

Dr inż. Agnieszka Alicja Karczmarczyk
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Katedra Kształtowania Środowiska
ul. Nowoursynowska 159
02-776 Warszawa
e-mail: agnieszka_karczmarczyk@sggw.pl

AUTOREFERAT

**zawierający informacje o osiągnięciach w działalności
naukowo-badawczej, dydaktycznej oraz organizacyjnej
z elementami życiorysu i opisem publikacji stanowiących
osiągnięcie naukowe**

Spis treści:

1. Uzyskane tytuły zawodowe i stopnie naukowe	3
2. Informacja o zatrudnieniu w jednostkach naukowych	3
3. Osiągnięcie naukowe wynikające 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. 2003, nr 65, poz. 595 ze zm., tekst jednolity Dz.U. 2017 poz. 1789).....	4
3.1. Tytuł osiągnięcia naukowego	4
3.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego	4
3.3. Zestawienie publikacji wraz z punktacją i IF (wg roku publikacji) oraz udziałem habilitantki	5
3.4. Wprowadzenie do tematyki.....	5
3.5. Omówienie celów naukowych oraz osiągniętych wyników prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego wymienionych w rozdziale 3.2.....	9
3.6. Najważniejsze osiągnięcia wynikające z przeprowadzonych badań	17
3.7. Potencjał aplikacyjny wyników badań.....	18
4. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	20
4.1. Przed uzyskaniem stopnia doktora	20
4.2. Po uzyskaniu stopnia doktora.....	21
4.2.1. Ocena skuteczności i trwałości złożeń hydrofitowych oczyszczalni ścieków	21
4.2.2. Uwarunkowania wykorzystania ścieków odpływających z lokalnych systemów oczyszczania do produkcji biomasy na cele energetyczne	22
4.2.3. Zastosowanie materiałów reaktywnych w systemach filtracyjnych stawów przydomowych i kąpielowych.....	22
4.2.4. Zagospodarowanie ścieków w obszarach o rozproszonej zabudowie	23
4.3. Wkład badań w rozwój dyscypliny naukowej: inżynieria środowiska	24
5. Synteza dorobku naukowego.....	25
5.1. Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)	25
5.2. Autorstwo lub współautorstwo monografii, publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie Journal Citation Reports (JCR).....	26
5.3. Autorstwo lub współautorstwo opracowań zbiorowych i ekspertyz	26
5.4. Wygłoszenie referatów na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych oraz przewodniczenie sesjom w ramach konferencji międzynarodowych....	26
5.5. Kierowanie międzynarodowymi lub krajowymi projektami badawczymi lub udział w takich projektach	27
5.6. Odbyte staże w zagranicznych ośrodkach naukowych	27
5.7. Recenzowanie artykułów naukowych w czasopismach zagranicznych oraz opiniowanie rozpraw doktorskich	28
5.8. Rozwijanie umiejętności i poszerzanie wiedzy w ramach szkoleń i warsztatów	29
5.9. Nagrody za działalność naukową	29
6. Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz współpraca międzynarodowa	29
6.1. Uczestnictwo w programach europejskich i innych programach międzynarodowych lub krajowych.....	29
6.2. Osiągnięcia w zakresie popularyzacji nauki	30
6.3. Opieka naukowa nad studentami	31
6.4. Działalność dydaktyczna.....	31
6.5. Otrzymane nagrody i wyróżnienia za działalność dydaktyczną.....	31
7. Działalność organizacyjna	31
Referencje	33

1. Uzyskane tytuły zawodowe i stopnie naukowe

4 lipca 1996 r. - uzyskanie tytułu zawodowego **inżyniera na kierunku inżynieria środowiska w zakresie ochrony i kształtowania środowiska wiejskiego**. Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego (SGGW) w Warszawie. Tytuł pracy dyplomowej: „Oczyszczanie ścieków na polach nawadnianych i irygowanych”. Promotor: dr inż. Henryk Multan.

16 lipca 1998 r. - uzyskanie tytułu zawodowego **magistra na kierunku inżynieria środowiska w zakresie inżynierii wodno-melioracyjnej**. Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego (SGGW) w Warszawie. Tytuł pracy dyplomowej: „Ocena możliwości i skutków środowiskowych doczyszczania wód i ścieków odpływających z oczyszczalni ścieków w Łodzi poprzez nawodnienia i inne przedsięwzięcia ochronne”. Promotor: prof. dr hab. inż. Józef Mosiej.

19 listopada 2003 r. - uzyskanie stopnia naukowego **doktora nauk rolniczych w zakresie kształtowanie środowiska**. Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego (SGGW) w Warszawie. Tytuł rozprawy doktorskiej: „Analiza przydatności naturalnych sorbentów do usuwania fosforu w lokalnych systemach oczyszczania ścieków”. Promotor: prof. dr hab. inż. Józef Mosiej. Praca realizowana w ramach **dziennych studiów doktoranckich** przy Wydziale Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW w Warszawie w dyscyplinie kształtowanie środowiska, w specjalności kształtowanie środowiska obszarów niezurbanizowanych od dnia 1 listopada 1998 r.

6 sierpnia 2005 r. – ukończenie **studiów podyplomowych w zakresie doskonalenia pedagogicznego** przy Wydziale Ekonomiczno-Rolniczym Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego (SGGW) w Warszawie.

2. Informacja o zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Od 31 grudnia 2003 r. do 30 czerwca 2004 r. mianowanie na **stanowisko asystenta** w Katedrze Kształtowania Środowiska, Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego (SGGW) w Warszawie

Od 1 lipca 2004 r. do chwili obecnej mianowanie na **stanowisko adiunkta** w Katedrze Kształtowania Środowiska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska (obecna nazwa) Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego (SGGW) w Warszawie

3. Osiągnięcie naukowe wynikające 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. 2003, nr 65, poz. 595 ze zm., tekst jednolity Dz.U. 2017 poz. 1789)

3.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Zastosowanie materiałów reaktywnych w ograniczaniu zanieczyszczenia wód fosforanami

3.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

3.2.1. Karczmarczyk A., Bus A., Baryła A., 2016: *Filtration curtains for phosphorus harvesting from small water bodies*. Ecological Engineering 86, 69-74; doi:10.1016/j.ecoleng.2015.10.026 **30 pkt., IF 2,914**

3.2.2. Karczmarczyk A., Bus A., 2017: *Removal of phosphorus using suspended reactive filters (SRFs) – efficiency and potential applications*. Water Science and Technology 76 (5), 1104-1111; doi:10.2166/wst.2017.295 **20 pkt., IF 1,197**

3.2.3. Karczmarczyk A., Baryła A., Charazińska P., Bus A., Frąk M., 2012: *Wpływ substratu dachu zielonego na jakość wody z niego odpływającej*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 3/III, 7-15 **5 pkt., IF 0**

3.2.4. Karczmarczyk A., Bus A., Baryła A., 2018: *Phosphate Leaching from Green Roof Substrates - Can Green Roofs Pollute Urban Water Bodies?* Water 10 (2), 199; doi:10.3390/w10020199 **30 pkt., IF 1,832**

3.2.5. Karczmarczyk A., Baryła A., Bus A., 2014: *Effect of P-Reactive Drainage Aggregates on Green Roof Runoff Quality*. Water 6 (9), 2575-2589; doi:10.3390/w6092575 **25 pkt., IF 1,291**

3.2.6. Karczmarczyk A., Kocik A., 2017: *Wpływ miąższości reaktywnej warstwy drenażowej na odpływ fosforanów z zielonego dachu*. Przegląd Naukowy - Inżynieria i Kształtowanie Środowiska 26 (4), 448-457; doi: 10.22630/PNIKS.2017.26.4.43 **10 pkt., IF 0**

3.2.7. Karczmarczyk A., Baryła A., Kożuchowski P., 2017: *Design and development of low P-emission substrate for the protection of urban water bodies collecting green roof runoff*. Sustainability 9 (10), 1795; doi:10.3390/su9101795 **20 pkt., IF 1,789**

3.3. Zestawienie publikacji wraz z punktacją i IF (wg roku publikacji) oraz udziałem habilitantki

Pozycja	Rok publikacji	Liczba punktów	Udział habilitantki [%]	Liczba punktów z uwzględnieniem udziału	IF wg roku publikacji
3.2.1	2016	30	60	18	2,914
3.2.2	2017	20	70	14	1,197
3.2.3	2012	5	50	2,5	0
3.2.4	2018	30	60	18	1,832
3.2.5	2014	25	60	15	1,291
3.2.6	2017	10	50	5	0
3.2.7	2017	20	70	14	1,789
Łącznie	-	140	60	86,5	9,023

Mój udział w publikacjach wchodzących w skład osiągnięcia naukowego to 60%, w tym:

- w publikacjach ICR/WoS 64%
- w publikacjach z listy B MNiSW 50%

3.4. Wprowadzenie do tematyki

Głównymi źródłami substancji biogenych trafiających do Morza Bałtyckiego są ładunki transportowane przez rzeki (95% całkowitego ładunku fosforu) oraz bezpośrednie zrzuty z wybrzeża. Dwoma najbardziej istotnymi źródłami ładunków substancji biogenych transportowanych rzekami są źródła rozproszone, głównie rolnictwo (45% całkowitego ładunku fosforu), oraz źródła punktowe, głównie ścieki komunalne (20% całkowitego ładunku fosforu) (ETO UE 2016).

W zakresie gospodarki ściekami komunalnymi obserwuje się pozytywne zmiany, które są wynikiem wdrażania Krajowego programu oczyszczania ścieków komunalnych (KPOŚK 2003, wraz z aktualizacją z 2005, 2009, 2010, 2015 i 2017 r.) oraz dostępu samorządów lokalnych do dofinansowania inwestycji ze środków UE. Zakładany w latach

2005-2015 efekt ekologiczny KPOŚK (dotyczy aglomeracji o RLM 2000 i większej) to 89% redukcji fosforu odprowadzanego do środowiska (Sumiński 2013). Pozytywne zjawisko zmniejszania ładunku fosforu w wodach powierzchniowych obserwuje się także w skali UE. W latach 1992-2011 zawartość fosforu w rzekach UE zmniejszyła się o 57% (EEA 2015).

Coraz częściej wymienianym źródłem fosforu w wodach powierzchniowych są tereny zurbanizowane, o uszczelnionych powierzchniach, generujące znaczny spływ powierzchniowy. Ekosystemy miejskie są bogate w fosfor (Song i in. 2015), a urbanizacja prowadzi do zwiększenia stężenia fosforu w wodach powierzchniowych (Paul i Meyer 2001, Barańkiewicz i in. 2014). Ładunek fosforu odprowadzany do odbiornika z kanalizacji deszczowej kształtuje się na poziomie ok. $1,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ powierzchni uszczelnionej (Pluta i Mrowiec 2015). Głównymi źródłami fosforu w wodach opadowych odpływających z terenów miejskich są opady atmosferyczne, odchody zwierząt domowych i dziko żyjących, nawozy z pielęgnacji zieleni miejskiej oraz rozkładające się części roślin (RZGW Gliwice 2014). W roku 2012 w Polsce kanalizacją deszczową odprowadzono 1401 tys. Mg fosforu, co stanowi 9,2% ładunku fosforu odprowadzonego do Bałtyku (IMGW 2014). W celu ograniczenia negatywnych skutków uszczelniania powierzchni w obszarach zurbanizowanych wprowadza się rozwiązania zagospodarowania wód opadowych znane jako zrównoważone systemy drenażu miejskiego (*sustainable urban drainage systems*). Do rozwiązań stosowanych w tych systemach należą również dachy zielone, które pomimo zredukowanego odpływu, mogą stanowić źródło zanieczyszczenia wód fosforem. Ilość odprowadzanego z dachów zielonych fosforu zależy od jakości elementów konstrukcyjnych dachu, a przede wszystkim składu substratu stanowiącego podstawę warstwy wegetacyjnej. Istotny jest również czas eksploatacji oraz sposób pielęgnacji dachu. Stężenia fosforu ogólnego w odpływach z dachów zielonych mogą osiągać wartości przekraczające $1 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Moran i in. 2005, Czemieliński i in. 2006, Hathaway i in. 2008).

Odpływ fosforu z rolnictwa do wód śródlądowych w znacznej części Europy przekroczył wartość $0,1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ rocznie, a w miejscach najbardziej narażonych osiągnął powyżej $1,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ (EEA 2010). W następstwie wiele wód morskich i przybrzeżnych w UE charakteryzuje się wysokimi lub bardzo wysokimi stężeniami fosforu. Ponad 400 obszarów wód przybrzeżnych w skali świata cierpi z powodu deficytu tlenowego na skutek nadmiaru azotu i fosforu (Diaz i Rosenberg 2008), a 60% średnich i dużych jezior oraz zbiorników została uznana za eutroficzne (Sayers i in. 2015). Carpenter i Bennett (2011) wskazali, że przekroczono globalne granice zanieczyszczenia wody słodkiej fosforem.

