

dr inż. Łukasz Bąk

Katedra Geotechniki, Geomatyki i Gospodarki Odpadami
Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki
Politechnika Świętokrzyska

Załącznik 2

AUTOREFERAT
O DZIAŁALNOŚCI NAUKOWO-BADAWCZEJ, DYDAKTYCZNEJ
I ORGANIZACYJNEJ

Kielce, kwiecień 2018

I. Imię i Nazwisko

Łukasz, Zbigniew Bąk

II. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- 2002 tytuł zawodowy magistra inżyniera w zakresie inżynierii środowiska - uzyskany na Wydziale Inżynierii Środowiska i Geodezji Akademii Rolniczej im. Hugona Kołłątaja w Krakowie. Tytuł pracy magisterskiej: *Warunki przepływu wód katastrofalnych w zlewni potoku Ryta*, promotor: prof. dr hab. inż. Alicja Michalik
- 2005 tytuł zawodowy licencjata na kierunku finanse i bankowość - uzyskany na Wydziale Finansów Akademii Ekonomicznej w Krakowie. Tytuł pracy licencjackiej: *Analiza finansowa jednostki gospodarczej na przykładzie Spółki Akcyjnej KGHM Polska Miedź*, promotor: dr Halina Soczówka
- 2007 stopień doktora nauk rolniczych w zakresie kształtowania środowiska, specjalność inżynieria rzeczna - uzyskany na Wydziale Inżynierii Środowiska i Geodezji Akademii Rolniczej im. Hugona Kołłątaja w Krakowie. Tytuł pracy doktorskiej: *Wpływ procesów erozji na zmiany morfologiczne w korytach wybranych cieków*, promotor: prof. dr hab. inż. Alicja Michalik
- 2008 tytuł zawodowy magistra w zakresie rewizji finansowej - uzyskany na Wydziale Finansów Akademii Ekonomicznej w Krakowie. Tytuł pracy magisterskiej: *Działalność Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Kielcach w latach 2003 - 2005*, promotor: prof. dr hab. Kazimierz Górka
- 2010 świadectwo ukończenia studiów podyplomowych z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy, uzyskane na Wydziale Prawa Wyższej Szkoły Ekonomii i Prawa im. prof. Edwarda Lipińskiego w Kielcach

III. Informacje o przebiegu pracy zawodowej oraz dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych

a) zatrudnienie w jednostkach naukowych

- od 2010 Katedra Geotechniki, Geomatyki i Gospodarki Odpadami Politechniki Świętokrzyskiej - adiunkt
- 2017 Instytut Technologiczno Przyrodniczy w Falentach - ekspert w zadaniu 4. Programu Wieloletniego pod nazwą *Przedsięwzięcia technologiczno-przyrodnicze na rzecz innowacyjnej, efektywnej i niskoemisyjnej gospodarki na obszarach wiejskich*, ¼ etatu

b) zatrudnienie i współpraca w jednostkach projektowych oraz w przemyśle

- 2003-2004 Przedsiębiorstwo Techniczno – Produkcyjne *EKWOD sp. z o.o.* – inżynier budowy
- 2006-2007 Świętokrzyski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych – starszy referent techniczny
- 2008-2010 Grupa Ożarów S.A. – specjalista do spraw ochrony środowiska
- 2015-2016 Zakład Projektowo Usługowy *POL-WOD* – asystent projektanta

IV. 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. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego

ZAMULANIE I OSADY MAŁYCH ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH NA WYŻYNIE KIELECKIEJ

b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy)

Łukasz Bąk, Zamulanie i osady małych zbiorników retencyjnych na Wyżynie Kieleckiej, Monografie, Studia, Rozprawy M96, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2017,

Recenzentami wydawniczymi monografii byli:

prof. dr hab. inż. Szczepan Ludwik Dąbkowski

prof. dr hab. inż. Jerzy Ratomski

c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Wprowadzenie i omówienie celu osiągnięcia naukowego

Małe zbiorniki retencyjne, do których zalicza się obiekty o pojemności do 5 mln m³ (Porozumienie... 1995), zamykają przeważnie zlewnie o stosunkowo niewielkiej powierzchni, użytkowane głównie rolniczo. Pełnią one ważną funkcję w kształtowaniu zasobów wodnych i obiegu materii na danym obszarze. Zachowują i wzbogacają różnorodność gatunkową oraz stanowią istotny element środowiska kształtujący krajobraz. W ich czasach zachodzi szereg procesów: fizycznych (transport i sedimentacja rumowiska, ewaporacja, stratyfikacja termiczna wody, falowanie), morfologicznych (abrazja, procesy osuwiskowe, procesy zamulania) oraz biologicznych (eutrofizacja), w istotny sposób wpływających na funkcjonowanie i prawidłową eksploatację zbiornika. Jednymi z najważniejszych są procesy zamulania zbiorników, będące wynikiem odkładania w obrębie ich czasz produktów erozji. Stanowią one istotny problem zarówno z punktu widzenia ekonomiczno-gospodarczego (koszty związane z odtworzeniem retencji, odmulaniem ujęć, zagospodarowaniem osadów, problemy w produkcji energii elektrycznej itd.), jak i środowiskowego (osady w środowisku wodnym odpowiedzialne są za magazynowanie toksycznych związków organicznych i metali ciężkich oraz ich transfer pomiędzy poszczególnymi komponentami tego środowiska) (Carpene i in. 1994; Szalińska 2010; Zeng i Wu 2013).

Dotychczasowa wiedza z zakresu zamulania zbiorników wodnych w Polsce dotyczy przede wszystkim procesu utraty pojemności średnich i dużych zbiorników zaporowych

(Wiśniewski 1967; Ratomski i Stonawski 1993; Łajczak 1995). Zagadnienie zamulania małych zbiorników wodnych jest natomiast niewystarczająco rozpoznane i w polskiej literaturze naukowej traktowane raczej marginalnie (Michalec 2008). Brak wiarygodnej informacji o aktualnej pojemności małych zbiorników zaporowych wynika m.in. z faktu, że lokalizowane są one na ogół na rzekach II lub wyższych rzędów, na których nie prowadzi się ani pomiarów przepływu, ani pomiarów transportu rumowiska rzeczno. Natomiast pomiary objętości osadów odkładanych w obrębie ich czasz prowadzone są głównie przez jednostki naukowo-badawcze na stosunkowo niewielkiej liczbie obiektów.

Niewystarczająco rozpoznane jest również zagadnienie właściwości fizycznych i chemicznych osadów odkładanych w małych zbiornikach wodnych. Charakteryzowanie osadów dennych w oparciu o kilka próbek pochodzących z różnych części zbiornika uniemożliwia wnikliwą charakterystykę zmienności ich cech pod wpływem czasu i w przestrzeni, a jedynie pozwoliło na uchwycenie pewnych ogólnych trendów. Trzeba tu wyraźnie zaznaczyć, że osady denne stanowią istotny element ekosystemów wodnych. Są środowiskiem życia dla organizmów roślinnych i zwierzęcych. Z drugiej strony uważa się, że osady ze względu na swoją strukturę pełnią rolę geosorbentów – są miejscem depozycji zanieczyszczeń wprowadzanych do środowiska wodnego (Szalińska 2011). Jednym z ważniejszych czynników decydujących o szkodliwości czy też możliwości zagospodarowania osadów, oprócz ich właściwości fizycznych, jest ich skład chemiczny, a w szczególności zawartość metali ciężkich. O toksyczności metali ciężkich decyduje ich trwałość (nie ulegają one biodegradacji) oraz zdolność do kumulowania się w osadach i organizmach żywych.

