste 7,8 km², a pozostałe gleby organiczne 1,8 km², co stanowi odpowiednio 50,5%, 40,2% oraz 9,3% powierzchni hydrologicznie aktywnej zlewni. Analogiczne do profilu Płachty Stare piaski gliniaste zajmują 17,08 km², piaski słabo gliniaste 38,06 km² oraz gleby organiczne 7,59 km², występują tam również piaski luźne 0,07 km². Poszczególne rodzaje gleb zajmują odpowiednio: 27,2%, 60,6%, 12,1% i 0,1% hydrologicznie aktywnej części zlewni. Większość terenu zlewni użytkowana jest jako grunty orne. Zajmują one 70% (13,7 km²) obszaru hydrologicznie aktywnej części zlewni. Lasy zajmują 20% (3,9 km²), pastwiska 9,4% (1,8 km²) oraz tereny utwardzone 0,6% (0,1 km²). Największy obszar gruntów ornich przeznaczony jest pod zasiew zbóż (8,9 km²), następnie uprawę ziemniaków (3,4 km²) oraz rośliny motylkowe (1,4 km²) co stanowi odpowiednio 65%, 25% i 10% powierzchni gruntów ornich. Na system monitoringu składa się kilka podsystemów. Podsystem monitoringu wielkości meteorologicznych w którego skład wchodzi: czujniki opadów (min. deszczomierze Hellmana oraz deszczomierz podgrzewany), temperatury powietrza i wody rzecznej, albedo, wilgotności powietrza, ciśnienia atmosferycznego, kierunku i prędkości wiatru, oraz zestaw czujników do pomiarów temperatury gruntu na głębokościach 0,5, 10, 20 cm. Podsystem monitoringu hydrologicznego w skład którego wchodzi: łaty hydrometryczne, czujniki stanów wody, czujniki przepływu wody oraz czujników stanów wód gruntowych rozmieszczonych w piezometrach na obszarze zlewni. Pomiary hydrometryczne do celów weryfikacji krzywych przepływów realizowane były przy wykorzystaniu młynków elektromagnetycznych jak również przy zastosowaniu ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler - akustyczny dopplerowski prądomierz profilograf). Podsystem monitoringu transportu rumowiska składa się z batometrów do poboru rumowiska unoszonego w tym z: batometrów sumujących, programowalnego próbnika (samplera) umożliwiającego schłodzenie pobieranych prób wody, optycznych czujników zmaczenia i osadników do gromadzenia rumowiska unoszonego. Dodatkowo w pobliżu stacji zainstalowane jest unikatowe stanowisko do pomiaru natężenia rumowiska wleczonego (Popek, 2006) w rzekach nizinnych. Próby wody wraz z rumowiskiem analizowane były pod względem wielkości cząstek w laboratorium SGGW w Warszawie. Podsystem jakości wody składa się z czujników umożliwiających pomiary: zmaczenia (transport rumowiska unoszonego), stężeń azotanów i azotu amonowego, potencjału Redox, tlenu rozpuszczonego i przewodności. Dodatkowo na stacji pomiarowej w Czarnej zainstalowane jest

urządzenie (spektrofotometr) umożliwiające automatyczny pomiar koncentracji fosforanów rozpuszczonych oraz fosforu ogólnego. Oprócz automatycznych pomiarów wykonywane były okresowo również cotygodniowe pobory prób wody do analizy laboratoryjnej koncentracji form biogenów: fosforanów, fosforu ogólnego, azotanów, azotynów i azotu amonowego. Podstawowym osiągnięciem przedstawianym w powyższym artykule jest ocena struktury oraz organizacji badawczego systemu monitoringu środowiska, który to system stanowi odnośnik dla tworzenia lokalnych systemów ochrony środowiska.

Czynnikiem wpływającym na ładunki fosforu transportowanego w formie rozpuszczonej jest wpływ długookresowych zmian opadów na odpływ (Rys. 1, art. 2). Wyniki badań na tym zagadnieniu zaprezentowane zostały w publikacji numer 2 (Tabela 1).

Zależności łączące opad i dopływ mogą być analizowane zarówno z punktu widzenia krótkotrwałych zdarzeń opad-odpływ tj. reakcji zlewni na deszcz jak i długookresowych zmienności trendów w odpływie rocznym ze zlewni. Krótkotrwałe zdarzenia mają większe znaczenie dla procesów erozji i szybkiego transportu biogenów w formie związanej z cząstkami gleby. Trendy długoterminowe są natomiast istotne z punktu widzenia bilansu wodnego zlewni oraz długookresowej dynamiki biogenów w glebie na obszarze zlewni. Analiza długookresowych trendów odpływu w zlewni rzeki Zagożdżonki była przeprowadzona w oparciu o pomierzone wartości odpływu. Zgromadzona baza danych o opadach pozwoliła na wyznaczenie miesięcznych rozkładów opadu z wielolecia (48 lat) oraz wyznaczenie uśrednionych najbardziej mokrych i suchych miesięcy. Z punktu widzenia wysokości opadów najbardziej mokrym miesiącem jest lipiec. Średnia z wielolecia suma wysokości opadu dla tego miesiąca wyniosła 78,7 mm co stanowi 12,9% średniej rocznej sumy opadów. Najbardziej suchym miesiącem jest styczeń dla którego uśredniona suma opadów (z uwzględnieniem opadów stałych) wyniosła 31,6 mm opadu co stanowi 5,2% średniego rocznego opadu. Z punktu widzenia odpływu najbardziej mokrym miesiącem jest Marzec (15,5 mm, co stanowi 14,7% rocznego odpływu) a najbardziej suchym jest Lipiec (5,4 mm co stanowi 5,1% średniego rocznego odpływu). Przetawione wyniki nie uwzględniały analizy ewapotranspiracji. Analizę trendów przeprowadzono dla trzech parametrów hydrologicznych tj. opadów, odpływu oraz współczynnika odpływu. Do oceny statystycznej istotności trendów zastosowano nieparametryczny test Manna-Kendalla często stosowany w zagadnieniach hydrologicznych. W celu analizy czasowej zmienności wybranych parametrów wybrano 5 zależności opisujących trend: liniową, periodyczną, złożoną (liniowa z cyklem periodycznym) oraz Log Normal Cumulative (zależność przejściowa tzw. "transition function") oraz Symmetric Double Gaussian Cumulative (SDC) (zależność z maksimum tzw. „peak function”). Sposób wyboru zależności podano w artykule. Przeprowadzone analizy wykazały brak statystycznie istotnego trendu w przypadku 48 letnich rocznych sum opadów, oraz istotne statystycznie malejące trendy dla średnich rocznych wartości przepływów oraz dla rocznych odpływów. Spośród analizowanych funkcji największy współczynnik determinacji uzyskała zależność złożona (liniowa z cyklem periodycznym), na której to podstawie wyznaczono średnie roczne zmniejszenie się odpływu ze zlewni w wysokości 1,64 mm/rok. Współczynnik determinacji dla zależność SDC miał jednak wartość większą niż dla zależności złożonej. Było to spowodowane dużo lepszym odwzorowaniem gwałtownego spadku wartości odpływu obserwowanego w zlewni od lat 80 tych zeszłego stulecia. Głównym osiągnięciem tych analiz było potwierdzenie istnienia tendencji zmniejszania się odpływu ze zlewni w stosunku do pierwszych tego

typu analiz przeprowadzonych przed rokiem 2000 oraz wyznaczenie zależności dobrze opisującej długoterminowe zmienności opadów i odpływu z analizowanej zlewni i określenie na tej podstawie, hipotetycznego tempa zmniejszenia się odpływu ze zlewni. Potwierdzenie istniejącego gwałtownego spadku odpływu na początku lat 80 tych XX wieku gdzie analogiczny, w dalszym ciągu nie wyjaśniony spadek, zaobserwowano w innych zlewniach na obszarze Polski. Zależności uzyskane z powyższych analiz są istotne dla predykcji procesów zachodzących na obszarze zlewni i mogą posłużyć jako dane wejściowe do modeli zmian środowiska w zlewni. W tym zakresie uzyskane wyniki potwierdziły zjawisko zmniejszania się zasobów wodnych na obszarze analizowanej małej zlewni.

Czynnikiem wpływającym na procesy transportu fosforu (formie związanej z cząstkami) na obszarze zlewni jest proces erozji (Rys 1, art. 3). Wyniki badań nad wpływem czynników hydro-meteorologicznych na procesy erozji w zlewni opisano w publikacji numer 3 (Tabela 1).

W badaniach nad czynnikami wpływającymi na procesy erozji w zlewni Zagożdżonki zastosowano przenośny symulator opadów (firmy Ejilkelkamp) umożliwiający symulacje różnych wysokości opadu przy jednoczesnym zapewnieniu rzeczywistego sposobu zagospodarowania terenu. Ze względu na przemiany w rolnictwie na nizinie mazowieckiej, gleby o niskiej produktywności, takie jak gleby piaszczyste przestają być użytkowane. Z jednej strony może to być konsekwencja migracja ludności np. z obszarów wiejskich do miast, z drugiej strony silna fragmentacja gospodarstw, w których 79% gospodarstw jest mniejszych niż 10ha (Sulmicka, 2013). To rozdrobnienie i stosunkowo niewielkie rozmiary gospodarstw z piaszczystymi glebami, nie generują wystarczających dochodów. Z punktu widzenia ochrony ziemi, zmniejszenie gruntów rolnych a powiększanie obszarów leśnych może pomóc w radzeniu sobie z zagrożeniami związanymi ze zmianami klimatu (Starkel i Kundzewicz, 2008). Dodatkowo, ten kierunek zmian zagospodarowania ma znaczący wpływ na ilość stosowanych nawozów sztucznych na obszarze zlewni. Badania prowadzone w zlewni rzeki Zagożdżonki miały na celu określenie wpływu parametrów istotnych z punktu widzenia opisu procesu na ilość erodowanej gleby podczas deszczy o intensywności przekraczającej graniczną wartość natężenia deszczu erozyjnego. Eksperymenty, przy zastosowaniu przenośnego symulatora deszczu, przeprowadzono dla 5-ciu różnych charakterystycznych zagospodarowań terenu reprezentatywnych dla całej górnej części zlewni Zagożdżonki tj. nieuprawiana łąka, koszona łąka, pole z uprawą żyta, nieuprawiana łąka z sukcesją młodych drzew oraz dla lasu młodego (poniżej 10 lat). We wszystkich przypadkach występowały typ gleby określone wg. klasyfikacji World Reference Base 2014 jako Albic Podzols (bielice). Eksperyment polowy polegał na wykorzystaniu przenośnego symulatora deszczu który pozwolił na zapewnienie jednakowego natężenia symulowanego deszczu bez względu na termin wykonania eksperymentu. W okresie jednego roku obejmującego wszystkie pory roku wykonano 5 eksperymentów. Podczas eksperymentów gromadzono dane o wilgotności gleby przed i po eksperymencie, wykonywano również test kroplowy pozwalający określić repelencję gleby – soil water repellency (SWR) w 5 stopniowej skali zależnej od czasu wsiąkania kropeł (klasa I najmniej repelentna a klasa V jako najbardziej repelentną). W celu określenia stężenia zawiesiny ogólnej (materiału erodowanego) z poletka eksperymentalnego pobierano odciek wraz z erodowanym rumowiskiem oraz pobierano próby gleby przed i po eksperymencie w celu określenia zmian granulometrii ziaren. Granulometria materiału ma istotne znaczenie w procesie transportu zanieczyszczeń związanych z małymi

