

Autoreferat

Dr inż. Justyna Hachoł

Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Wrocław, kwiecień 2019

Spis treści

1.	Imię i nazwisko.....	3
2.	Posiadane dyplomy i stopnie naukowe.....	3
3.	Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	3
4.	Wykazanie osiągnięcia naukowego.....	3
4.1.	Wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego.....	4
4.2.	Omówienie celu naukowego i wyników badań.....	5
4.2.1.	Wprowadzenie.....	5
4.2.2.	Cel cyklu publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe.....	8
4.2.3.	Metodyka badań terenowych.....	9
4.2.4.	Omówienie wyników.....	10
4.2.5.	Podsumowanie.....	25
5.	Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.....	31
6.	Syntetyczne podsumowanie dorobku naukowego habilitantki.....	38

1. Imię i nazwisko: Justyna Hachol

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

1.03.2004 r. – tytuł zawodowy inżyniera, uzyskany na Wydziale Rolniczym Akademii Rolniczej we Wrocławiu (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu), kierunek studiów – ochrona środowiska.

4.07.2005 r. – stopień magistra ochrony środowiska, specjalność ochrona wód, uzyskany na Wydziale Rolniczym Akademii Rolniczej we Wrocławiu (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu). Tytuł pracy magisterskiej: *„Zmienność wynoszonych ładunków zanieczyszczeń ze zlewni rolniczej na przykładzie Rzeki Smortawy do przekroju Janików”*.

9.03.2011 r. – stopień doktora nauk rolniczych w zakresie kształtowania środowiska, specjalność ochrona i kształtowanie ekosystemów wodnych. Tytuł pracy doktorskiej: *„Oddziaływanie robót regulacyjnych i konserwacyjnych na roślinność w korycie cieku w ujęciu systemowym”*.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

1.05.2013 r. – obecnie – adiunkt w Instytucie Kształtowania i Ochrony Środowiska na Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

2011 – 2013 – asystent w Instytucie Kształtowania i Ochrony Środowiska na Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

4. Wykazanie osiągnięcia naukowego

Jako 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 jedn. Dz.U. 2017 poz. 1789) w związku z art. 179 ust. 2 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. – Przepisy wprowadzające ustawę –

Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1669), wskazując cykl publikacji powiązanych tematycznie, zatytułowany:

Ryzyko ekologiczne w robotach regulacyjnych w ciekach

4.1. Wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

Osiągnięcie wskazane do oceny w postępowaniu habilitacyjnym to cykl siedmiu oryginalnych prac twórczych, opublikowanych w latach 2011–2019:

- 1. Hachoł J., Bondar-Nowakowska E. 2011:** *Ecological risk classification in the regulated and conserved watercourses*. *Ecological Chemistry and Engineering A*, vol 18 nr 12: 1763-1774 (7 pkt., udział 50%);
- 2. Bondar-Nowakowska E., Hachoł J. 2015:** *Ecological risk assessment in the regulated watercourses*. *Journal of Ecological Engineering* 16 (5): 182–188 (12 pkt., udział 50%);
- 3. Hachoł J., Bondar-Nowakowska E. 2016:** *Aquatic plants–based risk model for assessment of ecological safety of rivers*. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 22 (4): 1065–1077 (20 pkt., IF₂₀₁₆ = 1,306, udział 50%);
- 4. Hachoł J., Hämmerling M., Bondar-Nowakowska E. 2017:** *Applying the analytical hierarchy process (AHP) into the effects assessment of river training works*. *Journal of Water and Land Development* 35: 63–72 (14 pkt., udział 60%);
- 5. Hachoł J., Bondar-Nowakowska E. 2017:** *Vulnerability of the biological elements of river bed ecosystem on regulatory works*. *Journal of Ecological Engineering* 18 (2): 51–56 (12 pkt., udział 70%);
- 6. Hachoł J., Bondar-Nowakowska E., Nowakowska E. 2019:** *Factors influencing macrophyte species richness in unmodified and altered watercourses*. *Polish Journal of Environmental Studies* 28 (2): 609–622 (15 pkt., IF₂₀₁₇ = 1,12, udział 70%);
- 7. Hachoł J., Bondar-Nowakowska E., Hachaj P.S. 2019:** *Application of game theory against nature in the assessment of technical solutions used in river regulation in the context of aquatic plant protection*. *Sustainability* 11(5), 1260 (20 pkt., IF₂₀₁₇ = 2,075, udział 65%).

Sumaryczny *impact factor (IF)* osiągnięcia naukowego: 4,501.

Łączna liczba punktów osiągnięcia naukowego: 100 pkt.

Kopie publikacji wchodzących w skład cyklu oraz oświadczenia współautorów, określające indywidualny wkład w publikacje przedstawione jako osiągnięcie naukowe, znajdują się w załączniku 5. Liczby porządkowe publikacji od 1 do 7 w dalszej części autoreferatu stanowią będą odnośniki bibliograficzne.

4.2. Omówienie celu naukowego i wyników badań

4.2.1. Wprowadzenie

Rzeki są złożonymi systemami hydrologicznymi (Michałowski 2007, Bondar-Nowakowska 2008), które w wyniku procesów zachodzących w ich korytach oraz w dolinach podlegają ciągłym zmianom. Wynikają one z sezonowo występujących okresów wezbrań i niżówek (Bunn i Arthington 2002, Lytle i Poff 2004) oraz są skutkiem działalności człowieka (Popek i in. 2009).

Zgodnie z ustawą z dn. 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (Dz. U. 2017, poz. 1566) regulacja koryt cieków naturalnych służy poprawie warunków korzystania z wód i ochronie przeciwpowodziowej lub ochronie przed suszą. Polega ona „na podejmowaniu przedsięwzięć dotyczących kształtowania przekroju podłużnego i poprzecznego oraz układu poziomego koryta cieku naturalnego”.

W swoim założeniu regulacja ma prowadzić zarówno do zachowania równowagi przyrodniczej, jak i uzyskania zamierzonych efektów gospodarczych i społecznych, a więc osiągnięcia takiego stanu, w którym zaistnieje równowaga we wzajemnym oddziaływaniu człowieka oraz składników przyrody ożywionej i nieożywionej (Wierzbicki 2003). Osiągnięcie tego celu jest niezwykle trudne. W praktyce bowiem roboty regulacyjne powodują szereg zmian środowiskowych w korycie cieku. Skutkiem ich może być utrata różnorodności całego siedliska (Glendining i Pollino 2012), a także zmniejszenie produktywności pierwotnej i wtórnej ekosystemu wodnego (Rapport i in. 1985). Może to spowodować pogorszenie stanu ekologicznego rzek. Ponadto koryta regulowane muszą być utrzymywane w odpowiednim stanie (Liberacki i Olejniczak 2013, Bykowski i in. 2014). Utrzymywanie wód powierzchniowych w rozumieniu ustawy Prawo Wodne polega na „zachowaniu stanu dna lub brzegów oraz na remoncie lub konserwacji istniejących budowli

regulacyjnych”. Działania te również wpływają na stan ekologiczny rzek. Do zaburzeń funkcjonowania ekosystemu rzeczno przyczyniają się także budowle regulacyjne poprzez oddziaływanie na prędkość przepływu wody, wahania stanów wód, czy transport rumowiska (Magilligan i Nislow 2005, Jusik i Szoszkiewicz 2009). Mają one wpływ na zakłócenie lub przerwanie ciągłości rzeki (Błachuta i in. 2010). Skutkują również powstaniem zróżnicowanych ekosystemów powyżej i poniżej piętrzenia, o odmiennej strukturze i innym funkcjonowaniu (Pływaczyk 1997, Pływaczyk i Olszewska 1998, Greathouse i in. 2006, Harrison i in. 2013). Ponadto mają wpływ na chemizm wód (Wiatkowski i Rosik-Dulewska 2015).

W związku z tymi oddziaływaniami przyrodnicza rola rzek jako siedlisk licznych gatunków flory i fauny, a także korytarzy ekologicznych może nie być w pełni realizowana (Bunn i Arthington 2002, Poff i Zimmerman 2010, Prus i in. 2018). Dodatkowo wody o złym stanie ekologicznym nie mogą być wykorzystane do wielu celów związanych z egzystencją i działalnością człowieka.

W świetle Ramowej Dyrektywy Wodnej (2000/60/WE) zarządzanie wodami powierzchniowymi nie może przyczyniać się do pogorszenia ich jakości. Powstaje więc problem, jak zarządzać systemami rzeczno, a zwłaszcza utrzymaniem koryt rzek w stanie, który zapewni kompromis między interesami użytkowników wód a celami środowiskowymi rzek. Zagadnienie to jest przedmiotem moich wieloletnich badań, których celem było szczegółowe rozpoznanie skutków robót regulacyjnych w małych i średnich ciekach nizinnych. Badania te wykazały, że warunkiem osiągnięcia kompromisu jest odpowiednie zaplanowanie robót. Każda ingerencja techniczna w koryto rzeki powinna być poddana dokładnej analizie jej skutków dla bezpieczeństwa ekologicznego ekosystemów wodnych.

Zarządzanie bezpieczeństwem systemu jest integralnym składnikiem każdej działalności ludzkiej. Za miarę bezpieczeństwa na ogół przyjmowane jest ryzyko zmian elementów tego systemu. Tak jest również w przypadku bezpieczeństwa ekologicznego. Zacher (1991) określa bezpieczeństwo ekologiczne jako „...*stan ekosystemu, w którym ryzyko zakłóceń jego składowych jest niewielkie*”. W związku z tym, w przedstawionym cyklu prac jako miarę oceny bezpieczeństwa ekologicznego w regulowanych ciekach przyjęto **ryzyko** zmian elementów ekosystemu koryta cieku.

Według Pritcharda (2002) ryzyko oznacza stopień narażenia na niekorzystne zdarzenia oraz ich możliwe konsekwencje. O jego poziomie decydują trzy czynniki: zdarzenia generujące niekorzystne zjawiska, prawdopodobieństwo ich wystąpienia oraz dotkliwość ich skutków. Rozpoznanie i ograniczanie negatywnych skutków zdarzeń ryzyka jest celem

procesu zarządzania ryzykiem ekologicznym. Podstawy do analiz tego problemu powstały w Stanach Zjednoczonych w latach 70-ych XX w. (Yang i in. 2011). Agencja Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych (USEPA) zdefiniowała zarządzanie ryzykiem ekologicznym jako proces, polegający na ocenie prawdopodobieństwa niekorzystnych skutków w środowisku, powstałych w następstwie jednego lub więcej zagrożeń (USEPA 1998). Proces ten obejmuje identyfikację ryzyka, jego ocenę oraz reagowanie na ryzyko (Pritchard 2002).

Obecnie brak jest sprawdzonych metod, które na etapie planowania robót regulacyjnych mogłyby być wykorzystane do oceny i klasyfikowania ryzyka ekologicznego. Podjęcie tego zadania wymaga dobrego rozpoznania planowanych rozwiązań technicznych, technologicznych i organizacyjnych, właściwości regulowanego systemu rzeczno, a także zakresu oddziaływania czynników zewnętrznych (Grantham i in. 2010; Hart i Calhoun 2010). W przeprowadzanych analizach należy uwzględniać znaczne zróżnicowanie, niepowtarzalność elementów ekosystemu wodnego. Ważne są również oddziaływania między tymi elementami, z których wiele nie jest rozpoznanych. Kolejnym problemem jest duża zmienność ekosystemu wodnego w czasie.

Z tych względów rozpatrywany w przedstawionym cyklu prac problem wymagał rozpoznania reakcji ekosystemu koryta ciekłu na planowane w nim zmiany. Celem było, by wypracowane na podstawie badań metody oceny prawdopodobieństwa i skutków ingerencji technicznych w korycie ciekłu miały uniwersalny charakter. W związku z tym konieczne było zastosowanie zaawansowanych metod analizy danych i oceny ryzyka. Metody te pozwoliły na:

- wskazanie elementów ekosystemu koryta ciekłu najbardziej wrażliwych na działania techniczne;
- ocenę poziomu zagrożenia w zależności od zakresu planowanych robót oraz podjęcie decyzji, czy poziom ten jest akceptowalny,
- wskazanie możliwych sposobów zmniejszenia ryzyka, a więc poprawy bezpieczeństwa systemu.

We wszystkich przedstawionych pracach jako miarę bezpieczeństwa ekologicznego przyjęto ryzyko zmian jakościowych i ilościowych w zbiorowiskach naczyniowych roślin wodnych. Wybór tego elementu ekosystemu był podyktowany tym, że rośliny wodne są szczególnie zagrożone wskutek przekształceń technicznych koryta ciekłu. Ponadto rośliny wodne są producentami dostarczającymi do ciekłu substancję organiczną. Odgrywają ważną rolę w tworzeniu różnorodności środowiska oraz w kształtowaniu warunków

środowiskowych. Wpływają na bilans tlenu i dwutlenku węgla w wodzie, odczyn wody, stężenie soli mineralnych, a także substancji organicznej rozpuszczonej. Rośliny poprawiają zdolności samooczyszczania się cieków, a także zmniejszają natężenie procesów erozji wodnej (Biggs 1996, Sand-Jensen 1997, Sand-Jensen 1998, Collier 2002, Vereecken i in. 2006, Lorenz et al. 2012). Zgodnie z wytycznymi Ramowej Dyrektywy Wodnej (2000/60/WE) są jednym z biologicznych elementów oceny stanu ekologicznego, a wszelkie zmiany w ich zbiorowiskach mogą wpływać na cały ekosystem wodny.

Rośliny wodne oraz wpływ robót regulacyjnych i konserwacyjnych na skład jakościowy i ilościowy ich zbiorowisk były przedmiotem moich badań prowadzonych przed uzyskaniem stopnia doktora. Wyniki tych badań przedstawiłam w pracy doktorskiej pt. *„Oddziaływanie robót regulacyjnych i konserwacyjnych na roślinność w korycie cieków w ujęciu systemowym”*. Korzystając z doświadczeń zdobytych podczas opracowywania pracy, po uzyskaniu stopnia doktora, stwierdziłam że ochrona środowiska w regulowanych i konserwowanych ciekach wymaga odpowiedniego zarządzania procesami. Ponadto należy założyć, że zarządzanie to powinno być rozpatrywane w warunkach ryzyka lub niepewności. W związku z tym rozpoczęłam poszukiwania uniwersalnej metody, która pozwoliłaby na ocenę konsekwencji robót regulacyjnych. Wynikiem moich badań i analiz jest przedstawiony cykl publikacji, stanowiących osiągnięcie naukowe.