Budowa małych zbiorników wodnych jest elementem programu działania na rzecz poprawy stanu, odbudowy oraz powiększenia zasobów wodnych. Jednakże nasza wiedza na temat środowiskowych następstw tych działań – a są one jak już wcześniej wspomniano bardzo różne – jest skromna. Właśnie ze względu na niedostatek wiedzy naukowej w tej sferze oraz znaczenie i wagę problemu, badania skoncentrowałem na sedymentacji – której skutkiem jest utrata pojemności retencyjnej zbiorników – oraz charakterystyce ilościowej i jakościowej osadów – będącej podstawą oceny ich stanu ekologicznego oraz możliwości zagospodarowania.

Analityczne omówienie zagadnień dotyczących zamulania małych zaporowych zbiorników retencyjnych oraz właściwości fizycznych i chemicznych osadów odłożonych w ich czaszach stanowi główny cel naukowy wykonanych przeze mnie prac badawczych. Został on zrealizowany poprzez zadania cząstkowe (cele pomocnicze), które jednocześnie określają zakres pracy, a są to:

- intensywność zamulania oraz zdolność małego zbiornika wodnego do trwałego retencjonowania rumowiska unoszonego,
- rozmieszczenie osadów w czaszy małego zbiornika wodnego,
- rozpoznanie przestrzennej zmienności wybranych właściwości fizycznych (skład granulometrycznych, gęstość właściwa, gęstość objętościowa) i chemicznych (zawartość metali ciężkich, formy specjacyjne metali) osadów dennych,
- wyprowadzenie związków ilościowych między parametrami fizjograficznymi zlewni a wybranymi wskaźnikami charakteryzującymi zamulanie zbiornika wodnego,
- ocena niepewności określenia objętości osadów w małym zbiorniku zaporowym z uwzględnieniem możliwości szacowania ilości rumowiska odpływającego ze zlewni,
- przydatność formuł opisujących początkową gęstość objętościową osadów (ρ_{op}),
- opracowanie formuły do określania początkowej gęstości osadów (ρ_{op}) małych zbiorników wodnych, uwzględniającej cechy litologiczne osadów oraz ocena jej przydatności do zastosowań praktycznych.

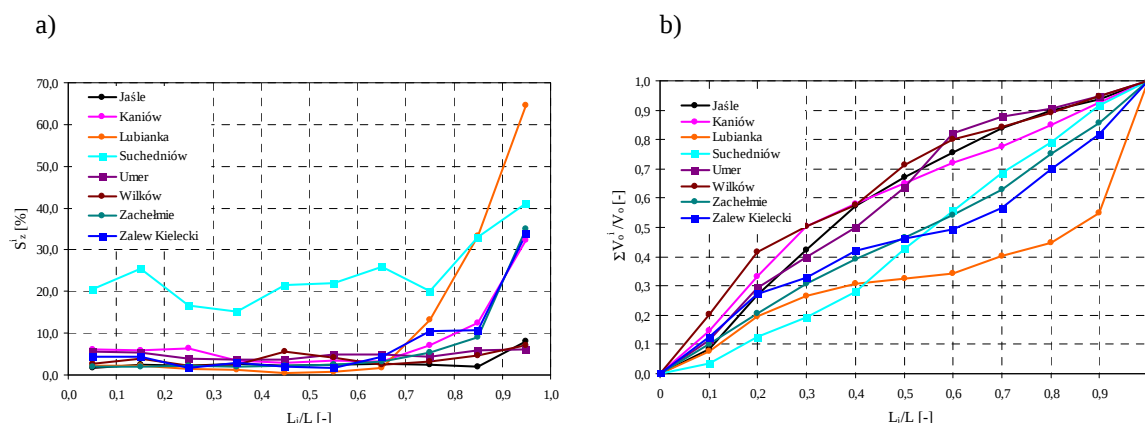
Omówienie wyników badań

Stan zamulenia badanych zbiorników zaporowych

Badane zbiorniki zaporowe (Jaśle, Kaniów, Lubianka Suchedniów, Umer, Wilków, Zachełmie i Zalew Kielecki), zlokalizowane na ciekach niekontrolowanych hydrologicznie należą do kategorii bardzo małych. Tracą one średnio w roku od 0,15% do 0,60% pojemności początkowej. Największym zamuleniem charakteryzował się zbiornik Suchedniów, który po 36 latach eksploatacji utracił blisko 20% pierwotnej pojemności. Średnie roczne tempo ubytku pojemności tego zbiornika należało do jednych z największych spośród badanych akwenów i wynosiło 0,54%. Zbiorniki zlokalizowane w zlewniach o dominującym udziale lasów i użytków zielonych (Jaśle, Lubianka i Zachełmie) charakteryzowały się znacznie mniejszym tempem załadowania (średnio rocznie traciły one od 0,15% do 0,23% początkowej pojemności) aniżeli zbiorniki, w zlewniach których znaczny odsetek stanowiły grunty orne i użytki zielone. Efektem procesów sedymentacji w obrębie mis poszczególnych zbiorników było powstanie pokrywy osadów o średniej miąższości od 4 do 28 cm, co odpowiada ich kubaturze od 0,76 do 59,42 tys. m³.

W badanych zbiornikach największym względnym zamuleniem charakteryzowały się sektory części wlotowej, w których obserwowano systematyczny wzrost udziału w osadach materiału gruboziarnistego, przy czym zbiorniki, których czas eksploatacji był najdłuższy

(Lubianka, Suchedniów), charakteryzowały się największym względnym zamuleniem tych sektorów ($S_z^i > 40\%$), zaś zbiorniki o najkrótszym czasie eksploatacji (Jaśle, Umer i Wilków) najmniejszym ($S_z^i < 10\%$). Zamulenie segmentów położonych w dolnej i środkowej części zbiorników kształtowało się na względnie porównywalnym poziomie (rys. 1a). Z przeprowadzonych badań wynika ponadto, że rozkład osadów w zbiornikach podobnych pod względem kształtu, lokalizacji i rodzaju urządzeń upustowych był zgoła odmienny. W części zbiornika Lubianka mieszczącej się w odległości względnej od zapory od 0,0 do 0,5 zatrzymało się niespełna 35% całkowitej objętości osadów. Natomiast w zbiornikach Jaśle, Kaniów, Umer i Wilków, w tej części zatrzymało się przeszło 60% objętości osadów. Krzywe kumulacyjne rozkładu osadów zbiorników Zachełmie i Zalew Kielecki charakteryzowały się tymczasem quasi-liniowym przebiegiem (rys. 1b).