cząstkami podczas wezbrań. Dane zebrane podczas eksperymentów wraz z danymi meteorologicznymi (sumą opadów w okresach pomiędzy eksperymentami oraz sumą opadu na 5 dni przed eksperymentem (wskaźnik wilgotności gleby wg. metody USLE)) pozwoliły na wyznaczenia zależności pomiędzy ilością erodowanej gleby a następującymi parametrami: objętością wody użytą do eksperymentu (odpowiada to sumowanej wysokości opadu), wilgotności gleby określonej metodą wskaźnika opadu Lambora (IL) opartego na sumie opadu w ciągu 15 dni przed badanym zjawiskiem, pięciodobowej sumie opadu przed eksperymentem, temperaturze gleby przed wykonaniem eksperymentu, wilgotności rzeczywistej gleby mierzonej bezpośrednio przed eksperymentem oraz procencie wystąpienia I klasy repelencji (SWR). Zależności tych poszukiwano z uwzględnieniem zagospodarowania terenu. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że najintensywniejszy proces erozji zachodzi na obszarze upraw rolniczych w tym przypadku żyta i jest on 5 krotnie większy niż dla innych zagospodarowań terenu. Uwzględnienie zagospodarowania rolniczego (wyniki znacząco odbiegały od wyników dla innych zagospodarowań) w analizach uniemożliwiło zaobserwowanie jakichkolwiek zależności dlatego przeprowadzono dodatkową analizę usuwając ze zbioru dane dla zagospodarowania rolniczego. Takie podejście pozwoliło na zaobserwowanie zależności dla naturalnej pokrywy terenu. Dlatego głównymi osiągnięciami tych badań były następujące zaobserwowane zależności: malejąca zależność pomiędzy masą rumowiska a pięciodobową sumą opadów przed eksperymentem, wilgotnością rzeczywistą gleby przed eksperymentem oraz procentu wystąpienia I klasy repelencji. W przypadku zależności pomiędzy masą rumowiska a temperaturą powierzchni gleby przed eksperymentem oraz ilością wody użytej do eksperymentu zaobserwowano zależność rosnącą. Nie zaobserwowano natomiast żadnej zależności pomiędzy ilością erodowanej gleby a indeksem IL. Ogólnym wnioskiem z eksperymentu jest to, że najlepszą ochroną przed intensywnymi procesami erozyjnymi w zlewni jest zagospodarowanie idące w kierunku zwiększenia obszarów lesistych przy spadku powierzchni obszarów uprawianych rolniczo.

Czynnikiem wpływającym na transport fosforu związanego z cząstkami rumowiska w rzece jest relacja pomiędzy przepływem a stężeniem rumowiska podczas wezbrań (Rys 1. Art. 4) Wyniki badań nad wpływem czynników hydro-meteorologicznych na procesy erozji w zlewni przedstawiono w publikacji numer 4 (Tabela 1).

Materiał erodowany z powierzchni zlewni wraz ze splywem powierzchniowym dopływa do odbiornika jakim jest w większości przypadku rzeka. Z punktu widzenia transportu zanieczyszczeń, szczególną rolę ma tu proces transportu rumowiska unoszonego podczas wezbrań. Transport rumowiska unoszonego w rzekach nizinnych występuje głównie w okresach wezbrań i powodzi opadowych a także w okresach roztopowych. Podczas zdarzeń opadowych możliwa jest do określenia zależność pomiędzy stężeniem rumowiska unoszonego a przepływem. Badania takich zależności prowadzone były dla rzek różnej wielkości i na ich podstawie, w literaturze, spotyka się 5 głównych typów zależności (Morris and Fan, 1998). Spośród nich, najczęściej występują zależności w formie histerez zgodnych z kierunkiem wskazówek zegara tj. prawoskrętną (clockwise) i przeciwnych (counterclockwise) tj. lewoskrętną. Ta pierwsza zależność występuje kiedy wartość kulminacji stężenia rumowiska unoszonego wyprzedza kulminację przepływu wezbrania, natomiast drugi typ w sytuacji przeciwnej. Badania mające na celu ustalenie zależności pomiędzy

przepływem a rumowiskiem unoszonym prowadzone w zlewni rzeki Zagożdżonki bazowały na własnych danych pomiarowych z urządzeń pozwalających na ciągły pomiar stężenia rumowiska unoszonego metodą optyczną. Były to jedne z pierwszych w Polsce zastosowań metod optycznych do ciągłego monitoringu zmaczenia a następnie przeliczania zmaczenia na stężenie rumowiska unoszonego podczas wezbrań. W badaniach tych pierwszy raz użyto czujników pozwalających na pomiar zmaczenia w podczerwieni, natomiast do kalibracji czujnika zastosowano klasyczną metodę wagową określania zawiesiny ogólnej. Wartości przepływu wyznaczono za pomocą odpowiedniej krzywej natężenia przepływu z automatycznie rejestrowanych stanów wody. W okresie badawczym udało się zaobserwować 8 zdarzeń typu opad-odpływ-transport rumowiska unoszonego z 10 minutowym krokiem czasowym. Taki krok czasowy pomiarów, nie stosowany w badaniach IMGW, pozwolił na bardzo precyzyjne opisanie szybkich, bo trwających w niektórych przypadkach mniej niż 24 godziny wezbrań opadowych i roztopowych. Spośród zaobserwowanych zdarzeń, 6 było typowymi zdarzeniami opadowymi natomiast dwa zdarzenia zakwalifikowano do zdarzeń typu mieszanego roztopowo-opadowego ponieważ przyczynami wezbrań był wzrost temperatury powietrza ale podczas formowania się wezbrania wystąpił również opad. Porównując maksymalne stężenia rumowiska unoszonego zaobserwowano dużo niższe stężenia podczas wezbrań roztopowo-opadowych niż podczas wezbrań opadowych. Takie zjawisko jest możliwe do wytłumaczenia poprzez analizę zmienności temperatury powietrza przed i podczas wezbrania. Szybkie zmiany temperatury powietrza z temperatur ujemnych do dodatnich oraz oscylacje temperatur wokół zera pomiędzy dniem a nocą wspomagane opadem, wywołały wezbranie, natomiast gleba wciąż była zamrożona. Ta sytuacja spowodowała małą dostawę rumowiska do cieku bo cząstki gleby były wciąż związane zamrożoną między nimi wodą. W przypadku zdarzeń opadowych wartości maksymalnych stężeń rumowiska unoszonego są bardziej zmienne. Na pomierzone wielkości stężeń wpływały takie parametry jak wysokość odpływu wody podczas wezbrania ale również termin wystąpienia wezbrania. Jeśli wezbranie wystąpiło podczas okresu wegetacji kiedy obecna jest pokrywa roślinna redukująca procesy erozji nawet duże wartości odpływu nie spowodowały dużego stężenia rumowiska unoszonego. Taka sytuacja miała miejsce podczas wezbrań pomierzonych w lipcu. W okresach wiosennych – marcu, kiedy nie ma jeszcze pokrywy roślinnej ilość rumowiska w odpływie jest duża szczególnie podczas pierwszych wiosennych wezbrań. Z kolei następne wezbrania po wezbraniach dużych pomimo braku pokrywy roślinnej nie generują dużego stężenia rumowiska unoszonego. Spośród analizowanych wezbrań 7 zdarzeń wykazało histerezę prawoskrętną i tylko jedno wezbranie histerezę lewoskrętną. Przyczyną prawoskrętnej histerezy jest zwykle zjawisko zmycia w pierwszym okresie (minutach) opadu cząstek luźno związanych z glebą. Wraz z czasem trwania opadu, ilość cząstek luźnych maleje a energia kinetyczna deszczu nie jest wystarczająca, aby w takich warunkach, odspoić cząstki trwale związane. W przypadku zaobserwowanej histerezy lewoskrętnej przyczyną był rozkład opadu (dwa piki intensywności podczas trwania opadu), który spowodował wezbranie. Potwierdzenie dominującego typu zależności pomiędzy stężeniem rumowiska a przepływem w zależności od terminu umożliwia pośrednio określenie momentów kulminacji ładunków fosforu (transportowanego w formach związanych z rumowiskiem).

Czynnikiem wpływającym na transport fosforu związanego z cząstkami rumowiska w rzece jest również wielkość cząstek rumowiska transportowanego w

rzece (Rys 1. Art. 5). Wyniki badania nad zmiennościami wielkości cząstek rumowiska unoszonego w rzece przedstawiono w publikacji numer 5 (Tabela 1).