Ładunek fosforu w wodach śródlądowych mieści się w granicach od 32 do 115 Tg, co odpowiada stężeniu od 0,180 do 0,665 mg·dm⁻³. Jakość ponad 40% rzek i wód przybrzeżnych jest pod negatywnym wpływem obszarowych źródeł zanieczyszczeń (EEA 2015), i w konsekwencji stężenie fosforu w wodach śródlądowych wzrosło o 75% w ostatnim półwieczu (Bryant i in. 2012). Eutrofizacja znacznie ogranicza przydatność wód do różnych celów, zmniejsza różnorodność biologiczną i zubaża stada ryb, co jest widoczne także w strefach Morza Bałtyckiego m.in. w Zatoce Fińskiej, Zatoce Ryskiej oraz w Bałtyku Właściwym (ETO UE 2016).

Według ustaleń konferencji ministrów ds. środowiska w Kopenhadze (HELCOM 2013a) oczekiwana redukcja ładunku fosforu ogólnego odprowadzanego do Morza Bałtyckiego z obszaru Polski do 2021 roku to 7 480 Mg (HELCOM 2013b). W konsekwencji, docelowy roczny ładunek P odprowadzany do Bałtyku wodami z obszaru Polski w roku 2021 powinien zostać obniżony do 4 400 Mg (IMGW 2014). Przy średnim odpływie wód z Polski wynoszącym ok. 61,5 km³·rok⁻¹, dla osiągnięcia wyznaczonego celu stężenie fosforu w ujściach rzek nie może przekroczyć 0,072 mg·dm⁻³. Jest to wartość zbliżona do poziomu tła hydrochemicznego i oznacza brak możliwości jakichkolwiek zrzutów fosforu do rzek (ETO UE 2016).

Aktualność problematyki badań w kierunku ograniczania strat fosforu, ochrony wód i odzyskiwania fosforu z wód i ścieków potwierdzają dokumenty i raporty o zasięgu regionalnym, europejskim i światowym. Regionalna konwencja o ochronie środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego została podpisana już w 1974 r. (ponownie podpisana w 1992 r., Dz. U. 2000 nr 28 poz. 346). Jakość wód morskich UE jest przedmiotem dyrektywy ramowej w sprawie strategii morskiej z 2008 r., której celem jest zapewnienie osiągnięcia dobrego stanu środowiska wód morskich UE do 2020 r. (Dz.U. L 164 z 25.06.2008). W 2009 r. Rada Europejska przyjęła strategię Unii Europejskiej dla regionu Morza Bałtyckiego (COM/2009/248). W dokumencie uzupełniającym (SEC/2009/712/2), w obszarze „Ocalenie morza” „Czystość wód w Morzu Bałtyckim” objęto cele ustanowione w Bałtyckim planie działania w odniesieniu do zmniejszania napływu substancji biogenych. **Za kluczowe dla ochrony i osiągnięcia dobrego stanu wód morskich uznano jakość wód rzek wpływających do morza.** Poprawa jakości wód śródlądowych jest celem Ramowej dyrektywy wodnej 2000/60/EC (Dz.U. L 327 z 22.12.2000), dyrektywy dotyczącej oczyszczania ścieków komunalnych 91/271/EEC (Dz.U. L 135 z 30.5.1991) oraz dyrektywy azotanowej 91/676/EEC (Dz.U. L 375 z 31.12.1991). W deklaracji HELCOM (2013a)

wyrażono także obawy o przyszłe dostawy składników odżywczych, a w szczególności fosforu, na tle zanieczyszczenia wód i gleb spowodowanego jego stratami w kolejnych etapach cyklu życia, oraz wskazano konieczność zwiększenia recyklingu fosforu zwłaszcza w rolnictwie i oczyszczaniu ścieków. Plan działań na rzecz zasobooszczędnej Europy (COM/2011/571) porusza problem zrównoważonych dostaw fosforu i ograniczenia zależności UE od fosforu wydobywanego, szczególnie w aspekcie bezpieczeństwa żywności. W tym ujęciu fosfor jest także zasobem wymienianym w dwunastym celu zrównoważonego rozwoju (UN 2015). Komunikat konsultacyjny w sprawie zrównoważonego stosowania fosforu (COM/2013/517) bardzo szeroko omawia stan i zagrożenia związane z zasobami, zagrożenia środowiskowe i potencjalne możliwości efektywnego wykorzystania fosforu w przyszłości.

Rosnące wymagania w stosunku do jakości wód śródlądowych i morskich wraz z potencjalnym ograniczeniem dostępności zasobów fosforu kopalnianego w przyszłości pociągają konieczność opracowywania nowych sposobów usuwania i odzyskiwania fosforu ze źródeł zanieczyszczeń, które dotychczas nie były uważane za priorytetowe. Za takie można uznać np. obszary zurbanizowane w zakresie zanieczyszczeń innych niż odprowadzane z grupowych oczyszczalni ścieków. Przestrzeń do działań w przyszłości tworzą także źródła rozproszone oraz obszarowe, w przypadku których można wdrażać innowacyjne rozwiązania w miejscu powstawania zanieczyszczeń. Proste rozwiązania w małej skali, stosowane w ujęciu systemowym mogą okazać się niezwykle skuteczne w ochronie wód przed zanieczyszczeniem fosforem. Rozwiązania te powinny obejmować zarówno minimalizację odpływu fosforu do wód, jak również umożliwiać usuwanie fosforu z wód zanieczyszczonych. Szerokie możliwości daje tu wykorzystanie materiałów reaktywnych.

Materiały reaktywne, nazywane także sorbentami, mają zdolność tworzenia związków z wybranymi pierwiastkami (Cucarella i Renman 2009). Najczęściej stosuje się je w formie złóż filtracyjnych, a przy wyborze materiału reaktywnego bada się nie tylko zdolność usuwania zanieczyszczeń, ale także cechy fizyczne materiału wpływające na zdolność filtracji. Materiały reaktywne wykorzystywane do usuwania fosforanów z roztworów wodnych można podzielić na dwie grupy: (1) materiały na bazie glinu lub żelaza, oraz (2) materiały na bazie wapnia lub magnezu (Sibrell i in. 2009). Za wiodący proces usuwania fosforanów przez materiały na bazie glinu lub żelaza, uważa się adsorpcję, natomiast materiały na bazie wapnia lub magnezu strącanie (Sibrell i in. 2009, Christianson i in. 2017). Kolejnym elementem, według którego charakteryzuje się materiały reaktywne jest ich pochodzenie. Wyróżnia się tu materiały pochodzenia naturalnego oraz materiały pochodzenia antropogenicznego, w tym materiały odpadowe. Często, niezależnie od

pochodzenia, materiały są modyfikowane przed ich zastosowaniem. Badania materiałów reaktywnych do usuwania fosforu prowadzone są od wielu lat, przy czym wzrost liczby publikacji z tego zakresu obserwuje się od początku XXI wieku. Najczęściej proponowane aplikacje obejmują oczyszczanie ścieków bytowych (Baker i in. 1998, Søvik i Kløve 2005, Shilton i in. 2006, Renman i Renman 2010, Yin i in. 2011, Jia i in. 2013, Kholoma i in. 2016, Józwiakowski i in. 2017), usuwanie zanieczyszczeń ze źródeł obszarowych (McDowell i in. 2007, Penn i in. 2007, Ballantine i Tanner 2010, Wang i in. 2014, Klimeski i in. 2015, Uusitalo i in. 2015), z zanieczyszczonych wód deszczowych (Wium-Andersen i in. 2012, Sønderup i in. 2015) oraz poprawę jakości zeutrofizowanych cieków i zbiorników wodnych (Berg i in. 2004, Hussain i in. 2014, Yin i Kong 2014, Ge i in. 2016). Intensywnie rozwija się także idea zastosowania materiałów reaktywnych w systemach hydrofitowych do oczyszczania ścieków bytowych, deszczowych i spływów powierzchniowych z obszarów użytkowanych rolniczo (Korkusuz i in. 2005, Prochaska i Zouboulis 2006, Rosenquist i in. 2011, Saaremäe i in. 2014, Vohla i in. 2011, Xu i in. 2006, Žibiene i in. 2015).

3.5. Omówienie celów naukowych oraz osiągniętych wyników prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego wymienionych w rozdziale 3.2

Na podstawie wieloletnich doświadczeń w badaniu materiałów reaktywnych oraz analizy potrzeb w zakresie ograniczenia źródeł zanieczyszczenia fosforem, jak i metod usuwania fosforu z cieków i zbiorników wodnych będących odbiornikiem zanieczyszczeń pochodzących z różnych źródeł, sformułowałam następujące **cele badań**:

3.5.1. opracowanie metody i określenie skuteczności zastosowania materiałów reaktywnych w postaci filtrów zawieszonych (SRF) do usuwania fosforanów z małych cieków,

3.5.2. określenie warunków stosowania oraz ocena skuteczności materiałów reaktywnych w ograniczaniu odpływu fosforanów z dachów zielonych.

Ad. 3.5.1. Małe cieki i zbiorniki wodne na obszarach użytkowanych rolniczo są odbiornikiem zanieczyszczeń ze źródeł obszarowych. Specyfika źródeł obszarowych uniemożliwia zastosowanie klasycznych metod oczyszczania wód i ścieków stosowanych w przypadku punktowych źródeł zanieczyszczeń. Do redukcji zanieczyszczeń, w tym fosforu, pochodzących ze spływu powierzchniowego stosowane są najczęściej strefy buforowe oraz systemy hydrofitowe, a w przypadku zastosowania materiałów reaktywnych: (1) bariery geochemiczne w postaci ścian wypełnionych materiałem, umieszczone poniżej powierzchni

terenu na drodze potencjalnego miejsca spływu powierzchniowego (Frątczak i in. 2012, Kirkkala i in. 2012), (2) wypełnione materiałem reaktywnym studnie zasilane zanieczyszczonymi wodami pochodzącymi z systemów drenarskich (Ulen i in. 2013), oraz (3) filtry skrzyniowe instalowane na ciekach (Penn i in. 2016). Obecnie stosowane rozwiązania mają szereg zalet, jednak nie są wolne od wad, które powodują problemy konstrukcyjne i eksploatacyjne. W przypadku rozwiązań stosowanych na ciekach (filtry skrzyniowe) najważniejsze problemy to: (1) konieczność nakierowania przepływu do filtru, (2) konieczność równomiernego rozprowadzenia wody na złożu filtracyjnym, (3) dobór frakcji materiału filtracyjnego dostosowany do warunków przepływu, (4) wymagana znaczna objętość filtru w stosunku do przepływającej wody, (5) znaczna waga filtru (wymaga użycia ciężkiego sprzętu przy instalacji, często naruszana jest struktura koryta cieku, a miejsca instalacji determinowane są możliwością dostępu sprzętu), (6) wymiana materiału wymaga deinstalacji filtru, i trudności techniczne wymienione w (5). W przypadku barier geochemicznych wymiana materiału reaktywnego wiąże się z koniecznością konstrukcji nowej bariery.

Wynikiem moich badań jest **opracowanie alternatywnej metody implementacji materiału reaktywnego**. Metoda pod nazwą „Filtr do usuwania zanieczyszczeń, zwłaszcza z małych cieków i zbiorników wodnych” została objęta ochroną patentową wraz ze zgłoszeniem P. 403571 w 2013 r. (**I.1, zał.4**, udział autorski: Karczmarczyk Agnieszka 50%, Bus Agnieszka 50%). Metoda polega na aplikacji materiału reaktywnego w postaci filtrów zawieszonych (*ang. suspended reactive filter, SRF*) umożliwiających usuwanie fosforu z wód powierzchniowych. System może być stosowany na małych ciekach naturalnych, rowach melioracyjnych, kanałach oraz w małych zbiornikach wodnych, a także jako dodatkowy filtr do usuwania fosforu np. w systemach hydrofitowych oczyszczających wody deszczowe czy spływ powierzchniowy z obszarów użytkowanych rolniczo. Kurtyny filtracyjne składające się z reaktywnych filtrów zawieszonych mogą być stosowane w formie modułów, tj. wielu kurtyn rozmieszczonych na długości cieku opartych o jego brzegi. W przypadku zbiorników wodnych można stosować kurtyny w postaci pływającej (**rys. 1, 3.2.2**). Opracowana metoda umożliwia zastosowanie dowolnego materiału reaktywnego o frakcji powyżej 2 mm. Przewaga metody nad dotychczas stosowanymi formami aplikacji materiałów reaktywnych polega na prostej instalacji filtrów, łatwej wymianie materiału reaktywnego, braku ingerencji w strukturę koryta, możliwości dostosowania do napełnienia a także możliwości stosowania okresowego. Zastosowanie materiału reaktywnego w postaci filtrów zawieszonych dodatkowo sprzyja bezpośredniemu kontaktowi wody z materiałem, bez ryzyka tworzenia się

uprzywilejowanych dróg przepływu, dzięki czemu przy odpowiednich parametrach filtrów cały zastosowany materiał będzie brał udział w oczyszczaniu wody. Reaktywne filtry zawieszane przeznaczone są do zatrzymywania zanieczyszczeń blisko źródła ich powstawania, dzięki czemu mogą stanowić skuteczną ochronę większych cieków a także Bałtyku.

Cel 3.5.1. „opracowanie metody i określenie skuteczności zastosowania materiałów reaktywnych w postaci filtrów zawieszonych (SRF) do usuwania fosforanów z małych cieków” zrealizowano w specjalnie zaprojektowanym doświadczeniu, którego wyniki opublikowano w dwóch pracach (3.2.1 i 3.2.2). Skuteczność filtrów zawieszonych została potwierdzona przy wykorzystaniu dwóch materiałów reaktywnych: Polonite[®] (3.2.1) oraz gazobetonu (AAC) (3.2.2).