Rys. 1. (a) - rozmieszczenie osadów w badanych zbiornikach, (b) - Krzywe kumulacji osadów: S_z^i - stopień zamulenia i -tego segmentu zbiornika (%), V_o - objętość osadów odłożonych w zbiorniku (m^3), V_o^i - objętość osadów w i -tym segmencie zbiornika (m^3), L - długość zbiornika wodnego (m), L_i - odległość i -tego przekroju od zapory (m)

Odmienny przebieg intensywności zamulania małych zbiorników wodnych wskazuje na istotny wpływ czynników klimatycznych, geologicznych i geomorfologicznych na przebieg tego procesu. Stwarza to możliwość powiązania tych czynników z ilością odkładanego w zbiornikach rumowiska i opracowania zależności określającej intensywność załadowania małych zbiorników zaporowych w funkcji różnych charakterystyk zlewni. W przypadku badanych małych zbiorników zaporowych stwierdzono, że tempo utraty ich pojemności (wyrażone przy pomocy średniego rocznego stopnia zamulenia S_{zs}) można opisać przy pomocy dwóch funkcji (1 i 2), charakteryzujące się wysokim współczynnikiem determinacji ($r^2 > 0,9$) istotnym na poziomie $p = 0,05$.

$$S_{zs} = 0,222 \cdot G_o^{0,261} \cdot I_z^{-0,097} \quad (1)$$

$$S_{zs} = -0,546 + 0,016G_0 - 0,336G_{rz} + 0,009T_z + 0,149R_b + 0,002H_{sr} \quad (2)$$

gdzie:

S_{zs} – średni roczny stopień zamulenia zbiornika (%), I_z – średni spadek zlewni zamkniętej zaporą zbiornika (%), G_o – wskaźnik gruntów ornych (%), G_{rz} – gęstość sieci wodnej określona na podstawie sumowania długości wszystkich cieków na mapie w skali 1:10 000 ($\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$), T_z – wskaźnik terenów zabudowanych (%), R_b – wskaźnik bifurkacji (-) ($R_b = N_i/N_{i+1}$, gdzie: i – rząd ciek, N – liczba cieków danego rzędu), H_{sr} – średnia wysokość zlewni zamkniętej zaporą zbiornika (m n.p.m.).

Jedną z istotnych cech zbiorników wodnych, charakteryzujących tempo zamulania, jest ich zdolność do trwałego zatrzymywania rumowiska unoszonego (β – *sediment trap efficiency*). W oparciu o wyniki badań ilości rumowiska unoszonego dopływającego i odpływającego z badanych zbiorników ustalono, że ich zdolność do zatrzymywania rumowiska zawiera się w przedziale od 71% do 95% (74% - zbiornik Jaśle, 72% - zbiornik Kaniów, 95% - zbiornik Lubianka, 75% - zbiornik Suchedniów, 71% - zbiornik Umer, 82% - zbiornik Wilków, 78% - zbiornik Zachełmie, 82% - zbiornik Zalew Kielecki). Ponadto, stwierdzono występowanie, statystycznie istotnego na poziomie $p = 0,05$, związku między parametrem β i współczynnikiem zlewniowym (CW) ($r = 0,497$), opisanego zależnością (3).

$$\beta = 100 \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + 0,0021 \cdot 0,325 \cdot CW} \right) \quad (3)$$

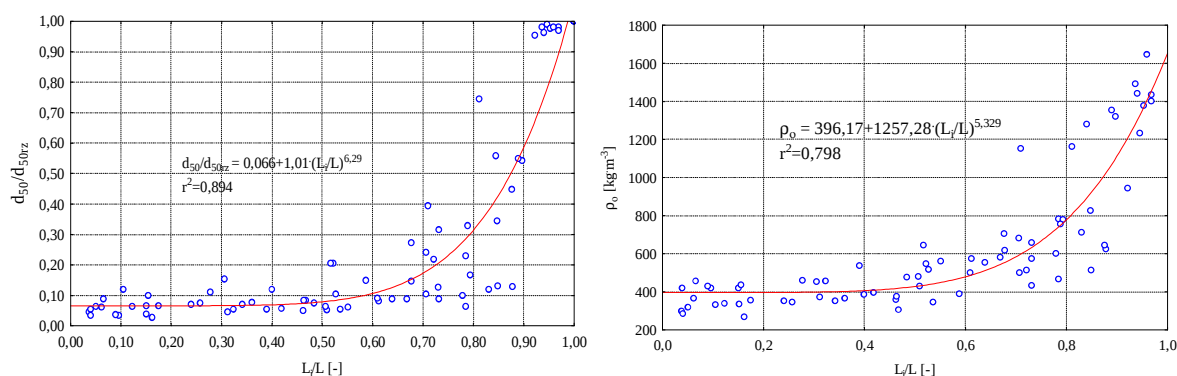
Właściwości fizyczne osadów

W badanych zbiornikach deponowany był głównie materiał pylasty i piaszczysty. Udział frakcji iłowej w kompozycji osadów był niewielki. Największą zawartością ziaren o średnicy $d_i < 0,002$ mm charakteryzowały się osady zbiornika Suchedniów (3,6% całkowitej masy osadów) i zbiornika Jaśle (2,5%). Natomiast w pozostałych zbiornikach udział ziaren frakcji iłowej nie przekraczał 1,6%. Zawartość frakcji pylastej i piaskowej w osadach była

zróżnicowana i zawierała się w przedziałach od 45,0% do 71,5% (osady pylaste) i od 26,9% do 54,3% (osady piaszkowe) masy osadów w zbiorniku.

U wlotów zbiorników ($L_i/L > 0,95$) zatrzymywały się przede wszystkim osady mineralne frakcji piaskowej (tworzące stożek napływowy), których średnica przeciętna ($d_{50} = 0,20 - 0,50$ mm) stanowiła od 0,67 do 0,91 średnicy materiału dennego dopływów ($d_{50rz} = 0,25 - 0,75$ mm). Osady te charakteryzowały się umiarkowanym wysortowaniem w przypadku zbiorników Jaśle i Zachełmie ($0,71 < GSO < 1$), umiarkowanie dobrym wysortowaniem w zbiornikach Kaniów, Lubianka i Wilków ($0,50 < GSO < 0,71$) oraz dobrym wysortowaniem w pozostałych akwenach ($0,35 < GSO < 0,50$). W pobliżu zapór odkładany był z kolei materiał, w składzie którego dominowały ziarna frakcji pylastej. Osady te były źle lub bardzo źle wysortowane $GSO > 1$.

Zmianę d_{50}/d_{50rz} w funkcji względnej odległości od zapory L_i/L , uśrednioną dla zbioru analizowanych zbiorników można opisać za pomocą równania paraboli (rys. 2a). Uzyskany związek regresyjny wyjaśnia przeszło 89% zaobserwowanej zmienności i jest istotny statystycznie na poziomie $p = 0,05$.



Rys. 2. (a) - związek d_{50}/d_{50rz} z L_i/L , (b) - związek korelacyjny $\rho_o = f(L_i/L)$ dla wierzchniej warstwy osadów

Zawartość materii organicznej (OR) w osadach była bardzo zróżnicowana zarówno w układzie poziomym, jak i pionowym. Rozpatrując rozkład procentowej zawartości OR w wierzchniej warstwie osadów stwierdzono, że wyraźnie zarysowuje się podział na odkłady, w których udział OR wynosi od kilku do kilkunastu procent – są to osady drobnoziarniste pobrane w odległości względnej od zapory $L_i/L < 0,9$. Natomiast osady piaszczyste odłożone bezpośrednio przy wlocie do akwenu ($L_i/L > 0,9$), charakteryzowały się udziałem OR poniżej 1%.