4.2.2. Cel cyklu publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

Podstawowym celem przedstawionego osiągnięcia naukowego było:

- określenie zmian zachodzących w ekosystemie koryta cieków w następstwie robót regulacyjnych oraz ocena możliwości ich kształtowania w aspekcie ochrony środowiska;
- opracowanie metod i narzędzi do zarządzania ryzykiem ekologicznym na etapie planowania robót.

Aby cele te osiągnąć, wyznaczono cele szczegółowe. Były to:

- ocena wrażliwości zbiorowisk roślin wodnych na zmiany warunków siedliskowych w wyniku wykonania regulacji rzeki;
- opracowanie metodyki oceny czynników ryzyka ekologicznego w wykonawstwie robót regulacyjnych w rzekach;
- ocena przydatności metod z grupy analizy wielokryterialnej oraz teorii gier do wspomaganie decyzji w projektowaniu robót regulacyjnych.

4.2.3. Metodyka badań terenowych

W przeprowadzonych analizach wykorzystano wyniki badań terenowych prowadzonych w korytach 29 rzek nizinnych Dolnego Śląska. Zgodnie z systemem A typologii rzek (Dyrektywa 2000/60/WE), były to małe i średnie (powierzchnia zlewni 10-1000 km²) cieki nizinne (położone na wysokości poniżej 200 m n.p.m.). W korytach rzek wyznaczono odcinki badawcze, każdy o długości 100 m. Charakteryzowały się one zróżnicowanym stopniem przekształcenia antropogenicznego. Jeden odcinek w każdym cieku, charakteryzował się stanem zbliżonym do naturalnego. Pełnił on funkcję odcinka referencyjnego. Na pozostałych odcinkach, położonych w bezpośrednim sąsiedztwie referencyjnych, lub w niewielkiej od nich odległości zostały przeprowadzone roboty regulacyjne lub konserwacyjne.

Odcinki, na których prowadzono badania, występowały na obszarach o zbliżonych warunkach klimatycznych (klimat umiarkowany, przejściowy między morskim a kontynentalnym), geologicznych (Monoklina Przedśudecka zbudowana ze skał permu i triasu) i glebowych (gleby płowe ukształtowane na lessach oraz gleby brunatne). Badane cieki charakteryzowały się niskimi, średnimi prędkościami przepływu oraz niewielką zmiennością hydrologiczną. W czasie prowadzenia badań nie stwierdzono zanieczyszczeń wód ściekami miejskimi lub przemysłowymi (na każdym odcinku wykonano analizy chemiczne jakości wody, aby wykluczyć odcinki o wysokiej trofii, mającej wpływ na zbiorowiska roślin wodnych).

Badania terenowe obejmowały ocenę biologicznych oraz fizycznych elementów systemu koryta cieku. Badania florystyczne polegały na identyfikacji gatunków naczyniowych roślin wodnych występujących na każdym odcinku badawczym oraz określeniu pokrycia przez nie dna. Pod uwagę brano wszystkie rośliny naczyniowe, zakorzenione w wodzie przez przynajmniej 90% okresu wegetacji, a także rośliny wyższe, swobodnie pływające na powierzchni wody lub pod nią. Identyfikację gatunków roślin wodnych wykonywano brodząc w korycie rzeki od jednego brzegu do drugiego. W miejscach, do których dostęp był utrudniony posługiwano się grabkami do wyławiania roślin. Gatunki roślin wodnych oznaczano bezpośrednio na stanowisku badawczym. Do określenia stopnia zagęszczenia roślin w korycie, do roku 2010, stosowano pięciostopniową skalę Kohlera (1978), w której 1 oznacza, że rośliny wodne pokrywają do 5% powierzchni dna, 2 – od 5 do 25%, 3 – od 25 do 50%, 4 – od 50 do 75%, a 5 – od 75 do 100% jego powierzchni. Od roku 2010 stosowano dodatkowo skalę dziewięciostopniową (Szczekiewicz

i in. 2010). Ponieważ pokrycie dna każdorazowo określano w procentach, możliwe było określenie go według obu skali niezależnie od terminu wykonania badań.

Na każdym odcinku badawczym dokonywano również pomiaru i opisu wybranych elementów fizycznych systemu koryta ciek. W badaniach uwzględniono elementy, które są kształtowane przez roboty regulacyjne i konserwacyjne. Były to: spadek podłużny, szerokość dna, głębokość koryta, substrat dna, poziom zamulenia, nachylenie skarp, sposób umocnienia skarp, zacienienie koryta, zagospodarowanie strefy przybrzeżnej, napełnienie koryta. Pomiary elementów mierzalnych wykonywano w przekrojach poprzecznych rozmieszczonych co 10 m. Na ich podstawie obliczano wartość średnią dla całego odcinka. Do opisu cech niemierzalnych zastosowano skale porządkowe. W skalach tych stopień danej cechy był zależny od różnicy w stosunku do stanu występującego na odcinkach referencyjnych. Im większe było oddalenie od tego stanu, tym wyższe było natężenie każdej cechy. Do formularza terenowego wpisywano taki rodzaj umocnienia, materiału zalegającego dno oraz użytkowania strefy, jakie dominowały na całym odcinku badawczym. Ocenę stopnia zacienienia koryta prowadzono optycznie, ze stanowiska usytuowanego w korycie ciek, w połowie długości odcinka badawczego. Do oceny tej przyjęto skalę 5-stopniową, w której 0 oznacza brak zacienienia, 1 – zacienienie małe, 2 – średnie, 3 – duże, 4 – całkowite (Schaumburg i in. 2006). Badania powtarzano w kolejnych sezonach wegetacyjnych.

4.2.4. Omówienie wyników

Według definicji, ryzyko jest iloczynem dwóch czynników – prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niepożądanego oraz konsekwencji jego zaistnienia. Próbę praktycznego zastosowania tej zasady w ocenie ryzyka ekologicznego podjęto w **publikacjach 1 i 2**. Celem badań było określenie podstaw do oceny tych czynników oraz do klasyfikacji ryzyka ekologicznego w regulowanych korytach cieków.

Na podstawie wyników badań terenowych opracowane zostały skale oceny prawdopodobieństwa (P) – określającego możliwość wystąpienia zmian w liczbie gatunków roślin wodnych oraz skutków (S) – oznaczających zmianę w liczbie gatunków w wyniku wykonania robót.

Przeprowadzone obserwacje wykazały, że regulacja koryta ciek, obejmująca szeroki zakres działań technicznych, wpływa w większym stopniu na zmiany warunków siedliskowych. Dlatego też skala prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia została powiązana z zakresem planowanych robót (tab. 1).

Natomiast skala opisująca skutki (S) ingerencji technicznej została opracowana na podstawie porównania składu gatunkowego zbiorowisk roślin wodnych na odcinkach referencyjnych, w których nie wykonywano robót oraz na odpowiadających im odcinkach cieków objętych działaniami technicznymi. Dodatkowo stwierdzono, że skutki wykonanych robót były łagodniejsze w ciekach, w których występowały gatunki charakteryzujące się szeroką skalą ekologiczną. Im więcej było w cieku gatunków o szerokim zakresie tolerancji warunków siedliskowych tym lepiej przystosowywały się one do nowych, zmienionych w wyniku ingerencji technicznej, warunków. Na tej podstawie skutki robót regulacyjnych powiązано również ze składem gatunkowym zbiorowisk roślin wodnych występujących w cieku przed wykonaniem w nim robót (tab. 2).

Wykorzystano w tym celu Makrofitową Metodę Oceny Rzek (Szoszkiewicz i in. 2010), stosowaną w Polsce do oceny stanu ekologicznego wód płynących. W metodzie tej poszczególnym gatunkom roślin wodnych przypisane są dwie liczby wskaźnikowe. Jedną z nich, współczynnik wagowy – W, jest miarą tolerancji ekologicznej gatunku. Współczynnik W może przyjmować wartości od 1 dla gatunków o szerokiej skali ekologicznej i przez to słabej wartości wskaźnikowej do 3 w przypadku roślin o wąskiej skali ekologicznej i dużej wartości wskaźnikowej.

Opracowane skale szacowania prawdopodobieństwa i skutków przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Tabela 1. Skala do szacowania prawdopodobieństwa (P) wystąpienia zmian w zbiorowiskach roślin wodnych na skutek wykonania robót konserwacyjnych i regulacyjnych

Możliwość wystąpienia zmian	
Skala punktowa	Skala opisowa
1 Bardzo mała	Koszenie skarp oraz odmulenie dna wraz z usunięciem roślin wodnych.
2 Mała	Koszenie skarp, odmulenie dna wraz z usunięciem roślin wodnych, naprawa i uzupełnienie umocnień faszynowych.
3 Średnia	Zmiana parametrów przekroju poprzecznego, ukształtowanie skarp o nachyleniu co najmniej 1:1,5, umocnienie podstawy skarpy kiszka faszynową.
4 Duża	Zmiana parametrów przekroju poprzecznego, umocnienie skarp narzutem kamiennym lub materacami siatkowo-kamiennymi.
5 Bardzo duża	Zmiana parametrów przekroju poprzecznego, ukształtowanie przekroju poprzecznego z pionowymi skarpami, wykonanie umocnień brzegowych w postaci koszy siatkowo-kamiennych lub murków oporowych.

Tabela 2. Skala do szacowania skutków (S) w zbiorowiskach roślin wodnych jako efekt wykonania robót konserwacyjnych i regulacyjnych

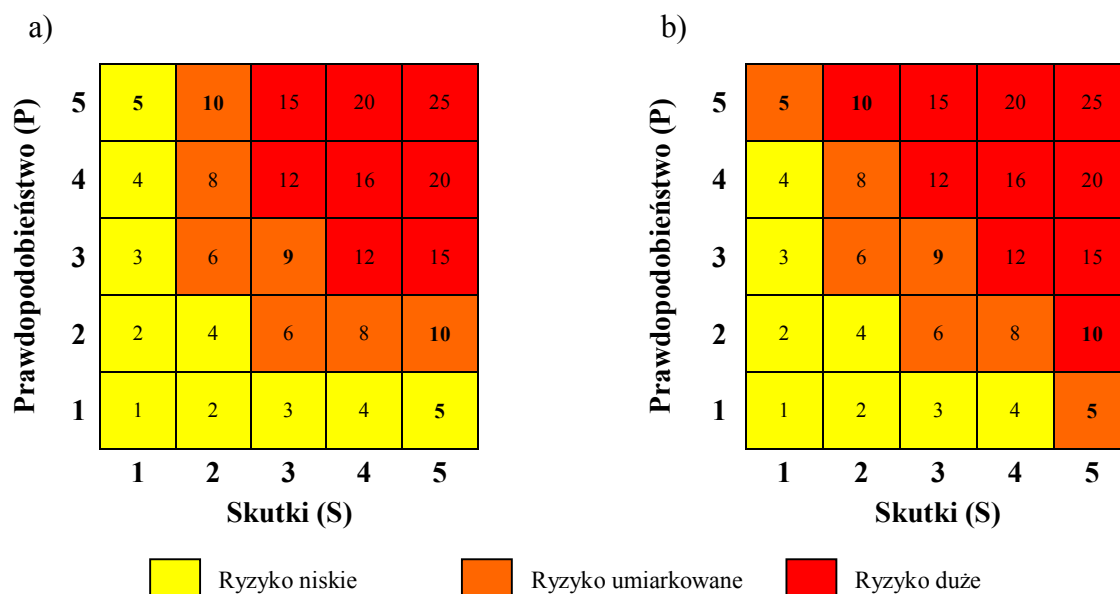
Dotkliwość skutków	
Skala punktowa	Skala opisowa
1 Brak	W cieku nie występują naczyniowe rośliny wodne.
2 Łagodne	W cieku występują 1-3 gatunki naczyniowych roślin wodnych, o małych i średnich wartościach wskaźnikowych $W = 1$ lub 2
3 Umiarkowane	W cieku występuje powyżej 4 gatunków naczyniowych roślin wodnych, wśród których dominują taksony o małej wartości wskaźnikowej $W = 1$.
4 Dotkliwe	W cieku występuje powyżej 4 gatunków naczyniowych roślin wodnych, wśród których dominują taksony o średniej wartości wskaźnikowej $W = 2$.
5 Bardzo dotkliwe	W cieku dominują taksony o dużej wartości wskaźnikowej $W = 3$.

Ponieważ w szacowaniu obu czynników ryzyka zastosowano skale pięciostopniowe, rozpatrywane ryzyko kształtuje się w przedziale od 1 do 25. Najtrudniejszym etapem w ocenie ryzyka jest wyznaczenie granic między jego poziomami – ryzykiem małym (zwykle akceptowalnym), umiarkowanym (należy być przygotowanym na reagowanie w przypadku zagrożenia) oraz dużym (nieakceptowalnym). Na podstawie wyników badań terenowych opracowano macierz ryzyka, w której określono wartości graniczne dla poszczególnych poziomów ryzyka ekologicznego, przy założeniu, że jest ono oceniane w trzech klasach ryzyka:

- $1 \leq R_e \leq 4$ – ryzyko małe,
- $6 \leq R_e \leq 8$ – ryzyko umiarkowane,
- $12 \leq R_e$ – ryzyko duże.

Dużą trudność na tym etapie badań sprawiło zakwalifikowanie ryzyka kształtującego się na poziomie 5, 9 oraz 10. Opracowano zatem dwie macierze (rys. 1). Pierwsza z nich (a) przedstawia podejście optymistyczne, w którym wartości niepewne zakwalifikowano do niższych poziomów ryzyka. Natomiast druga macierz (b) reprezentuje wariant pesymistyczny. Wartość 5 zakwalifikowano jako ryzyko umiarkowane, ryzyko na poziomie 10 sklasyfikowano jako ryzyko duże, a ryzyko na poziomie 9 jako ryzyko umiarkowane.

Macierze te mogą stanowić narzędzie do oceny ryzyka ekologicznego lub podstawę do opracowania metodyki jego oceny w robotach konserwacyjnych i regulacyjnych w podobnych ciekach.