Wielkość cząstek gleby transportowanych na obszarze zlewni jako materiał wyerodowany a następnie jako rumowisko w cieku, jest istotnym elementem modeli procesów w środowisku. Dodatkowo, znane jest zjawisko selektywnego zwiększenia się w masie rumowiska cząstek mniejszych, odpowiadających za wiązanie zanieczyszczeń, w stosunku do pierwotnych wielkości cząstek gleby z której te cząstki pochodzą (Menzel, 1980). W związku z tym, wielkość cząstek transportowanych jako rumowisko unoszone ma duże znaczenie w przypadku transportu zanieczyszczeń. Wielkość ziaren rumowiska i jego zmienność w czasie wezbrań w rzekach są ważnymi informacjami wymaganymi do modelowania transportu rumowiska rzeczno i zamulania zbiorników, a także do zrozumienia roli cząstek rumowiska w różnych procesach środowiskowych (Walling et al., 2000). Transport rumowiska, zarówno w postaci zawieszanej, jak i wleczonej, jest jednym z kluczowych procesów kontrolujących morfologię rzeki. Niektórzy autorzy podają dość dokładne informacje na temat wielkości cząstek i łączą je ze sposobem transportu rumowiska, tak że mniejsze (tj. średnice <0,05 mm) i lżejsze cząstki (w tym materiał organiczny) są zwykle transportowane w formie rumowiska unoszonego podczas gdy cięższe cząstki (tj. w zakresie średnic 0,1-100 mm) są transportowane jako rumowisko wlezione, często tocząc się w korytach cieków (toczyny). Granica między rumowiskiem unoszonym a rumowiskiem wleczonym jest jednak bardzo dynamiczna i zależy głównie od prędkości wody. Jest to ważniejsze w przypadku wezbrań, gdy szybko zmienia się prędkość i natężenie przepływu a z tym również forma transportu rumowiska w rzece. Opisanie zależności pomiędzy natężeniem przepływu oraz wielkością cząstek rumowiska jest trudne zwłaszcza w małych rzekach, ponieważ relacja może być zupełnie inna nawet w dość podobnych zlewniach (Walling i Moorehead, 1989). W przypadkach, w których nie było wyraźnego związku (Stone i Walling, 1997), zmiany wielkości cząstek są bardziej związane ze zmianami w dostawie rumowiska niż z wahaniami zdolności transportu rumowiska. Lenzi i Marchi (2000) opisali wzrost gruboziarnistego materiału zawieszanego w pobliżu kulminacji przepływu podczas dużych powodzi w górskim potoku. W niektórych badaniach zaobserwowano grubsze frakcje rumowiska na wznoszących gałęziach hydrogramów przepływu podczas dużych powodzi (Walling et al., 2000), chociaż odnotowywano również spadek wielkości cząstek rumowiska podczas zwiększania się natężenia przepływu (Slattery i Burt, 1997). Relacje wielkości cząstek rumowiska i przepływu mogą również zależeć od sezonowości przepływu i różnić się w zależności od tego czy występuje okres niskich czy wysokich stanów wody. Na przykład Xu (1999) podał, że zaobserwowano grubsze cząstki rumowiska unoszonego podczas niskich przepływów i mniejsze cząstki rumowiska w warunkach dużego przepływu. W analizowanym przypadku przeprowadzono badania zmienności wielkości cząstek rumowiska podczas wezbrań opadowych, roztopowych i mieszanych opadowo-roztopowych. Do analiz wielkości cząstek zastosowywano metodę dyfrakcji laserowej. Metoda dyfrakcji laserowej polegająca na pomiarze min. kąta załamania światła lasera który jest zależny od wielkości oświetlanej cząstki jest stosunkowo nową metodą badawczą wprowadzona do analiz w drugiej połowie lat 90 tych XX wieku. Badania nad zmiennością wielkości cząstek rumowiska w zlewni rzeki Zagożdżonki były pierwszymi badaniami w Polsce gdzie zastosowano tą metodę do analiz rumowiska unoszonego. Metoda ta pozwala na określenie średnic kuli o średnicy równoważnej analizowanej cząstce pod względem objętości (średnicy zastępczej) w zakresie od 0,05 do 550 mikrometrów w przypadku zastosowanego w tych badaniach urządzenia. Analizy 11 pomierzonych zdarzeń opad-odpływ-transport rumowiska

(opadowych - 4 zdarzenia, roztopowych - 1 zdarzenie i mieszanych – 6 zdarzeń) skupiła się na opisie zmienności wielkości cząstek oraz relacjach pomiędzy średnicami charakteryzującymi rozkłady granulometryczne a przepływem. Podczas poszczególnych zdarzeń pobierano próby wody (z 2 godzinnym krokiem czasowym) wraz z rumowiskiem dla którego wyznaczono rozkłady granulometryczne. Ogólnie, przeprowadzono badanie 160 pobranych prób przy czym w poszczególnych wezbraniach ilość prób wahała się od 6 do 24 (średnia dla wszystkich prób wyniosła 14,5 próby na wezbranie). Zmienność rozkładów granulometrycznych w poszczególnych wezbraniach scharakteryzowana została poprzez średnice charakterystyczne (procent cząstek w próbce o określonej wielkości wraz z cząstkami mniejszymi) d_{10} , d_{50} (mediana) oraz d_{90} oraz odchylenia standardowe (SD) tych wielkości w poszczególnych wezbraniach wskazujące na zakres zmienności średnic charakterystycznych podczas wezbrania. Średnia wartość średnicy d_{10} dla wszystkich zaobserwowanych wezbrań wyniosła 15,7 mikrometra przy SD równym 3,85 dla d_{50} średnia wartość wyniosła 69,5 mikrometra przy SD równym 15,5 oraz dla średnicy d_{90} wyniosła 226 przy SD równym 52,7. Zmienność średnic charakterystycznych w zależności od wartości natężenia przepływu analizowano w dwóch wariantach: zestawiając wszystkie dostępne dane oraz zestawiając dane z wykluczeniem wezbrania największego (takiego podczas którego kulminacja przepływu przekroczyła ponad 5 krotnie średnia wartość kulminacji ze wszystkich wezbrań). Wezbranie największe charakteryzowało się dużo większymi wartościami przepływu nie powodując jednak znaczącego zwiększenia wielkości cząstek transportowanych podczas wezbrania. Maksymalna wielkość cząstek możliwa do transportu jest oczywiście limitowana maksymalną wielkością cząstek występujących w rzece oraz w źródle tych cząstek tj. glebie. Odrzucenie skrajnych wielkości pozwoliło na zaobserwowanie relacji pomiędzy wielkością cząstek a przepływem. Uzyskano relację opisującą zwiększanie się średnic charakterystycznych transportowanego rumowiska unoszonego (tu reprezentowaną przez średnicę charakterystyczną d_{50}) wraz z większą wartością kulminacji przepływów w wezbraniach.

Czynnikiem wpływającym na transport fosforu w rzece jest sezonowość zjawisk wpływających na stężenia substancji biogennych w rzece jak również relacja pomiędzy stężeniami fosforu i azotu (Rys.1 art. 6). Wyniki badań nad tymi relacjami przedstawiono w publikacji numer 6 (Tabela 1).

Produkcja biologiczna w wodach zależy od wielu czynników, w tym, w dużym stopniu, od zawartości substancji mineralnych oraz ich wzajemnych stosunków (Dojlido 1995). Stosunek trzech podstawowych pierwiastków: węgla, azotu i fosforu w czasie fotosyntezy nazywany jest stosunkiem Redfielda i wynosi 106 : 16 : 1. Zaburzenie tej relacji, poprzez na przykład wprowadzenie do środowiska dodatkowej ilości fosforu, prowadzi może do intensyfikacji procesów eutrofizacji. Stosunek C : N : P nie jest także stabilny, ale wykazuje dużą zmienność zarówno w zależności od rozpatrywanego gatunku (wraz z sezonem wegetacyjnym), jak i warunków danego środowiska. Ponieważ węgiel występuje w środowisku w nadmiarze więc rzadko jest czynnikiem limitującym eutrofizację. Uważa się, że czynnikami limitującymi są azot i fosfor (Dojlido, 1995), istotne znaczenie ma także stosunek tych dwóch pierwiastków. Wyniki badania przedstawione w artykule 6 stanowiącym element osiągnięcia naukowego oparte zostały na pomiarach stężenia fosforanów rozpuszczonych oraz azotanów z 10 punktów pomiarowych wzdłuż rzeki Zagożdżonki w jej górnym biegu oraz trzech dopływów. Próby pobierano w różnych okresach wegetacyjnych w sposób umożliwiający opisanie sezonowej zmienności badanych biogenów. Podczas jednego

terminu poboru, próby pobierano wzdłuż biegu rzeki, zaczynając od punktu najbardziej zbliżonego pod względem położenia geograficznego do źródeł rzeki, co zapewniło podczas jednego poboru swoiste „zdjęcie” chemiczne stanu rzeki. Analizy pobranych prób wykonywano tego samego dnia w laboratorium SGGW w Warszawie. Uzyskane wyniki analizowano pod kątem zmienności na długości rzeki, zmienności pomiędzy sezonami a także pod względem określenia, który z biogenów jest dominującym czynnikiem limitującym proces eutrofizacji. Do tej analizy zastosowano zależność określającą potencjał azotu i fosforu do limitowania przyrost roślin (relacja stosunku N:P do stężenia fosforanów wg. Mainstone i Parr (2002) podzielona na pięć stref w zależności od czynniki limitującego eutrofizację). Uzyskane wyniki analizowanego odcinka rzeki wykazały, że charakteryzuje się ona stosunkowo dużą zmiennością stężenia fosforanów i azotanów zarówno na długości rzeki jak i w czasie. W niektórych przypadkach odchylenie standardowe pomiaru stężenia fosforanów w danym punkcie pomiarowym wynosiło 0,534 przy średniej wartości stężenia 0,32 mgP/dm³. W przypadku azotanów największe odchylenie standardowe wyniosło 0,681 przy średniej wartości stężenia 0,47 mgN/dm³. Tak duże odchylenia standardowe świadczą o dużej zmienności stężeń. Największe średnie stężenia fosforanów określono dla okresów zimowych. Średnia ze wszystkich punktów pomiarowych była największa w listopadzie i wyniosła 0,32 mgP/dm³, natomiast średnia ze wszystkich pomiarów azotanów była największa w grudniu i wyniosła 1,04 mgN/dm³. Wartości te były wynikiem szczególnie dużych jednorazowo pomierzonych stężeń obu biogenów. Rozpatrywany odcinek rzeki Zagożdżonki charakteryzuje się małym stosunkiem N:P. Większość punktów w których wykonywano pomiary, położona była w strefie czwartej (7 punktów z 10), w której uznaje się, że dominującym czynnikiem limitującym przyrost biomasy jest azot. Jednocześnie wartość średnia tego stosunku N:P uzyskana w punkcie poboru poniżej zbiornika retencyjnego istniejącego na rzece wskazuje na dominujące znaczenie fosforu jako czynnika limitującego przyrost biomasy w tym punkcie poboru i sugeruje wpływ tego zbiornika na zmianę relacji między N i P.

Czynnikiem wpływającym na transport fosforu w rzece jest zależność pomiędzy rumowiskiem unoszonym a stężeniem fosforu związanego z rumowiskiem (Rys. 1 art. 7). Wyniki badań nad tymi relacjami przedstawiono w publikacji numer 7 (Tabela 1).