Gęstość objętościowa (ρ_o) badanych osadów zmieniała się w szerokim zakresie od 239 kg m^{-3} do 1739 kg m^{-3} . Najmniejszą gęstością charakteryzowały się osady odłożone w dolnej i

środkowej części zbiorników, w składzie których dominowały frakcje pylaste i ilaste ($239 - 893 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), a największą – osady piaszkowe ($974 - 1739 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) akumulowane w przewodzie w górnych partiach akwenów. Gęstość wierzchniej warstewki osadów pobranych w pobliżu nurtu szybko maleje w kierunku zapory do odległości względnej $L_i/L = 0,6$, po czym stabilizuje się na quasi stałym poziomie (rys. 2b). Ponadto ustalono, że początkowej gęstości objętościowej osadów małych zbiorników wodnych Wyżyny Kieleckiej można prognozować w oparciu o ich skład ziarnowy z zależności (4).

$$\begin{cases} \rho_{op} = \frac{2151}{d_{50}^{-0,47}} [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \text{ dla } d_{50} < 0,5 \text{ mm} \\ \rho_{op} = 1600 [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \text{ dla } d_{50} > 0,5 \text{ mm} \end{cases} \quad (4)$$

gdzie:

ρ_{op} – początkowa gęstość objętościowa osadów ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), d_{50} – przeciętna średnica ziaren (mm)

Właściwości chemiczne osadów

Metale ciężkie w osadach dennych badanych zbiorników występują w zróżnicowanych stężeniach, których zakres jest bardzo szeroki: od poniżej granicy oznaczalności zastosowanej metody analitycznej do maksymalnie kilkuset-kilkudziesięciu tysięcy $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($\text{Fe} = 48,5 - 38146 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Mn} = 6,1 - 1869 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Zn} = 0,1 - 724 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Pb} = 0,0 - 306,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Ni} = 0,0 - 204,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Cr} = 0,0 - 104,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Cu} = 0,3 - 87,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{Cd} = 0,0 - 45,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Dużej kontrastowości koncentracji metali ciężkich nie sposób wytłumaczyć zmiennością właściwości teksturalnych osadów, czy też zawartej w nich materii organicznej. W większości badanych zbiorników nie stwierdzono istotnie statystycznego związku między udziałem frakcji pylastej i materii organicznej a zawartością metali w badanych próbkach. W przypadkach, gdy związek korelacyjny był obserwowany, miał on słaby charakter ($r < 0,5$). Może to świadczyć o istnieniu punktowych źródeł zanieczyszczeń badanych zbiorników (np. zrzuty wód deszczowych) oraz o okresowym zanieczyszczeniu ich wód ściekami gospodarczo-bytowymi.

Sieć wzajemnych zależności między poszczególnymi metalami ciężkimi w osadach dennych może być wynikiem ich geochemicznych powiązań, jak również może informować o

ich źródłach pochodzenia. W przypadku próbek osadów pobranych ze wszystkich badanych zbiorników obserwowano skorelowanie większości grup pierwiastków między sobą oraz złożoną sieć powiązań korelacyjnych. Uzyskane zależności w zdecydowanej większości miały charakter dodatni, natomiast siła korelacji, wyrażona przy pomocy współczynnika korelacji liniowej r -Pearsona, była wysoce zróżnicowana. Bardzo silną zależność ($r > 0,9$) obserwowano jedynie w przypadku następujących par metali: Fe a Zn (zbiornik Kaniów), Fe a Zn i Ni (zbiornik Lubianka) oraz Fe a Zn (zbiornik Zalew Kielecki). Silna zależność między żelazem a innymi metalami ciężkimi może wskazywać na ich naturalne pochodzenie. Na uwagę zasługuje wysoka średnia zawartość w osadach zbiorników Suchedniów i Zalew Kielecki Cd, Pb i Cu (znacznie przekraczającą tło geochemiczne) oraz występowanie słabych/średnich powiązań korelacyjnych ($0,4 < r < 0,7$) tych pierwiastków z innymi metalami, co wskazuje na antropogeniczne pochodzenie tych zanieczyszczeń. O istniejącym zanieczyszczeniu antropogenicznym osadów dennych badanych zbiorników świadczą również wartości indeksu geoakumulacyjnego (I_{geo}), która rzadko potwierdza brak zanieczyszczeń osadów ($I_{geo} \leq 0$) w przypadku: Zn – 7 zbiorników, Mn – 6 zbiorników, Cu – 5 zbiorników i Pb – 2 zbiorników. Wartości indeksu geoakumulacji w przewadze były charakterystyczne dla osadów niezanieczyszczonych – umiarkowanie zanieczyszczonych lub umiarkowanie zanieczyszczonych poza osadami pochodzącymi ze zbiornika Zalew Kielecki. Osady z tego zbiornika były natomiast silnie zanieczyszczone i ekstremalnie zanieczyszczone ołowiem i kadmem.

Kolejnym krokiem w ocenie zagrożenia środowiska związanego z metalami ciężkimi było określenie ich form specjacyjnych. Analiza specjacyjna pozwala na ilościowe oznaczenie poszczególnych form chemicznych, w jakich metale są związane w osadach dennych, a co za tym idzie dostarcza informacji o biodostępności metali ciężkich i wynikających z tego zagrożeń dla organizmów żywych (Rosińska i Dąbrowska 2011). Z badań form związania metali wynika, że najczęściej występują one we frakcjach *III* oraz *IV*, czyli silnie związanych z materią tworzącą osad badanych zbiorników wodnych. Udział Cd, Cu, Cr, Ni, Pb i Zn w tych frakcjach w większości osadów badanych zbiorników znacznie przekraczał 50%, jedynie w zbiorniku Wilków kadm oraz cynk w zbiorniku Umer występowały w przewadze w formie pierwszej ($\geq 50\%$), a więc całkowicie wymiennej i mogły łatwo ulegać wymianie jonowej przy zmianie warunków środowiskowych w zbiorniku. Pośrednie ilości metali były związane z tlenkami i wodorotlenkami żelaza (frakcja *II* redukowalna). Na tle badanych pierwiastków wyróżnia się mangan, który w badanych osadach występował w znacznych ilościach i odznaczał się dużą mobilnością. W zbiornikach Jaśle, Kaniów, Suchedniów, Wilków,

Zachełmie i Zalew Kielecki udział frakcji *I* kształtował się na poziomie 66 – 88%, natomiast w pozostałych zbiornikach mangan może ulegać wymianie jonowej w około 45%. W większości analizowanych przypadków, główną rolę w wiązaniu żelaza odegrała frakcja rezydualna (42% – 55%). W osadach ze zbiornika Kaniów, Wilków i Zachełmie żelazo było związane głównie z uwodnionymi tlenkami i wodorotlenkami żelaza i manganu (51% – 59%).

Najważniejsze wnioski wynikające z przeprowadzonych badań

Wyniki przeprowadzonych badań osadów odłożonych w małych zbiornikach wodnych upoważniają do sformułowania następujących wniosków:

I. Sedymentacja osadów w małych zbiornikach

1. Tempo zamulania, wyrażone średnim rocznym stopniem zamulenia badanych małych zbiorników wodnych, zarówno tych, w zlewniach których dominują lasy, jak też tych, w zlewniach których odsetek gruntów użytkowanych rolniczo jest znaczący ($G_o > 40\%$), jest umiarkowane. Średni roczny stopień zamulenia badanych małych zbiorników wodnych wynosił od 0,15% do 0,60%, a średnio 0,38%.
2. Analiza parametrów fizjograficznych i hydraulicznych przeprowadzona dla 8 małych zbiorników zaporowych położonych w dorzeczu Nidy i Kamiennej wykazała, że najistotniejsze znaczenie w ilościowym ujęciu procesów zamulania mają następujące parametry: średni spadek zlewni, wskaźnik gruntów ornych, gęstość sieci wodnej, wskaźnik bifurkacji i średnia wysokość zlewni.
3. Opracowane modele regresyjne, opisane wzorami, uwzględniające parametry fizjograficzne zlewni, dające się w łatwy sposób oszacować przy użyciu techniki GIS, mogą być wykorzystywane do prognozowania intensywności zamulania małych zbiorników o charakterze podobnym do badanych.
4. Przebieg procesów sedymentacji w małych zbiornikach zaporowych i dużych zbiornikach jest różny i nie można do ich określenia stosować tych samych metod prognostycznych. Prognozę zamulania małych wyżynnych zbiorników wodnych, w przypadku braku informacji o średniej rocznej masie rumowiska odpływającego ze zlewni, powinno się opracować w oparciu o uzyskane przez autora zależności wiążące średnie roczne zamulenie zbiornika z charakterystykami zlewni. Prognozę można również opracować metodą Gončarova. Wymaga ona jednak dokładnego określenia

objętości osadów odłożonych w zbiorniku w pierwszym roku eksploatacji. Objętość tę można określić w sposób pośredni jako stosunek iloczynu zdolności zbiornika do trwałego zatrzymywania rumowiska i średniej rocznej masy transportowanego rumowiska unoszonego do gęstości objętościowej tego rumowiska. Zdolność małego wyżynnego zbiornika wodnego do zatrzymywania rumowiska należy wówczas określić za pomocą zmodyfikowanej przez autora zależności podanej przez Browna.