Rys. 1. Macierze ryzyka ekologicznego z zaznaczonymi poziomami ryzyka ekologicznego: wariant optymistyczny (a) i pesymistyczny (b)

Przeprowadzone analizy wykazały, że roboty konserwacyjne w ciekach wiążą się z małym lub umiarkowanym ryzykiem zmian w strukturach zbiorowisk naczyniowych roślin wodnych. Natomiast następstwa ekologiczne robót regulacyjnych zawierają się w obszarze ryzyka umiarkowanego lub dużego. Wyniki te dały początek kolejnym badaniom i analizom, w których podjęto próbę określenia ryzyka ekologicznego dla poszczególnych działań, wchodzących w zakres rozpatrywanych prac regulacyjnych.

Na podstawie wyników badań terenowych opracowano rejestr ryzyka, który stanowi bazę danych określających wpływ poszczególnych rozwiązań technicznych stosowanych w robotach regulacyjnych na zbiorowiska roślin wodnych (**publikacja 2**).

Opracowany rejestr obejmuje 15 działań technicznych związanych z regulacją koryt cieków. Są to: całkowite usunięcie drzew i krzewów ze skarp i strefy przybrzeżnej, częściowe usunięcie drzew i krzewów ze skarp i strefy przybrzeżnej, pozostawienie całkowitego zacienienia, zmiana spadku podłużnego koryta, zmiana szerokości dna, zmiana głębokości, zmiana szerokości dna i głębokości koryta, nadanie skarptom pochylenia 1:2, nadanie skarptom pochylenia 1:1,5, nadanie skarptom pochylenia 1:1, nadanie skarptom pochylenia 1:0, umocnienie skarp darnią, umocnienie skarp faszyną, umocnienie skarp narzutem kamiennym, umocnienie skarp betonem.

Przeprowadzone badania wykazały, że do najbardziej prawdopodobnych i najistotniejszych z punktu widzenia ochrony środowiska zagrożeń należy zaliczyć:

całkowite zacienienie koryta ciek, w niektórych przypadkach poszerzenie i pogłębienie koryta, nadanie skarpom pochylenia 1:1, 1:0, umocnienie skarp materiałem kamiennym lub ich wybetonowanie. Dla tych działań technicznych należy wypracować metody mające na celu ograniczenie ich wpływu na ekosystem koryta ciek.

Opracowany rejestr stanowi źródło informacji o ryzyku występującym w robotach regulacyjnych. Umożliwia on opracowanie planów zarządzania ryzykiem ekologicznym na etapie planowania robót. Dane w nim zawarte świadczą, że większość działań, wchodzących w zakres robót regulacyjnych wiąże się raczej z wyższymi poziomami ryzyka wystąpienia zmian w strukturach zbiorowisk roślin wodnych. Wykazują one również, że identyfikacja i ocena ryzyka w robotach regulacyjnych jest niepewna, ze względu na złożoność ekosystemu koryta ciek, zróżnicowany zakres robót i nieprzewidywalne reakcje roślin wodnych na zmiany warunków siedliskowych. Ponadto szczegółowa analiza danych przedstawionych w rejestrze wykazała, że w ocenach ryzyka konieczne jest uwzględnienie warunków panujących w korycie przed wykonaniem robót, a także synergicznego oddziaływania poszczególnych elementów ekosystemu koryta ciek, przekształcanych w ramach robót regulacyjnych.

Stwierdzone zależności sprawiły, że podjęto dalsze badania i analizy. Postawiono hipotezę, według której na poziom ryzyka zmian w zbiorowiskach roślin wodnych w wyniku robót regulacyjnych w korycie wpływa zakres tych robót, morfologia koryta oraz stan jakościowy i ilościowy zbiorowisk roślin wodnych przed przekształceniem (**publikacja 3**).

W **publikacji 3** wykorzystując analizę regresji liniowej wielorakiej, opracowano model ryzyka zmian w zbiorowiskach roślin wodnych w wyniku ingerencji technicznej w koryto ciek, uwzględniający zarówno biologiczne, jak i fizyczne elementy systemu rzeczno. W modelu jako zmienną zależną przyjęto wskaźnik ryzyka zmian gatunkowych w korycie ciek. Do jego wyznaczenia zastosowano metodykę, opracowaną w **publikacji 1**. Jako zmienne objaśniające, potencjalnie wpływające na zmienną zależną przyjęto: spadek dna, szerokość dna, głębokość koryta, substrat dna, umocnienie skarp, zacienienie koryta, liczbę gatunków naczyniowych roślin wodnych w korycie nieprzekształconym oraz stopień pokrycia przez nie dna. W pierwszym etapie zbudowano model zawierający wszystkie zmienne objaśniające. W kolejnych etapach usuwano zmienne o najsłabszych oddziaływaniach, aż do uzyskania modelu uwzględniającego tylko zmienne istotne. Stwierdzono, że największy wpływ na poziom ryzyka mają trzy zmienne: projektowany sposób umocnienia skarp, szerokość dna przed i po wykonaniu prac oraz liczba gatunków roślin wodnych w korycie przed wykonaniem robót. Uzyskany z przeprowadzonej analizy model ma postać:

$$R_e = 3,78X_1 + 0,57X_2 + 0,15\Delta X_3 - 3,14$$

Gdzie:

X_1 – projektowany sposób umocnienia skarp (określony w 5-stopniowej skali),

X_2 – liczba gatunków naczyniowych roślin wodnych w korycie nieprzekształconym,

ΔX_3 – różnica między aktualną i projektowaną szerokością koryta.

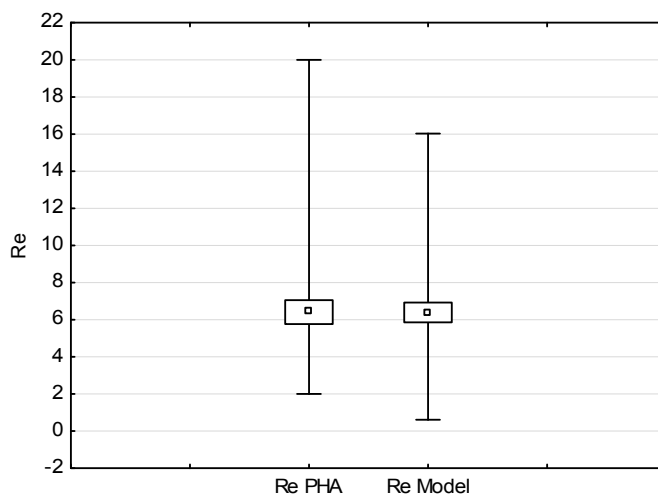
Model w 68% wyjaśnia, że ryzyko ekologiczne zależy od rozpatrywanych zmiennych. Wskazuje on, że najistotniejszy wpływ na ryzyko zmian w zbiorowiskach roślin wodnych ma sposób umocnienia skarp koryta ciek. Umocnienia skarp wykonuje się w celu ich stabilizacji oraz przeciwdziałania procesom erozji w korycie (Borg i Argent 2008). Potwierdzają to wyniki uzyskane w licznych badaniach, według których następstwem umocnień skarp są zmiany w zbiorowiskach roślin wodnych polegające na zmniejszeniu liczby gatunków oraz zagęszczenia roślin w dnie. Im większa ingerencja w naturalną strukturę skarpy, tym wpływ jej na rośliny wodne jest większy. Dlatego też właściwe ubezpieczenie brzegów powinno zmierzać w kierunku wykorzystania naturalnej, biologicznej obudowy koryta jako elementu technicznego (Wołoszyn i in. 1994, Żelazo i Popek 2002).

Kolejnym elementem ekosystemu koryta ciek, kształtującym skład zbiorowisk roślin wodnych jest szerokość dna. Jest to czynnik zapewniający organizmom wodnym przestrzeń życiową. Im większa szerokość ciek, tym większa potencjalna różnorodność strukturalna dna, a co za tym idzie większe zróżnicowanie biotopów wodnych. Takie warunki sprzyjają rozwojowi roślin wodnych, ponieważ wraz ze wzrostem fizycznej heterogeniczności, zwiększa się różnorodność gatunkowa (Milner i Gilvear 2012). Pozostałe zmienne uwzględnione w rozpatrywanym modelu wykazały słabsze oddziaływanie na zbiorowiska roślin wodnych.

Prezentowany model poddano weryfikacji dwiema metodami. W pierwszej, wartości ryzyka określone na podstawie modelu porównano z wartościami ryzyka określonymi na podstawie opracowanych w **publikacji 1** skali prawdopodobieństwa i skutków. W obu metodach rozkład wartości był podobny. Natomiast wielkości uzyskane z modelu były nieznacznie niższe (rys. 2).

W drugiej metodzie uzyskane wyniki poddano weryfikacji na trzech odcinkach koryta, różniących się pod względem zakresu wykonanych robót. Odcinki te były zlokalizowane w rzece Dobrej. Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że zmiany w liczbie gatunków roślin wodnych były tym większe im więcej elementów koryta uległo

przekształceniu. Podobną tendencję wykazał również wskaźnik poziomu ryzyka, określony z wykorzystaniem opracowanego modelu. Można zatem przyjąć, że przedstawiony model matematyczny może być wykorzystany do oceny poziomu ryzyka zmian w zbiorowiskach roślin wodnych.



Rys. 2. Porównanie wyników wartości ryzyka ekologicznego otrzymanych na podstawie obliczeń z wykorzystaniem zaproponowanych skal oceny P i S (metoda PHA) oraz na podstawie opracowanego modelu

Celem dalszych badań była próba znalezienia kompromisu między wymaganiami technicznymi regulacji i ochroną ekosystemu koryta ciek. Zgodnie z koncepcją zrównoważonego rozwoju każda ingerencja w koryto ciek powinna służyć poprawie warunków bytowych oraz bezpieczeństwa ludzi tak, aby związane z nią ryzyko ekologiczne było możliwie najmniejsze (Duszyński 2007). Podczas planowania i wykonawstwa robót regulacyjnych należy więc dążyć do równowagi w wyznaczaniu kryteriów gospodarczych oraz ekologicznych. Celem **publikacji 4** była wielokryterialna ocena skutków wykonania robót regulacyjnych w małych i średnich rzekach nizinnych, uwzględniająca oba te kryteria. Zastosowano metodę AHP (metoda analizy hierarchicznej problemu, Analytic Hierarchy Process) (Saaty 1990). Analizy wielokryterialne nie były wcześniej stosowane w rozwiązywaniu problemów związanych z regulacją rzek. W związku z tym praca miała dodatkowy cel, jakim było sprawdzenie przydatności metody AHP, która jest metodą ekspercką, do podejmowania decyzji w procesie zarządzania ryzykiem ekologicznym w robotach regulacyjnych na ciekach.

W pracy porównano pięć wariantów regulacji rzek. Pod uwagę wzięto odcinki koryt cieków nizinnych, zlokalizowanych na Dolnym Śląsku, różniące się zakresem wykonanych

robót. Na podstawie szerokiego przeglądu literatury problemowej określono kryteria oceny, które stanowiły elementy decyzyjne. W ramach kryterium technicznego rozpatrywano takie elementy, które mają wpływ na stopień ochrony doliny rzeki przed powodzią. Były to: spadek podłużny, szerokość dna, głębokość koryta, umocnienie skarp oraz substrat dna. W ramach kryterium przyrodniczego rozpatrywano: liczbę gatunków naczyniowych roślin wodnych, wskaźnik różnorodności gatunkowej Shannona-Wienera, strukturę zbiorowisk roślinnych na skarpach oraz zacienienie koryta. Liczba gatunków naczyniowych roślin wodnych oraz wskaźnik różnorodności gatunkowej Shannona-Wienera są wskaźnikami biologicznymi stosowanymi do opisu i oceny siedlisk. Natomiast struktura roślinności występującej na skarpach oraz związany z nią stopień zacienienia koryta są determinantami występowania w korycie, zespołów roślinnych i zwierzęcych (Cortes i in. 2008).

Metodyka AHP przebiega dwuetapowo. Pierwszy etap polegał na określeniu wag dla poszczególnych elementów decyzyjnych, poprzez porównanie ich parami przez ekspertów. W drugim etapie dokonano porównania parami wariantów regulacji z uwzględnieniem kolejnych elementów decyzyjnych. W obu etapach zastosowano 9-stopniową skalę oceny (Saaty 1990). Skala ta nie jest jednak wystarczająco dokładna, aby w oryginalnej postaci mogła być zastosowana w rozpatrywanym problemie. W związku z tym opracowano skale, na podstawie których możliwe były porównania i oceny rozpatrywanych modeli regulacji. Należy tu dodać, że określenie tych skali stanowiło największą trudność w wykorzystaniu metody AHP. Zaproponowane, autorskie skale, przedstawiono w **publikacji 4**.

Badania eksperckie wykazały, że wśród elementów należących do kryterium technicznego największe znaczenie w regulacji, ukierunkowanej na ochronę przeciwpowodziową obszarów przybrzeżnych, ma spadek dna. W następnej kolejności występują: szerokość dna i głębokość koryta. W grupie elementów reprezentujących kryterium przyrodnicze w pierwszej kolejności należy rozpatrywać ochronę różnorodności gatunkowej roślin wodnych. Na tej podstawie opracowano trzy rankingi modeli robót regulacyjnych, uwzględniające następujące warianty preferencji:

- wariant I – w ocenie wielokryterialnej większą rangę przypisano kryterium technicznemu,
- wariant II – w ocenie taką samą rangę przypisano kryterium technicznemu jak i przyrodniczemu,
- wariant III – w ocenie wyższą rangę przypisano kryterium przyrodniczemu.

W rankingu opracowanym dla wariantu I, na pierwszym miejscu znalazł się odcinek charakteryzujący się dużym stopniem przekształcenia koryta (zakres prac: wycięcie

zadrzewień i zakrzaczeń ze skarp, pogłębienie koryta, ukształtowanie przekroju poprzecznego ze skarpami pionowymi, umocnienie skarp gabionami siatkowo-kamiennymi). Pionowe skarpy, umocnione za pomocą gabionów, charakteryzują się większą statecznością, trwałością oraz odpornością na działanie wielkiej wody niż naturalna biologiczna obudowa koryta, spełniająca kryteria regulacji przyjaznej naturze (Wołoszyn i in. 1994, Żelazo i Popek 2002). Dlatego wielu autorów uważa, że rozwiązanie takie zwiększa poziom bezpieczeństwa powodziowego. Model ten, mimo pionowych i umocnionych skarp, okazał się być również najlepszym sposobem regulacji rzeki, zapewniającym zarówno ochronę przeciwpowodziową, jak i bezpieczeństwo ekologiczne (wariant II).