Gazobeton (AAC) oraz Polonite[®] reprezentują wapienne materiały reaktywne różnego pochodzenia. Polonite[®] jest zmodyfikowanym termicznie materiałem pochodzenia naturalnego (skała krzemionkowo-wapienna opoka). Cechą charakterystyczną materiału jest jego niejednorodność związana ze składem materiału naturalnego oraz stosowanym procesem obróbki termicznej (C.3.19, zał. 4). AAC jest materiałem pochodzenia antropogenicznego, stosowanym powszechnie jako materiał budowlany. Jako materiał reaktywny stosowany jest w formie pokruszonej, można do tego celu wykorzystać odpad z procesu rozbiórki. Skład i właściwości fizyczne AAC są jednorodne. Fakt ten oraz możliwość wykorzystania materiału odpadowego daje mu przewagę nad Polonite[®]. Zdolność sorpcyjna wynosząca 12,30 mg·g⁻¹ dla Polonite[®] (3.2.1) oraz 16,85 mg·g⁻¹ dla gazobetonu (3.2.2) kwalifikuje oba materiały do grupy materiałów reaktywnych o bardzo wysokiej sorpcji (Cucarella i Renman 2009). Charakterystykę materiałów reaktywnych wykorzystanych w badaniach zestawiono w **tab. 1 (3.2.1)** oraz **tab. 1 (3.2.2)**.

Doświadczenie zaprojektowano tak, aby symulowało system kurtyn filtrów zawieszonych rozmieszczonych na cieku. W wariancie z Polonite[®] (3.2.1) zastosowano cztery różne stężenia początkowe roztworu (1,439; 1,852; 2,384 i 3,012 mgP-PO₄³⁻·dm⁻³) natomiast w wariancie z AAC jedno stężenie wynoszące 1,335 mgP-PO₄³⁻·dm⁻³. Stężenia te odpowiadają wartościom dla zanieczyszczonych wód powierzchniowych (Skwierawski i in. 2008, Uusitalo i in. 2015, Mosiej i Bus 2015). **Rysunek 1 (3.2.1, wariant z Polonite[®])** przedstawia stężenia fosforanów po przejściu przez 600 kurtyn filtracyjnych. Każda kurtyna to 8 filtrów zawieszonych o łącznej wadze materiału reaktywnego 400 g. W wariancie z AAC doświadczenie było prowadzone znacznie dłużej, w związku z czym porównanie wyników z

wariantu z Polonite[®] jest możliwe w pierwszej fazie działania AAC (**rys. 3, 3.2.2**). W przypadku obydwu materiałów reaktywnych obserwowano stałe obniżanie P-PO₄³⁻ wraz z przepływem przez kolejne kurtyny filtracyjne. Zależność ta miała charakter liniowy z dobrym i bardzo dobrym dopasowaniem (współczynniki korelacji w zakresie od 0,8904 do 0,9758, p<0,001). W czasie doświadczenia uzyskano obniżenie ładunku P-PO₄³⁻ o 18,0-34,6% dla Polonite[®] oraz 50% w porównywalnym okresie dla AAC. Sorpcja jednostkowa P-PO₄³⁻ dla wariantu z Polonite[®] przy różnych stężeniach początkowych wyniosła 0,166-0,181 mg·g⁻¹ a w porównywalnym okresie dla AAC 0,192 mg·g⁻¹. Pomimo większej efektywności usuwania P-PO₄³⁻ w przypadku AAC, oba materiały potwierdziły skuteczność ich stosowania w formie filtrów zawieszonych. Potwierdziły tym samym skuteczność opracowanej metody implementacji materiału reaktywnego.

Na podstawie wyników badań prowadzonych z wykorzystaniem Polonite[®] opracowałam **nomogram służący do oszacowania masy tego materiału reaktywnego niezbędnej do obniżenia stężenia P-PO₄³⁻ z wartości rzeczywistej do oczekiwanej (rys. 5, 3.2.1)**. Przy konstrukcji nomogramu zaproponowałam trzy wartości stężeń do osiągnięcia (0,25; 0,10 i 0,01 mg P-PO₄³⁻·dm⁻³), co umożliwi użytkownikowi dobór ilości materiału reaktywnego na podstawie stężenia początkowego i oczekiwanego. Całkowitą określoną w ten sposób ilość materiału reaktywnego (Polonite[®]) należy podzielić na poszczególne kurtyny filtracyjne (z uwzględnieniem szerokości i napełnienia cieku), a następnie rozmieścić je na długości cieku. Nomogram należy jednak traktować jako wytyczną teoretyczną, jako że został opracowany na podstawie wyników badań prowadzonych w warunkach laboratoryjnych. W naturalnych wodach powierzchniowych może występować szereg czynników, które będą wpływać na działanie materiału reaktywnego. Materiały reaktywne charakteryzują się zwykle znaczną porowatością i powierzchnią właściwą, co może przyspieszać rozwój błony biologicznej na ziarnach materiału. Według badań Herrmann i in. (2013) może to wpłynąć to na obniżenie zdolności sorpcyjnych materiału reaktywnego. Będzie to szczególnie istotne w przypadku filtrów stale zawieszonych w wodzie. Ryzyka ograniczenia efektywności materiału reaktywnego można uniknąć stosując filtry zawieszane w ciekach okresowo prowadzących wodę (np. w rowach i kanałach) lub też przesuszając materiał. Stosowanie materiału okresowo, nie pociąga za sobą konieczności jego wymiany, jako że po przesuszeniu efektywność usuwania fosforanów wzrasta (wyniki badań nie publikowane).

Badania skuteczności zawieszonych filtrów reaktywnych zostały przeprowadzone przy wykorzystaniu dwóch materiałów, których skuteczność w usuwaniu fosforu została także

potwierdzona w testach laboratoryjnych (**B.1, B.3, B.6, C.1.3, C.3.18-19, zał. 4**). W filtrach zawieszonych można stosować także inne materiały reaktywne o potwierdzonej skuteczności usuwania fosforanów z roztworów o niskich stężeniach. Nie zaleca się natomiast bezkrytycznego stosowania materiałów reaktywnych o potwierdzonej skuteczności do usuwania fosforanów ze ścieków, ponieważ w przypadku wód powierzchniowych o niskim stężeniu fosforanów mogą one zanieczyszczać wodę fosforem.

Uniwersalność proponowanej metody reaktywnych filtrów zawieszonych daje szerokie możliwości jej implementacji. W dotychczasowych badaniach analizowałam głównie zastosowanie tej metody do wód powierzchniowych będących odbiornikiem zanieczyszczeń obszarowych, jednak może ona znaleźć zastosowanie także w systemach retencjonowania wód deszczowych, w przydomowych oczyszczalniach ścieków, w stawach przydomowych, w stawach kąpielowych, w obiektach chowu lub hodowli ryb, itp.

Możliwość powtórnego wykorzystania fosforu zatrzymanego przez materiał reaktywny do nawożenia nie była przedmiotem moich badań, jednak taka możliwość została potwierdzona przez innych badaczy (Hylander i Siman 2001, Hylander i in. 2006, Cucarella i in. 2008). Zastosowanie materiału reaktywnego w innowacyjnej formie filtrów zawieszonych daje łatwą możliwość jego usunięcia, a w konsekwencji stwarza potencjał do wprowadzenia odzyskanego fosforu do obiegu biologicznego. Zwiększa to dodatkowo atrakcyjność metody filtrów zawieszonych w aspekcie osiągnięcia celu zmniejszenia uzależnienia UE od fosforu ze źródeł nieodnawialnych.

Ad. 3.5.2. Prowadzone przeze mnie badania dotyczą zarówno obszarów użytkowanych rolniczo jak i obszarów zurbanizowanych, których udział w zanieczyszczeniu wód fosforem rośnie na skutek migracji ludności do miast, postępującej urbanizacji i wchłaniania okolicznych obszarów w ich obręb. Powoduje to konieczność odtwarzania powierzchni biologicznie czynnych na powierzchniach szczelnych w celu ograniczenia negatywnych skutków zabudowy. Jednym z coraz powszechniej stosowanych rozwiązań są dachy zielone. Do zalet tego rozwiązania zaliczyć można ograniczenie efektu miejskiej wyspy ciepła, zwiększenie efektywności energetycznej budynków, poprawę jakości powietrza, oraz spowolnienie i zmniejszenie odpływu wód opadowych do miejskich sieci kanalizacji deszczowej. Często wymienia się także ich korzystny wpływ na jakość odpływających wód deszczowych. W tej kwestii jednak środowisko naukowe nie jest zgodne (Wang i in. 2017). Aspektem pozytywnym w zakresie jakości może być np. zwiększenie pH odcieku w stosunku do pH opadu, co jest korzystne w przypadku opadów o kwaśnym odczynie (Long i in. 2006).

Wiele badań wskazuje jednak na zwiększenie stężeń i ładunków metali ciężkich (Aslup i in. 2011, Malcolm i in. 2014, Vijayaraghavan i in. 2012) oraz fosforu (Aitkenhead-Peterson i in. 2011, Buffam i in. 2016, Harper i in. 2015) w odpływie z dachów zielonych w stosunku do jakości wody opadowej. Wśród czynników wpływających na jakość odpływu z dachów zielonych wymienia się: rodzaj i skład substratu, miąższość substratu, rodzaj drenażu, typ dachu, wiek dachu, sposób pielęgnacji, położenie dachu (jakość opadów oraz warunki klimatyczne) (Czemiel Berndtson 2010). Większość fosforu uwalnianego z substratu występuje w postaci fosforanów (Czemiel Berndtson i in. 2006), a stężenia w odpływach zmieniają się w szerokim zakresie od 0 do $1,4 \text{ mg P-PO}_4^{3-} \cdot \text{dm}^{-3}$ (tab. 2, 3.2.4) lub wyższym.

Realizację celu 3.5.2. „**określenie warunków stosowania oraz ocena skuteczności materiałów reaktywnych w ograniczaniu odpływu fosforanów z dachów zielonych**” przeprowadziłam w kilku etapach. Celem pierwszego etapu badań było potwierdzenie, że **substraty stosowane w konstrukcjach dachów zielonych są źródłem fosforanów w odpływie (3.2.3-4)**. W kolejnym etapie zaproponowałam **podścielenie substratu warstwą drenażową z materiału reaktywnego (3.2.5)** i oceniłam skuteczność tego rozwiązania. W innym doświadczeniu określiłam optymalną miąższość warstwy drenażowej (3.2.6). W ostatnim etapie opracowałam **procedurę badania i doboru materiałów do wykonania substratu o niskiej emisji fosforu do odbiorników wód opadowych oraz zaproponowałam oraz przebadalam skład mieszanki** według zaproponowanej procedury (3.2.7).

W badaniach kolumnowych (3.2.3) wykorzystano dwa dostępne na rynku substraty typu intensywnego i ekstensywnego. W wyniku badań uzyskano stężenia P-PO_4^{3-} w odpływie w zakresie $0,064\text{-}0,387 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (substrat intensywny) oraz $0,023\text{-}0,284 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (substrat ekstensywny) a całkowity ładunek P-PO_4^{3-} odprowadzony z badanych substratów w czasie doświadczenia oszacowano na $1,69 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. (substrat intensywny) i $1,90 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. (substrat ekstensywny). Substraty przeznaczone na dachy intensywne zawierają zwykle większą ilość materiału organicznego niż substraty na dachy ekstensywne. W składzie substratów stosuje się najczęściej korę, torf lub kompost, w ilości nawet kilkudziesięciu procent objętości (Nagase i Dunnett 2011). Według Czemiel Berndtson (2010) oraz Gregoire i Clausen (2011) udział kompostu w substracie oraz nawozy wykorzystane w pielęgnacji dachu są głównym źródłem związków biogenych w odcieku. Obserwacje jakości odpływu w przeprowadzonym doświadczeniu (zbliżony ładunek fosforanów w odcieku z substratów) sugerują, że to któryś ze **składników mineralnych substratu może być źródłem fosforu**. Obserwacje te potwierdziłam w późniejszych badaniach, w których wykazałam, że większość

kruszyw mineralnych powszechnie stosowanych w substratach jest potencjalnym źródłem fosforu w odpływie z dachów zielonych (tab. 3, 3.2.7) a ładunek odprowadzanych fosforanów nie był skorelowany z zawartością substancji organicznej (3.2.4). W wyniku badań kolumnowych przeprowadzonych na pięciu dostępnych na rynku świeżych substratach (3.2.4) stwierdzono, że jednostkowy ładunek fosforanów odprowadzony w czasie symulacji pierwszego sezonu wegetacyjnego użytkowania dachu był niższy w przypadku zastosowania substratu ekstensywnego niż intensywnego, przy czym zawartość substancji organicznej w tych substratach nie różniła się znacząco (tab. 1, 3.2.4). Pięcioletnia obserwacja modelu dachu zielonego wypełnionego substratem intensywnym wykazała, że w dwóch pierwszych sezonach wegetacyjnych z substratu odpływało więcej fosforanów niż zostało dostarczone z opadem, natomiast w piątym roku obserwacji sytuacja była odwrotna (tab. 4, 3.2.4). W wyniku tego etapu badań można stwierdzić, że **substraty stosowane w konstrukcjach dachów zielonych są źródłem fosforanów w odpływie, szczególnie w początkowym okresie eksploatacji**. Stwierdziłam również przydatność stosowania prostego testu ekstrakcji kwasem solnym do porównania różnych substratów pod kątem potencjalnego odpływu fosforanów w trakcie użytkowania. Dla opisanych w pracy 3.2.4 świeżych substratów uzyskano wysoką korelację ($r=0,9930$, $p=0,002$) pomiędzy wynikami testu ekstrakcji i doświadczenia kolumnowego.