II. Osady zbiornikowe

1. Rumowisko zatrzymywane w małych zbiornikach Wyżyny Kieleckiej składa się przede wszystkim z drobnoziarnistego materiału mineralnego frakcji pylastej i piaskowej. W przeważającej większości był to materiał słabo wysortowany i różnoziarnisty ($GSO > 1$). W przypadku osadów odłożonych bezpośrednio poniżej wlotu do zbiornika stwierdzono występowanie pokładów o różnej miąższości dobrze wysortowanych ($GSO < 1$) i o małej zmienności uziarnienia – są to z reguły piaski.
2. Gęstość objętościowa osadów odłożonych w badanych zbiornikach wynosi od $232 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ do $1739 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, natomiast średnia ważona gęstość odkładów zawiera się w stosunkowo wąskim przedziale od $558 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ do $815 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. W dolnej i środkowej części zbiorników wierzchnie warstwy osadów tworzy przeważnie materiał pylasty o gęstości do $700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Osady z przewagą frakcji piaskowej, pochodzące z górnych części badanych akwenów, charakteryzują się gęstością przekraczającą $1100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
3. Wyniki oceny przydatności wzorów empirycznych do prognozowania początkowej gęstości objętościowej osadów skłaniają do stwierdzenia, że powinna być ona wyznaczana w oparciu o pomiary terenowe wykonane ze znacznym zagęszczeniem punktów poboru próbek. W przeciwnym razie (gdy wyznaczamy ją z powszechnie spotykanych w literaturze wzorów) może być ona istotnym źródłem błędów/niepewności podczas przeliczania objętości na masę.
4. Początkową gęstość osadów małych zbiorników o podobnej do badanych gospodarce wodnej, wielkości oraz sposobie zagospodarowania i użytkowania zlewni można obliczyć z zależności (4).
5. Opracowanie prognozy zamulania zbiornika wodnego wymaga określenia gęstości objętościowej odkładów dla przeliczenia ich masy na objętość. W przypadku braku tych informacji zaleca się przyjmować początkową gęstość osadów odłożonych w odległości względnej od zapory $< 0,6$ równą około $400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

6. Średnia zawartość materii organicznej w osadach badanych zbiorników wynosiła od 4,6% do 9,3%. Namuły pylasto-ilaste charakteryzowały się znacznie większym OR (wynoszącym od kilku do kilkunastu procent) niż osady piaszczyste (w których zawartość OR nie przekraczała 2%).

III. Metale ciężkie

1. Koncentracja metali ciężkich w osadach dennych badanych zbiorników zależy od sposobu zagospodarowania zlewni. W przypadku zbiorników, w zlewniach których dominuje gospodarka leśna (Kaniów, Lubianka i Zachełmie), koncentracja metali ciężkich w osadach dennych jest niewielka. Wartość indeksu geochemicznego I_{geo} , w odniesieniu do badanych pierwiastków śladowych, nie przekraczała jedności. Natomiast osady zbiorników położonych na terenach miejskich (Suchedniów i Zalew Kielecki), poddanych silnej antropopresji, w pobliżu których przebiegają ciągi komunikacyjne o dużym natężeniu ruchu kołowego, są silnie zanieczyszczone Cd , Pb , Ni i Cr ($I_{geo} > 3$). Nie stwierdzono występowania silnych, istotnych statystycznie, zależności między uziarnieniem osadów i zawartej w nich OR a zawartością badanych metali ciężkich.
2. Analiza specyjalna wykazała, że w osadach małych zbiorników wodnych oznaczone metale ciężkie występowały przeważnie w formach trudno migrujących. Mangan natomiast występował w znacznych ilościach (180 – 662 mg·kg⁻¹) i odznaczał się dużą mobilnością.
3. Osady zbiornikowe mogą być wykorzystywane do celów rolniczych i inżynierijno-budowlanych, jednakże ze względu na częste zanieczyszczenie osadów dennych konieczne jest przeprowadzenie badań i analiz niezbędnych do oceny ich właściwości fizyko-chemicznych, na podstawie których można określić warianty ich zagospodarowania, a w przypadku gdy nie spełniają wymogów, poddać je składowaniu lub unieszkodliwieniu.
4. W celu ochrony jakości wód małych zbiorników, w szczególności tych położonych w zlewniach silnie przekształconych przez człowieka oraz o znaczącym udziale gruntów rolnych, już na wstępnym etapie projektowania powinno się uwzględniać pewne działania/rozwiązania zmierzające do ochrony tych zasobów. Wokół zbiorników powinna występować nieużytkowana strefa buforowa lub ekstensywnie użytkowana łąka. Ważnym również jest, aby wody pochodzące ze spływów powierzchniowych z

terenów zabudowanych i ciągów komunikacyjnych (silnie zanieczyszczone metalami ciężkimi) nie dostawały się bezpośrednio do zbiornika. W uzasadnionych przypadkach, gdy brak jest możliwości ograniczenia dopływu zanieczyszczeń można wykonać zbiornik wstępny lub system biofiltrów.

Możliwość wykorzystania wyników badań

W rozpatrywanej próbie analitycznego ujęcia procesów zamulania małych wyżynnych zbiorników wodnych oraz oceny zanieczyszczeń osadów zbiornikowych w warunkach zróżnicowanej antropopresji, największe znaczenie aplikacyjne należy przypisać wątkom dotyczącym:

1. rozpoznania ilości i rozmieszczenia osadów w małych zbiornikach wodnych,
2. rozpoznania cech fizyko-chemicznych osadów oraz możliwości ich zagospodarowania,
3. opracowania wzorów i zależności pozwalających na prognozowanie zamulania małych zbiorników wodnych Wyżyny Kieleckiej oraz początkowej gęstości osadów dennych,
4. określenia wartości wskaźników denudacji odpływowej zlewni małego zbiornika wodnego.

Rozpoznanie różnych aspektów i następstw budowy małych zbiorników wodnych przyczynia się do postępu w programowaniu, planowaniu i projektowaniu takich obiektów. Pozwala również na optymalizację doboru miejsca ich posadowienia pod kątem ograniczenia procesu zamulania prowadzącego do ubytku pojemności zbiorników i zmian w hydraulice przepływu wód przez zbiornik oraz jakości wody w zbiorniku.

Wyniki badań autora dotyczące zamulania zbiornika Suchedniów (rozpoznanie ilości, jakości oraz rozmieszczenia osadów w czaszy zbiornika) stały się podstawą opracowania projektu jego odmulenia (załącznik 4: 4b). Projekt ten, w całości, został zrealizowany w 2017 roku.

V. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych

Poza omówioną powyżej problematyką badawczą, dotyczącą zamulania i wybranych właściwości fizyko-chemicznych osadów dennych małych zbiorników wodnych, w swojej działalności naukowo-badawczej mogę wyróżnić kilka nurtów związanych z rozwojem swoich osobistych zainteresowań oraz kierunkami badań prowadzonych w Katedrze Geotechniki i Inżynierii Wodnej, a od 2008 Katedrze Geotechniki, Geomatyki i Gospodarki Odpadami Politechniki Świętokrzyskiej. Obejmują one następujące zagadnienia:

1. morfogenetyczna działalność rzek i potoków górskich,
2. prognozowanie zamulania małych zbiorników wodnych oraz dokładność oceny, objętości osadów w nich zakumulowanych,
3. skład ścieków deszczowych,
4. właściwości fizyko-chemiczne i zagospodarowanie osadów z kanalizacji deszczowej oraz zbiorników małej retencji,
5. zastosowanie modeli probabilistycznych do prognozowania ilości zrzutów przelewem burzowym w systemie kanalizacji deszczowej.

Ad. 1.

Badanie związane z morfogenetyczną działalnością rzek i potoków górskich rozpocząłem w 2002 roku i stopniowo poszerzałem zwiększając liczbę i charakter cieków objętych monitoringiem. W pierwszej fazie badaniami objęto zlewnie czterech małych potoków górskich, o powierzchniach $< 70 \text{ km}^2$. W późniejszych latach rozszerzono je o odcinki rzek: Łososina, Skawa i Czarna Nida. Badania skoncentrowane były przede wszystkim na poznaniu prawidłowości sterujących przebiegiem procesów erozji bocznej i dennej oraz transportu i sedymentacji. Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że w korytach małych potoków górskich wraz ze wzrostem przepływu w sposób nieliniowy wzrasta tempo cofania się brzegów. Średnie tempo migracji podcinanych skarp koryta potoku Słomka zawierało się w przedziale od $0,6 \text{ m} \cdot \text{rok}^{-1}$ do $1,7 \text{ m} \cdot \text{rok}^{-1}$, a potoku Kasinka od $0,1 \text{ m} \cdot \text{rok}^{-1}$ do $1,0 \text{ m} \cdot \text{rok}^{-1}$ (publikacje 1a, 3a, 2e, 5e). Intensywną migrację boczną podczas przepływów wezbraniowych obserwowano również w korytach pozostałych rzek i potoków górskich (np. średnie roczne tempo migracji monitorowanych brzegów koryta rzeki Łososina wynosiło około $0,70 \text{ m}$) (publikacje 3e, 4e, 7e).

Dominujący wpływ na morfologię koryta badanych cieków górskich miały wezbrania powodujące uruchomienie materiału dennego. Procesy takie jak: niszcząca działalność kropel deszczu, erozji eolicznej, pęcznienie i kurczenie gruntu podczas pory deszczowej i suchej miały drugorzędne znaczenie (publikacje 3a, 23e). W badanych potokach i odcinkach rzek górskich obserwowano transport materiału dennego, przy przepływie mniejszym od $Q_{50\%}$. Zdolność przepływu do niszczenia dna i brzegów koryta wynika z dużej nadwyżki mocy strumienia, która wielokrotnie przekracza moc krytyczną związaną z początkiem ruchu (publikacje 3a, 23e).

Formy erozji wgłębnej miały charakter lokalny i występowały w postaci rynien erozyjnych oraz kotłów erozyjnych, wyciętych w podłożu aluwialnym, przy brzegu wklęsłym (rynny) oraz w środkowej części przekroju (kotły). Wszystkie obserwowane formy erozji dennej powstały poniżej obszarów sedimentacji materiału gruboziarnistego. Wskazuje to na ich formowanie w warunkach przepływu niedociążonego, gdzie nadwyżka mocy strumienia wydatkowana była na wymywanie materiału z dna podczas fazy opadania zwierciadła wody. Objętość obserwowanych form w korytach potoków górskich nie przekraczała $5,0 \text{ m}^3$, a ich przegłębienie dochodziło do 0,70 m. W przypadku koryt rzecznych objętości form erozyjnych były znacznie większe (publikacje 1a, 3a, 2e, 5e, 23e).

W publikacjach (3a, 6e, 23e), na podstawie kilkuletnich badań, określono zmienność składu granulometrycznego rumowiska w profilu podłużnym cieku oraz ustalono związek transportu i erozji bocznej (publikacja 3a). Wynika z niego, że wraz ze wzrostem transportu wzrasta erozja boczna. Zatem przy stanie zdolności transportowej – gdy cała energia kinetyczna zużywana jest na transport rumowiska, potok jest zdolny jedynie do transportu i podcinania brzegów. W miarę wzrostu obciążenia zmniejsza się znaczenie erozji wgłębnej na rzecz erozji bocznej jako sposobu dostawy rumowiska. Ponadto brak korelacji między transportem a akumulacją oraz erozją wgłębą świadczy o złożonym charakterze powiązań między warunkami hydrodynamicznymi i morfodynamicznymi, które decydują o transporcie, a w konsekwencji o natężeniu erozji wgłębnej i akumulacji.

Ad. 2.

Prognozowanie czasu zamulania małych zbiorników, a co za tym idzie ich żywotności, gdy nie dysponujemy wynikami pomiarów dopływu rumowiska rzeczного, napotyka na liczne trudności. Prognozę można uściślić dopiero po pewnym okresie eksploatacji, dokonując pomiaru objętości osadów zgromadzonych w zbiorniku. O dokładności prognozy

decydują m.in. błędy cząstkowe, składające się na niepewność całkowitą z jaką określa się ilość namulów zatrzymanych w zbiorniku po t -latach jego eksploatacji. Badania zmierzające do ustalenia żywotności małych zbiorników wodnych i oceny niepewności tego oszacowania, od 2012 roku prowadziłem wspólnie z pracownikami Zakładu Inżynierii Wodnej i Melioracji Instytutu Technologiczno-Przyrodniczego w Falentach. W wyniku prowadzonych badań m.in. na 2 małych zbiorników wodnych ustalono, że w zbiorniku Suchedniów po 32 latach eksploatacji zakumulowało się 78 tys. m³ osadów, co odpowiada średniej rocznej utracie pojemności zbiornika równej 0,8% (publikacja 8e). Natomiast zbiornik Ruda w ciągu 35 lat stracił ok. 28% pojemności pierwotnej - w czaszy zbiornika zakumulowało się około 200,7 tys. m³ osadu (publikacja 20e). Na podstawie prognozy zamulenia, wykonanej w oparciu o pomiar objętości odkładów w zbiorniku Suchedniów, stwierdzono, że efektywny czas jego eksploatacji wynosi ok. 175 lat.

W publikacjach (2f i 4f) omówiono źródła błędów i niepewności oszacowania kubatury osadów zakumulowanych w zbiorniku oraz ustalono, że w pewnych warunkach, w zależności od przyjętej metody pomiarów i obliczeń, otrzymane wyniki zamulenia czaszy zbiornika mogą różnić się nawet o kilkadziesiąt procent. Jednym z głównych osiągnięć przedstawionych w publikacjach (8e, 2f, 4f), była propozycja sposobu prognozowania zamulania małego zbiornika wodnego, dla którego brak jest obserwacji hydrologicznych oraz koncepcji badań batymetrycznych zbiorników wodnych.