Na drugim miejscu w tym wariacie znalazł się odcinek badawczy, zlokalizowany w korycie rzeki Sásiecznicy, w którym zarówno skarpy jak i dno nie zostały umocnione. Brak umocnień zrekompenrowano poprzez zwiększenie powierzchni przekroju poprzecznego, zapewniającego odpowiednią przepustowość koryta w sytuacji podwyższonych stanów wody. Takie rozwiązanie spowodowało, że na odcinku tym zinwentaryzowano najwięcej gatunków roślin wodnych. Obiekt ten znalazł się na pierwszym miejscu w rankingu podporządkowanym kryteriom przyrodniczym (wariant III). Przyjmując taki sposób regulacji cieków należy wziąć pod uwagę, że skarpy zabezpieczone naturalną zabudową roślinną lub o umocnionej tylko podstawie, są bardziej podatne na uszkodzenia spowodowane przez erozję wodną, powódzie oraz działalność zwierząt lub człowieka. Ponadto, w przypadku braku regularnej konserwacji, skarpy takie szybko zarastają co wpływa na pogorszenie warunków hydraulicznych w korycie (Tymiński 2008; Bykowski i in. 2011). Zmniejsza się więc skuteczność ochrony przeciwpowodziowej (Liberacki i Olejniczak 2013). Na ostatnich miejscach w rankingu w wariacie III, podobnie jak w wariacie II, znalazły się odcinki o skarpach umocnionych elementami betonowymi.

Odcinek Sásiecznicy w wariacie I znalazł się na trzecim miejscu w rankingu, głównie ze względu na dużą powierzchnię przekroju poprzecznego koryta, zapewniającego zwiększoną przepustowość koryta rzecznoego. W wariacie II znalazł się na miejscu drugim, natomiast w wariacie III na miejscu pierwszym. Dlatego uznano, że w tym modelu regulacji osiągnięto kompromis między bezpieczeństwem powodziowym i ekologicznym. Kompromis ten będzie jednak trwał tylko przy założeniu regularnego wykonywania przeglądów i prac konserwacyjnych w korycie. Omawiany model regulacji przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Odcinek badawczy, spełniający jednocześnie kryteria techniczne i przyrodnicze regulacji

Przedstawione wyniki świadczą o przydatności zmodyfikowanej metody AHP w procesie podejmowania decyzji związanych z planowaniem i realizacją robót regulacyjnych w aspekcie zmniejszenia ryzyka ekologicznego. Wykazały jednak także, że na etapie planowania robót regulacyjnych nie jest możliwe jednoznaczne określenie zmian w ekosystemie koryta ciekłu, będących następstwem robót regulacyjnych. Można je jednak przewidywać. Jak wykazano w **publikacji 1**, zależą one nie tylko od zakresu prac, ale również od składu zbiorowisk roślinnych przed wykonaniem robót. Podobny wniosek jest przedstawiony również w **publikacji 3**. Opracowany w niej model wyraźnie wykazał, że na poziom ryzyka ekologicznego w robotach regulacyjnych, wyrażonego wielkością zmian w zbiorowiskach roślin wodnych, wpływają czynniki o charakterze technicznym oraz biologicznym, takie jak liczba gatunków roślin wodnych w korycie przed wykonaniem robót.

Podjęto więc dalsze badania, których celem było określenie podatności (wrażliwości) zbiorowisk roślin wodnych na zmiany warunków siedliskowych w korycie. Dotąd nie analizowano podatności ekosystemów rzecznych na zmiany w wyniku robót regulacyjnych. Czynniki ten nie był również uwzględniany w ocenach ryzyka ekologicznego, związanego z wykonaniem robót regulacyjnych. Celowe zatem było podjęcie tego problemu. Wyniki analizy przedstawiono w **publikacji 5**.

W pracy tej została przedstawiona ocena możliwości wykorzystania wskaźników biologicznych, powszechnie stosowanych w charakterystykach zbiorowisk roślin wodnych, do oceny ich podatności na jakościowe i ilościowe zmiany w wyniku wykonania regulacji rzeki. Analizą objęto pięć wskaźników. Były to:

- liczba gatunków naczyniowych roślin wodnych,
- stopień pokrycia dna przez rośliny wodne,
- wskaźnik różnorodności Shannona-Wienera,
- wskaźnik równocенności Pielou,
- klasa stanu ekologicznego koryta rzeki, określona na podstawie roślin wodnych.

W przeprowadzonych analizach określono różnice między wartościami rozpatrywanych wskaźników na odcinkach referencyjnych i na odpowiadających im odcinkach uregulowanych. W celu ograniczenia oddziaływania innych elementów systemu koryta ciekła na wyniki analizy, dokonano podziału odcinków referencyjnych na grupy jednorodne pod względem wartości rozpatrywanych wskaźników ekologicznych. Wykorzystano do tego celu analizę skupień wykonaną metodą Warda. Następnie dla grup odcinków sklasyfikowanych jako jednorodne wyznaczono współczynniki korelacji między wartościami rozpatrywanych wskaźników na odcinkach referencyjnych i uregulowanych.

Zaobserwowano, że roboty regulacyjne miały wpływ na rozpatrywane wskaźniki biologiczne. Najczęściej wyrażał się on spadkiem liczby gatunków, obniżeniem pokrycia dna przez rośliny wodne, spadkiem wartości wskaźników Shannona-Wienera oraz Pielou, a także pogorszeniem stanu ekologicznego koryta. Tylko w nielicznych przypadkach nastąpił wzrost tych wartości lub pozostały one niezmiennic. Tendencje te wystąpiły w każdej z rozpatrywanych grup jednorodnych odcinków. Nie wykazano jednak wyraźnego związku między składem gatunkowym i stanem ilościowym roślin na odcinkach nieprzekształconych i przekształconych w wyniku regulacji. Średnie korelacje odnotowano tylko w przypadku zależności wykazywanymi przez wskaźniki Shannona-Wienera oraz Pielou na odcinkach referencyjnych oraz na odcinkach uregulowanych. Oznacza to, że wskaźniki te mogą być wykorzystane, jako miary podatności zbiorowisk roślinnych na roboty regulacyjne. W przypadku pozostałych wskaźników stwierdzono brak statystycznie istotnych korelacji. Może to być spowodowane małą liczbą gatunków roślin wodnych występujących w korytach nieprzekształconych. Może również świadczyć, że podatność ekosystemu rzeki na zaburzenia uzależniona jest od wielu, nie rozpatrywanych w pracy czynników. Hill i in. (2001) oraz Caffrey i in. (2006) wskazują, że może to być: skład jakościowy i ilościowy zbiorowisk roślinnych oraz zwierzęcych, rozmiar ekosystemu, jego fragmentacja, stopień dotychczasowego przekształcenia koryta, sposób użytkowania stref przybrzeżnych, a także na indywidualną reakcję gatunków. Tak więc problem podatności roślin wodnych na roboty regulacyjne pozostał nierozwiązany. Skłoniło to do kontynuowania badań dotyczących

wrażliwości zbiorowisk roślin wodnych na zmieniające się warunki siedliskowe. Wyniki ich przedstawione zostały w **publikacji 6**.

Podstawę analizy stanowią badania przeprowadzone na stu odcinkach badawczych, zróżnicowanych pod względem stopnia przekształcenia koryta. Analiza dotyczyła zależności między dwoma wskaźnikami biologicznymi (liczba gatunków roślin wodnych oraz wskaźnik równocенności Pielou) a elementami systemu koryta ciekę, które mogą być kształtowane przez roboty regulacyjne (długość ciekę do przekroju badawczego, spadek podłużny, szerokość dna, głębokość koryta, nachylenie skarp i sposób ich umocnienia, substrat dna, poziom zamulenia dna, użytkowanie strefy przybrzeżnej oraz zacienienie koryta). Ponieważ ekosystemy wodne mają zdolność do regeneracji i skutki wykonania robót w korycie zmieniają się w czasie od ich wykonania, w pracy zbadano również wpływ czynnika czasu. Podobne analizy prowadzono przed uzyskaniem stopnia doktora. W **publikacji 6** zostały one poszerzone o bardziej zaawansowaną statystyczną analizę danych, uzyskanych w innym okresie badawczym (po uzyskaniu stopnia doktora). Zastosowano tu takie analizy statystyczne, jak: test Kruskala-Wallisa, analiza redundancji RDA, analiza korelacji τ -Kendalla oraz metoda regresji wartości Shapleya (Shapley Value Regression, SVR).

Wyniki wykazały istotne statystycznie korelacje między rozpatrywanymi wskaźnikami biologicznymi i tylko dwoma elementami koryta ciekę. Były to miąższość zamulenia oraz szerokość dna. Należy tu zwrócić uwagę, że również w opracowanym modelu ryzyka (**publikacja 3**) szerokość dna wykazywała wpływ ingerencji technicznej na zmiany w zbiorowiskach roślin wodnych. Liczba gatunków w badanych rzekach, zarówno na odcinkach przekształconych jak i nieprzekształconych ulegała zwiększeniu wraz ze wzrostem zamulenia i szerokości dna. Muł akumulowany na dnie ciekę powoduje wzrost stabilności podłoża, co sprzyja lepszemu ukorzenianiu się roślin wodnych. Jest też źródłem składników pokarmowych, które są wykorzystywanych zarówno przez rośliny, jak i przez zwierzęta (Cyr i in. 2012). W licznych badaniach wykazano, że wraz ze wzrostem stabilności podłoża oraz zawartego w nim detrytusu różnorodność i obfitość organizmów zwiększa się (Grinberga 2010).

Kontynuując rozważania problemu badawczego, dotyczącego podatności roślin wodnych na ryzyko ekologiczne, przeanalizowano występowanie dwóch, najczęściej spotykanych podczas badań terenowych roślin wodnych – jeżogłówki pojedynczej (*Sparganium emersum* Rehmman) oraz mozgi trzcinowatej (*Phalaris arundinacea* L.) w zależności od poziomu zamulenia oraz szerokości dna koryta (**publikacja 6**). Pokrycie dna przez rośliny obu gatunków w korytach przekształconych wzrastało wraz z poziomem

zamulenia. Natomiast na odcinkach referencyjnych nie wykazano istotnej zależności. W obu grupach odcinków badawczych stopień pokrycia dna przez rośliny obu gatunków wzrastał wraz z szerokością dna.

Na podstawie przeprowadzonych analiz statystycznych stwierdzono, że zarówno w korytach uregulowanych, jak i nieprzekształconych, rozpatrywane elementy koryta cieków tylko częściowo kształtowały skład zbiorowisk roślin wodnych. Analiza RDA wykazała wysoki poziom niewyjaśnionej przez model zmienności, sugerując, że na skład jakościowy i ilościowy zbiorowisk roślin wodnych mają wpływ również inne czynniki, nieuwzględnione w prezentowanych badaniach. Wyniki wskazują, że wykonując roboty regulacyjne, w ramach których przekształcanych jest kilka elementów koryta cieków, należy liczyć się z zespołowym ich oddziaływaniem na rośliny wodne. Wynika to z określonych już wcześniej zależności, wskazujących, że czynniki wpływające na zbiorowiska roślin wodnych często działają synergicznie a pojedyncze korelacje między elementami środowiskowymi, oddziaływaniami antropogenicznymi oraz roślinami wodnymi są rzadko spotykane (Demars i Harper 1998, Caffrey et al. 2006, Demars et al. 2012).

Wszystkie przeprowadzone badania i analizy wykazały, że na etapie planowania robót regulacyjnych nie można szczegółowo określić zmian w ekosystemie koryta cieków, będących następstwem robót regulacyjnych. Zarówno analizy składu gatunkowego w korycie przed wykonaniem prac, jak i ocena oddziaływania poszczególnych działań w ramach regulacji, nie dają jednoznacznych informacji w tym zakresie. Specyfika robót wymaga uwzględnienia w procesie projektowania warunków, które są niepowtarzalne i równocześnie występują w szerokich zakresach. Mają one charakter techniczny, fizjograficzny, przyrodniczy oraz społeczny (Feld i in. 2014). Projektanci i wykonawcy robót regulacyjnych ingerują w koryta rzek, które pod względem kształtu, cech morfologicznych, hydrologicznych, struktury otoczenia oraz biocenozy są silnie zróżnicowane, niepowtarzalne oraz zmienne w czasie. Oznacza to, że projektanci i wykonawcy robót, nie są w stanie przewidzieć, jakie skutki dla funkcjonowania ekosystemu przyniesie podjęta przez nich decyzja. W związku z tym, proces decyzyjny wymaga od nich uwzględnienia warunków, które odczuwają subiektywnie. Jest to argument przemawiający za tym, że projektowanie robót regulacyjnych jak i ocena ich skutków powinny być rozpatrywane jako decyzje w warunkach niepewności. Istnieje więc realna potrzeba opracowania, dla rozważanego problemu, systemu wspomaganie decyzji w zarządzaniu ryzykiem ekologicznym. Stało się to podstawą do podjęcia próby zastosowania teorii gier jako narzędzia wspomagającego podejmowanie decyzji w projektowaniu robót

regulacyjnych z uwzględnieniem aspektów ekologicznych. Wyniki badań i analiz przedstawiono w **publikacji 7**.

Teoria gier była stosowana w procesach decyzyjnych do rozwiązywania różnorodnych problemów z zakresu gospodarki wodnej (Bogardi i Szidarovsky 1976, Madani 2010, Ganjali i Guney 2017). Nie stosowano jej jednak dotąd w zagadnieniach wyboru optymalnego z punktu widzenia środowiska przyrodniczego wariantu regulacji rzek. W pracy zastosowano jeden z modeli teorii gier – gry z naturą, który zaadaptowano do potrzeb analizowanego problemu. W modelu tym biorą udział dwaj gracze – A i B, przy czym jeden z nich określany jest jako „natura”. Natura jest tu rozumiana jako „przeciwnik nierozumny”, który – w przeciwieństwie do innych graczy – reprezentuje zachowania przypadkowe i pozbawione działań optymalizacyjnych. W rozpatrywanym problemie naturą są rośliny wodne występujące w korycie ciek. Drugim graczem są możliwe decyzje projektanta, odnoszące się do zakresu robót wykonanych w korycie ciek. Ponieważ były to pierwsze analizy z zastosowaniem teorii gier, w publikacji jako zakres robót rozważano liczbę przekształcanych elementów koryta.