Zarówno stężenie transportowanego rumowiska jak i ilość rumowiska stanowi kluczową informację dla wyznaczenia ładunków biogenów dostających się do odbiornika. Szczególnie ważna jest relacja pomiędzy ilością rumowiska a fosforem. Jest to w dalszym ciągu jeden ze słabiej poznanych i opisanych procesów transportu. Wynika to z faktu, że w wodzie, fosfor może występować w postaci związków mineralnych oraz organicznych. Nieorganiczne związki fosforowe występujące w wodzie to ortofosforany oraz fosforany skondensowane (polifosforany, metafosforany). Mogą one występować w stanie rozpuszczonym w postaci zawiesin lub koloidów. Powszechnie uznaje się, że związki fosforu migrują do wód powierzchniowych, głównie w wyniku erozji wodnej, wniesione do rzeki łącznie z zawiesinami (rumowiskiem unoszonym) (Ballantine et al., 2009; Bowes et al., 2003). Zawartość ich jest znacznie większa w wyerodowanej glebie niż w powierzchniowej warstwie pokrywającej zlewnie (Menzel, 1980). Zjawisko to tłumaczone jest selektywnością procesu erozji wodnej pod względem wielkości cząstek. Najmniejsze cząstki mineralne oraz cząstki organiczne łatwiej poddają się procesowi erozji, a właśnie te cząstki adsorbują najwięcej fosforu. Wyerodowane cząstki transportowane są do cieku, by w postaci rumowiska zostać usunięte poza teren zlewni. Ze względu na ten proces bardzo istotne stają się wzajemne powiązania między rumowiskiem

unoszonym a fosforem, a także jego rola w transporcie fosforu podczas wezbrań. Zależności pomiędzy rumowiskiem a fosforem w formie zależności funkcyjnych były obserwowane w różnych zlewniach i rzekach, jednakże formy takich zależności nie są jednoznaczne. W większości badań stężenie fosforu związanego z rumowiskiem malało wraz ze wzrostem ilości rumowiska unoszonego. Zawartość fosforu związanego z rumowiskiem unoszonym określono z różnicy między zawartością fosforu ogólnego i fosforanów ogólnych rozpuszczonych. Do wyznaczenia poszukiwanej zależności wykorzystano cały zbiór dostępnych danych tj. z 14 zdarzeń opad-odpływ-transport rumowiska-transport form fosforu. Analiza pomierzonych wartości wykazała dużą zmienność stężeń fosforanów rozpuszczonych i fosforu ogólnego podczas obserwowanych wezbrań. W skrajnym przypadku różnica między najmniejszym i największym stężeniem fosforanów rozpuszczonych w wezbraniu wyniosła $1,64 \text{ mg PO}_4/\text{dm}^3$, w przypadku zaś fosforu ogólnego – $1 \text{ mg P}/\text{dm}^3$. W przypadku fosforanów rozpuszczonych, największe zmienności wystąpiły w wezbraniu o największym przepływie maksymalnym, jednocześnie w wezbraniach o dużo mniejszych przepływach maksymalnych skrajności były równie duże. Przy jednoczesnym braku statystycznie istotnych zależności między przepływem a stężeniem fosforanów i fosforu ogólnego wykazano, że wielkość wezbrania charakteryzowana przez wartość przepływu maksymalnego nie wpływa znacząco na zmienność stężenia fosforanów i fosforu ogólnego w wodzie analizowanej rzeki. Nie stwierdzono istotnych statystycznie zależności między stężeniem fosforu ogólnego lub fosforanów rozpuszczonych a stężeniem rumowiska unoszonego. Jedyną statystycznie istotną zależność wystąpiła między zawartością fosforu transportowanego z rumowiskiem a stężeniem rumowiska unoszonego. Zależność ta opisana została równaniem potęgowym w którym zawartość fosforu związanego z cząstkami rumowiska wyrażona w jednostkach gP/kg masy rumowiska jest funkcją stężenia rumowiska unoszonego przy wykładniku potęgi równym $-1,12$. Współczynnik korelacji (r) wyniósł $-0,64$, co umożliwia sklasyfikowanie tej zależności między słabą a silną (Byczkowski, 1999), przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ korelacja ta jest istotna. Potwierdzenie i wyznaczenie powyżej opisanej zależności dla małej zlewni rolniczej, znacząco wpływa na opisanie procesu transportu fosforu związanego z rumowiskiem.

Wystarczający zasób danych pomiarowych zebrany w ramach prowadzonych badań, pozwolił na zastosowania istniejącego modelu transportu zanieczyszczeń obszarowych dla małej zlewni rolniczej. Ponieważ dostępne modele, między innymi na skutek niedostatecznego opisu procesów, nie zawsze dobrze opisują procesy w małych zlewniach rolniczych, samo zastosowanie modelu miało również na celu wskazanie możliwości aplikacyjnych takiego modelu dla zlewni Zagożdżonki. Ocena przydatności takiego modelu stanowi ostatni element schematu procesów (Rys. 1, art. 8) w małej zlewni rolniczej. Optymalizacja całego systemu współzależności mających na celu osiągnięcie najlepszego zamierzonego efektu w skali zlewniowej (np. zmniejszenie zanieczyszczenia obszarowego w zakresie transportu biogenów) jest obecnie możliwa poprzez zastosowanie takich modeli jak np. SWAT (Soil and Water Assessment Tool), (Arnold i Fohrer, 2005). Głównym jednak ograniczeniem stosowania takich modeli są nie w pełni rozpoznane procesy zachodzące w zlewniach oraz dane wejściowe o niewystarczającej dokładności w sensie czasu i przestrzeni. Np. podstawowe równia stosowane w modelu SWAT opisujące proces transportu fosforu z obszaru zlewni do cieków bazują w dalszym ciągu, na empirycznym współczynniku wzbogacenia wyznaczonym dla celów modelu CREAMS (Menzel, 1980). Pomimo świadomości ograniczeń modelu, dla celów analiz procesów transportu z obszarów

zlewni jest to najlepsza dostępna technologia. Celem analiz przedstawionych w artykule 8 stanowiącym element osiągnięcia naukowego było przedstawianie możliwości zastosowania modelu SWAT dla określenia wpływu zmian użytkowania małej zlewni rolniczej w sensie zmian ilości nawozów sztucznych na zmienność masy fosforu (kg P) i azotu (kg N) transportowanych w rzece Zagożdżonca. Analizy przedstawione w artykule były jednymi z pierwszych tego typu analiz dla małych zlewni rolniczych na obszarze Polski. Analizę oparto na danych gromadzonych w zlewni Zagożdżonki dla przekroju Czarna w zakresie opadów, przepływów, transportu rumowiska oraz stężeń form fosforu i azotu na danych gromadzonych w ramach istniejącego monitoringu zlewni. Dostępne dane podzielono na dwa okresy gdzie pierwszy okres posłużył do kalibracji modelu natomiast drugi okres do weryfikacji modelu. Zgodnie z metodyką przygotowania danych do modelu, obszar zlewni podzielono na 29 obszarów jednorodnych (HRU - Hydrologic Responce Unit) pod względem gleby i zagospodarowania terenu uwzględniającej roślinność znajdującą się na danym obszarze (Neitsch 2005). Podział na HRU wykonano na podstawie cyfrowej mapy zagospodarowania terenu oraz cyfrowej mapy gleb w środowisku ArcGis po uprzednim dostawaniu tych danych do wymagań programu (tj. zgrupowaniu niektórych zbyt szczegółowych danych). Ostatecznie podział obszaru zlewni na HRU uwzględniał 3 typy gleb oraz 7 typów zagospodarowania terenu. Typ uprawy dominującej na obszarach zlewni użytkowanych rolniczo przyjęto na podstawie danych statystycznych. Model uwzględnia min. zmianę stosunków wodnych w czasie, vegetację roślin w poszczególnych latach, dynamikę transportu form azotu i form fosforu w tym fosfor związany z cząstkami rumowiska transportowanego w rzece. Podczas procesu kalibracji parametry wejściowe modelu zostały wstępnie skorygowane poprzez ręczną kalibrację, a następnie analizę czułości i autokalibrację, aby jak najlepiej dopasować wartości obserwowane i symulowane. Miarami jakości dopasowania modelu były następujące charakterystyki: współczynnik determinacji R^2 , współczynnik efektywności modelu Nash-Sutcliffe (Nash-Sutcliffe efficiency) do oceny odwzorowania zmienności przepływów przez model hydrologiczny, współczynnik PBIAS określający procentowe przeszacowanie bądź niedoszacowanie wartości uzyskiwanych przez model oraz współczynnik RSR (stosunek średniego błędu kwadratowego do odchylenia standardowego mierzonych danych)(Moriasi et al., 2007). Zarówno dla okresu kalibracji jak i weryfikacji, wskaźniki te, wykazały na ogół wystarczającą lub dobrą ocenę modelu. Symulacja mająca na celu sprawdzenie potencjalnego wpływu zmian gospodarowania na terenie zlewni, polegała na zmianie ilości nawozów zalecanych dla uzyskania plonów wyrażonych w kg/ha które są zależne od gleb oraz typu uprawy (Jadczyszyn et al., 2010). Przeprowadzono symulacje dla czterech potencjalnych wariantów tj. brak nawożenia (fosfor i azot pobierane jedynie z gleby) oraz 3 wariantów przy zmiennych dawkach fosforu od 7,6 do 16,4 kgP/ha oraz odpowiadającym im dawkom azotu od 60 do 140 kgP/ha. Wyniki uzyskane z modelu pozwoliły na określenie potencjalnego ładunku azotu i fosforu jaki byłby wyprowadzony z terenu zlewni wraz z odpływającą ze zlewni wodą. Ponadto wykazano, że wraz ze zwiększeniem ilości nawozów potencjalnie stosowanych na obszarze zlewni, będzie zwiększać się ilość azotu i fosforu w odpływie. W przypadku azotu, dwukrotne zwiększenie dawki nawożenia spowoduje trzykrotny przyrost masy azotu w odpływie, natomiast w przypadku fosforu dwukrotne zwiększenie dawki nawożenia spowoduje 1,3 krotne zwiększenie masy fosforu w odpływie.

4.3.3. Podsumowanie wyników

Założonym celem badań i analiz zestawionych pod wspólnym tytułem i przedstawionych jako osiągnięcie naukowe było istotne uzupełnienie wiedzy w zakresie opisu procesu transportu biogenów, w szczególności fosforu w skali zlewni. Cel ten zrealizowano poprzez zbadanie a następnie analizę procesów oraz uzyskanie, jeśli istniały, relacji pomiędzy badanymi wielkościami. Badania przeprowadzono w małej zlewni rzecznej o zagospodarowaniu rolniczo-leśnym. Zlewnie tego typu zwykle nie posiadają systemu monitoringu środowiska co znacznie utrudnia stosowanie modeli predykcji zmian w środowisku. Efektem końcowym prowadzonych badań i analiz było uzupełnienie wiedzy o procesach w małej zlewni rolniczo-leśnej. W szczególności uzupełniono wiedzę:

- w zakresie długookresowych zmian warunków hydro-meteorologicznych z małej zlewni poprzez wyznaczenie zależności korelacyjnych – trendu zmian w odpływie i współczynniku odpływu. Wykazano istotnie statystyczny trend malejący. Zależności te uzupełniają wiedzę o długookresowych zmianach w małych zlewniach na obszarze niziny Mazowieckiej;
- w zakresie procesów erozji w małej zlewni o różnicowanym zagospodarowaniu (tj. uprawy rolne, pastwiska, łąki koszone, łąki niekoszone oraz las). Uzyskano malejącą zależność pomiędzy masą rumowiska a warunkami hydrologicznymi w zlewni (tj. 5-dobowa suma opadów przed wstąpieniem opadu), wilgotnością rzeczywistą gleby oraz procentem wystąpienia I klasy repelencji dla zagospodarowania bez upraw. Uzyskano również zależności rosnące pomiędzy masą rumowiska a temperaturą powierzchni gleby oraz objętością opadu (w tym przypadku – opad symulowany);
- w zakresie relacji pomiędzy wartościami przepływów podczas wezbrań a stężeniem rumowiska unoszonego w formie histerez. Wykazano dominujący typ prawoskrętnych histerez (85% analizowanych zdarzeń).
- w zakresie zmienności wielkości cząstek rumowiska unoszonego transportowanego podczas wezbrań. Wyznaczono relacje pomiędzy przepływami kulminacyjnymi podczas wezbrań a parametrem charakteryzującym rozkład granulometryczny rumowiska tj. średnicą charakterystyczną d_{50} ;
- w zakresie związku pomiędzy ilością fosforu transportowanego podczas wezbrań a stężeniem rumowiska unoszonego. Potwierdzono odwrotną zależność korelacyjną oraz wykazano jej istotność statystyczną.
- w zakresie czynnika limitującego proces eutrofizacji w rzece w zależności od sezonu wegetacyjnego. Wartości stosunku N:P, dla form rozpuszczonych tych pierwiastków odniesiono, do zależności obrazującej potencjał azotu i fosforu do limitowania przyrostu roślin w wodzie w czasie. Wykazano, że w większości analizowanych punktów na rzece (7 z 10) azot jest czynnikiem limitującym przyrost biomasy. Jednocześnie, wskazano na wpływ zbiornika na zmianę relacji N:P, z relacji w której czynnikiem limitującym jest azot na relację w której czynnikiem limitującym jest fosfor.
- w zakresie przydatności istniejących modeli dla małych zlewni rolniczo-leśnych. Wykazano przydatność, rozbudowanego modelu zlewni, do symulacji wpływu stosowalności dawek nawozów sztucznych (N i P) na ładunki tych pierwiastków w odpływie rzeczny. Wyniki uzyskane z modelu, pozwoliły w zadowalający sposób (zastosowano mierniki jakości modelu) przewidzieć ładunki fosforu oraz azotu w rzece dla określonych zalecanych dawek azotu i fosforu dla uprawy dominującej w tej zlewni.

Wszystkie uzyskane wyniki wydanie przyczyniły się do poszerzenia wiedzy o roli powiązań procesów opad-odpływ-erozja wodna- transport rumowiska rzeczno-transport biogenów w kształtowaniu środowiska małej rolniczo-leśnej zlewni rzecznej.

4.3.4. Omówienie ewentualnego wykorzystania wyników

Wyniki uzyskane z zaprezentowanych badań stanowiących podstawę osiągnięcia naukowego mogą być wykorzystane w szerokim zakresie. Z jednej strony jako jednolity ciąg postępowania w badaniach zjawisk procesów transportu w zlewniach a z drugiej strony mogą być rozpatrywane osobno wyznaczając zakres badań szczegółowych. W szczególności wyniki uzyskane z przeprowadzonych analiz mają znaczenie praktyczne ze względu na:

1. Wskazanie sposobu organizacji zintegrowanego systemu monitoringu środowiska dla małej zlewni ze szczególnych uwzględnieniem procesów transportu z terenu zlewni do cieku. W ramach prac wskazano również przydatność różnych zautomatyzowanych technologii w monitoringu środowiska
2. Wyznaczenie zależności opisującej długoterminowe zmienności opadów i odpływu w zlewni i określenie na tej podstawie hipotetycznego tempa zmniejszenia się odpływu ze zlewni. Na tej podstawie można podejmować działania, w tej i analogicznych zlewniach rzecznych, mające na celu adaptację sposobu użytkowania zlewni w aspekcie zmian klimatu.
3. Wskazanie dominującego typu histerezy zależności stężenie rumowiska unoszonego-przepływ występujących w wezbraniach oraz potwierdzenie istotności terminu wystąpienia wezbrania na ilość transportowanego rumowiska transportowanego podczas wezbrań. Uzyskane wyniki stanowią wskazania do kalibracji modeli typu odpływ-transport rumowiska rzeczno.
4. Wskazanie zakresu zmienności wielkości cząstek rumowiska transportowanego podczas wezbrań oraz wskazanie istnienia zależności pomiędzy parametrami charakteryzującymi wielkość rumowiska unoszonego a zmiennością natężenia przepływu podczas wezbrań. Wartości uzyskane podczas badań stanowią jedne z podstawowych wartości stosowanych w modelowaniu procesów zamulania zbiorników retencjach i są wykorzystywane do wstępnych badań modelowych przy projektowaniu zbiorników. Wyniki mogą przyczynić się do uzyskiwane znacznie dokładniejszych wyników z modeli zamulania zbiorników.
5. Określenia głównego czynnika limitującego proces eutrofizacji w wodach rzeki na obrzeżu niziny Mazowieckiej pozwala na identyfikację przyczyn sezonowych zakwitów zbiorników wodnych (np. zbiornik Staw Górny w Pionkach). Informacje te mogą być wykorzystane w przeciwdziałaniu procesom przyspieszonej eutrofizacji dla zlewni analogicznych.
6. Uzyskanie odwrotnej zależności pomiędzy fosforem związanym z rumowiskiem unoszonym transportowanym w rzece Zagożdżonca a stężeniem rumowiska unoszonego która pozwala, przy zastosowaniu tej zależności, na zwiększenie dokładności obliczeń ładunku fosforu transportowanego w rzece. Jest to istotne z punktu widzenia dostarczania ładunków fosforu z obszarów rolniczych do odbiornika (np. obszaru Polski do morza Bałtyckiego)
7. Określenie potencjalnego ładunku azotu i fosforu jaki byłby wyprowadzony z terenu zlewni do rzeki przy zastosowaniu modelu o parametrach

rozłożonych dla małej zlewni. Pozwala to na lepsze planowanie zagospodarowania ternem rolniczym w celu zmniejszenia zanieczyszczeń dostających się do cieku.

4.3.5. Literatura

- Arnold, J.G., Moriasi, D.N., Gassman, P.W., Abbaspour, K.C., White, M.J., R. Srinivasan, C. Santhi, R. D. Harmel, A. van Griensven, M. W. Van Liew, N. Kannan, M. K. Jha, 2012. SWAT: Model Use, Calibration, and Validation. *Transactions of the ASABE* 55, 1491–1508. <https://doi.org/10.13031/2013.42256>
- Arnold, J.G., Fohrer, N., 2005. SWAT2000: current capabilities and research opportunities in applied watershed modelling. *Hydrological Processes* 19, 563–572. <https://doi.org/10.1002/hyp.5611>
- Ballantine, D., Walling, D.E., Leeks, G.J.L., 2009. Mobilisation and Transport of Sediment-Associated Phosphorus by Surface Runoff. *Water, Air, and Soil Pollution* 196, 311–320. <https://doi.org/10.1007/s11270-008-9778-9>
- Ballantine, D.J., Walling, D.E., Collins, A.L., Leeks, G.J.L., 2009. The content and storage of phosphorus in fine-grained channel bed sediment in contrasting lowland agricultural catchments in the UK. *Geoderma* 151, 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.03.021>
- Ballantine, D.J., Walling, D.E., Collins, A.L., Leeks, G.J.L., 2008. The phosphorus content of fluvial suspended sediment in three lowland groundwater-dominated catchments. *Journal of Hydrology* 357, 140–151. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.05.011>
- Bowes, M.J., House, W.A., Hodgkinson, R.A., 2003. Phosphorus dynamics along a river continuum. *Science of The Total Environment* 313, 199–212. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00260-2](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00260-2)
- Byczkowski, A., 1999. *Hydrologia*. T. 1 T. 1. Wydaw. SGGW, Warszawa.
- Davison, P.S., Withers, P.J.A., Lord, E.I., Betson, M.J., Strömqvist, J., 2008. PSYCHIC A process-based model of phosphorus and sediment mobilisation and delivery within agricultural catchments. Part 1: Model description and parameterisation. *Journal of Hydrology* 350, 290–302. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.10.036>
- Dojlido, J.R., 1995. *Chemia wód powierzchniowych*. Wydaw. Ekonomia i Środowisko, Białystok.
- Hively, W.D., Gérard-Marchant, P., Steenhuis, T.S., 2006. Distributed hydrological modeling of total dissolved phosphorus transport in an agricultural landscape, part II: dissolved phosphorus transport. *Hydrology and Earth System Sciences* 10, 263–276. <https://doi.org/10.5194/hess-10-263-2006>
- Hrachowitz, M., Benettin, P., van Breukelen, B.M., Fovet, O., Howden, N.J.K., Ruiz, L., van der Velde, Y., Wade, A.J., 2016. Transit times—the link between hydrology and water quality at the catchment scale: Linking hydrology and transit times. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* 3, 629–657. <https://doi.org/10.1002/wat2.1155>
- Jackson-Blake, L.A., Dunn, S.M., Helliwell, R.C., Skeffington, R.A., Stutter, M.I., Wade, A.J., 2015. How well can we model stream phosphorus concentrations in agricultural catchments? *Environmental Modelling & Software* 64, 31–46. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.11.002>
- Jadczyzyn, T., Igras, J., Podolski, B., Wawer, R., 2010. Wartość rolnicza gleb w górnej części zlewni rzeki Zagożdżonki. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 3, 30–37.
- Kundzewicz, Z.W., Krysanova, V., 2010. Climate change and stream water quality in the multi-factor context: An editorial comment. *Climatic Change* 103, 353–362. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9822-9>
- Lenzi, M.A., Marchi, L., 2000. Suspended sediment load during floods in a small stream of the Dolomites (northeastern Italy). *CATENA* 39, 267–282. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00079-5](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00079-5)
- Littlewood, I., Pavol Miklanek, Pfister, L., Schröder, U., Schumann, S., 2010. The need for a global network of long-term small hydrological research basins, Braunschweig Declaration. *IAHS* 337, 305–307.
- Mainstone, C.P., Parr, W., 2002. Phosphorus in rivers — ecology and management. *Science of The Total Environment* 282–283, 25–47. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00937-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00937-8)
- Marcinkowski, P., Piniewski, M., Kardel, I., Szcześniak, M., Benestad, R., Srinivasan, R., Ignar, S., Okruszko, T., 2017. Effect of Climate Change on Hydrology, Sediment and Nutrient Losses in Two Lowland Catchments in Poland. *Water* 9, 156. <https://doi.org/10.3390/w9030156>