W kolejnym etapie badań pod substratem ekstensywnym (3.2.3) zastosowałam warstwę materiału reaktywnego (3.2.5) o miąższości 2 cm. Rozwiązanie to okazało się bardzo skuteczne zarówno w aspekcie jakości odpływu jak i jego ilości. W trwającym 90 dni doświadczeniu z wykorzystaniem AAC (3.2.5) wykonano 13 symulowanych opadów, w dawkach zbliżonych do doświadczenia referencyjnego (3.2.3). Znaczna nasiąkliwość AAC (83,74%, tab. 5, 3.2.5) spowodowała ograniczenie liczby i objętości odpływów (z 13 w doświadczeniu referencyjnym (3.2.3) do 6 (3.2.5)), z których tylko 3 były zanieczyszczone fosforanami, a stężenia $P-PO_4^{3-}$ w odpływie nie przekroczyły $0,01 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (3.2.5, rys. 6). Podobne doświadczenie z wykorzystaniem z Polonite[®] (nasiąkliwość materiału 56%) opisano w pracy C.1.4. W czasie 90 dni doświadczenia wykonano 23 opady symulowane, w wyniku których uzyskano 12 odcieków, z czego 7 było zanieczyszczonych fosforanami. Stężenia $P-PO_4^{3-}$ w odpływie nie przekroczyły $0,005 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (C.1.4, rys. 2). **Uzyskane wyniki potwierdziły skuteczność reaktywnej warstwy drenażowej jako elementu ograniczającego odpływ fosforanów z substratu ekstensywnego**. Potencjalny efekt ekologiczny w postaci ograniczenia ładunku $P-PO_4^{3-}$ odprowadzanego do środowiska z dachu

zielonego ekstensywnego o standardowych parametrach podścielonego warstwą materiału reaktywnego AAC dla warunków doświadczenia oszacowano na $1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Pozytywne wyniki przeprowadzonego doświadczenia skłoniły mnie do bardziej wnikliwej analizy, której celem było ustalenie **jaki wpływ na ilość odpływających z substratu fosforanów ma miąższość reaktywnej warstwy drenażowej podścielającej substrat dachu zielonego (3.2.6)**. Doświadczenie przeprowadziłam z wykorzystaniem substratu intensywnego oraz materiału reaktywnego Polonite[®]. Zastosowałam trzy miąższości warstwy drenażowej: 1 cm, 2 cm i 5 cm oraz 10 cm warstwę substratu. W tym doświadczeniu kolumny nawadniano wodą wodociągową w dawkach i harmonogramie określonych na podstawie opadów zarejestrowanych na stacji meteorologicznej SGGW w Warszawie w 2013 r. Podobnie jak w 3.2.3 zwiększony odpływ fosforanów z kolumn zaobserwowałam w początkowej fazie doświadczenia. Zaobserwowałam także, że w przypadku znacznego obciążenia substratu ładunkiem P-PO_4^{3-} w symulowanym opadzie, sam substrat może zatrzymywać to zanieczyszczenie, a zastosowanie warstwy drenażowej o miąższości 1 cm nie wpłynęło na poprawę jakości odcieku. W efekcie zastosowania warstwy materiału reaktywnego o miąższości warstwy drenażowej 2 i 5 cm uzyskano redukcje P-PO_4^{3-} w ilości odpowiednio 89,6% i 93,7% co sugeruje, że **zastosowanie 2 cm warstwy materiału reaktywnego można uznać za optymalne rozwiązanie dla dachów zielonych**.

Proponowane powyżej rozwiązanie w postaci podścielania substratów dachów zielonych warstwą materiału reaktywnego jest skuteczne, jednak może powodować znaczący wzrost kosztów inwestycji. Dynamiczny w ostatnich latach rozwój dachów zielonych w Polsce spowodował wzrost ilości gotowych substratów oferowanych na rynku. Zdecydowana większość z nich jest wykonana z materiałów o znacznej zawartości fosforu (3.2.7, tab. 3). Skłoniło mnie to do podjęcia próby przygotowania substratu, z którego odpływ fosforanów do odbiornika byłby ograniczony do minimum. Na podstawie własnych doświadczeń **zapropnowałam pięciostopniową procedurę doboru materiałów, przygotowania substratu oraz jego sprawdzenia (3.2.7, rys. 1)**. Procedurę tę wykorzystałam do opracowania składu substratu z lokalnie dostępnych materiałów przeznaczonego do stosowania w dachach ekstensywnych w połączeniu z matą rozchodnikową. Efekt ograniczenia odpływu fosforanów uzyskałam poprzez zastosowanie w składzie kruszywa wapiennego o zdolności sorpcyjnej wynoszącej $4,66 \text{ mg P-PO}_4^{3-} \cdot \text{g}^{-1}$. Substrat ten został przetestowany w trwającym 319 dni doświadczeniu modelowym w warunkach naturalnych, a uzyskane wyniki potwierdziły, że odpowiedni dobór proporcji kruszyw mineralnych (w tym materiału reaktywnego) umożliwia **skomponowanie substratu o ograniczonej emisji P**.

Stwierdziłam również, że **krytycznym w aspekcie odpływu fosforu z dachu zielonego może być okres wiosenny związany z topnieniem zalegającego na dachu śniegu**. Na podstawie tej obserwacji sformułowałam wytyczną eksploatacyjną, która sugeruje że odpływ związany z roztopami powinien zostać dodatkowo oczyszczany, szczególnie w systemach w których dach zielony połączony jest ze zbiornikiem retencyjnym pełniącym także funkcje rekreacyjne.

Budowa dachów zielonych bez stosowania środków ograniczających odpływ fosforanów do odbiorników może przyczynić się do eutrofizacji cieków i zbiorników wodnych na obszarach zurbanizowanych. Zrównoważone funkcjonowanie dachów zielonych można osiągnąć poprzez: (a) dobór substratu o ograniczonej podatności na odpływ fosforanów (3.2.7), (b) podścielenie substratu warstwą materiału reaktywnego (3.2.5-6), lub (3) w przypadku dachów zielonych już eksploatowanych, zastosowanie materiałów reaktywnych (np. w formie filtrów zawieszonych) na odpływie przed odprowadzeniem do odbiornika.

3.6. Najważniejsze osiągnięcia wynikające z przeprowadzonych badań

Za najważniejsze osiągnięcia uważam:

a. opracowanie metody stosowania materiałów reaktywnych (metoda reaktywnych filtrów zawieszonych - wynalazek objęty ochroną patentową **I.1, zał. 4**) umożliwiającej usuwanie fosforanów z odbiorników zanieczyszczeń pochodzących z różnych źródeł, w tym trudnych do kontroli źródeł obszarowych. Dzięki swojej uniwersalności metoda ta może być stosowana w ciekach i zbiornikach wodnych zarówno na obszarach użytkowanych rolniczo jak i na terenach zurbanizowanych. Dodatkową zaletą jest możliwość łatwej wymiany i zagospodarowania wykorzystanego materiału reaktywnego;

b. opracowanie nomogramu służącego do oszacowania masy materiału reaktywnego niezbędnej do obniżenia stężenia fosforanów z wartości rzeczywistej do oczekiwanej w przypadku implementacji w postaci filtrów zawieszonych;

c. wykazanie, że niektóre materiały reaktywne, charakteryzujące się dużą skutecznością usuwania fosforanów ze ścieków, mogą stanowić źródło fosforanów w przypadku oczyszczania wód powierzchniowych. Standardowe badania izotermy sorpcji nie pozwalają na stwierdzenie tego faktu, dlatego wskazane jest rozszerzenie badań o testy wymywania;

d. wykazanie, że materiały (kruszywa) mineralne powszechnie stosowane w przygotowaniu substratów są istotnym źródłem fosforanów w odpływach z dachów zielonych. Dotychczas za najważniejsze czynniki wpływające na odpływ fosforanów z zielonych dachów uznawano zawartość składników organicznych w substracie oraz sposób pielęgnacji dachu;

e. opracowanie metody ograniczania odpływu fosforanów z dachów zielonych, które dzięki rosnącej popularności stają się istotnym źródłem zanieczyszczeń wód w obszarach zurbanizowanych. Opracowana metoda polega na podścieleniu substratu warstwą materiału reaktywnego, w postaci reaktywnej warstwy drenażowej. Wyniki badań potwierdziły, że zastosowanie materiałów reaktywnych w tej formie znacząco ogranicza ilość fosforanów odprowadzanych do odbiornika;

f. opracowanie pięciostopniowej procedury doboru materiałów do przygotowania substratów dachów zielonych w celu ograniczenia odpływu fosforanów i ochrony wód na obszarach zurbanizowanych;

g. wykazanie, że odpowiednio dobrane proporcje materiałów mineralnych oraz materiału reaktywnego mogą znacząco ograniczyć odpływ fosforanów z dachu zielonego;

h. wykazanie, że wiosenne roztopy są momentem krytycznym w aspekcie odpływu fosforanów z dachu zielonego. Wymusza to konieczność separacji i oczyszczenia związanego z roztopami odpływu przed odprowadzeniem do odbiornika, szczególnie w przypadku połączenia dachu zielonego ze zbiornikiem retencyjnym.

3.7. Potencjał aplikacyjny wyników badań

O potencjale aplikacyjnym badań najlepiej świadczy prowadzona przeze mnie współpraca z podmiotami gospodarczymi. Szczególnie duży potencjał aplikacyjny ma opracowana koncepcja redukcji fosforanów odpływających z dachów zielonych w aspekcie zagospodarowania wody opadowej w skali osiedli mieszkaniowych. Zarysowują się tutaj dwa główne nurty: konstrukcja reaktywnych warstw drenażowych oraz wykorzystanie materiałów reaktywnych do produkcji substratów o niskiej emisji fosforu. Pomysł ten został dostrzeżony przez dwie warszawskie firmy (**Ł.1 oraz Ł.2, zał. 4**). W ramach umowy o współpracy z firmą

L.1 zrealizowany został wspólny projekt badawczy którego wyniki zostały wykorzystane przy realizacji inwestycji dachu zielonego na osiedlu mieszkaniowym w Warszawie (**I.2, zał. 4**). Obecnie realizujemy wspólny projekt badawczy „Badanie odcieku z dachów zielonych ekstensywnych pod kątem ilości wody oraz zawartości fosforanów” (**G.2.7 zał. 4**). Firma **L.2** doceniła prowadzone przeze mnie badania poprzez zaproszenie do współtworzenia i realizacji projektu badawczego „Oszczędność zasobów wodnych i poprawa jakości powietrza dzięki wykorzystaniu retencyjnej wody opadowej” (**G.2.6. zał. 4**). Prowadzę także współpracę z podmiotem **L.3 (zał. 4)** w zakresie zastosowania materiałów reaktywnych do usuwania fosforu w stawach kąpielowych, gdzie celem jest utrzymanie poziomu fosforu poniżej $0,01 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Obecnie prowadzimy wspólny projekt „Wpływ rozwoju błony biologicznej na usuwanie fosforanów na filtrach mineralnych ze sterowanym przepływem” (**G.2.8. zał. 4**). Wyniki z pierwszego sezonu badań zostały przeze mnie zaprezentowane w formie referatu zamawianego w ramach międzynarodowego kongresu (**E.2.63, zał.4**).

Kolejny kierunek aplikacji wyników badań, to wykorzystanie materiałów reaktywnych do usuwania fosforanów z małych cieków i zbiorników wodnych. Opracowana metoda filtrów zawieszonych (**I.1, zał. 4**) pozwala na usuwanie fosforanów z wód będących odbiornikiem zanieczyszczeń z różnych źródeł, w tym trudnych do kontroli źródeł obszarowych. Do zalet opracowanej metody należy zaliczyć fakt, że materiał reaktywny w postaci filtrów zawieszonych jest łatwy do usunięcia i zastąpienia nowym materiałem, a fosfor możliwy do wprowadzenia do produkcji roślinnej. Rozwiązanie to zostało stworzone do zastosowania w ciekach i zbiornikach wodnych na obszarach użytkowanych rolniczo, ma jednak szerszy potencjał aplikacyjny np. w utrzymaniu jakości wody w stawach przydomowych lub osiedlowych, co ze względu na rosnącą liczbę takich obiektów może również spowodować zainteresowanie ze strony podmiotów gospodarczych.