Do podejmowania decyzji w warunkach niepewności stosowanych jest wiele reguł gier z naturą (Rędziaś 2013). W pracy przeanalizowano możliwość wykorzystania jako narzędzi wspomagających podejmowanie decyzji - reguły Walda, reguły optymistycznej oraz reguły Hurwicza. Reguła Walda jest regułą ostrożną (pesymistyczną), charakteryzującą się awersją do ryzyka (Wald 1950). Zakłada się w niej, że może wystąpić najmniej korzystny dla decydenta wynik i w związku z tym dąży on do minimalizacji strat. Kierując się tą zasadą, dla możliwych decyzji projektanta wyznaczane są rozwiązania, które zakładają największe straty. W rozpatrywanym zagadnieniu jako zalecany wariant, wskazano zakres robót regulacyjnych, w wyniku których straty w liczbie gatunków roślin wodnych były najmniejsze spośród największych (scenariusz najlepszy z najgorszych).

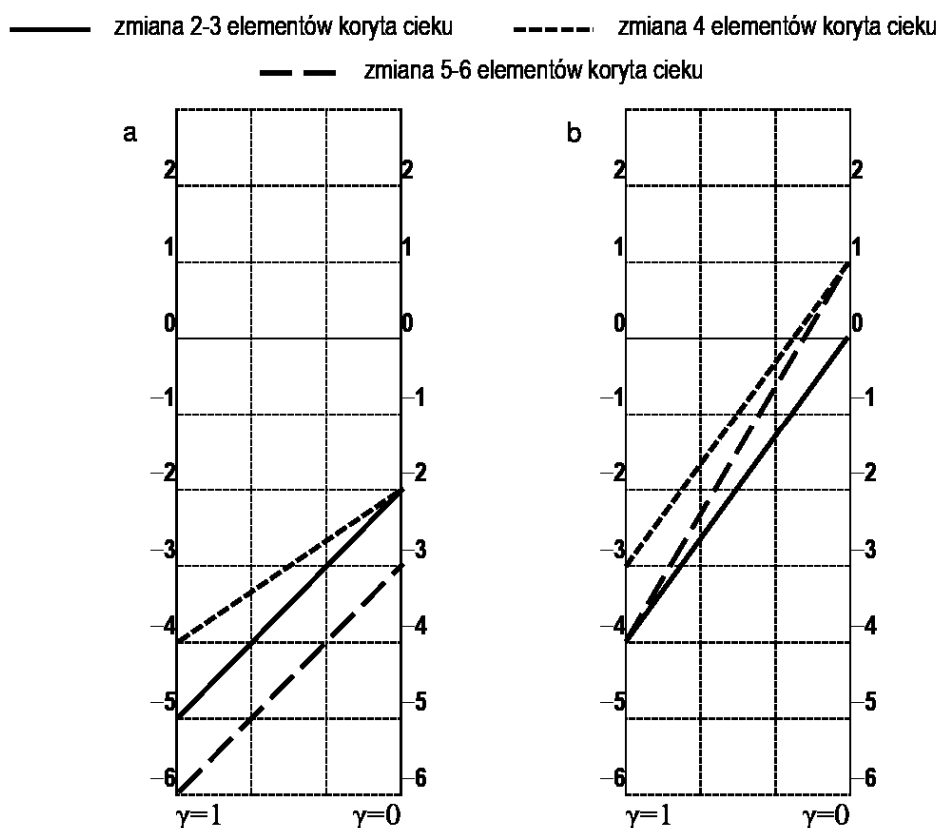
Stosując regułę optymistyczną należy założyć, że w wyniku robót regulacyjnych wystąpi najbardziej korzystny z punktu widzenia ochrony środowiska wynik podjętych działań. Każdej decyzji projektanta przypisano najmniejsze, zaobserwowane w czasie badań terenowych, zmiany w liczbie gatunków roślin wodnych. O wyborze ostatecznej decyzji, zgodnie z tą regułą, decyduje wariant robót regulacyjnych charakteryzujący się najmniejszymi zmianami (scenariusz najlepszy z najlepszych).

Wykorzystując regułę Hurwicza, wyznacza się współczynnik ostrożności – γ (Hurwicz 1951). Może on przyjmować wartości od 0 do 1. Wartość 1 charakteryzuje skrajną awersję decydenta do podjęcia ryzyka, natomiast wartość 0 – skrajną skłonność do ryzyka. Posługując

się regułą Hurwicza można określić wielkość strat dla obu skrajnych przypadków jak również dla każdego podejścia pośredniego.

W pracy zaprezentowano metodykę zbierania informacji potrzebnych do opracowania macierzy będącej podstawą dla zastosowania gier z naturą. Jest to etap najbardziej pracochłonny w całym procesie, długi w czasie i wymagający odpowiedniego przygotowania merytorycznego. Uproszczenie tego etapu byłoby możliwe, gdyby projektanci i wykonawcy robót regulacyjnych byłiby zobowiązani do prowadzenia rejestru zmian ekologicznych na uregulowanych odcinkach cieków.

Przeprowadzona analiza pozwoliła określić pewien przedział potencjalnych wyników, które powinny pozwolić projektantowi ustalić stopień zasadności podjętych przez niego działań oraz wyróżnić lepsze i gorsze rozwiązania. Zakres zmienności współczynnika ostrożności γ przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Zmiany wartości współczynnika Hurwicza w zależności od liczby przekształcanych elementów koryta dla skrajnych i pośrednich wartości współczynnika ostrożności: a – wariant pesymistyczny b – wariant optymistyczny

Rysunek składa się z dwóch części. Część *a* oznacza podejście pesymisty zakładające, że skutki działań technicznych będą dla roślin wodnych skrajnie niekorzystne, część *b* – reprezentuje podejście, że będą one do zaakceptowania. Linia reprezentująca przekształcenie 4 elementów koryta przebiega nie niżej niż dwie pozostałe linie, zarówno dla obu wariantów ($\gamma = 0$ i $\gamma = 1$) jak i całego zakresu zmienności współczynnika ostrożności. Zatem posługując się regułą Hurwicza można stwierdzić, że najkorzystniejszą strategią, zarówno przy podejściu pesymistycznym, jak i optymistycznym jest przekształcenie 4 elementów koryta. Również zastosowanie pozostałych reguł wykazało, że najlepszym wariantem, zarówno przy podejściu pesymistycznym jak i optymistycznym do ryzyka, jest przekształcenie 4 elementów koryta. Jest to wynik raczej nieintuicyjny, ponieważ zazwyczaj przyjmuje się, że słabsza ingerencja techniczna w korycie ciekłu powoduje mniejsze zmiany w zbiorowiskach roślin wodnych. Konieczne staje się również określenie, które z elementów koryta, w jakiej kombinacji oraz w jakim zakresie powinny zostać przekształcone, aby straty w zbiorowiskach roślin wodnych były możliwie najmniejsze.

Przeprowadzona w **publikacji 7** analiza korelacji między wartościami, o jakie zmieniono parametry koryt cieków, a zmianami liczby gatunków roślin wodnych nie wykazały statystycznie istotnych zależności. Zwracają jedynie uwagę takie elementy jak: zacienienie koryta, pochylenie skarp oraz sposób ich umocnienia. Wpływ nachylenia skarp na zbiorowiska roślin wodnych wykazano również w **publikacji 2**, natomiast wpływ ich umocnienia w **publikacjach 2 oraz 3**. Dostępność światła jako bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na skład jakościowy i ilościowy zbiorowisk roślin wodnych, co zostało udowodnione w licznych badaniach (Middelboe i Markager 1997, Herb i Stefan 2003). Na czynnik ten zwrócono również uwagę w **publikacji 2**. Ponadto we wcześniejszych pracach wskazano na znaczenie takich elementów koryta, jak: szerokość dna (**publikacje 2, 3, 4, 6**), głębokość koryta (**publikacje 2, 4**), spadek dna (**publikacja 4**) oraz miąższość zamulenia (**publikacja 6**). Te elementy wydają się więc mieć największy wpływ na ryzyko ekologiczne w robotach konserwacyjnych i regulacyjnych. Problem ten będzie przedmiotem dalszych badań i analiz.

4.2.5. Podsumowanie

W badaniach i analizach przedstawiono niestosowany wcześniej sposób ujęcia problemów związanych z zarządzaniem ryzykiem ekologicznym w robotach regulacyjnych i konserwacyjnych. Ten rodzaj ryzyka jest nieunikniony w każdej ingerencji technicznej

w korycie ciek. Stwierdzono, że roboty regulacyjne kształtują się w obszarze średniego lub wysokiego ryzyka. Roboty konserwacyjne natomiast związane są z mniejszym ryzykiem. Nie można jednak na etapie planowania robót jednoznacznie określić poziomu tego ryzyka, ponieważ nie można w sposób deterministyczny określić jego czynników (prawdopodobieństwa i skutków). Wynika to z warunków niepewności, w jakich podejmowane są decyzje w robotach w ciekach. Dlatego podjęto próbę zastosowania metod i narzędzi, stosowanych w procesach zarządzania w warunkach ryzyka oraz niepewności do oceny ryzyka ekologicznego na etapie planowania robót regulacyjnych w korytach rzek. W badaniach wyjaśniono wiele kluczowych kwestii, które w tym procesie muszą zostać uwzględnione. Pozwoliło to na opracowanie podstaw metodologii szacowania zmian w środowisku, powstających na skutek robót konserwacyjnych i regulacyjnych, a także metodyki oceny ryzyka ekologicznego, związanego z tymi inwestycjami. Wyniki badań i analiz mogą stanowić podstawę do wprowadzenia zasad zarządzania ryzykiem środowiska przyrodniczego w przypadku ingerencji technicznych na ciekach. Mogą być przydatne zarówno instytucjom zarządzającym wodami, jak również przedsiębiorstwom prowadzącym działalność inwestycyjną i wykonawczą w branży wodnej.

Do najważniejszych osiągnięć przedstawionego cyklu publikacji, stanowiących oryginalny wkład w dyscyplinę naukową – ochrona i kształtowanie środowiska, należą:

- Ujęcie problemu ochrony środowiska w regulowanych ciekach jako procesu, którym zarządzanie polega na podejmowaniu decyzji w warunkach ryzyka i niepewności.
- Wykazanie, że zarządzanie ryzykiem obejmujące identyfikację zagrożeń, ocenę prawdopodobieństwa wystąpienia tych zagrożeń oraz wielkości strat może być zastosowane w sferze ekologicznej.
- Wykazanie, że w przypadku działań technicznych związanych z regulacją rzek, zarządzanie ryzykiem zmian ekologicznych w korycie ciek jest procesem, który podlega ciągłym zmianom. W związku z tym nie jest możliwe opracowanie uniwersalnego schematu, który mógłby być wykorzystany do podejmowania każdej decyzji związanej z zakresem planowanych działań.
- Opracowanie skali dla szacowania czynników ryzyka zmian w zbiorowiskach roślin wodnych w wyniku robót regulacyjnych. Skale te mogą być wykorzystane do oceny ryzyka w podobnych ciekach lub stanowić podstawę do opracowania skali dostosowanych do warunków panujących w innych ciekach.

- Opracowanie wzorcowych macierzy ryzyka ekologicznego, wraz z wartościami granicznymi dla trzech poziomów ryzyka (niskie, umiarkowane, duże) w dwóch wariantach – optymistycznym i pesymistycznym.
- Opracowanie rejestru ryzyka zmian w zbiorowiskach roślin wodnych, uwzględniającego najczęściej stosowane w robotach regulacyjnych rozwiązania techniczne.
- Opracowanie i weryfikacja wieloczynnikowego modelu ryzyka, który może być wykorzystany do oceny zmian w zbiorowiskach roślin wodnych w małych i średnich rzekach nizinnych na Dolnym Śląsku.
- Zaadaptowanie metody analizy wielokryterialnej AHP oraz reguł z zakresu teorii gier z naturą, dla potrzeb procesu zarządzania ryzykiem ekologicznym w robotach konserwacyjnych i regulacyjnych w rzekach.
- Wskazanie modeli regulacji rzeki, spełniających wymagania techniczne regulacji oraz zapewniającego bezpieczeństwo ekologiczne.
- Wskazanie dwóch wskaźników biologicznych – wskaźnika różnorodności Shannona-Wienera oraz wskaźnika równocенności Pielou, jako odpowiednich w ocenie podatności zbiorowisk roślin wodnych na skutki robót regulacyjnych.

Literatura:

- Biggs B.J.F. 1996: Hydraulic habitat of plants in streams. *Regulated Rivers: Research and Management* 12: 131-144.
- Błachuta J., Rosa J., Wiśniewolski W., Zgrabczyński J., Bartel R., Białokoz W., Borzęcka I., Chybowski Ł., Depowski R., Dębowski P., Domagała J., Drożdżyński K., Hausa P., Kukuła K., Kubacka D., Kulesza K., Ligieza J., Ludwiczak M., Pawłowski M., Picińska-Fałtynowicz J., Lisiński K., Witkowski A., Zgrabczyński D., Zgrabczyńska M. 2010: Ocena potrzeb i priorytetów udroźnienia ciągłości morfologicznej rzek w kontekście osiągnięcia dobrego stanu i potencjału części wód w Polsce. KZGW. Warszawa. S. 56.
- Bogardi I., Szidarovsky F. 1976: Application of game theory in water management. *Applied Mathematical Modelling* 1: 16–20.
- Bondar-Nowakowska E., 2008: Systemowe ujęcie ochrony środowiska w konserwowanych ciekach wodnych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 528: 23-31.
- Borg D., Argent R. 2008: Phase 1 - Investigation and Development of an Ecological Response Framework and Preliminary Ecological Response Models for the Lower Snowy River. Centre for Environmental Applied Hydrology, The University of Melbourne, Melbourne, Australia.