- Mellander, P.-E., Jordan, P., Bechmann, M., Fovet, O., Shore, M.M., McDonald, N.T., Gascuel-Oudou, C., 2018. Integrated climate-chemical indicators of diffuse pollution from land to water. *Scientific Reports* 8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19143-1>
- Menzel, R.G., 1980. Enrichment ratios for water quality modeling, in: *CREAMS—A Field Scale Model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems*. Vol. III. Supporting Documentation. U.S. Department of Agriculture (USDA) Conservation Research Report 26. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, pp. 486–492.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Liew, M.W.V., Bingner, R.L., Harmel, R.D., Veith, T.L., 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE* 50, 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- Morris, G.L., Fan, J. (Eds.), 1998. *Reservoir sedimentation handbook: design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use*. McGraw-Hill, New York.
- Ockenden, M.C., Hollaway, M.J., Beven, K.J., Collins, A.L., Evans, R., Falloon, P.D., Forber, K.J., Hiscock, K.M., Kahana, R., Macleod, C.J.A., Tych, W., Villamizar, M.L., Wearing, C., Withers, P.J.A., Zhou, J.G., Barker, P.A., Burke, S., Freer, J.E., Johnes, P.J., Snell, M.A., Surridge, B.W.J., Haygarth, P.M., 2017. Major agricultural changes required to mitigate phosphorus losses under climate change. *Nature Communications* 8. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00232-0>
- Popek, Z., 2006. Warunki ruchu rumowiska wlezonego w malej rzece nizinnej, *Rozprawy naukowe i monografie = Treatises and monographs*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Sharpley, A., Jarvie, H.P., Buda, A., May, L., Spears, B., Kleinman, P., 2013. Phosphorus Legacy: Overcoming the Effects of Past Management Practices to Mitigate Future Water Quality Impairment. *Journal of Environment Quality* 42, 1308. <https://doi.org/10.2134/jeq2013.03.0098>
- Slattery, M.C., Burt, T.P., 1997. Particle size characteristics of suspended sediment in hillslope runoff and stream flow. *Earth Surface Processes and Landforms* 22, 705–719. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199708\)22:8<705::AID-ESP739>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199708)22:8<705::AID-ESP739>3.0.CO;2-6)
- Soranno, P.A., Cheruvellil, K.S., Wagner, T., Webster, K.E., Bremigan, M.T., 2015. Effects of Land Use on Lake Nutrients: The Importance of Scale, Hydrologic Connectivity, and Region. *PLoS One* 10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135454>
- Starkel, L., Kundzewicz, Z.W., 2008. Konsekwencje zmian klimatu dla zagospodarowania przestrzennego kraju. *Nauka* 85–101.
- Stone, P.M., Walling, D.E., 1997. Particle size selectivity considerations in suspended sediment budget investigations. *Water, Air, & Soil Pollution* 99, 63–70. <https://doi.org/10.1007/BF02406845>
- Sulmicka, M., 2013. Tendencje rozwoju mazowieckiego rolnictwa. *Mazowsze Studia Regionalne* 95–106.
- Wade, A.J., Whitehead, P.G., Butterfield, D., 2002. The Integrated Catchments model of Phosphorus dynamics (INCA-P), a new approach for multiple source assessment in heterogeneous river systems: model structure and equations. *Hydrology and Earth System Sciences* 6, 583–606. <https://doi.org/10.5194/hess-6-583-2002>
- Walling, D.E., Moorehead, P.W., 1989. The particle size characteristics of fluvial suspended sediment: an overview. *Hydrobiologia* 176–177, 125–149. <https://doi.org/10.1007/BF00026549>
- Walling, D.E., Owens, P.N., Waterfall, B.D., Leeks, G.J., Wass, P.D., 2000. The particle size characteristics of fluvial suspended sediment in the Humber and Tweed catchments, UK. *Science of The Total Environment* 251–252, 205–222. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00384-3](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00384-3)
- Withers, P.J.A., Jarvie, H.P., 2008. Delivery and cycling of phosphorus in rivers: A review. *Science of The Total Environment* 400, 379–395. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.08.002>
- Xu, J. (1999) Grain-size characteristics of suspended sediment in the Yellow River, China. *Catena* 38, 243–263

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.

Procesy zachodzące w zlewniach rzecznych mające znaczenia na kształtowanie środowiska małej rzeki i zlewni są bardzo złożone. Zaprezentowane osiągnięcia naukowe będące szczegółowymi analizami wybranych procesów stanowią jedynie część prowadzonych przeze mnie badań w ramach zagadnień opisu procesów hydrologicznych – transportu rumowiska i powiązanego z nim transportu zanieczyszczeń. Wyniki badań opublikowane w pozostałych artykułach wiążą się częściowo z dominującym tematem badawczym. Powiązania te wynikały z potrzeby zbadania dodatkowych czynników istotnego z punktu widzenia zlewni procesu, sprawdzenia nowych metod badawczych, testowania różnych modeli matematycznych. W związku z tym z pozostałych moich osiągnięć naukowych można wyróżnić sześć grup zagadnień.

Pierwsza grupa obejmuje zagadnienia związane z opisem matematycznym procesu opad-odpływ ze szczególnym uwzględnieniem metody SCS w zlewniach rolniczych i zurbanizowanych. W ramach pracy naukowej byłem autorem/współautorem 10 recenzowanych artykułów/recenzowanych rozdziałów w monografiach. Artykuły w tej grupie dotyczyły w pierwszej kolejności określania parametru CN (Curve Number) metody CN-SCS stosowanej do wyznaczania opadu efektywnego w modelach typu opad-odpływ. W artykule II.A.1.1 badano zależności pomiędzy wartościami parametru CN a kulminacją wezbrań i czasem trwania deszczu dla małych zlewni. Artykuł A.II.1.3 dotyczył możliwości wyznaczania parametru CN dla małych zlewni zurbanizowanych na podstawie pomiarów zdarzeń opad-odpływ. Zagadnieniem badanym, którego wyniki opublikowano w artykule II.A2.2 były możliwości wyznaczania parametru CN dla zdarzeń o charakterze roztopowym tzn. wezbrań typu roztop-odpływ oraz wezbrań deszcz podczas roztopu – odpływu. W artykule tym zaproponowano metodę przeliczania roztopu na ilość wody tak aby możliwe było zastosowanie parametru CN. W artykule II.A2.5 przedstawiono wpływ czasów opóźnienia (LAG) wody i rumowiska (LAG_s) dla wyznaczania jednostkowego sedimentorgamu oraz relacji pomiędzy tymi wartościami w modelowaniu typu opad-odpływ-transport rumowiska unoszonego. Artykuł II.D.8 dotyczył wpływu różnych metod wyznaczania parametrów modelu SEGMO (modelu typu opad-odpływ, parametrów: CN, n i k) na wielkość symulowanych fal wezbraniowych w zlewni rzeki Jeungpyeong położonej w Korei Południowej. W artykule II.D.21 przedstawiono wyniki obliczeń modyfikacji hydrogramu hipotetycznej fali wezbraniowej (wyznaczonej z modelu opad-odpływ) w wyniku transformacji (zmodyfikowana metoda Pulsa) przez mały zbiorniki retencyjny w zlewni zurbanizowanej. Artykuły II.D.23 oraz II.D.29 dotyczyły zastosowania modelu opad-odpływ do wyznaczania potencjalnych fal wezbraniowych charakteryzowanych przez wielkość kulminacji i krytyczny czas trwania deszczu wywołującego te wezbranie w warunkach przeszłego (1970), aktualnego (2005) i przyszłego (2020) zagospodarowania zlewni zurbanizowanej. Artykuł II.D.38 przedstawia wyniki wpływu zmiany zagospodarowania zlewni poprzez zwiększenie procentu zalesienia na uzyskiwane maksymalne wartości kulminacji fal wezbraniowych wywołanych hipotetycznym deszczem o prawdopodobieństwie wystąpienia 1% i 50%. W artykule II.D.43 przedstawiono sposób wyznaczanie LAG i LAG_s na podstawie pomierzonych rzeczywistych zdarzeń opad odpływ w zlewni rolniczej oraz relacje pomiędzy tymi wartościami. Dodatkowo przed uzyskaniem doktoratu byłem współautorem artykułu opisującego zastosowanie modelu AGNPS (AGricultural Non-Point Source pollution model) do wyznaczania kulminacji wezbrań w małych zlewniach.

Druga grupa zagadnień obejmuje badania i analizy związane z zastosowaniem metod dyfrakcji laserowej do analiz składu granulometrycznego cząstek głównie w wodzie. W ramach tego zagadnienia byłem autorem lub współautorem 8 artykułów. W artykule II.A2.4 przedstawione zostały wyniki możliwości zastosowania metody dyfrakcji laserowej do kontroli gładkości jogurtów naturalnych. W artykule porównano wyznaczone średnice zastępcze cząstek w jogurcie (zakres pomiarowy od 0,05 do 550 mikrometrów) z wynikami analizy sensorycznej. W artykule II.D.3 przedstawiono wynik analizy zmienności wielkości cząstek rumowiska unoszonego transportowanego podczas wezbrań roztopowych. Artykuły II.D.31 oraz II.D.32 dotyczą zagadnienia określania wydajności filtrów w technologii oczyszczania wody. Metoda dyfrakcji laserowej została zastosowana do wykrywania mikrocząstek w przefiltrowanej wodzie. W artykułach II.D.36 i II.D.37 przedstawiono wyniki badań nad zmiennością cząstek rumowiska unoszonego w poszczególnych fazach przechodzenia fali wezbraniowej przez przekrój pomiarowy. Zaprezentowano również procentową zawartość poszczególnych frakcji cząstek odpowiadającym piaskom, glinom i pyłom opierając się na klasyfikacji Lane'a opracowanej dla rumowiska rzeczno. Artykuł II.D.40 dotyczył badań nad sezonową zmiennością wielkości cząstek rumowiska unoszonego. Do zebrania próby rumowiska zastosowano samoczynne batometry sumujące BS-2 umieszczone na stałe w korycie rzeki. Batometry te zbierały próby rumowiska w okresach półrocznych. Zebrany materiał był następnie analizowany pod względem zmienności składu granulometrycznego. Artykuł II.D.41 opisywał porównanie metody dyfrakcji laserowej z metodą fotometryczną do określania średnic zastępczych cząstek granulatów krzemionki stosowanych min. do zagęszczania past do zębów. W artykule II.D.42 opisano zmienność cząstek rumowiska unoszonego i relacje pomiędzy średnicą charakterystyczną d_{50} a przepływem średnim w rzece Zagożdżonce. Do poboru prób rumowiska unoszonego wykorzystano osadniki zainstalowane w przekroju Czarna na rzece Zagożdżonce w celu pobierania prób sumowanych z długiego okresu czasu. Pierwsze badania granulometrii rumowiska unoszonego przy zastosowaniu metody dyfrakcji laserowej przeprowadzono w drugiej połowie lat 90 tych XX wieku. Były to jedne z pierwszych, tego typu badań nad zmiennością granulometrii rumowiska w Polsce a wyniki tych badań opublikowane zostały pierwszy raz w 1999 roku w artykule II.D.47, którego byłem współautorem przed uzyskaniem doktoratu.