Kolejnym kierunkiem, w którym materiały reaktywne są i będą stosowane, są przydomowe i lokalne systemy oczyszczania ścieków. Te zagadnienia były częściowo przedmiotem moich badań w pracy doktorskiej i nadal są przeze mnie rozwijane. Potencjał aplikacyjny jest szeroki, jednak nie wsparty odpowiednimi wymogami prawnymi wymuszającymi na właścicielach takich instalacji stosowania rozwiązań ograniczających odpływ fosforanów do środowiska. Zabudowa rozproszona jest odpowiedzialna za ponad 12% fosforu odprowadzanego z obszaru Polski do Bałtyku (IMGW 2014) i z tego względu należy oczekiwać, że wymogi prawne będą w tym zakresie zaostrzane. Jednocześnie, mając na uwadze fakt, że dotyczy to inwestorów indywidualnych, rozwiązania w tym zakresie muszą być proste i tanie. Potencjał aplikacyjny dla wyników moich badań widzę w

zastępowaniu lub wspomaganie tradycyjnych materiałów filtracyjnych materiałami reaktywnymi np. pod drenażem rozsączającym wprowadzającym oczyszczane ścieki do gruntu. Badania z tego zakresu są przedmiotem publikacji (C.3.27, zał. 4).

4. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

4.1. Przed uzyskaniem stopnia doktora

Ochrona wód poprzez naturalne czy semi-naturalne systemy oczyszczania ścieków oraz idea wykorzystania związków pokarmowych ze ścieków były mi bliskie od początku pracy naukowej. Również w rozprawie doktorskiej chciałam zająć się kontynuacją problematyki rozpoczętej w pracach dyplomowych, a mianowicie naturalnymi metodami oczyszczania ścieków tj. oczyszczanie ścieków na polach nawadnianych w aspekcie wykorzystania potencjału nawozowego ścieków i związanych z tym obciążeń środowiska oraz hydrofitową metodą oczyszczania ścieków. Idea ta zaszczerpiona przez promotora mojej pracy magisterskiej i doktorskiej profesora Józefa Mosieja ewaluowała wskutek współpracy z profesorem Gunno Renmanem z Politechniki Sztokholmskiej (KTH) oraz profesorem Zygmuntem Brogowskim (SGGW w Warszawie), którzy w tamtym czasie zajmowali się wykorzystaniem sorbentu, przygotowanego na bazie skały wapienno-krzemionkowej opoki, do usuwania fosforu ze ścieków. Dzięki uczestnictwu w projektach międzynarodowych kierowanych przez profesora Gunno Renmana „Recycling of phosphorus in wastewater using reactive filter media” (G.1.2, zał. 4) oraz „Sustainable development of rural areas through implementation of environmental technology” (G.1.1, zał. 4) dostrzegłam potencjał możliwości zastosowania tego materiału do poprawy skuteczności usuwania fosforu w lokalnych systemach oczyszczania ścieków. Dzięki wsparciu promotora, pana profesora Józefa Mosieja, uzyskałam finansowanie tego tematu w ramach grantu promotorskiego KBN pt. „Badania skuteczności usuwania związków fosforu przy użyciu filtrów w lokalnych systemach oczyszczania ścieków” (G.1.3, zał. 4). Badania terenowe w ramach rozprawy doktorskiej realizowałam na dwóch obiektach gminnych oczyszczalni ścieków (w Brańszczyku oraz w Bolimowie). Wyniki tych badań oraz szeregu przeprowadzonych doświadczeń laboratoryjnych wykorzystałam do stworzenia propozycji wykorzystania materiału reaktywnego do poprawy funkcjonowania systemów hydrofitowych. Częściowe wyniki badań były przedmiotem publikacji (B.1, B.3, B.5-7, zał. 4) a rozprawę doktorską pt.

„Analiza przydatności naturalnych sorbentów do usuwania fosforu w lokalnych systemach oczyszczania ścieków” obroniłam 19 listopada 2003 r.

4.2. Po uzyskaniu stopnia doktora

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk rolniczych w zakresie kształtowania środowiska z dniem 31 grudnia 2003 r. zostałam zatrudniona na stanowisku asystenta a od 1 lipca 2004 r. na stanowisku adiunkta w Katedrze Kształtowania Środowiska SGGW w Warszawie. **Podjęmowana przeze mnie od tego czasu tematyka badawcza obejmowała następujące zagadnienia:**

- Ocena skuteczności i trwałości złóż hydrofitowych oczyszczalni ścieków (4.2.1)
- Uwarunkowania wykorzystania ścieków odpływających z lokalnych systemów oczyszczania do produkcji biomasy na cele energetyczne (4.2.2)
- Zastosowanie materiałów reaktywnych w systemach filtracyjnych stawów przydomowych i kąpielowych (4.2.3)
- Zagospodarowanie ścieków w obszarach o rozproszonej zabudowie (4.2.4)

4.2.1. Ocena skuteczności i trwałości złóż hydrofitowych oczyszczalni ścieków

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora kontynuowałam badania na obiekcie hydrofitowej oczyszczalni ścieków w Bolimowie oraz nawiązałam współpracę z hydrofitową oczyszczalnią ścieków w Sadowej. Obiekty te wybudowane w latach 90' na bazie niemieckiej technologii wykorzystującej do wypełnienia złoża roślinnego grunt rodzimy, oczyszczały ścieki podczas ich podpowierzchniowego poziomego przepływu przez drobnoziarnisty materiał filtracyjny. Były przez to podatne na kolmatację a ich skuteczność ulegała obniżeniu wraz z czasem eksploatacji. Prace dotyczące oczyszczalni hydrofitowych publikowałam w latach 2004-2013. Jest to w sumie 10 publikacji naukowych, początkowo skupiających się na skuteczności usuwania zanieczyszczeń (głównie związków organicznych i fosforu), zmianach skuteczności oczyszczania ścieków w czasie eksploatacji i ocenie trwałości złóż oczyszczalni hydrofitowych (**C.3.1-3, C.3.7-8, C.3.11, C.3.14, C.4.4**). W jednej z objętych monitoringiem oczyszczalni hydrofitowych (oczyszczalnia w Sadowej), uzyskałam zgodę na pobranie prób materiału filtracyjnego w celu oceny kumulacji fosforu w złożu i określenia potencjału złoża do usuwania zanieczyszczeń. Próby materiału filtracyjnego ze złoża zostały pobrane w siatce 20 punktów z dwóch głębokości złoża. Wyniki, świadczące o znacznej nierównomierności przepływu ścieków przez złożo i tym samym nierównomiernej dystrybucji poziomej i pionowej fosforu w złożu opublikowałam w pracy **C.2.2 (zał.4)**. Ostatnią realizowaną przeze

mnie pracą na tym obiekcie były badania skuteczności oczyszczania ścieków w okresie niskich temperatur, oraz ocena rozkładu temperatur w łanie trzciny okrywającej złożę oczyszczalni przy wykorzystaniu metody termowizyjnej (C.1.2, zał. 4).

4.2.2. Uwarunkowania wykorzystania ścieków odpływających z lokalnych systemów oczyszczania do produkcji biomasy na cele energetyczne

W pierwszym roku mojej pracy w Katedrze Kształtowania Środowiska SGGW w Warszawie rozpoczęłam działania w ramach projektu „Monitoring and control system for wastewater irrigated energy plantations” realizowanego pod kierownictwem profesora Józefa Mosieja w ramach 6 PR UE (G.2.1, zał. 4). Był to projekt typu CRAFT nastawiony na współpracę jednostek naukowych i podmiotów gospodarczych, a celem projektu było opracowanie prototypu systemu monitoringu i sterowania nawadnianiem ściekami plantacji roślin uprawianych na cele energetyczne. Temat projektu był dla mnie kontynuacją zagadnień poruszanych w moich pracach dyplomowych (inżynierskiej i magisterskiej), w których zajmowałam się oczyszczaniem ścieków poprzez nawodnienia. Rozpoczęcie realizacji projektu zbiegło się z wejściem Polski w struktury Unii Europejskiej, co również wpłynęło na rosnące zainteresowanie produkcją biomasy na cele energetyczne. Głównym celem projektu była efektywna produkcja biomasy z minimalizacją negatywnego wpływu ścieków na środowisko. Stworzony przez konsorcjum projektu prototyp systemu opierał się na czujnikach wilgotności gleby rozmieszczonych na terenie plantacji oraz bilansie NPK. W oparciu o potrzeby wodne i pokarmowe roślin energetycznych uruchamiane było nawadnianie ściekami lub wodą, tak aby nie doszło do przenawożenia ani przemywania zanieczyszczeń w głąb profilu glebowego. Prototyp testowano na dwóch plantacjach doświadczalnych: wierzby wiciowej (w Estonii) i topoli (w Hiszpanii). Efektem projektu był zwiększony roczny przyrost biomasy w porównaniu do obiektu referencyjnego. Analizowany był również skład i wartość opałowa uzyskanej biomasy. Tematykę związaną z realizacją projektu poruszałam w publikacjach (9 szt, C.2.1, C.3.5, C.3.6, C.3.12, C.4.1-2, C.4.5-6, C.6.5, zał.4). Równoległe z projektem G.2.1 realizowałam także projekt SPB oraz grant wewnętrzny (G.2.2-3, zał. 4).

4.2.3. Zastosowanie materiałów reaktywnych w systemach filtracyjnych stawów przydomowych i kąpielowych

Od 2013 roku prowadzę również badania nad możliwością wykorzystania materiałów reaktywnych w filtrach oczyszczających wodę w stawach przydomowych. Są to zbiorniki o

niewielkiej powierzchni i objętości oraz często zaburzonej równowadze biologicznej poprzez wprowadzenie nadmiernej ilości ryb, roślin, itp., przy jednocześnie wysokich oczekiwaniach właścicieli co do wizualnej jakości wody. W roku 2013 prowadziłam obserwacje jakości wody w wybranym obiekcie, a od 2014 roku monitoruję również pracę systemu filtracyjnego opartego na materiale reaktywnym w różnych konfiguracjach. Wstępne wyniki badań z lat 2013-2014 zostały zaprezentowane w ramach konferencji (**E.2.46-47, E.2.53**). Doświadczenie jest kontynuowane. Przeprowadziłam także szereg badań laboratoryjnych materiałów potencjalnie reaktywnych, podjęłam próbę porównania ich efektywności oraz możliwości aplikacji przy niskich stężeniach fosforu (**C.1.3, C.3.18-19, C.3.21, C.3.23, zał. 4**). Moje publikacje o materiałach reaktywnych do usuwania fosforu z lat 2012-2014 zaowocowały także zainteresowaniem ze strony **Ł.3 i Ł.4 (zał. 4)**. W stawach kąpielowych minimalizuje się chemiczne metody utrzymania jakości wody na rzecz metod biologicznych, takich jak filtracyjne strefy roślinne oraz filtry mineralne. W ramach dotychczasowej współpracy przeprowadziłam szereg testów laboratoryjnych materiałów stosowanych w strefach regeneracyjnych stawów kąpielowych lub też mogących znaleźć tam zastosowanie. Badania skoncentrowane były na (1) ocenie potencjalnego uwalniania fosforu z materiałów, które wprowadzone do systemu mogły by być źródłem zanieczyszczeń oraz (2) określenia ich potencjału jako materiałów reaktywnych względem fosforu. Efektem wstępnych badań jest publikacja **C.1.3**. Problem utrzymania jakości wody w stawach kąpielowych czy zbiornikach przydomowych jest problemem złożonym, wymagającym współpracy w interdyscyplinarnym zespole i będzie kontynuowany w przyszłości. W chwili obecnej, przy współpracy z **Ł.3 i Ł.4 (zał. 4)** realizujemy wspólny projekt badawczy „Wpływ rozwoju błony biologicznej na usuwanie fosforanów na filtrach mineralnych ze sterowanym przepływem” **G.2.8 (zał. 4)**. Wyniki badań uzyskane w tym temacie będą także możliwe do wykorzystania w zbiornikach na terenach zurbanizowanych.

4.2.4. Zagospodarowanie ścieków w obszarach o rozproszonej zabudowie

Jednocześnie z wymienionymi wyżej tematami, w całym okresie mojej pracy naukowej część czasu poświęcałam zagadnieniom zagospodarowania ścieków w obszarach o rozproszonej zabudowie. Zajmowałam się m.in. oceną potrzeb i możliwości budowy przydomowych oczyszczalni ścieków, oceną technologii stosowanych w systemach przydomowych, zagrożeniem środowiskowym związanym z eksploatacją zbiorników bezodpływowych, określaniem przepuszczalności gruntu na potrzeby odprowadzania ścieków oraz skutecznością materiałów reaktywnych zastosowanych w urządzeniach

odprowadzających ścieki do ziemi. W tej tematyce, z wyłączeniem prac wskazanych w **4.2.1** Autoreferatu, opublikowałam artykuły naukowe (**C.3.13, C.3.17, C.3.25-27, zał.4**) oraz publikacje o charakterze dydaktycznym (**C.6.2-3, C.6.7, zał. 4**). Zagadnienie to jest również jednym z głównych tematów mojej działalności dydaktycznej, realizowanej w formie wykładów (**N.4.2.1, N.4.3, zał. 4**) oraz promocji prac dyplomowych (**N.3, zał. 4**).