- Bunn S.E., Arthington A.H. 2002: Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management* 30: 492–507.
- Bykowski J., Przybyła C., Rutkowski J. 2011: Stan urządzeń melioracyjnych oraz potrzeby ich konserwacji warunkiem optymalizacji gospodarowania wodą w rolnictwie na przykładzie Wielkopolski. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 56(3): 45–51.
- Bykowski J., Przybyła C., Napierała M., Mroziak K., Pęciak A. 2014: Ocena stanu technicznego infrastruktury wodno-melioracyjnej na polderze Zagórów. *Inżynieria Ekologiczna* 39: 42–50.
- Caffrey J.M., Monahan C., Tierney D. 2006: Factors influencing the distribution of aquatic plant communities in Irish canals. *Hydrobiologia* 570: 133–139.
- Collier K.J. 2002: Effects of flow regulation and sediment flushing on instream habitat and benthic invertebrates in a New Zealand River influenced by a volcanic eruption. *River Research and Application* 18: 213–226.
- Cortes R.M.V., Varandas S., Hughes S.J., Ferreira M.T. 2008: Combining habitat and biological characterization: Ecological validation of the river habitat survey. *Limnetica* 27(1): 39–56.
- Cyr H., Storisteanu D.M.L., Ridgway M.S. 2012: Sediment accumulation predicts the distribution of a unionid mussel (*Elliptio complanata*) in nearshore areas of a Canadian Shield lake. *Freshwater Biology* 57: 2125–2140.
- Demars B.O.L., Harper D.M. 1998: The aquatic macrophytes of an English lowland river system: assessing response to nutrient enrichment. *Hydrobiologia* 384: 75–88.
- Demars B.O.L., Potts J.M., Tremolières M., Thiébaud G., Gougelin N., Nordmann V. 2012: River macrophyte indices: not the Holy Grail! *Freshwater Biology* 57: 1745–1759.
- Duszyński R. 2007: Ekologiczne techniki ochrony brzegów i rewitalizacji rzek. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 6: 341–351.
- Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, Dz.Urz. WE 327 z 22.12.2000.
- Feld C.L., De Bello F., Dolédec S. 2014: Biodiversity of traits and species both show weak responses to hydromorphological alteration in lowland river macroinvertebrates. *Freshwater Biology* 59: 233–248.
- Ganjali N., Guney C. 2017: GIS and game theory for water resource management. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 4/W4: 215–220.
- Glendining N.S., Pollino C.A. 2012: Development of Bayesian Network Decision Support Tools to Support River Rehabilitation Works in the Lower Snowy River. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 18: 92–114.

- Grantham T.E., Merenlender A.M., Resh V.H. 2010: Climatic influences and anthropogenic stressors: an integrated framework for streamflow management in Mediterranean-climate California, U.S.A. *Freshwater Biology* 55 (Suppl. 1):188–204.
- Greathouse E.A., Pringle C.M., McDowell W.H., Holmquist J.G. 2006: Indirect upstream effects of dams: consequences of migratory consumer extirpation in Puerto Rico. *Ecological Applications* 16: 339–352.
- Grinberga L. 2010: Environmental factors influencing the species diversity of macrophytes in middle-sized streams in Latvia. *Hydrobiologia* 656: 233–241.
- Harrison S.S.C., Pretty J.L., Shepherd D., Hildrew A.G., Smith C., Hey R.D. 2013: The effect of instream rehabilitation structures on macroinvertebrates in lowland rivers. *Journal of Applied Ecology* 41(6): 1140–1154.
- Hart D.D., Calhoun A.J.K. 2010: Rethinking the role of ecological research in the sustainable management of freshwater ecosystems. *Freshwater Biology* 55 (Suppl. 1): 258–269.
- Herb W.R., Stefan H.G. 2003: Integral growth of submersed macrophytes in varying light regimes. *Ecological Modelling* 168: 77–100.
- Hill W.R., Mulholland P.J., Marzolf E.R. 2001: Stream ecosystem responses to forest leaf emergence in spring. *Ecology* 82: 2306–2319.
- Hurwicz L. 1951: Some specification problems and applications to econometric models. *Econometrica* 19: 343–344.
- Jeżowski W. (red.), 2009: Metody szacowania korzyści i strat w dziedzinie ochrony środowiska i zdrowia. Wydawnictwo Oficyna Wydawnicza SGH. Warszawa.
- Jusik S., Szoszkiewicz K. 2009: Różnorodność biologiczna roślin wodnych w warunkach zróżnicowanych przekształceń morfologicznych rzek nizinnych Polski Zachodniej. *Nauka Przyroda Technologie* 3,3, #84.
- Kohler A. 1978: Methods of mapping the flora and vegetation of freshwater habitats. *Landschaft und Stadt* 10:73–85.
- Liberacki D., Olejniczak M. 2013. Ocena potrzeb renowacji i modernizacji urządzeń wodno-melioracyjnych zlokalizowanych na wybranych ciekach w Puszczy Zielonka. *Annual Set The Environment Protection* 15: 930–943.
- Lorenz A.W., Korte T., Sundermann A., Januschke K., Haase P. 2012: Macrophytes respond to reach-scale river restorations. *Journal of Applied Ecology* 49: 202–212.
- Lytle D.A., Poff N.L. 2004: Adaptation to natural flow regimes. *Trends in Ecology & Evolution* 19(2): 94–100.
- Madani K. 2010: Game theory and water resources. *Journal of Hydrology* 381: 225–238.
- Magilligan F.J., Nislow K.H. 2005: Changes in hydrologic regime by dams. *Geomorphology* 71: 61–78.

- Michałowski. A., 2007: Informacja w ekosystemach. Agencja Wydawniczo-Edytorska EkoPress, Białystok, S. 144.
- Middelboe A.L., Markager S. 1997: Depth limits and minimum light requirements of freshwater macrophytes. *Freshwater Biology* 37: 553–568.
- Milner V.S., Gilvear D.J. 2012: Characterization of hydraulic habitat and retention across different channel types; introducing a new field-based technique. *Hydrobiologia* 694: 219–233.
- Pływaczyk L. 1997: Oddziaływanie spiętrzenia rzeki na dolinę na przykładzie Brzegu Dolnego. Wydawnictwo AR Wrocław, S. 47.
- Pływaczyk L., Olszewska B. 1998: Woda jako czynnik różnicujący walory przyrodnicze na przykładzie stopnia wodnego w Brzegu Dolnym. *Przegląd Naukowy SGGW* 16: 177-185.
- Poff N.L., Zimmerman J.K. 2010: Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology* 55: 194–205.
- Popek Z., Falkowski T., Ostrowski P. 2009: Analiza potrzeb i możliwości przebudowy koryta Wisły w Warszawie. *Nauka Przyroda Technologie*, 3, 3 #97.
- Pritchard C.L. 2002: Zarządzanie ryzykiem w projektach. Teoria i praktyka. WIG-PRESS. Warszawa, S. 346.
- Prus P., Popek Z., Pawlaczyk P. 2018: Dobre praktyki utrzymania rzek. WWF Polska. Warszawa, S. 118.
- Rapport D.J., Regier H.A., and Hutchinson T.C. 1985: Ecosystem behavior under stress. *American Naturalist* 125: 617–40.
- Rędziaś Z. 2013: Niepewność w podejmowaniu decyzji. *Zeszyty Naukowe AON* 2(91): 102-130.
- Saaty T.L. 1990: How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research* 48: 9–26.
- Sand-Jensen K. 1997: Macrophyte as biological engineers in the ecology of Danish streams. *Freshwater Biology. Priorities and Development in Danish Research. The Freshwater Biological Laboratory, University of Copenhagen and G.E.C. Gad Publishers Ltd., Copenhagen: 74-101.*
- Sand-Jensen K. 1998: Influence of submerged macrophytes on sediment composition and near-bed flow in lowland streams. *Freshwater Biology* 39/4: 663-679.
- Schaumburg J., Schranz C., Stelzer D., Hofmann G., Gutowski A., Foerster J. 2006: Instruction Protocol for the ecological Assessment of Running Waters for Implementation of the EC Water Framework Directive: Macrophytes and Phytobenthos. Bavarian Environment Agency, München.
- Szoszkiewicz K., Zbierska J., Jusik S., Zgoła T. 2010: Macrophyte Method for River Assessment. A methodological manual for the assessment and classification of ecological status of running waters, based on the aquatic plants. Bogucki Scientific Publishing, Poznań.

- Tymiński T. 2008. Charakterystyczne parametry do opisu gęstości roślin w korytach rzecznych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 7:153–165.
- USEPA (US Environmental Protection Agency) 1998: Guidelines for Ecological Risk Assessment. EPA-630-R-98-002F. Risk Assessment Forum, Washington, DC, USA.
- Ustawa z dn. 20 lipca 2017 r. Prawo wodne. Dz. U. 2017, poz. 1566.
- Wald A. 1950: *Statistical Decision Functions*; Wiley: New York, NY, USA.
- Wiatkowski M., Rosik-Dulewska C. 2015: Water management problems at the Bukówka Drinking water reservoir's cross-border basin area in terms of its established functions. *Journal of Ecological Engineering* 16/2: 52–60.
- Wierzbicki J. 2003: *Przyrodnicze, gospodarcze i hydrotechniczne przesłanki regulacji rzek – zasady regulacji rzek Nizy Polskiego wg Szkoły Warszawskiej*. Oficyna Wydawnicza „Sadyba”. Warszawa, S. 90.
- Wołoszyn J., Czamara W., Eliasiewicz R., Krężel J. 1994: *Regulacja rzek i potoków*. Wydawnictwo AR we Wrocławiu, Wrocław.
- Vereecken H., Baetens J., Viaene P., Mostaert F., Meire P. 2006: Ecological management of aquatic plants: effects in lowland streams. *Hydrobiologia* 570: 205-210.
- Yang P., Mao X., Li X., Gao X. 2011: Ecological Risk Assessment of the Shenzhen River-Bay Watershed, *Human and Ecological Risk Assessment*, 17:3: 580-597.
- Zacher L. 1991: *Bezpieczeństwo ekologiczne – wymiary polityczne, międzynarodowe i globalne*. [w:] *Międzynarodowe bezpieczeństwo ekologiczne*, Lublin.
- Żelazo J., Poppek Z. 2002: *Podstawy renaturyzacji rzek*. Wydawnictwo SGGW. Warszawa.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Przed uzyskaniem stopnia doktora zajmowałam się następującymi zagadnieniami naukowymi:

- A. Oddziaływanie robót regulacyjnych i konserwacyjnych na skład jakościowy i ilościowy zbiorowisk naczyniowych roślin wodnych;
- B. Ocena stanu ekologicznego cieków na podstawie makrofitów wodnych zgodnie z wymogami Ramowej Dyrektywy Wodnej;
- C. Wpływ robót regulacyjnych na proces samooczyszczania się rzek;
- D. Aspekty przyrodnicze w ochronie przeciwpowodziowej.

Zagadnienia A i B były i są kontynuowane po uzyskaniu stopnia doktora. Dodatkowo zajęłam się następującymi problemami badawczymi:

- E. Bezpieczeństwo ekologiczne;

F. Ryzyko pogodowe w inwestycjach gospodarki wodnej.

A. Oddziaływanie robót regulacyjnych i konserwacyjnych na skład jakościowy i ilościowy zbiorowisk naczyniowych roślin wodnych

Problem ten był głównym tematem moich badań przed uzyskaniem stopnia doktora. Efektem tego etapu pracy naukowo-badawczej było uzyskanie w 2011 roku stopnia doktora nauk rolniczych w dyscyplinie kształtowanie środowiska. Ze względu na dużą złożoność problemu badawczego, obejmującego szereg zagadnień, badania te były kontynuowane również w dalszej pracy naukowej. Ich wyniki opublikowano w 12 pracach. Cykl ten obejmuje:

- 5 artykułów opublikowanych przed uzyskaniem stopnia doktora:
 - A.1. **Bondar-Nowakowska E., Klęka (obecnie Hachoł) J., Reinhard A. 2008:** *Hierarchia wybranych czynników oddziałujących na zbiorowiska roślinne w korycie ciek.* Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie 4: 169-171;
 - A.2. **Hachoł J., Bondar-Nowakowska E., Reinhard A. 2008:** *Oddziaływanie wybranych elementów fizycznych koryta ciek na zbiorowiska naczyniowych roślin wodnych.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 7: 255-266;
 - A.3. **Hachoł J., Bondar-Nowakowska E. 2009:** *Wpływ sposobu umocnienia skarp koryta ciek na zbiorowiska naczyniowych roślin wodnych.* Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk 56: 121-127;
 - A.4. **Köhler J., Hachoł J., Hilt S. 2010:** *Regulation of submersed macrophyte biomass in a temperate lowland river: Interactions between shading by bank vegetation, epiphyton and water turbidity.* Aquatic Botany 92/2: 129-136;
 - A.5. **Hachoł J., Bondar-Nowakowska E. 2010:** *Oddziaływanie robót konserwacyjnych i regulacyjnych na zbiorowiska naczyniowych roślin wodnych na przykładzie rzek Dobrej, Żaliny i Żurawki.* Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 548: 157-165;
- 7 artykułów opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora:
 - A.6. **Bondar-Nowakowska E., Hachoł J. 2010:** *Zmiany w składzie gatunkowym naczyniowych roślin wodnych po konserwacji cieków.* Woda – Środowisko – Obszary wiejskie T.10, Z.3 (31): 41-48;
 - A.7. **Hachoł J., Bondar-Nowakowska E. 2012:** *Tendencies in the development of hydromacrophytes after the completion of regulatory and maintenance works in a river bed.* Ecological Chemistry and Engineering A, vol 19: 997-1013;
 - A.8. **Bondar-Nowakowska E., Hachoł J. 2013:** *Tendencje zmian w zbiorowiskach roślin wodnych w ciekach o różnym sposobie umocnienia skarp.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 3/I: 205-215;
 - A.9. **Bondar-Nowakowska E., Hachoł J., Lubczyński A. 2013:** *Wpływ przekształceń koryta na makrofity wodne na przykładzie rzeki Smortawy.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 3/IV: 229-242;
 - A.10. **Hachoł J., Bondar-Nowakowska E. 2014:** *Wpływ sposobu zagospodarowania strefy przybrzeżnej cieków na naczyniowe rośliny wodne.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich II/3: 719-730;
 - A.11. **Hachoł J., Bondar-Nowakowska E. 2015:** *Hierarchia oddziaływania wybranych elementów systemu koryta ciek na rośliny wodne.* Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus 14 (3): 55–64;

- A.12. **Bondar-Nowakowska E., Hachoł J. 2016:** *An effect of regulatory works range on ecological changes in watercourse bed.* Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich IV/1: 1129–1142.