Ad. 3.

Badania jakości ścieków deszczowych prowadzone w zlewniach zurbanizowanych, wykazują znaczne zróżnicowanie stężeń poszczególnych zanieczyszczeń w nich zawartych. Obok zawiesin ogólnych i substancji ropopochodnych występują w nich także inne zanieczyszczenia (metale ciężkie, chlorki, siarczany, związki biogenne głównie azot i fosfor, mikroorganizmy), które wpływają negatywnie na środowisko gruntowe i wody odbiornika, a co za tym idzie na organizmy żywe. Na zmienność wskaźników zanieczyszczeń zasadniczy wpływ ma pora roku, ukształtowanie oraz rodzaj powierzchni terenu, prędkość wiatru, charakterystyki opadowe, a także natężenie ruchu kołowego. Z badań jakości ścieków prowadzonych w zlewni miejskiej położonej w ścisłym centrum miasta Kielce wynika, że odczyn pH ścieków deszczowych wykazuje względną stałość w przebiegu wezbrania i mieści się w granicach od 7,10 do 7,70. Stężenia chlorków w okresie wiosenno-letnim są niewielkie (30-185 mgCl/dm³), a wartości maksymalne dotyczą spływów roztopowych (325 mgCl/dm³)

i są efektem stosowanych środków chemicznych do zwalczania gołoledzi. Stężenia zawiesiny ogólnej wahają się w granicach od 65 do 7432 mg/dm³, przy czym wartości maksymalne dotyczą również spływów roztopowych i są kilkakrotnie większe niż w pozostałych okresach. Ilość zawiesin ogólnych maleje z upływem czasu trwania wezbrania do około połowy wartości początkowej. Analiza stężeń metali ciężkich w poszczególnych wezbraniach ujawniła, że najwyższe średnie stężenia zawierające się w przedziale 0,304-0,992 mg/dm³ i 0,158-0,473 mg/dm³ występowały odpowiednio w przypadku ołowiu i cynku. Stężenia tych pierwiastków wykazywały również dużą zmienność w trakcie obserwowanych wezbrań. Największą różnicę między wartością maksymalną, a minimalną dla ołowiu i cynku obserwowano podczas wezbrania roztopowych. Dla chromu i miedzi wartości wahały się w granicach odpowiednio 0,002-0,196 mg/dm³ i 0,024-0,320 mg/dm³ osiągając swoje maksima również w spływie roztopowym. Średnia zawartość niklu w badanych falach wezbrań zawierała się w przedziale 0,002-0,168 mg/dm³. Natomiast zawartość kadmu w ściekach deszczowych nie przekraczała wartości 0,162 mg/dm³ (publikacje 2a, 6f). Uzyskane wyniki badań jakości ścieków poddano analizom statystycznym (analiza głównych składowych), celem poszukiwania ścisłych zależności pomiędzy badanymi wskaźnikami. W przypadku wezbrań deszczowych stwierdzono występowanie silnych zależności statystycznych pomiędzy stężeniami Cl⁻ i Zn oraz Cl⁻ i Cr, Cr i Zn a także Pb i Cu, a dla wezbrań roztopowych między stężeniami Cd i Pb oraz Cl⁻ i Ni (publikacja 8f). Bogaty materiał badawczy pozwolił również na opracowanie modelu deterministycznego prognozującego ilość i jakość ścieków deszczowych w badanej zlewni miejskiej (publikacje 16e, 22e, 10f), który może być wykorzystany w procesie optymalizacji funkcjonowania kanalizacji deszczowej na terenie miasta Kielce.

Ad. 4.

W celu pełniejszego rozpoznania wpływu kanalizacji deszczowej na środowisko badaniami objęto również osady pochodzące z komór osadników oczyszczalni wód deszczowych (OWD) zlewni zurbanizowanych różniących się pod względem wielkości oraz zagospodarowani i użytkowania powierzchni terenu. Przeprowadzone w czterech zurbanizowanych zlewniach, badania i analizy wykazały występowanie znacznych różnic składu granulometrycznego osadów zatrzymywanych w systemach kanalizacji deszczowej oraz zawartych w nich zanieczyszczeń, takich jak: cynk, kadm, chrom, nikiel, ołów, miedź i WWA. Wartości badanych wskaźników zawierały się w zakresach (publikacje 5a, 1f, 9f): Zn

(37,0-674,0 mg·kg⁻¹) Cd (0,0-4,0 mg·kg⁻¹), Cr (18,8-80,7 mg·kg⁻¹), Ni (5,0-33,4 mg·kg⁻¹), Pb (6,0-275,0 mg·kg⁻¹), Cu (3,3-119,0 mg·kg⁻¹), ΣWWA_{16} (15,6- 87,8mg·kg⁻¹).

Według oceny jakości wykonanej zgodnie z kryterium ekotoksykologicznym (głównie wskaźnika *PEL*) osady pochodzące z badanych zbiorników są szkodliwe dla środowiska naturalnego (publikacja 9f). We wszystkich przebadanych próbkach osadów obserwowano przekroczenia dopuszczalnych stężeń związków z grupy WWA. Sumaryczne stężenie ΣWWA_{16} zostało przewyższone trzykrotnie w osadach z *OWD Piekoszowska i Jesionowa*, a z *OWD Witosa* prawie dwukrotnie, co świadczy o znacznej ekspozycji środowiska na działanie tych związków. Rozpatrując przypadki pojedynczych węglowodorów można zauważyć nawet dziesięciokrotne przekroczenia standardów *PEL*. Przy czym należy podkreślić, że związki aromatyczne najczęściej akumulowane są przez frakcję organiczną osadów, która stanowiła od około 10% do 13,5% ich masy.

Ad. 5.

Przelewy burzowe powszechnie stosowane są na kanalizacji deszczowej, w celu zabezpieczenia oczyszczalni wód deszczowych (*OWD*) lub zbiorników retencyjnych przed przeciążeniem hydraulicznym. Bezpośrednie zrzuty wód opadowych pochodzących z terenów silnie zurbanizowanych do rzek i jezior, ze względu na ich znaczne zanieczyszczenie metalami ciężkimi oraz wysokie koncentracje zawiesin, powodują zaburzenia, które objawiają się naruszeniem równowagi w procesach biologiczno-chemicznych zachodzących w odbiornikach. Podstawę oceny liczby wystąpienia w ciągu roku zrzutów, jak również wartości ładunków zanieczyszczeń wprowadzanych do odbiornika, mogą stanowić wieloletnie wyniki pomiarów lub w celu uniknięcia wysokich kosztów ich prowadzenia wyniki symulacji hydrodynamicznych. Nie mniej jednak, aby uzyskane na drodze modelowania hydrodynamicznego wyniki były miarodajne, konieczna jest kalibracja opracowanego modelu oparta o długoletnie, wykonane z dużą rozdzielczością, ciągi pomiarowe opadów i przepływów w sieci kanalizacji deszczowej. Dane takie w wielu przypadkach są niedostępne. Dlatego podjęto próbę opracowania modelu analitycznego, dającego możliwość oceny wystąpienia zrzutu oraz możliwość prognozowania rocznej liczby zrzutów przelewem, w którym estymacja parametrów modelu jest stosunkowo prosta oraz nie wymaga tworzenia skomplikowanych modeli hydrodynamicznych zlewni. Efektem prowadzonych badań w zlewni położonej na terenie miasta Kielce było opracowanie modelu w oparciu o regresję logistyczną, który można zastosować do określania prawdopodobieństwa działania przelewu

burzowego (publikacja 6a). Wykonane badania wykazały również, że wpływ na wystąpienie zrzutu przelewem w rozpatrywanej zlewni ma 30 – minutowa wysokość opadu deszczu. Ponadto, mając na uwadze otrzymane wyniki można stwierdzić, że model regresji logistycznej można zastosować do oceny bezpieczeństwa funkcjonowania sieci kanalizacyjnych, zlokalizowanych w niej obiektów infrastruktury podziemnej typu zbiorniki retencyjne. Otrzymane wyniki obliczeń rocznej ilości zrzutów przelewem z modelu hydrodynamicznego oraz autorskiej metody będącej połączeniem modelu regresji logistycznej i metody Monte Carlo jako generatora maksymalnej 30 - minutowej wysokości opadu deszczu, w scenariuszach opadowych wskazują na jej duży potencjał aplikacyjny.