Trzecia grupa zagadnień obejmuje badania, analizy i artykuły przeglądowe związane z monitoringiem środowiska oraz nowymi metodami pomiarowymi, które były testowane głównie w zlewni rzeki Zagożdżonki. W ramach tego zagadnienia byłem autorem lub współautorem 6 artykułów. Artykuł II.D.11 opisywał badania dotyczące różnych gatunków płazów, które potrzebują dwóch rodzajów siedlisk: wodnego i lądowego. W ramach badań w zlewniach Zagożdżonki i Zwoleńki ustalono okresy, w których warunki hydrologiczne mogą mieć wpływ na cykl życiowy badanych płazów. Artykuł II.D.12 dotyczył zastosowania metody ADV (przepływomierza modułowego) do ciągłego pomiaru natężenia przepływu w rzece. Czujnik ten montowany w dnach cieków umożliwia bezpośredni pomiar przepływu bez potrzeby pomiaru stanów wody. W artykule przedstawiono wyniki testów urządzenia zainstalowanego z rzece Zagożdżonce. Artykuł II.D.16 dotyczył badań nad europejskim żółwiem wodnym w aspekcie ochrony jego miejsc składania jaj podczas powodzi. Badania prowadzone były w zlewniach rzek Zwoleńki, która jest obszarem Natura 2000 oraz istotna pod względem ochrony populacji tego żółwia w Europie. Artykuł II.D.17 dotyczył porównania metod pomiarowych w zakresie pomiarów hydrometrycznych a także jakości wody w rzekach jakie stosuje się w Polsce oraz Norwegii. W artykule

przeanalizowano zalety i wady różnych podejść do pomiarów w nawiązaniu również do specyficznych warunków klimatycznych. W artykule II.D.27 przedstawiono wyniki zastosowaniu metody ADCP do pomiarów natężenia przepływu w małych i relatywnie płytkich rzekach. W szczególności przedstawiono wpływ tzw. wskaźnika brzegowego na końcowy wynik pomiaru co jest istotne w wąskich rzekach. Artykuł II.D.35 dotyczył różnych metod stosowanych do badań transportu rumowiska rzeczno. Opisano w nim zarówno metody poboru prób jak również automatyczne techniki pomiarowe jak np. metody fotooptyczne a także metody pomiaru wielkości cząstek rumowiska unoszonego. Dodatkowo przed uzyskaniem doktoratu byłem współautorem dwóch artykułów (w 1998 i 2000 roku) które dotyczyły stacji pomiarowej w zlewni rzeki Zagożdżonki oraz technikom pomiarowym.

Czwarta grupa zagadnień obejmuje badania związane z modelowaniem transportu rumowiska w rzekach i procesów sedymentacji rumowiska w zbiornikach. W ramach tych zagadnień byłem autorem lub współautorem 7 artykułów. Artykuł II.A 2.1. prezentuje wynik analiz modelowych w rzece Wkra związanych z transportem rumowiska wleczonego. W analizach zastosowano model ARMOUR do wyznaczenia momentu rozpoczęcia ruchu rumowiska wleczonego. Artykuł II.A2.3 obejmował analizę dopływu rumowiska do zbiornika retencyjnego na rzece Zagożdżonce. W analizach wykorzystano model DR-USLE do obliczenia dopływu rumowiska unoszonego oraz sprawdzono 3 modele do wyznaczania rumowiska wleczonego transportowanego w rzekach : model Meyer-Peter-Muller, formułę Skibińskiego oraz formułę Popka. Wyniki obliczeń modelowych porównano z rzeczywistą ilości rumowiska zgromadzona w zbiorniku obliczona na podstawie sondowań zbiornika. W artykule II.D.7 przedstawiono wyniki analizy wyników pomiarów miejscowego rozmycia dna, uformowanego w wyniku przejścia wezbrania przez jaz piętrzący znajdujący się na rzece Zagożdżonce w miejscowości Czarna. W wyniku obliczeń modelowych (5 równań opisujących proces rozmycia) oraz analizy rzeczywistego zdarzenia wyjaśniono przyczynę podmywania konstrukcji jazu od strony wody dolnej. Artykuły II.D.25 oraz II.D.28 opisywały różne aspekty badań terenowych oraz przydatności wybranych wzorów empirycznych do oceny masy (lub objętości) średniego rocznego transportu rumowiska dopływającego do zbiornika wodnego na rzece Zagożdżonce w ciągu roku. W analizach wykorzystano wyniki uzyskane z zastosowania jednowymiarowego modelu CCHE1D. Artykuł II.D.34 oraz II.D.39 dotyczył zastosowania modelu CCHE1D do oceny procesu zamulania zbiornika w długim okresie czasu. Na podstawie informacji o przepływach dla długiego okresu (1980-2003) oraz sondowań zbiornika w latach 1984 i 2003 stworzono model fragmentu rzeki dopływającej do zbiornika oraz samego zbiornika. Dane te posłużyły w pierwszej kolejności do kalibracji a następnie do weryfikacji modelu. Wyniki modelowania pozwoliły na uzyskanie informacji o rozkładzie osadów w zbiorniku i zmienności tego rozkładu w czasie. Wyniki modelowania porównano z wynikami z sondowań. Dodatkowo przed uzyskaniem doktoratu byłem współautorem artykułów dotyczących zastosowania modelu SEGMO (SEdimentGraph MOdel) do analizy transportu rumowiska unoszonego podczas wezbrań oraz zastosowania modelu AGNPS.

Piąta grupa zagadnień obejmuje badania związane z procesami erozji oraz jakością wody. W ramach tego zagadnienia byłem autorem lub współautorem 10 artykułów. Artykuł II.A1.2 dotyczył badań laboratoryjnych wpływu intensywności deszczu oraz początkowych warunków wilgotności gleby na odpływ wody. Badania były przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych przy wykorzystaniu modelu fizycznego S12 MKII Advanced Hydrology Study System. Wyniki tych badań były elementem cyklu laboratoryjnych badań procesów erozyjnych min. możliwościami

zastosowania słomy do ochrony przeciwerozryjnej. W artykule II.D.5 skupiono się nad procesem erozji rozbryzgowej i jej wpływu na ilość erodowanej gleby i spływu powierzchniowego w warunkach pozostawienia słomy po uprawie zboża. W artykule II.D.6 opublikowano wyniki analizy jakości wody w zlewni Zagożdżonki w nawiązaniu do przepisów dot. klasyfikacji jakości wody obowiązujących w okresie wykonywania pomiarów. Ze względu na zmienności granicznych wartości klasyfikacji jakości wody nie jest możliwe bezpośrednio porównywanie jakości wody dlatego w artykule przedstawiono jak zmiany przepisów wpływają na postrzeganie klas jakości wody. Artykuł II.D.13 opisuje wyniki analiz zmienności jakości wody w zakresie form fosforu i azotu w dwóch zlewniach o różniącym się klimacie (Polska i Norwegia) dla tego samego okresu pomiarowego. Uzyskane wyniki min. uwidoczniły problemy w porównywaniu wyników badań w przypadku niejednorodnych metod pomiarowych. W artykule II.D.14 opublikowano wyniki analizy zmienności jakości wody w rzece Zagożdżonce w okresach uznawanych za okresy niżówek oraz susz. Analizie poddano okresy występowania niżówek jak również związane z nimi stężenia oraz obliczone ładunki azotanów i fosforanów. Artykuł II.D.15 był artykułem przeglądowym i dotyczył sposobów redukcji zanieczyszczeń obszarowych w zakresie biogenów poprzez stosowanie odpowiednich zabiegów technicznych i nietechnicznych na obszarach zlewni. W artykule przedstawiono potencjalny wpływ tych działań na jakość wód oraz nawiązano do obowiązującego prawa unii europejskiej. W artykule II.D.19 przedstawiono wyniki badań nad wpływem pokrywy roślinnej na skład mechaniczny erodowanej gleby. Wyniki analiz wskazały, że w przypadku ugoru pojawiają się dużo większe cząsteczki niż w przypadku jęczmienia i trawy, świadczy o tym dodatkowy pik ilości cząstek przy cząstkach największych. Badania prowadzono na różnie użytkowanych stokach na poletkach doświadczalnych SGGW w Puczniewie. Artykuł II.D.20 dotyczył metod określania jakości wody w rzece w przypadku braku danych pomiarowych, bazując na danych z rzeki sąsiadującej. Do analiz użyto danych dla dwóch sąsiadujących rzek (zlewnie graniczące mające swoje źródłiska w pobliżu oraz podobne zagospodarowania) tj. rzeki Zagożdżonki i Zwoleńki. W wyniku przeprowadzonych analiz wykazano zależności pomiędzy stężeniem form azotu umożliwiające w pewnym zakresie wyznaczenie stężenia w jednej rzece na podstawie pomiarów w drugiej. W artykule II.D.26 zaprezentowano wyniki wpływu zmiany stosowania nawozów sztucznych na jakość wody w rzece Zagożdżonce w okresie przemian gospodarczych w Polsce tj. lata 1985-2005 oraz przedstawiono relacje pomiędzy średnim stężeniem fosforanów rozpuszczonych w nawiązaniu do miesięcznych średnich sum opadów. Artykuł II.D.30 nawiązywał do badań nad zmiennością długookresową fosforu ze zlewni Zagożdżonki i prezentował ogólne tendencje zmian jakości wody w rzece pod względem stężenia fosforu.