W Polsce nie ma strategii zarządzania roślinami w wodach płynących w odniesieniu do ich wpływu na przepustowość koryta i na stan ekologiczny cieku. Najczęściej są one usuwane z dna i skarp w wyniku prac regulacyjnych lub konserwacyjnych. Rośliny te najczęściej bardzo szybko odrastają, powodując potrzebę kolejnych ingerencji technicznych w koryto cieku. Odpowiednio wykonane roboty regulacyjne i konserwacyjne, uwzględniające wymagania roślin, pozwalają zachować funkcje cieków, nie powodując przy tym nieodwracalnych strat w ich ekosystemie. Dlatego konieczne jest znalezienie kompromisu w zakresie regulacji i konserwacji cieków pomiędzy wymaganiami technicznymi a ochroną przyrody. W tym celu rozpoczęłam badania wpływu ingerencji technicznych w korycie na skład jakościowy i ilościowy zbiorowisk roślinnych. Ich przedmiotem początkowo był charakter i rozmiar zmian w zbiorowiskach. Następnie badania rozszerzyłam o analizę czasu trwania tych zmian. W efekcie:

- wyodrębniono z systemu koryta cieku elementy, podlegające zmianom w wyniku robót regulacyjnych i konserwacyjnych (**A.1, A.2 i A.11**),
- określono oddziaływanie tych elementów na rośliny wodne wyrażone przez trzy wskaźniki – liczbę gatunków, stopień pokrycia dna przez rośliny, wskaźnik różnorodności gatunkowej Shannona-Wienera (**A.1-A.4, A.10 i A.11**),
- przedstawiono hierarchię oddziaływania poszczególnych elementów rozpatrywanego systemu na rośliny wodne, w ciekach objętych i nieobjętych ingerencją techniczną (**A.1 i A.11**),
- dokonano analizy tendencji w rozwoju zbiorowisk naczyniowych roślin wodnych w ciekach po wykonaniu robót regulacyjnych i konserwacyjnych oraz oceny tempa i kierunków zmian ilościowych i jakościowych tych zbiorowisk (**A.5-A.9 i A.12**).

B. Ocena stanu ekologicznego cieków na podstawie makrofitów wodnych zgodnie z wymogami Ramowej Dyrektywy Wodnej

Cykl publikacji obejmuje trzy prace:

- B.1. **Kłęka (obecnie Hachoł) J. 2007:** *Przegląd metod oceny stanu ekologicznego wód płynących.* Publikacje III Międzynarodowej Konferencji Meliorantów i Inżynierów Środowiska Akademii Rolniczej we Wrocławiu: 123-130
- B.2. **Bondar-Nowakowska E., Hachoł J. 2010:** *Wpływ czynników technicznych na stan ekologiczny małych i średnich cieków nizinnych.* Infrastruktura i Ekologia Terenów

Wiejskich 13: 157-166;

- B.3. **Hachol J., Bondar-Nowakowska E. 2012:** *An assessment of the ecological status of diverse watercourses of Lower Silesia (Poland)*. Polish Journal of Environmental Studies 21, 1: 75-81.

W publikacji **B.1** dokonano przeglądu i porównania europejskich metod oceny stanu ekologicznego wód płynących na podstawie jednego z biologicznych komponentów składających się na ten stan – makrofitów wodnych. W pozostałych publikacjach (**B.2** i **B.3**) przedstawiono wyniki oceny stanu ekologicznego małych i średnich nizinnych cieków Dolnego Śląska, a także dokonano oceny wpływu fizycznych elementów koryt na ten stan (**B.2**). Ponieważ na etapie rozpoczynania badań terenowych nie było jeszcze polskiej metodyki oceny stanu ekologicznego (Makrofitowa Metoda Oceny Rzek - Szoszkiewicz i in. 2010), do oceny wykorzystano niemiecki system PHYLIB, w którym wskaźnikiem stanu ekologicznego jest indeks RI (Reference Index) (Schaumburg i in. 2006).

Stan ekologiczny większości odcinków badawczych określono jako słaby (klasa 4) lub umiarkowany (klasa 3). Z badań wynika, że rodzaj przekształcenia koryta cieku miał niewielki wpływ na stan ekologiczny cieków, określony na podstawie makrofitów (**B.2** i **B.3**). Analiza korelacji klasy stanu ekologicznego z parametrami technicznymi nie pozwoliła na jednoznaczne określenie ich wpływu na stan ekologiczny (**B.2**). Jest to związane z faktem, że oddziaływanie robót prowadzonych w korycie na makrofity wodne ma charakter dynamiczny. Zaobserwowano natomiast wpływ czasu, jaki minął od ingerencji technicznej w korycie, na klasę stanu ekologicznego (**B.3**).

C. Wpływ robót regulacyjnych na proces samooczyszczania się rzek

Zagadnieniem tym zajmowałam się przed uzyskaniem stopnia doktora. Cykl publikacji obejmuje trzy prace:

- C.1. **Kłęka (obecnie Hachol) J., Krzemińska A. 2006:** *Przybliżona ocena samooczyszczania się rzeki Smortawy dla wskaźników tlenowych*. Publikacje II Międzynarodowej Konferencji Meliorantów i Inżynierów Środowiska Akademii Rolniczej we Wrocławiu: 15-24
- C.2. **Kłęka (obecnie Hachol) J., Krzemińska A., Drabiński A. 2008:** *Zmiany wynoszonych ładunków związków biogenych na odcinku nieuregulowanym i uregulowanym w rzece nizinnej*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 526: 205-213;
- C.3. **Hachol J., Krzemińska A. 2008:** *Wpływ regulacji rzeki Smortawy na przebieg procesów samooczyszczania na przykładzie wskaźników tlenowych*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 9: 207-216.

W pracach **C.1** i **C.3** przeprowadzono ocenę procesów samooczyszczania rzeki Smortawy na odcinkach przekształconych i nieprzekształconych w oparciu o wskaźniki tlenowe BZT₅ i ChZT. Wykazano, że na odcinku uregulowanym procesy mineralizacji

substancji organicznej zachodziły w mniejszym stopniu niż na odcinku nieprzekształconym lub nie zachodziły wcale. Można to wiązać ze zubożeniem zbiorowisk roślin oraz brakiem meandrowania rzeki na odcinku przekształconym. W publikacji **C.2** przedstawiono ocenę wpływu regulacji koryta i budowli piętrzących na kształtowanie się ładunków związków biogenych (amoniak, azotany i azotyny, fosforany) w wodach rzeki Smortawy. Przeprowadzone badania i analizy potwierdziły hipotezę, że ze zlewni zagospodarowanej przez człowieka i użytkowanej w większości rolniczo dostaje się do wód powierzchniowych więcej ładunków zanieczyszczeń niż z obszarów nieprzekształconych, w których istnieją naturalne bariery, chroniące rzekę przed dopływającymi ładunkami zanieczyszczeń.

D. Aspekty przyrodnicze w ochronie przeciwpowodziowej

Kolejna grupa tematyczna publikacji dotyczy ochrony przeciwpowodziowej i obejmuje dwie prace, opublikowane przed uzyskaniem stopnia doktora:

- D.1. **Bondar-Nowakowska E., Hachoł J. 2008:** *Oddziaływanie powodzi, robót regulacyjnych i konserwacyjnych na zbiorowiska naczyniowych roślin wodnych.* [W:] *Zarządzanie kryzysowe – ochrona przed powodzią (rozwiązania praktyczne).* Praca zbiorowa pod redakcją M. Wiatkowskiego, A. Czamary, R. Kosierba, Opole 2008: 165-178;
- D.2. **Hachoł J., Bondar-Nowakowska E. 2010:** *Aspekty przyrodnicze w ochronie przeciwpowodziowej na terenach wiejskich na przykładzie cieków Dobra i Ślęza.* [W:] *Zarządzanie kryzysowe – ograniczanie skutków zjawisk ekstremalnych.* Praca zbiorowa pod redakcją M. Wiatkowskiego i W. Czamary, Opole 2010: 147-154.

Powódź jest zjawiskiem przyrodniczym gwałtownym, nieregularnie występującym. Obok ogromnych strat materialnych powoduje także znaczne straty w środowisku przyrodniczym. W pierwszej publikacji (**D.1**) podjęto próbę oceny wpływu powodzi na zbiorowiska roślin wodnych. Z uwagi na brak możliwości wykonania bezpośrednich badań terenowych w tym zakresie, przeprowadzono analizę, w której skutki powodzi porównano ze skutkami ingerencji technicznych w koryto ciek, takich jak roboty konserwacyjne i regulacyjne. Analizę tę oparto na wynikach bezpośrednich badań terenowych, a częściowo posłużono się opinią ekspertów. Opinie specjalistów z zakresu hydrologii i ochrony środowiska przyrodniczego wskazały, że po powodzi zmiany liczby gatunków oraz zagęszczenia naczyniowych roślin wodnych są mniejsze niż po wykonaniu robót regulacyjnych, ale większe w porównaniu ze skutkami robót konserwacyjnych. Wskazuje to na celowość wykonywania robót konserwacyjnych, których celem jest doprowadzenie do prawidłowego odpływu wody.

W kolejnej publikacji (**D.2**) podjęto próbę oceny wpływu technicznej regulacji koryt rzecznych, wykonanej w celu ochrony przed powodzią obszarów wiejskich, na naczyniowe

rośliny wodne. Głównym celem pracy było określenie wpływu zastosowanych sposobów ubezpieczenia brzegów na te rośliny. Stwierdzono, że regulacja cieków, polegająca na pionowym ukształtowaniu brzegów koryta oraz ich umocnieniu za pomocą koszy siatkowo kamiennych i murków betonowo-kamiennych przyczynia się do wyraźnego zubożenia składu gatunkowego naczyniowych roślin wodnych. Zjawisko to jest korzystne z punktu widzenia technicznego i ekonomicznego, gdyż brak roślinności zwiększa przepustowość koryta i ogranicza potrzebę prowadzenia robót konserwacyjnych. Jest jednak niekorzystne z punktu widzenia ekologicznego, gdyż powoduje zmniejszenie bioróżnorodności środowiska wodnego, pogorszenie warunków siedliskowych dla innych organizmów wodnych, a także obniżenie zdolności cieku do samooczyszczania.

E. Bezpieczeństwo ekologiczne w gospodarce wodnej

Na podstawie wyników badań i analiz zaprezentowanych w pracy doktorskiej stwierdzono, że *„należy kontynuować badania dotyczące wpływu prac regulacyjnych i konserwacyjnych na rośliny wodne koryt cieków, gdyż dalsze rozpoznanie tego problemu umożliwi stosowanie optymalnych rozwiązań technologiczno-organizacyjnych. Pozwoli to na przestrzeganie zasady zrównoważonego rozwoju w inżynierii wodno-melioracyjnej”*. Wniosek ten dał początek nowemu kierunkowi działań w mojej pracy naukowo-badawczej, którego celem było poszukiwanie kompromisu między technicznymi wymaganiami regulacji rzek, a potrzebami środowiska. Dziedzina, która zajmuje się zabezpieczeniem środowiska przyrodniczego i podstawowych interesów obywateli przed wewnętrznymi i zewnętrznymi oddziaływaniami, niekorzystnymi procesami i trendami rozwoju, które zagrażają zdrowiu ludzkiemu, bioróżnorodności i zrównoważonemu funkcjonowaniu ekosystemów to bezpieczeństwo ekologiczne.

Ponieważ bezpieczeństwo ekologiczne jest bardzo szerokim zagadnieniem, do tego słabo rozpoznanym, aby je dobrze zrozumieć i dać podstawy do zarządzania nim, konieczne było przeprowadzenie wieloaspektowych analiz i rozważań. Opracowanie metod i narzędzi wykorzystywanych w zarządzaniu bezpieczeństwem i ryzykiem ekologicznym były celem cyklu publikacji, stanowiących osiągnięcie naukowe, przedstawionego w rozdziale 4 niniejszego *Autoreferatu*. Pozostałe zagadnienia dotyczące bezpieczeństwa ekologicznego w gospodarce wodnej opublikowano w wymienionych niżej pracach. Stanowią one uzupełnienie osiągnięcia naukowego:

- E.1. **Bondar-Nowakowska E., Hachoł J. 2011:** *Zmiany w zbiorowiskach naczyniowych roślin wodnych jako czynnik ryzyka ekologicznego w regulowanych i konserwowanych ciekach.*

- Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 1: 263-273;
- E.2. **Bondar-Nowakowska E., Hachoł J. 2012:** *Proces technicznego utrzymywania koryt cieków nizinnych a bezpieczeństwo środowiska przyrodniczego.* [W:] *Bezpieczeństwo systemu. Techniczne, organizacyjne i ludzkie determinanty bezpieczeństwa pracy.* Monografia pod red. nauk. Szymona Salamona. Częstochowa 2012: 307-317;
- E.3. **Hachoł J., Bondar-Nowakowska E. 2012:** *Ecological risk classification in the regulated and conserved watercourses.* Proceedings of Ecopole 6(2): 517-522;
- E.4. **Bondar-Nowakowska E., Hachoł J. 2013:** *Ryzyko zagrożeń w środowisku przyrodniczym.* s. 247-257 [W:] Konieczny J. (red.) *Bezpieczeństwo epidemiologiczne. Postępy metodologii badań.* Garmond Oficyna Wydawnicza, Poznań;
- E.5. **Hachoł J., Bondar-Nowakowska E. 2013:** *Wskaźniki biologiczne jako miary bezpieczeństwa ekologicznego w ciekach.* [W:] *Inżynieria bezpieczeństwa a zagrożenia cywilizacyjne. Wyzwania dla bezpieczeństwa.* Monografia pod red. nauk. Gil A., Nowacka U., Chmiel M, Wydawnictwo Centralnej Szkoły Państwowej Straży Pożarnej w Częstochowie, Częstochowa 2013: 189-202;
- E.6. **Bondar-Nowakowska E., Hachoł J. 2014:** *The risk as a measure of ecological safety in watercourses.* Journal of Water and Land Development 20: 3-10;
- E.7. **Bondar-Nowakowska E., Hachoł J. 2016:** *Klasyfikacja ryzyka ekologicznego w robotach regulacyjnych na ciekach.* [W:] *Zagadnienia inżynierii środowiska w budownictwie.* Praca zbiorowa pod red. Rak A., Boychuk V., Baran W., Wyd. Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa, Opole: 297-306, s. 317;
- E.8. **Hachoł J., Bondar-Nowakowska E. 2016:** *Wielokryterialna ocena skutków regulacji rzek.* [W:] *Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska.* Tom 8. Praca zbiorowa pod red. Kaźmierczak B., Kotowski A. i Piekarska K., Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław: 108-119;
- E.9. **Bondar-Nowakowska E., Hachoł J. 2016:** *Zarządzanie bezpieczeństwem ekologicznym w projektach inwestycyjnych z zakresu gospodarki wodnej.* [W:] *Bezpieczeństwo systemu: człowiek – obiekt techniczny – otoczenie.* Monografia pod red. nauk. Ulewicz R., Żywiołek J., Oficyna Wydawnicza Stowarzyszenia Menedżerów Jakości i produkcji, Częstochowa 2016: 171-182.