Podsumowanie dorobku naukowego

W trakcie swojej pracy naukowej opublikowałem 6 prac w czasopismach wyróżnionych w bazie *Journal Citation Reports* (załącznik 4: 1p-3p, Tab. 1). Jestem też współautorem: 22 publikacji w czasopismach nie wyróżnionych w bazie *JCR*, ale znajdujących się na liście *MNiSW*, 2 monografii (w tym monografia habilitacyjna) wydanych w języku polskim, 4 rozdziałów w monografiach polskojęzycznych, 7 prac zamieszczonych w punktowanych materiałach pokonferencyjnych oraz 6 prac zamieszczonych w czasopismach branżowych niepunktowanych. Łączna punktacja mojego dorobku naukowego wynosi 356 pkt., a ich łączna miara oddziaływania *IF* zgodnie z rokiem opublikowania wynosi 8,357. Jestem współautorem 13 referatów/posterów prezentowanych na konferencjach, w tym 7 o zasięgu międzynarodowym. Łącznie uczestniczyłem i zrealizowałem/realizuję 7 projektów badawczych finansowanych ze środków *NCN* i *MNiSW*. Wykonałem 3 recenzje publikacji naukowych dla takich periodyków jak: *Environment Protection Engineering*, *Environmental Engineering and Management Journal*, *International Journal of Sediment Research*. Jestem również współautorem 3 ekspertyz oraz 5 oryginalnych rozwiązań projektowych z zakresu inżynierii środowiska (załącznik 4: 1b-5b, 12f-14f).

Za swoje osiągnięcia w dziedzinie nauki i pracy na rzecz uczelni otrzymałem w latach 2011, 2012 i 2016 Zespołową Nagrodę od Rektora Politechniki Świętokrzyskiej.

Tabela. 1. Dane bibliometryczne dorobku naukowego

Wyszczególnienie	Przed doktoratem	Po doktoracie	Ogółem
Publikacje w czasopismach wyróżnionych w bazie JCR	-	6	6
Publikacje w czasopismach punktowanych nie wyróżnionych w bazie JCR	5	24	29
Monografie	-	2	2
Rozdziały w monografiach	-	4	4
Publikacje w czasopismach branżowych niepuktowanych	-	6	6

VI. Omówienie osiągnięć dydaktycznych i organizacyjnych

W ramach działalności dydaktycznej na Wydziale Inżynierii Środowiska Geomatyki i Energetyki oraz Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, prowadzę zajęcia na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych z przedmiotów: hydrologia, hydraulika i hydrologia, ochrona przed powodzią, hydraulika, hydrauliczne podstawy projektowania mostów i przepustów. Jestem również autorem/współautorem programów tych zajęć. Byłem opiekunem naukowym 12 prac inżynierskich oraz 2 prac magisterskich. Sprawowałem opiekę naukową z przedmiotów: hydraulika oraz z hydraulika i systemy ochrony środowiskowych nad studentami biorącymi udział w programie Erasmus. Sprawowałem pieczę nad stażem w ramach Projekt „INWENCJA II – Transfer wiedzy, technologii i innowacji wsparciem dla kluczowych specjalizacji świętokrzyskiej gospodarki i konkurencyjności przedsiębiorstw”. Jestem aktywnym działaczem na rzecz popularyzacji nauki zarówno wśród studentów, jak i młodzieży szkół ponadpodstawowych. Organizatorem licznych spotkań, wykładów oraz zajęć terenowych dla licealistów regionu świętokrzyskiego z zakresu hydrologii, gospodarki wodnej i geomorfologii fluwialnej. Zorganizowałem i sprawowałem opiekę naukową nad kilkoma wyjazdami studyjnymi z obszaru hydrotechniki dla członków studenckiego ruchu naukowego (załącznik 4: 1i-9i).

Biorę aktywny udział w pracach na rzecz uczelni czego potwierdzeniem jest uzyskanie Nagrody Zespołowej II stopnia J.M. Rektora Politechniki Świętokrzyskiej za całokształt pracy naukowej, dydaktycznej i działalności na rzecz uczelni w 2011. Byłem m.in. członkiem: Uczelnianej Komisji Rekrutacyjnej, Komisji ds. Badań Naukowych oraz Uczelnianego Kolegium Elektorów. Od 2012 roku sprawuję funkcję Kierownika Pracowni

Hydrauliki i Mechaniki Płynów oraz Laboratorium Hydrauliki i Hydrologii (załącznik 4: 1q-9q).

Literatura

1. Carpena E., Gmiero B., Fedrizzi G., Serra R.: Trace metals (Zn, Cu and Cd) in fish from rearing ponds of Emilia-Romagna region (Italy). *Science of the Total Environment* 141(1994), s. 139-146.
2. Łajczak A.: Studium nad zamulaniem wybranych zbiorników zaporowych w dorzeczu Wisły. Monografia Komitetu Gospodarki Wodnej PAN. WPW, Warszawa 1995, s. 105.
3. Michalec B.: Ocena intensywności procesu zamulania małych zbiorników wodnych w dorzeczu Górnej Wisły. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie. Rozprawy* 328(2008), s. 193.
4. Porozumienie z dnia 21.12.1995 roku zawarte między Wicepremierem Rady Ministrów, Ministrem Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej a Ministrem Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, dotyczące współpracy w zakresie programu małej retencji.
5. Ratomski J., Stonawski J.: Survey and evaluation of sedimentation of Tresna reservoir on the Soła river. *Proc. Int. Symp. on Runoff and Sediment Yield Modelling (RSY-93)*, Warszawa 1993, s. 38-47.
6. Rosińska A., Dąbrowska L.: PCB i metale ciężkie w wodzie i osadach dennych zbiornika Kozłowa Góra. *Archives of Environmental Protection* 37(4)(2011), s. 61-72.
7. Szalińska E.: Reservoirs as a trap for pollutants. W: *NEAR curriculum in natural environmental science*. Red. Dominik J., Chapman D., Loizeau J-L., Stanica A., Vignati D.A.L. *Terre & Environment* 88(2010), s. 205-209.
8. Szalińska E.: Rola osadów dennych w ocenie jakości środowiska wód kontynentalnych. Monografia – Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, *Inżynieria Środowiska* 2011, s.124.
9. Wiśniewski B.: Zamulenie zbiornika wodnego w Myczkowcach po 5 latach eksploatacji. *Gospodarka Wodna* 7, s. 246-248.
10. Zeng H., Wu J.: Heavy metal pollution of lakes along the Mid-Lower Reaches of the Yangtze River in China: Intensity, sources and spatial patterns. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 10(2013), s. 793-807.