4.3. Wkład badań w rozwój dyscypliny naukowej: inżynieria środowiska

Zagadnienia, którymi zajmowałam się w dotychczasowej pracy naukowej mieszczą się **w obszarze dyscypliny naukowej inżynieria środowiska**. Inżynieria środowiska obejmuje prace związane z badaniem i zrozumieniem wpływu działalności gospodarczej na środowisko naturalne, tworzy i rozwija bazę naukową niezbędną do rozwiązywania problemów środowiskowych (przede wszystkim zanieczyszczenia środowiska: powietrze, woda, gleba) oraz korzysta z typowych dla inżynierii narzędzi takich jak analiza, synteza i projektowanie (Radczuk i Markowska 2008). Działem inżynierii środowiska jest **inżynieria ekologiczna** (Kowalik 2004), która podobnie jak inżynieria środowiska dotyka problemów związanych z zanieczyszczeniem środowiska i jego degradacją, takich jak pozyskanie czystej wody, energii, ochrona naturalnych zasobów, oczyszczanie środowiska, odnawianie i odtwarzanie zdewastowanych ekosystemów, **opracowywane nowych technologii środowiskowych** (Radczuk i Markowska 2008). Produktem inżynierii ekologicznej jest technologia włączona w cykle naturalne zgodnie z ideą dopasowania technologii do naturalnych procesów, aby poniesiony koszt energetyczny był minimalny, a korzyści obejmowały jednocześnie społeczeństwo i środowisko naturalne (Mitsh i Jorgensen 1989). Inżynieria ekologiczna promuje rozwiązania, w których energia dostarczana z zewnątrz przez człowieka jest relatywnie mała i jedynie stymuluje proces, ale jest wystarczająca do uzyskania znacznego efektu wynikającego z naturalnych procesów i naturalnych źródeł energii (Odum 1962). Rolą człowieka jest jedynie inicjacja naturalnych procesów, związana zwykle z niewielkim w stosunku do osiągniętych efektów wkładem energetycznym. Podstawą dalszego działania ekosystemu są naturalne źródła energii: słońca, wiatru, gleby i roślin. Niezwykle istotne w inżynierii ekologicznej są: minimalizacja użycia zasobów nieodnawialnych i energii z paliw kopalnych oraz unikanie produkcji odpadów. Logiczną konsekwencją myślenia ekologicznego jest recykling, polegający na zamykaniu obiegów związków pokarmowych i wody w skali lokalnej i czasowej, a uzyskanie założonych efektów nie powinno powodować

strat w środowisku. Proponowane przeze mnie rozwiązania wpasowują się w wymienione wyżej trendy.

Idee przewodnie inżynierii ekologicznej jako działu inżynierii środowiska znalazły zastosowanie w: renaturyzacji rzek i zapobieganiu erozji; rekultywacji terenów zdegradowanych; gromadzeniu, oczyszczaniu i wykorzystaniu wód deszczowych (wykorzystanie biofiltrów, zbieranie deszczu, infiltracyjne zasilanie wód podziemnych) oraz retencjonowaniu i opóźnianiu odpływu tych wód (**zielone dachy**); kompostowaniu odpadów organicznych i odpadów bytowych (toalety kompostowe); wykorzystaniu systemów roślinnych w ochronie wód i poprawie ich jakości (biofiltry, strefy buforowe); wykorzystaniu ekosystemów bagiennych do oczyszczania ścieków (**oczyszczalnie hydrofitowe**); oczyszczaniu ścieków wraz z recyklingiem związków pokarmowych (hydroponiki, **nawadnianie ściekami, fitry reaktywne**, techniki separacji ścieków); wykorzystaniu systemów roślinnych i szklarniowych do odwadniania osadów ściekowych; oraz kompensacji szkód wywołanych w naturalnych ekosystemach i ich renaturyzacji.

Uważam, że najważniejsze osiągnięcia moich badań wymienione w **punkcie 3.6** niniejszego autoreferatu stanowią istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria środowiska.

5. Synteza dorobku naukowego

5.1. Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)

W momencie przygotowywania autoreferatu byłam współautorem 13 publikacji w czasopismach indeksowanych w bazie Web of Science, w tym 10 posiadających współczynnik Impact Factor w roku publikacji. Publikacje ze współczynnikiem IF w roku publikacji opublikowałam w następujących czasopismach: *Ecological Engineering* (2016 r.); *Water Science and Technology* (2016 r., 2017 r.), *Fresenius Environmental Bulletin* (2015 r. i 2013 r.), *Water* (2014 r., 2018 r.), *Sustainability* (2017 r.), *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* (2013 r.) a pozostałe indeksowane w bazie Web of science w *Acta Scientiarum Polonorum – Formatio Circumiectus* (2017 r.), *Water* (2011 r.) oraz *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* (2007 r.) (**A.1-2, A.4-5, A.7, C.1.1-5, C.2.1-3, zał. 4**). Sumaryczny IF moich publikacji naukowych według listy JCR, zgodny z rokiem opublikowania wynosi 13,048, a indeks Hirscha według bazy

WoS wynosi 3. Liczba cytowań według WoS 31, bez autocytowań 20. Szczegółowe dane zestawiono **zał. 4, C.1-2** oraz **D.1-2**.

5.2. Autorstwo lub współautorstwo monografii, publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie Journal Citation Reports (JCR)

W swoim dorobku mam 37 publikacji w czasopismach z listy B MNiSW, w tym 7 prac z okresu przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora, oraz 11 rozdziałów w monografiach i w recenzowanych materiałach konferencyjnych. Jestem także autorem i współautorem 5 publikacji o charakterze popularyzującym wiedzę i 8 publikacji o charakterze dydaktycznym. Zestawienie tytułów wszystkich prac uszeregowanych według lat publikacji zawarto w **C.3-6** **zał. 4**. Liczba cytowań według bazy Google Scholar wynosi 174, a indeks Hirscha według tej bazy 7 (**zał. 4, D.1**).

5.3. Autorstwo lub współautorstwo opracowań zbiorowych i ekspertyz

Brałam udział w przygotowaniu 8 ekspertyz, w różnych zespołach autorskich. Większość tych prac to opracowane koncepcje rozwiązań problemów związanych z gospodarowaniem wodą w zbiornikach z uwzględnieniem jakości wód. Brałam także udział w pracach zespołu opracowującego zalecenia do programu wodno-środowiskowego kraju (**zał. 4, M.1-8**)

5.4. Wygłoszenie referatów na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych oraz przewodniczenie sesjom w ramach konferencji międzynarodowych

Od 2004 roku (po uzyskaniu stopnia doktora) wyniki moich badań były prezentowane w formie 17 referatów oraz 46 posterów (**E.2.1-63, zał. 4**) w ramach 25 konferencji międzynarodowych (Austria, Czechy, Holandia, Litwa, Niemcy, Polska, Rosja, Słowacja i Szwecja) i 18 konferencji krajowych. W sumie było to 63 autorskich i współautorskich prezentacji, z czego 31 w języku angielskim. Miałam również zaszczyt i przyjemność przewodniczyć sesjom w ramach dwóch konferencji międzynarodowych (**F.1-2, zał. 4**).

5.5. Kierowanie międzynarodowymi lub krajowymi projektami badawczymi lub udział w takich projektach

Brałam i biorę udział w realizacji 12 projektów badawczych, z czego 3 przed uzyskaniem stopnia doktora. Sześć z realizowanych przeze mnie projektów badawczych było projektami międzynarodowymi.

W czasie realizacji badań do rozprawy doktorskiej miałam przyjemność bycia uczestnikiem dwóch projektów międzynarodowych **G.1.1** oraz **G.1.2**, które miały na mnie znaczący wpływ i nadały wstępny kształt tematowi mojej rozprawy doktorskiej. Dzięki wsparciu mojego opiekuna naukowego pana profesora Józefa Mosieja realizowałam także grant promotorski (**zał. 4, G1.3**). Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, i na początku mojej pracy w Katedrze Kształtowania Środowiska SGGW w Warszawie, brałam udział w realizacji międzynarodowego projektu badawczego w ramach 6 Programu Ramowego UE. Projekt **G.2.1** był projektem typu CRAFT, nastawionym na współpracę przedstawicieli ośrodków naukowych z przedsiębiorcami. Równoległe z projektem w 6 PR realizowałam także projekt SPB **G.2.2**. (oba pod kierunkiem profesora Józefa Mosieja) oraz grant wewnętrzny, którego byłam kierownikiem (**zał. 4, G.2.3**). W kolejnych latach brałam udział w dwóch projektach międzynarodowych finansowanych przez Instytut Szwedzki (**zał. 4, G.2.4-5**). Oba projekty były nastawione na współpracę w zakresie rozwoju ekotechnologii dla poprawy jakości wód śródlądowych w aspekcie ochrony Morza Bałtyckiego.

Obecnie realizuję dwa krajowe projekty badawcze. Pierwszy **G.2.7 (zał. 4)** realizuję wspólnie z dr inż. Anną Baryłą i **Ł.1 (zał. 4)**. W ramach projektu na terenie parku Laboratorium Centrum Wodne SGGW prowadzimy badania modelowe w celu optymalizacji składu substratów dachów ekstensywnych z uwzględnieniem ich retencyjności i minimalizacji odpływu fosforu. Drugi projekt **G.2.8 (zał. 4)** realizuję wspólnie z dr inż. Agnieszką Bus oraz **Ł.3-4 (zał. 4)**. W ramach projektu badamy skuteczność usuwania fosforu przez filtry mineralne ze sterowanym przepływem wody. Doświadczenie jest realizowane na terenie partnera **Ł.4 (zał. 4)**. Obecnie biorę także udział w realizacji jednego badawczego projektu międzynarodowego **G.2.9 (zał. 4)**.

5.6. Odbyte staże w zagranicznych ośrodkach naukowych

W czasie studiów doktoranckich odbyłam staż na Politechnice w Sztokholmie (KTH) w Szwecji. Wyjazdy zrealizowałam w latach 1999-2000 (w sumie 3 miesiące). Obejmowały one zarówno staż szkoleniowy w Department of Land and Water Resources Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), jak i wizyty studyjne oraz badania terenowe. Stypendia

były fundowane w ramach projektu **G.1.2** finansowanego przez Svenska Institute (SI), którego kierownikiem był profesor Gunno Renman (KTH). Staż ten był dla mnie pierwszym kontaktem z ideą inżynierii ekologicznej, pozwolił mi na zrozumienie zarówno teoretyczne (dostęp do nieograniczonej bazy publikacji) jak i praktycznie (poprzez wizyty studyjne) jej założeń i zastosowań. KTH było także celem moich późniejszych wyjazdów w ramach programu wymiany nauczycieli Erasmus. W roku 2006 i 2008 odbyłam dwie wizyty jako wykładowca. W ramach programu Erasmus gościłam z wykładami także na Politechnice Wileńskiej (VGTU) na Litwie w roku 2008 i 2011. Wykłady za granicą wygłaszałam także w ramach projektów TEMPUS (**zał. 4, N.1.3 i N.1.6**), oraz w ramach szkół letnich (**N.2.10, zał. 4**). Stypendium indywidualne z Instytutu Szwedzkiego uzyskałam także na wyjazd na międzynarodowe seminarium i wygłoszenie referatu w 2009 r. (**E.2.26, zał. 4**). W marcu 2010 roku miałam okazję ponownie odbyć tygodniowy staż naukowy na Politechnice w Sztokholmie (Szwecja) w ramach projektu finansowanego przez SI. Czas ten poświęciłam na przygotowanie publikacji naukowej, która ukazała się w 2011 r. (**C.2.2, zał.4**). W 2014 roku odbyłam tygodniowy staż naukowy w Neubrandeburgu i Berlinie (Niemcy). Opiekunem naukowym był profesor Manfred Köhler z Green Roof Center of Excellence przy Wydziale Architektury Krajobrazu na Uniwersytecie Nauk Stosowanych w Neubrandenburgu (Hochschule Neubrandenburg, University of Applied Science). Staż zrealizowałam w ramach projektu **N.1.5 (zał. 4)**.

5.7. Recenzowanie artykułów naukowych w czasopismach zagranicznych oraz opiniowanie rozpraw doktorskich

Wykonałam 19 recenzji artykułów naukowych na prośbę międzynarodowych czasopism naukowych (**zał. 4, H.1-17**) tj. *Journal Ekologija*, *Environmental Engineering Science*, *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, *British Journal of Applied Science & Technology*, *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA*, *Desalination and Water Treatment*, *International Journal of Ecology and Ecosolution (IJEE)*, *Chemosphere*, *Environmental Science and Pollution Research*, *Ecological Engineering*, *Journal of Applied Chemical Science International*, *Science of the Total Environment*, *International Journal of Plant & Soil Science*, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, *Sustainability* oraz *Journal of Water Process Engineering*.

Opiniowałam również 5 rozpraw doktorskich realizowanych w zagranicznych uczelniach, w tym 4 na Litwie (Vilnius Gediminas Technological University) i jedną w Pakistanie (University of Sindh) (**zał. 4, J.1-5**).

5.8. Rozwijanie umiejętności i poszerzanie wiedzy w ramach szkoleń i warsztatów

Przez cały okres mojej pracy naukowej staram się rozwijać moje umiejętności i poszerzać wiedzę w zakresie związanym z tematyką badawczą oraz dydaktyczną. Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora ukończyłam 8 szkoleń, kursów i warsztatów o bardzo zróżnicowanej tematyce (**zał. 4, L.1.1-8**). Po uzyskaniu stopnia naukowego również poszerzałam swoją wiedzę w ramach 8 szkoleń i warsztatów zakończonych dyplomem lub certyfikatem w zakresie: doskonalenia pedagogicznego, zarządzania laboratorium, zarządzania międzynarodowymi projektami badawczymi, opracowywania i publikowania artykułów naukowych a także w tematyce obliczania śladu wodnego i węglowego oraz dachów zielonych (**zał. 4, L.2.1-8**). Dodatkowo systematycznie uczestniczę w otwartych konferencjach i seminariach o tematyce zbliżonej do moich zainteresowań naukowych i dydaktycznych (**zał. 4, L.3.1-16**).