Szosta grupa zagadnień obejmuje badania związane ze zmianami długookresowymi procesów zachodzących w zlewniach. W ramach tego zagadnienia byłem autorem lub współautorem 11 artykułów. W artykule II.A1.4. przedstawiono wyniki analizy długoterminowej (49 lat) tendencji zmian w odpływie w rzece Zagożdżonce. Uzyskane wyniki wskazały na wskazują na zmniejszanie się zasobów wodnych w tym rejonie oraz występowanie istotnego trendu malejącego stwierdzono w odniesieniu do rocznego odpływu rzeczno, rocznego współczynnika odpływu, współczynnika odpływu dla półrocza letniego, przepływu zwyczajnego rocznego, przepływu zwyczajnego półrocza letniego i przepływu średniego niskiego 30-dniowego. Artykuł II.A1.5 dotyczył zmienności krzywych sum czasów trwania przepływów a w szczególności porównania wyznaczania takich krzywych dla dwóch profili tej samej rzeki różniących się długością okresu obserwacyjnego. Artykuł II.D.4

opisuje występowanie okresów wezbraniowych i niżówek w zlewni Zagożdżonki w długim okresie dla dwóch przekrojów pomiarowych (50 lat dla jednego przekroju oraz 22 lata dla drugiego przekroju). Wyniki wskazały między innymi, że w okresie 1963–2012 więcej było przepływów wezbraniowych niż niżówkowych, a w okresie 1991–2012 odwrotnie. Widoczne były okresy, w których przepływy wezbraniowe i niżówkowe pojawiają się z większą częstotliwością. W artykule II.D.1 przedstawiono zaś ocenę tendencji charakterystyk opadu i przepływu w oparciu o analizę istotności statystycznej trendu dla przekrojów na rzece Zagożdżonce. W artykule II.D.9 przedstawiono wyniki analizy warunki termiczne i śnieżne zim oraz wezbrania zimowe w zlewni Zagożdżonki w okresie 10 lat. Na podstawie przeprowadzonych analiz uzyskano min. zależności pomiędzy indeksem śnieżności a maksymalnymi wartościami przepływów w okresach półroczy zimowych. W artykule II.D.10 przedstawiono wyniki obliczeń przepływów maksymalnych rocznych prawdopodobnych (WQp), określonych metodami statystycznymi oraz metodami pośrednimi. Analizy wykazały min. że metody pośrednie, w przypadku małych zlewni, należy stosować z dużym stopniem ostrożności z uwagi na możliwości popełnienia dużych błędów. Biorąc jednak pod uwagę, że stosowane dawniej metody empiryczne dawały wyniki o znacznie większych błędach, omawiane metody pośrednie zasługują na zainteresowanie się nimi. Artykuł II.D.18 prezentuje wyniki analiz zmienności opadów, przepływów i odpływu w zlewni Zagożdżonki w okresie 1963-2008 wraz z wyznaczeniem średnich miesięcznych rozkładów tych wartości. Artykuł II.D.22 prezentuje porównanie średniej wartości opadów i odpływu w zlewni Zagożdżonki wraz z wyznaczeniem okresów suchych i wilgotnych na tle wielolecia. W artykule II.D.24 zaprezentowano wyniki oszacowania prawdopodobieństwa przepływów maksymalnych rocznych przy wykorzystaniu dwóch różnych serii danych z małej zlewni rolniczej. Tradycyjna seria statystyczna została utworzona z maksymalnych rocznych przepływów, jakie zdarzyły się w poszczególnych latach hydrologicznych (AM – Annual Maxima). Druga seria została utworzona z wybranych kulminacyjnych przepływów, które przekroczyły przyjętą wartość graniczną (POT- Peak Over Threshold) jaka była woda brzegowa. W artykule II.D.33 przedstawiono porównanie PMF (Probable Maximum Flood) w relacji do wezbrania o prawdopodobieństwie wystąpienia 1%. Artykuł II.D.44 był pierwszym artykułem mającym celu określić długookresowe zmienności opadów i odpływu w zlewni Zagożdżonki na podstawie ciągu danych który w roku wydania pracy był wystarczająco długi aby można było zastosować niektóre metody statystyczne do analiz.

W okresie swojej pracy naukowej brałem również udział w wielu konferencjach podczas których prezentowałem wyniki badań w formie posterów. Podczas sesji posterowych przedstawiłem wyniki w zakresie badań nad bilansem wodnym małych zbiorników, zmienności poziomu wód gruntowych na obszarze zlewni, obliczenia ewapotranspiracji dla zlewni, bilansem fosforu dla obszaru polski, oceny dokładności pomiarów terenowych śniegu przy zastosowaniu śniegomierza, relacją pomiędzy mineralną i organiczną frakcją rumowiska unoszonego, frakcjonowaniem (specjacji) fosforu w rzecznych osadach dennych.

6. Podsumowanie osiągnięć naukowo-badawczych

	Publikacje bez wchodzących w skład osiągnięcia naukowego			Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego			Suma wszystkich osiągnięć		
	Liczba sztuk	Punkty MNiSW	IF	Liczba sztuk	Punkty MNiSW	IF	Liczba sztuk	Punkty MNiSW	IF
Publikacje znajdujące się w bazie JCR posiadające IF	5	85	3,728	1	15	0,333	6	100	4,061
Publikacje znajdujące się w bazie JCR nie posiadające IF	5	42	-	4	32	-	9	74	-
Publikacje znajdujące się w innych czasopismach niż znajdujące się w bazie JCR	29	151	-	2	10	-	31	161	-
Rozdziały monografii, publikacje recenzowanych materiałów konferencyjnych	15	26	-	1	5	-	16	31	-
Publikacje przygotowane przed uzyskaniem doktoratu	6	-	-	-	-	-	6	-	-
Razem	54(60)	304	3,831	8	62	0,333	62(68)	366	4,061

Liczba pozycji w bazie WoS - 15

Liczba cytowań w bazie WoS – 63 (bez samocytowań 50)

h-index w bazie WoS - 5

Liczba pozycji w bazie Scopus- 13

Liczba cytowań w bazie Scopus – 79 (bez samocytowań 68)

h-index w bazie Scopus - 6

7. Podsumowanie działalności dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzatorskiej

Moja działalność dydaktyczna związana jest głównie z szeroko pojętą dyscypliną ochrony i kształtowania środowiska. W ramach tej działalności prowadziłem zajęcia na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska na kierunkach studiów: Ochrona Środowiska, Inżynieria Środowiska, Budownictwo oraz Inżynieria i Gospodarka Wodna. Zakres przedmiotów które prowadziłem obejmował zarówno zagadnienia ściśle związane z gospodarką wodną jak np. przedmiot Hydrologia i Gospodarką Wodną poprzez zagadnienia związane z chemią wód (np. przedmiot Chemia Wody i Gleby), zagadnienia związane z modelowaniem i zastosowanie metod komputerowych w inżynierii (np. Modelowanie Procesów Środowiskowych, Informatyczne Podstawy Projektowania) jak również zagadnienia specjalistyczne (np. Procesy Erozji i Sedymentacji). Dodatkowo prowadziłem sezonowe ćwiczenia terenowe z zakresu inwentaryzacji i waloryzacji przyrodniczej. W ramach programów

wymiany studenckiej (Erasmus/Erasmus Plus/Erasmus Mundus) prowadziłem zajęcia w języku angielskim z przedmiotów związanych z zagadnieniami wodnymi (np. Hydrology and Sedimentology for Small Catchment) jak również zastosowaniem metod komputerowych w inżynierii środowiska (np. Computer Methods in Environmental Engineering). Od 2013 roku uczestniczę jako juror w dorocznych przeglądach kół naukowych SGGW. Jestem współautorem rozdziału w podręczniku pt. „Inwentaryzacja i waloryzacja przyrodnicza” który doczekał się 5 wydań w tym jednego angielskojęzycznego. W 2017 roku podręcznik został gruntownie zmodyfikowany i ukazał się pod tytułem "Inwentaryzacja i waloryzacja przyrodnicza, metody naziemne i geomatyczne". W latach 2003-2006 prowadziłem kursy z zakresu ochrony wód dla Niepublicznego Policealnego Studium Ochrony Środowiska Towarzystwa Oświatowego sp zo.o. W ramach mojej działalności dydaktycznej byłem również promotorem 19 prac inżynierskich oraz 9 prac magisterskich (3 angielskojęzyczne). Dwie prace angielskojęzyczne były realizowane we współpracy z innymi ośrodkami naukowymi tj. uniwersytetem w Cranfield w Wielkiej Brytanii (podwójny dyplom SGGW i Uniwersytetu w Cranfield) oraz z National Institute of Technology Warangal w Indiach (obrona jedynie na uczelni Warangal). Byłem/jestem również promotorem pomocniczym dwóch doktoratów z których jeden został obroniony w 2017 roku. Szczegóły mojej działalności dydaktycznej przedstawiłem w załączniku 5 w punktach I,J,K.

Moja działalność organizacyjna składa się z kilku elementów. Byłem przewodniczącym komitetów organizacyjnych 4-rech krajowych konferencji naukowych z których najważniejszą był II Krajowy Kongres Hydrologiczny w 2014 roku (jestem również przewodniczącym komitetu organizacyjnego III Krajowego Kongresu Hydrologicznego – Warszawa 2018). Ponadto byłem członkiem komitetu organizacyjnego czterech innych konferencji/warsztatów. Byłem również zapraszany do członkowska w komitetach naukowych oraz występowałem jako przewodniczący sesji naukowych podczas konferencji. Jestem członkiem Stowarzyszenia Hydrologów Polskich gdzie w kadencji 2016-2020 pełnię funkcję przewodniczącego komisji rewizyjnej. Jestem również członkiem IAHR (International Association of Hydrological Research) oraz byłem członkiem EGU (European Geosciences Union w latach 2006, 2008, 2013, 2014). Podczas pracy na SGGW byłem kierownikiem Pracowni Procesów Denudacji i Sedymentacji (2003-2006), Kierownikiem Zakładu Inżynierii Rzecznej na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska (od 2012 do chwili obecnej), opiekunem pracowni Sedymentologicznej w Laboratorium Centrum Wodne SGGW (od 2010 do chwili obecnej) . Od roku 2012 jestem członkiem Rady Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW. Byłem członkiem Wydziałowej Komisji Dydaktycznej (2005-2008, 2008-2012), członkiem Komisji ds. Dydaktyki zespołu ds. kierunku Inżynieria i Gospodarka Wodna (2012-2016), członkiem zespołu ds. badań naukowych Wydziałowej Komisji Nauki (2012-2016), członkiem zespołu ds. kontaktów z praktyką Wydziałowej Komisji Rozwoju (2012-2016) oraz członkiem zespołu ds. kierunku Ochrona Środowiska Wydziałowej Komisji Dydaktycznej (2016-2020). W obecnej kadencji (2016-2020) zostałem wybrany na elektora do wyborów dziekana i prodziekanów Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska oraz zostałem wybranych na elektora do wyborów Rektora i Prorektorów SGGW. W kadencji 2016-2020 zostałem również wybrany do senatu SGGW jako przedstawiciel pozostałych pracowników naukowych. Szczegóły mojej działalności organizacyjnej przedstawiłem w załączniku 5 w punktach H,Q.

Na moją działalność popularyzującą naukę składają się wystąpienia np. telewizyjne oraz wystąpienia związane z organizowanymi przez uczelnie

ogólnodostępnymi prezentacjami naukowymi np. w ramach tzw. Ursynalii. Do takich działań można również zaliczyć wystąpienia podczas targów jak np. targi Pollutec, Paris Nord Villepinte we Francji podczas których wspierałem jako ekspert firmę zajmującą się produkcją urządzeń przeciwpowodziowych. Ponadto, do publikacji popularyzatorskich zaliczam krótkie sprawozdania z kongresów i konferencji które przygotowywałem do czasopism naukowych i/lub periodyków/gazet np. do „Gospodarki Wodnej”, „Przeglądu Geofizycznego”, „Agricoli”. Szczegóły mojej działalności popularyzatorskiej przedstawiłem w załączniku 5 w punktach I, N,Q.

Dr inż. Leszek Hejduk