Na podstawie badań:

- zweryfikowano i uzupełniono metodykę oceny ryzyka ekologicznego w pracach konserwacyjnych i regulacyjnych, przedstawioną w cyklu publikacji, stanowiącym osiągnięcie naukowe (**E.1, E.3, E.6, E.7**);
- zdefiniowano pojęcie bezpieczeństwa ekologicznego w odniesieniu do działań technicznych w korytach rzek (**E.2**);
- zaproponowano model zarządzania ryzykiem ekologicznym, w którym określono etapy zarządzania i zakres działań na każdym z etapów (**E.4, E.9**);
- dokonano analizy możliwości wykorzystania do oceny zagrożenia w ciekach poddanych przekształceniom antropogenicznym wskaźników biologicznych stosowanych w ocenie stanu ekosystemów wodnych: liczby gatunków roślin wodnych, wskaźnika różnorodności gatunkowej Shannona-Wienera, wskaźnika równocенności Pielou, wskaźnika niedoboru gatunkowego oraz podobieństwa gatunkowego Jaccarda (**E.5**);

- wykazano przydatność metody analizy wielokryterialnej – Metody Unitaryzacji Zerowanej do oceny skutków regulacji rzek w aspekcie bezpieczeństwa ekologicznego (E.8).

F. Ryzyko pogodowe w inwestycjach gospodarki wodnej

Kolejna grupa tematyczna publikacji dotyczy ryzyka pogodowego i obejmuje dwie prace:

- F.1. **Bondar-Nowakowska E., Hachol J., Rybka I. 2012:** *Ryzyko pogodowe w wykonawstwie robót konserwacyjnych w ciekach*. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich 3/I: 37-46;
- F.2. **Bondar-Nowakowska E., Hachol J. 2018:** *Ryzyko pogodowe w gospodarce wodnej*. [W:] Postęp w inżynierii bezpieczeństwa II. Monografia pod red. nauk. Skibniewska K.A., Korzeniowski L.F., Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, Olsztyn 2018: 72-82.

Jednym z działań, mających na celu ograniczenie niekorzystnego oddziaływania robót konserwacyjnych na florę i faunę wodną, jest wykonywanie prac poza okresami ochronnymi organizmów występujących w strefie przybrzeżnej i korycie cieku. Okresy te przypadają na część roku, w której występują na ogół niekorzystne dla wykonawstwa robót warunki pogodowe. Spełnienie tego ekologicznego wymagania łączy się więc z dużym prawdopodobieństwem niedotrzymania zaplanowanego terminu ukończenia robót i przekroczenia budżetu projektu. Potencjalna strata finansowa, jaka może dotknąć przedsiębiorstwo wskutek niekorzystnych warunków pogodowych to ryzyko pogodowe. W pracach F.1 i F.2 dokonano oceny jego poziomu w robotach konserwacyjnych. W tym celu dla każdego etapu tych robót zidentyfikowano ograniczenia będące następstwem niekorzystnych warunków pogodowych. Dokonano również klasyfikacji częstości występowania niekorzystnych warunków pogodowych podczas realizacji robót konserwacyjnych w okresach ekologicznie uzasadnionych w skali trzystopniowej.

6. Syntetyczne podsumowanie dorobku naukowego habilitantki

Mój dotychczasowy dorobek naukowy obejmuje 43 opublikowane prace oraz 11 posterów. Przed uzyskaniem stopnia doktora opublikowałam 17 artykułów (2 w języku angielskim i 15 w języku polskim), po uzyskaniu stopnia doktora – 26 artykułów (13 w języku angielskim i 13 w języku polskim). Wśród 43 artykułów naukowych 5 opublikowano w czasopiśmie ze współczynnikiem wpływu *impact factor* i zarejestrowanych w bazie JCR (część A wykazu MNiSW), 24 w czasopiśmie z listy B wykazu MNiSW. 11

prac to rozdziały w monografiach w języku polskim, 2 w Publikacjach Międzynarodowej Konferencji Meliorantów i Inżynierów Środowiska Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Jestem również współautorką rozdziału w książce popularnonaukowej *Rivers of Europe*, wydanej przez wydawnictwo Elsevier.

Łączna liczba punktów MNiSW według roku publikacji wynosi **315**. Sumaryczny *impact factor* publikacji naukowych z listy Journal Citation Reports, zgodnie z rokiem opublikowania, to **IF = 7,145**. Zgodnie z Web of Science Core Collection na dzień 20.04.2019 r. mój indeks Hirscha wynosi 3, a suma cytowań – 56 (49 bez autocytowań). Zestawienie dorobku wraz z oceną punktową przedstawiono w tabelach 3 - 5.

Wyniki swoich badań zaprezentowałam na 32 krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych, z czego na dwóch konferencjach wygłosiłam referaty zamawiane. Wygłosiłam 2 referaty w Polskiej Akademii Nauk: podczas Posiedzenia Plenarnego Komitetu Melioracji i Inżynierii Środowiska Rolniczego PAN (2014 r.) oraz podczas Posiedzenia Komitetu Nauk Agronomicznych PAN (2018 r.). Udzieliłam również wywiadu dla TVP Wrocław, w którym wypowiedziałam się na temat zagrożeń związanych z zarastaniem koryt rzek przez rośliny wodne.

Wykonałam recenzje artykułów dla czasopism naukowych: *Ecological Engineering* (dwie recenzje), *Hydrobiologia* (dwie recenzje), *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*.

W roku 2006 odbyłam miesięczny staż naukowy w Universität in Oldenburg, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften, AG Gewässerökologie und Naturschutz. W latach 2006-2007 odbyłam 10-miesięczny staż w Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei w Berlinie. Podczas stażu brałam aktywny udział w dwóch projektach badawczych. Staż ten był nagrodą za zajęcie III miejsca w konkursie Fundacji im. Nowickiego oraz Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Niemiecka Fundacja Federalna Środowisko) na najlepszych absolwentów wyższych uczelni w Polsce w dziedzinie ochrony środowiska.

Tabela 3. Zestawienie dorobku naukowego habilitantki wraz z oceną punktową

Nazwa czasopisma	Liczba publikacji		Liczba punktów wg daty publikacji*	Suma punktów	IF
	przed doktoratem	po doktoracie			
Czasopisma naukowe posiadające współczynnik IF					
Aquatic Botany	1	–	27	27	1,697
Polish Journal of Environmental Studies	–	2	15	30	0,947 1,120
Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal	–	1	20	20	1,306
Sustainability	–	1	20	20	2,075
Suma	1	4	–	97	7,145
Czasopisma naukowe recenzowane nieposiadające współczynnika IF					
Zeszyty Problemowe PNR	2	–	4/6	10	–
Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie	1	–	4	4	–
Nauka Przyroda Technologie	1	–	4	4	–
Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie	1	–	6	6	–
Infrastruktura i ekologia Terenów Wiejskich	5	6	4/5/6/10	60	–
Ecological Chemistry and Engineering A	–	2	7	14	–
Proceedings of Ecopole	–	1	5	5	–
Journal of Water and Land Development	–	2	6/14	20	–
Journal of Ecological Engineering	–	2	12	24	–
Acta Scientiarum Polonorum – Formatio Circumiectus	–	1	10	10	–
Suma	10	14	–	157	–
Monografie naukowe**					
Rozdział w monografii naukowej	3	8	3/4	41	–
Inne publikacje					
Współautorstwo książki popularnonaukowej	1	–	20	20	–
Publikacje naukowe w materiałach konferencyjnych	2	–	0	0	–
Suma (wszystkie publikacje)	17	26	–	315	7,145

*Punktację za publikacje do roku 2010 przyjęto według listy MNiSW z dnia 25.06. 2010 r. (zgodnie z Uchwałą nr 30/833/2015 Rady Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu), natomiast dla prac opublikowanych w kolejnych latach – według listy właściwej i obowiązującej dla roku wydania publikacji.

** Zgodnie z Uchwałą nr 30/833/2015 Rady Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu z dnia 22.04.2015 r. w odniesieniu do monografii (rozdziałów w monografii) stosuje się zasady obowiązujące w przepisach dotyczących oceny parametrycznej jednostek naukowych; dla monografii wydanych przed rokiem 2009 przyjmuje się zasady jak w latach 2009–2012.

Tabela 4. Indeks Hirscha

Lp.	Źródło	H-indeks
1.	Web of Science – Core Collection	3
2.	Scopus	3

Tabela 5. Liczba cytowań

Lp.	Źródło	Liczba cytowań
1.	Web of Science – Core Collection	56
2.	Scopus	75

W trakcie swojej pracy uczestniczyłam w kursach i szkoleniach. Za najważniejsze, ze względu na moją działalność naukowo-badawczą, uważam udział w IV Naukowo-Szkoleniowym Kursie „Ocena hydromorfologiczna rzek na potrzeby Ramowej Dyrektywy Wodnej”, organizowanym przez Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu i Environment Agency in Bristol, po którym uzyskałam akredytację ‘*River Habitat Survey Competent Surveyor (Poland)*’ oraz udział w szkoleniu z zakresu oznaczania gatunków roślin wodnych oraz oceny stanu ekologicznego wód płynących zgodnie z wymogami Ramowej Dyrektywy Wodnej w ramach seminarium: „Bestimmung, Erfassung und Bewertung von Makrophyten im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie” w Bremie.

Podczas opracowywania rozprawy doktorskiej nawiązałam współpracę z Dolnośląskim Zarządem Melioracji i Urządzeń Wodnych. W 2017 roku brałam udział w ocenie rzeki górskiej w oparciu o Hydromorfologiczny Indeks Rzeczny (HIR) – pilotażowy projekt realizowany przez Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu. Współpracuję również ze Stowarzyszeniem Rozwoju Ekologicznego w Wałbrzychu. Od roku 2018 jestem ekspertem niekluczowym Banku Światowego ds. hydromorfologii w ramach Projektu Ochrony Przeciwpowodziowej w Dorzeczu Odry i Wisły (POPDOW), Zadanie 5.4. Nadzór projektowo-konstrukcyjny nad robotami. Zarządzanie projektem, pomoc techniczna i szkolenia oraz wsparcie techniczne dla projektu i wzmocnienie potencjału instytucjonalnego JRP dla RZGW we Wrocławiu.

W trakcie swojej pracy **dydaktycznej** prowadziłam zajęcia ze studentami siedmiu kierunków: Inżynieria Bezpieczeństwa, Inżynieria i Gospodarka Wodna, Inżynieria Środowiska, Gospodarka Przestrzenna, Architektura Krajobrazu, Budownictwo oraz Geodezja i Kartografia. Byłam promotorem 13 obronionych prac magisterskich

realizowanych na kierunkach Inżynieria Bezpieczeństwa, Inżynieria i Gospodarka Wodna, Inżynieria Środowiska, Ochrona Środowiska oraz 19 obronionych prac inżynierskich na kierunkach Inżynieria Bezpieczeństwa, Inżynieria i Gospodarka Wodna, Inżynieria Środowiska, Gospodarka Przestrzenna. Recenzowałam 4 prace magisterskie oraz 14 prac inżynierskich na kierunkach Inżynieria Bezpieczeństwa, Inżynieria i Gospodarka Wodna oraz Ochrona Środowiska.

Od początku pracy na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu aktywnie uczestniczę w pracach **organizacyjnych**. Od 2011 roku jako członek komisji uczestniczę w egzaminach inżynierskich, a od 2018 roku również w egzaminach magisterskich na kierunku Inżynieria Bezpieczeństwa. W latach 2013-2015 byłam członkiem Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej na kierunkach Inżynieria Bezpieczeństwa oraz Inżynieria i Gospodarka Wodna. W roku 2015 pełniłam rolę sekretarza Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej na kierunku Inżynieria i Gospodarka Wodna, jestem aktualnie opiekunem roku na tym kierunku.

W latach 2015-2016 pełniłam rolę sekretarza w Komisji Programowej dla kierunku Inżynieria i Gospodarka Wodna. Od roku 2016 należę do Komisji Programowej dla kierunku Inżynieria Bezpieczeństwa, w której również pełnię rolę sekretarza. Od 2016 roku pełnię rolę kuratora ds. ECTS na kierunku Inżynieria Bezpieczeństwa, od roku 2017 jestem także członkiem Komisji kierunkowej ds. zapewnienia jakości kształcenia na tym kierunku. Należałam również do zespołu opracowującego plan i program studiów II stopnia na kierunku Inżynieria Bezpieczeństwa (rok 2016). Za swoją działalność naukową oraz organizacyjną otrzymałam dwie nagrody Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Szczegółowe informacje na temat mojego dorobku naukowego oraz pozostałych osiągnięć w zakresie działalności dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzującej naukę przedstawiłam w załączniku 4.

.....
Justyna Hachot
.....
Podpis wnioskodawcy