5.9. Nagrody za działalność naukową

Zostałam czterokrotnie wyróżniona Nagrodą Rektora Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie – Zespołową III Stopnia za osiągnięcia naukowe w 2014 r. i 2017 r. oraz Zespołową II Stopnia za osiągnięcia naukowe w 2015 r. i 2016 r.

6. Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz współpraca międzynarodowa

6.1. Uczestnictwo w programach europejskich i innych programach międzynarodowych lub krajowych

Brałam udział w realizacji 6 międzynarodowych projektów dydaktycznych, w tym trzech w ramach programu TEMPUS (**zał. 4, N.1.2-3, N.1.6**), dwóch w ramach program Leonardo da Vinci (**zał. 4, N.1.1., N.1.5**) i jednego w ramach Norweskiego Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego (**zał. 4, N.1.4**). W projektach tych, z wyjątkiem jednego Leonardo da Vinci w którym byłam beneficjentem (**zał. 4, N.1.5**),

pełniłam rolę wykładowcy lub autora materiałów dydaktycznych w formie kursu e-learningowego lub podręcznika.

6.2. Osiągnięcia w zakresie popularyzacji nauki

Popularyzacja nauki realizowana jest przeze mnie poprzez: szkolenia poza jednostką macierzystą (**zał. 4, N.2**), publikacje popularyzujące wiedzę (**zał. 4, C.5**) i dydaktyczne (**zał. 4, C.6**), włączanie studentów w prowadzone prace badawcze oraz współpracę z przedsiębiorcami (**zał. 4, L**). W okresie po uzyskaniu stopnia doktora prowadziłam szkolenia dla inżynierów sanitarnych, rolników, inżynierów wodno-melioracyjnych, przedsiębiorców z sektora wydobywczego, deweloperów, administracji wojskowej i przedstawicieli samorządu terytorialnego. Publikacje popularyzujące wiedzę kieruję do miesięcznika Ekonatura, którego odbiorcą są m.in. placówki oświatowe. Staram się również systematycznie włączać studentów w prace badawcze, czego efektem są wspólne publikacje (**A.3, A.5., C.3.7, C.3.12**) i prezentacje na konferencjach naukowych (**E.2.7, E.2.54, E.2.61**).

6.2.1. Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki o zasięgu międzynarodowym

Za szczególne osiągnięcia dydaktyczne o zasięgu międzynarodowym uważam: promocję prac dyplomowych studentów z Hiszpanii (**N.3.2.1, N.3.2.4, zał. 4**) i z Indonezji (**N.3.2.2, zał. 4**), opiekę nad stażem naukowym doktorantki z VGTU (Litwa), wykłady w ramach szkół letnich oraz szkolenie nauczycieli akademickich w ramach projektów TEMPUS (**N.1.2, N.1.3, N.1.6, zał. 4**) realizowane zarówno w Polsce jak i za granicą (Rosja, Ukraina, Uzbekistan), współ-autorskie rozdziały w podręcznikach (**C.6.5-8, zał.4**), kursy e-learning (**C.6.1-2**) oraz kursy (**N.4.3, zał. 4**) prowadzone w SGGW w języku angielskim.

6.2.2. Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki o zasięgu krajowym

Za szczególne osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki o zasięgu krajowym uważam: promocję prac dyplomowych (**N.3, zał. 4**), współautorstwo dwóch rozdziałów: **C.6.3-4 (zał. 4)** w poradniku „Ekoinnowacje na Mazowszu”, oraz współautorstwo kursu e-learning „Dobre praktyki w oczyszczaniu ścieków na obszarach wiejskich”, autorstwo publikacji popularyzujących wiedzę (**C.5.1-5, zał. 4**) oraz przeprowadzone szkolenia (**N.2.1-8, zał.4**).

6.3. Opieka naukowa nad studentami

Od uzyskania stopnia doktora byłam promotorem 80 prac dyplomowych, w tym 46 inżynierskich i 34 magisterskich. Większość prac zrealizowałam na kierunku Inżynieria Środowiska oraz Ochrona Środowiska. Pięć spośród prac magisterskich zrealizowane zostało w języku angielskim, z czego 2 prace w ramach kierunku Ochrona Środowiska (specjalność: Restoration and Management of Environment) oraz 3 prace magisterskie w ramach programu Erasmus i Erasmus Mundus. Szczegółowe dane dotyczące wypromowanych prac dyplomowych zestawiono w **zał. 4 (N.3)**.

6.4. Działalność dydaktyczna

Realizuję pensum dydaktyczne w wymiarze 240 godzin (+20%). Znaczą część pensum realizuję w formie wykładów na kierunku **inżynieria środowiska, ochrona środowiska i budownictwo**, w tym także w języku angielskim na kierunku ochrona środowiska w ramach specjalizacji Restoration and Management of Environment (RME) oraz w ramach programu Erasmus+ (**N.4.3, zał. 4**). Jestem zwykle dobrze oceniana w ankietach studenckich (ocena powyżej 4). W swojej dotychczasowej pracy miałam możliwość prowadzić zajęcia na 8 kierunkach studiów (**zał. 4, N.4.1**). Obecnie prowadzone zajęcia są realizowane przeze mnie według autorskich i współ-autorskich programów. Zajęcia prowadzę w ramach studiów stacjonarnych i niestacjonarnych, pierwszego i drugiego stopnia.

6.5. Otrzymane nagrody i wyróżnienia za działalność dydaktyczną

Za osiągnięcia dydaktyczne zostałam wyróżniona Nagrodą Rektora Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie – Zespołową I w 2013r. oraz Medalem Brązowym za długoletnią służbę Nr 460-2014-55 w roku 2014 (**N.5, zał. 4**).

7. Działalność organizacyjna

Od momentu rozpoczęcia studiów doktoranckich czynnie uczestniczę w życiu Wydziału. Początkowo angażowałam się w działalność promocyjną prezentując działalność naukową i dydaktyczną Katedry Kształtowania Środowiska w ramach Dni SGGW czy Pikniku Naukowego. Po uzyskaniu stopnia naukowego i zatrudnieniu w SGGW w latach 2004-2006 byłam odpowiedzialna za przygotowywanie rocznych sprawozdań Katedry z

działalności naukowo-badawczej. W roku akademickim 2005/2006 pełniłam funkcję Sekretarza Rady Naukowej Międzywydziałowego Studium Ochrony Środowiska. Od 2005 roku brałam czynny udział w realizacji projektu budowy Centrum Wodnego SGGW. Moja rola polegała na utworzeniu stanowisk naukowo-dydaktycznych, wyposażeniu oraz organizacji pracy Pracowni Ekotechnologii. Od roku 2010 do chwili obecnej pełnię funkcję opiekuna tej pracowni.

W kadencji 2005-2008 zostałam powołana do składu Wydziałowej Komisji Nauki do zespołu ds. współpracy międzynarodowej oraz zespołu ds. projektów UE. W roku 2008 byłam członkiem Wydziałowej Komisji ds. akredytacji kierunku inżynieria środowiska. W kadencjach 2008-2012 oraz 2012-2016 byłam członkiem Wydziałowej Komisji Nauki do zespołu ds. badań naukowych oraz zespołu ds. współpracy międzynarodowej. Zostałam również powołana do Komisji ds. Nauki do zespołu ds. współpracy międzynarodowej w kadencji 2016-2020.

W październiku 2009 roku zostałam powołana na Koordynatora ds. Współpracy Międzynarodowej (koordynacja współpracy międzynarodowej pracowników i studentów). Funkcję tę pełniłam do końca kadencji 2008-2012. Od 1 września 2012 roku zostałam powołana do pełnienia funkcji Pełnomocnika Dziekana ds. współpracy z zagranicą i badawczych programów europejskich (do 31 grudnia 2016 r.).

W latach 2004 - 2013 byłam członkiem okręgowej Komisji do przeprowadzania eliminacji pisemnych i praktycznych w bloku tematycznym Ochrona i Inżynieria Środowiska Olimpiady Wiedzy i Umiejętności Rolniczych.

Organizowałam i współorganizowałam również szereg seminariów naukowych w ramach projektów badawczych, w których byłam wykonawcą, oraz spotkania, seminaria, staże dydaktyczne i wizyty gości zagranicznych w ramach 3 projektów w programie TEMPUS. Prowadziłam także prace administracyjne w tych projektach.

W kadencji 2012-2016 byłam członkiem Rady Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska. Zostałam również wybrana do pełnienia tej funkcji w kadencji 2016-2020. Zestawienie funkcji pełnionych z wyboru i nadania zamieszczono w **zał.4 (O.1-2)**.

Za działalność organizacyjną zostałam dwukrotnie wyróżniona Nagrodą Rektora Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie – Zespołową I w 2011 i 2012 r. (**O.3, zał. 4**).

Referencje

Aitkenhead-Peterson J., Dvorak B.D., Volder A., Stanley N.C., 2011. Chemistry of growth medium and leachate from green roof systems in south-central Texas. *Urban Ecosyst.* 14, 17-33

Aslup S.E., Ebbs S.D., Battaglia L.L., Retzlaff W.A., 2011. Heavy metals in leachate from simulated green roof systems. *Ecol. Eng.* 37, 1709-1717

Baker M.J., Blowes D.W., Ptacek C.J., 1998. Laboratory development of permeable reactive mixtures for the removal of phosphorus from onsite wastewater disposal systems. *Environ. Sci. Technol.* 32, 2308-2316

Ballantine D.J., Tanner Ch.C., 2010. Substrate filter materials to enhance phosphorus removal in constructed wetlands treating diffuse farm runoff: a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 53(1), 71-95

Barańkiewicz D, Chudzińska M., Szpakowska B., Świerk D., Gołdyn R., Dondajewska R., 2014. Storm water contamination and its effect on the quality of urban surface waters. *Environ. Monit. Assess.* 186, 6789-6803

Berg U., Neumann T., Donnert D., Nüesch R., Stüben D., 2004. Sediment capping in eutrophic lakes – efficiency of undisturbed calcite barriers to immobilize phosphorus. *Applied Geochemistry* 19, 1759-1771

Bryant, R.B., Buda A.R., Kleinman P.J.A., Church C.D., Saporito L.S., Folmar G.J., Bose S., Allen A.L., 2012. Using flue gas desulfurization gypsum to remove dissolved phosphorus from agricultural drainage waters. *J. Environ. Qual.* 41, 664–671

Buffam I., Mitchell M.E., Durtsche R.D., 2016. Environmental drivers of seasonal variation in green roof water quality. *Ecol. Eng.* 91, 506-514

Carpenter S.R., Bennett E.M., 2011. Reconsideration of the planetary boundaries for phosphorus. *Environ. Res. Lett.* 6, 1-12, doi:10.1088/1748-9326/6/1/014009

COM/2009/248. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions concerning the European Union Strategy for the Baltic Sea Region. http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/official/communic/baltic/com_baltic_en.pdf

COM/2011/0571. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Roadmap to a Resource Efficient Europe. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52011DC0571>

COM/2013/517. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Consultative Communication on the Sustainable Use of Phosphorus. <http://eur-lex.europa.eu/procedure/EN/1041064>

Christianson L.E., Lepine Ch., Sibewll P.L., Penn Ch., Summerfelt S.T., 2017. Denitrifying woodchip bioreactor and phosphorus filter pairing to minimize pollution swapping. *Water Research* 121, 129-139

Cucarella V., Zaleski T., Mazurek R., Renman G., 2008. Effect of reactive substrates used for the removal of phosphorus from wastewater on the fertility of acid soils. *Bioresource Technol.* 99, 4308-4314

Cucarella V., Renman G., 2009. Phosphorus sorption capacity of filter materials used for on-site wastewater treatment determined in batch experiments - A comparative study. *J. Environ. Qual.* 38, 381-392

Czemiel Berndtsson J., Emilsson T., Bengtsson L., 2006. The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality. *Science of the Total Environment* 355, 48-63

Czemiel Berndtson J., 2010. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality. *Ecological Engineering* 36, 351-360

Diaz RJ, Rosenberg R., 2008. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science* 321:926–9. doi:10.1126/science.1156401

Dz. U. 2000 nr 28 poz. 346. Konwencja o ochronie środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego sporządzona w Helsinkach dnia 9 kwietnia 1992 r. isap.sejm.gov.pl

Dz.U. L 135 z 30.5.1991. Dyrektywa Rady 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych (Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment)

Dz.U. L 375 z 31.12.1991. Dyrektywa Rady 91/676/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources)

Dz.U. L 327 z 22.12.2000. Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy)

Dz.U. L 164 z 25.6.2008. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/56/WE z dnia 17 czerwca 2008 r. ustanawiająca ramy działań Wspólnoty w dziedzinie polityki środowiska morskiego. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0056>

EEA, 2010. The European environment – state and outlook 2010: synthesis. European Environment Agency, Copenhagen. <https://www.eea.europa.eu/soer/synthesis/synthesis>

EEA, 2015. The European Environment - state and outlook 2015: Assessment of global megatrends. European Environment Agency, Copenhagen. <https://www.eea.europa.eu/soer-2015/global/action-download-pdf>

ETO UE, 2016. Przeciwdziałanie eutrofizacji w Morzu Bałtyckim – wymagane są dalsze, bardziej skuteczne działania. Sprawozdanie specjalne nr 03, Europejski Trybunał Obrachunkowy, Unia Europejska.

http://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR16_03/SR_BALTIC_PL.pdf

Frątczak W., Izydorczyk K., Zalewski M., 2012. Ekotony dla redukcji zanieczyszczeń obszarowych. *Gosp. Wodna* 3, I-IV

GeY., Wang X.C., Dzakpasu M., Zheng Y., Zhao Y., Xiong J., 2016. Characterizing phosphorus removal from polluted urban river water by steel slags in a vertical flow constructed wetland. *Water Science Technology* wst2016118; DOI: 10.2166/wst.2016.118

Gregoire B.G., Clausen J.C., 2011. Effect of modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality. *Ecol. Eng.* 37, 963–969

Harper G.E., Limmer M.A., Showalter W.E., Burken J.G., 2015. Nine-month evaluation of runoff quality and quantity from an experimental green roof in Missouri, USA. *Ecolog. Eng.* 78, 127-133

Hathaway A.M., Hunt W.F., Jennings G.D., 2008. A field study of green roof hydrologic and water quality performance. *Transactions of American Society of Agricultural and Biological Engineers* 51(1), 37-44

HELCOM 2013a. HELCOM Copenhagen Ministerial Declaration. Taking further action to implement Baltic Sea Action Plan – Reaching good environmental status for a Healthy Baltic Sea. 3 October, Copenhagen, Denmark, <http://www.helcom.fi/Documents/Ministerial2013/Ministerial%20declaration/2013%20Copenhagen%20Ministerial%20Declaration%20w%20cover.pdf>

HELCOM 2013b. Summary notes for the 2013 HELCOM Ministerial Declaration. <http://helcom.fi/Ministerial2013/ministerial-declaration>

Herrmann I., Jourak A., Hedström A., Lundström T.S. Viklander M. 2013 The effect of hydraulic loading rate and influent source on the binding capacity of phosphorus filters. *PLoS ONE*, 8(8), e69017, doi:10.1371/journal.pone.0069017

Hussain S.I., Blowes D.W., Ptacek C.J., Olding D., 2014. Phosphorus removal from lake water using basic oxygen furnace slag: System performance and characterization of reaction products. *Environmental Engineering Science* 31 (11), 631-642

Hylander L.D., Simán G., 2001. Plant availability of phosphorus sorbed to potential wastewater treatment materials. *Biol. Fertil. Soils* 34, 42-48

Hylander L.D., Kietlińska A., Renman G., Simán G., 2006. Phosphorus retention in filter materials for wastewater treatment and its subsequent suitability for plant production. *Bioresource Technology* 97, 914-921

IMGW 2014. Ocena możliwości i warunków osiągnięcia celów redukcyjnych HELCOM dla azotu i fosforu. II Bałtycki Okrągły Stół, 13 maja,

http://awsassets.wwfpl.panda.org/downloads/prezentacja_imgw_waldemar_jarosinski_ocena_mozliwosci_i_warunkow_osiagnicia_celow_r_1.pdf

Jia Ch,m Dai Y., Wu Ch., Wu Z., Liang W., 2013. Adsorption characteristics of used cement for phosphorus removal from wastewater. *Fresenius Environmental Billetin* 22 (10), 2910-2915

Józwiakowski K., Gajewska M., Pytka A., Marzec M., Gizińska-Górna M., Jucherski A., Walczowski A., Nastawny M., Kamińska A., Baran S., 2016. Influence of the particle size carbonate-siliceous rock on the efficiency of phosphorus removal from domestic wastewater. *Ecological Engineering* 98, 290-296

Kholoma E., Renman G., Renman A. (2016). Phosphorus removal from wastewater by field-scale fortified filter beds during a one-year study. *Environmental Technology* 37(23), 2953-2963

Kirkkala T., Ventelä A-M., Tarvainen M., 2012. Long-Term Field-Scale Experiment on Using Lime Filters in an Agricultural Catchment. *J. Environ. Qual.* 41:410–419

Klimeski A., Uusitalo R., Turtola E., 2015. Variations in phosphorus retention by a solid material while scaling up its application. *Environmental Technology & Innovation* 4, 285-298

Korkusuz E.A., Beklioğlu M., Demirer G.N., 2005. Comparison of the treatment performances of blast furnace slag-based and gravel-based vertical flow wetlands operated identically for domestic wastewater treatment in Turkey. *Ecological Engineering* 24, 187-200

Kowalik P., 2004. Inżynieria ekologiczna. Wykład inauguracyjny na nowym Wydziale Inżynierii Lądowej i Środowiska PG w roku akad. 2004/2005, 30 września 2004 r. *Pismo PG* 9, 17-18

KPOŚK 2003: Krajowy program oczyszczania ścieków komunalnych z dnia 16 grudnia 2003 r. <http://www.kzgw.gov.pl/index.php/pl/materialy-informacyjne/programy/krajowy-program-oczyszczania-sciekow-komunalnych>

Long B., Clark E.C., Baker K.H., Berhage R., 2006. Green roof media selection for the minimization of pollutant loadings in roof runoff. *WEFTEC'06. Water Environment Foundation*, 5528-5548

Malcolm E.G., Reese M.L., Schaus M.H., Ozmon I.M., 2014. Measurements of nutrients and mercury in green roof and gravel roof runoff. *Ecological Engineering* 73, 705-712

McDowell R.W., Hawke M., McIntosh J.J., 2007. Assessment of a technique to remove phosphorus from streamflow. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 50,503-510

Mitsch W.J., Jørgensen S.E., 1989. *Ecological engineering: An introduction to ecotechnology.* Willey, New York

Moran A., Hunt B., Smith J., 2005. Hydrologic and water quality performance from greenroofs in Goldsboro and Raleigh, North Carolina. In: *Green Roofs for Healthy Cities Conference*, Washington DC.

Mosiej J., Bus A., 2015. New challenges in rural water management in Poland. Proceedings of the 7th International Scientific Conference Rural Development, Ed. by Asta Raupeliene, doi.org/10.15544/RD.2015.078

Nagase A., Dunnett N., 2011. The relationship between percentage of organic matter in substrate and plant growth in extensive green roofs. *Landscape and Urban Planning* 103, 230-236

Odum H.T., 1962. Man in the ecosystem. Proceedings of the Lackwood conference on the suburban forest and ecology. Bull. Conn. Agr. Station, Storrs, CT, 57-75

OSU 2003. Nitrogen-phosphorus-potassium values of organic fertilizers. Oregon State University Extension Service, <http://extension.oregonstate.edu/lane/sites/default/files/documents/lc437organicfertilizersvaluesrev.pdf>

Paul M.J., Meyer J.L., 2001. Streams in the urban landscape. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 32, 333-365

Penn Ch., Bryant R.B., Kleinman P.J.A., Ilen A.L., 2007. Removing dissolved phosphorus from drainage ditch water with phosphorus sorbing materials. *Journal of Soil and Water Conservation* 62(4), 269-276

Penn Ch., Bowen J., McGrath J., Nairn R., Fox G., Brown G., Wilson S., Gill C., 2016. Evaluation of a universal flow-through model for predicting and designing phosphorus removal structures. *Chemosphere* 151, 345-355

Pluta K., Mrowiec M., 2015. Analiza oddziaływania systemów kanalizacyjnych na odbiornik. *Inżynieria Ekologiczna* 45, 183-194

Prochaska C.A., Zouboulis A.I., 2006. Removal of phosphates by pilot vertical-flow constructed wetland using a mixture of sand and dolomite as a substrate. *Ecological Engineering* 26, 293-303

Radczuk L., Markowska J., 2008. Inżynieria ekologiczna - początek XXI wieku. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 7, 113-120

Renman A., Renman G., 2010. Long-term phosphate removal by the calcium-silicate material Polonite[®] in wastewater filtration systems. *Chemosphere* 79, 659-664

Rosenquist S.E., Cully Hession W., Eick M.J., Vaughan H., 2011. Field applications of a renewable constructed wetland substrate for phosphorus removal. *Journal of the American Water Resources Association* 47(4), 800-812

RZGW Gliwice, 2014. Opracowanie programu redukcji fosforu. Sprawozdanie z prac wykonanych w ramach umowy nr 12/EZ/ZD/ZG/2014. Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Gliwicach i Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk <https://www.nfosigw.gov.pl/download/gfx/nfosigw/pl/nfoekspertyzy/858/200/1/2013-891.pdf>

Saaremäe E., Liira M., Poolakese M., Tamm T., 2014. Removing phosphorus with Ca-Fe oxide granules – a possible wetlands filter material. *Hydrology Research* 45(3), 368-378

Sayers MJ, Grimm AG, Shuchman RA, Deines AM, Bunnell DB, Raymer ZB, et al., 2015. A new method to generate a high-resolution global distribution map of lake chlorophyll. *Int J Remote Sens* 36:1942–64. doi:10.1080/01431161.2015.1029099

SEC/2009/712/2. Commission staff working document accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions concerning the European Union Strategy for the Baltic Sea Region.

http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/official/communic/baltic/action_17122010_en.doc

Shilton A.N., Elmerti I., Drizo A., Pratt S., Heverkamp R.G., Bilby S.C., 2006. Phosphorus removal by an ‘active’ slag filter – a decade of full scale experiment. *Water Research* 40, 113-118

Sibrell P.L., Montgomery G.A., Ritenour K.L., Tucker T.W., 2009. Removal of phosphorus from agricultural wastewaters using adsorption media prepared from acid mine drainage sludge. *Water Research* 43, 2240-2250

Skwierawski A., Sobczyńska-Wójcik K., Rafałowska M., 2008: Phosphorous runoff from small agriculture catchments under different land use intensity. *J. Elementol.* 13, 637-646

Song K., Xenopoulos M.A., Marsalek J., Frost P.C., 2015. The fingerprints of urban nutrients: dynamics of phosphorus speciation in water flowing through developed landscapes. *Biogeochemistry* 125, 1-10

Sønderup M.J., Egemose S., Bochdam M., Flindt M.R., 2015. Treatment efficiency of a wet detention pond combined with filters of crushed concrete and sand: a Danish full-scale study of stormwater. *Environ Monit Assess* 187, 758

Søvik A.K., Kløve B., 2005. Phosphorus retention processes in shell sand filter systems treating municipal wastewater. *Ecological engineering* 25, 168-182

Sumiślawski W., 2013. Krajowy Program Oczyszczania Ścieków Komunalnych – czy jego wypełnienie jest realne? Międzynarodowy Kongres Ochrony Środowiska, Poznań 7-8 października,
http://www.kzgw.gov.pl/files/file/Wiadomosci/2013_10_07_Prezentacja_KPOSK_-_ENVICON_final.pdf

Ulen B., Pietrzak S., Tonderski K.S., 2013. Samoocena gospodarstw w zakresie zarządzania składnikami nawozowymi i oceny warunków środowiskowych. ITP Falenty

UN, 2015. 2030 Agenda for Sustainable Development. Sustainable Development Goals. United Nations. <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

Uusitalo R., Närvänen A., Kaseva A., Launto-Tiuttu A., Heikkinen J., Joki-Heiskala P., Rasa K., Salo T., 2015. Conversion of dissolved phosphorus in runoff by ferric sulfate to a form less available to algae: Field performance and cost assessment. *Ambio* 44 (Suppl. 2), 286-296

Vohla Ch., Kõiv M., Bavor H.J., Chazarenc F., Mander Ü., 2011. Filter materials for phosphorus removal from wastewater in treatment wetlands – a review. *Ecological Engineering* 37, 70-89

Vijayaraghavan K., Joshi U.M., Balasubramanian R., 2012. A field study to evaluate runoff quality from green roofs. *Water Research* 46, 1337-1345

Wang Z., Bell G.E., Penn Ch.J., Moss J.Q., Payton M.E., 2014. Phosphorus reduction in turfgrass runoff using a steel slag trench filter system. *Crop Sci.* 54, 1859-1867

Wang H., Qin J., Hu Y., 2017. Are green roofs a source or sink of runoff pollutants? *Ecological Engineering* 107, 65-70

Wium-Anderson T., Nielsen A.H., Hvitved-Jacobsen T., Kristensen aN.K., Brix H., Arias C., Vollertsen J., 2012. Sorption media for stormwater treatment – A laboratory evaluation of five low-cost media for their ability to remove metals and phosphorus from artificial stormwater. *Water Environment Research* 84(7), 605-616

Xu D., Xu J., Wu J., Muhammad A., 2006. Studies on the phosphorus sorption capacity of substrates used in constructed wetland systems. *Chemosphere* 63, 344-352

Yin H., Yun Y., Zhang Y., Fan Ch., 2011. Phosphate removal from wastewaters by a naturally occurring, calcium-rich sepiolite. *Journal of Hazardous Materials* 198, 362-369

Yin H., Kong M., 2014. Simultaneous removal of ammonium and phosphate from eutrophic waters using natural calcium-rich attapulgite-based versalite adsorbent. *Desalination* 351, 128-137

Žibiene G., Dapkienė M., Kazakevičiene J., Radzevičius A., 2015. Phosphorus removal in a vertical flow constructed wetland using dolomite powder and chippings as filter media. *Journal of Water Security* 1, 46-52

Agnieszka Karczmarczyk