

dr inż. Paweł Piotr Zawadzki
Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Piątkowska 94 A, 60-649 Poznań
pzaw@up.poznan.pl

AUTOREFERAT

1. Imię i nazwisko	2
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe	2
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	2
4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14.03 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopnia i tytule z zakresie sztuki	2
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego	2
4.2. Autorzy, rok wydania, tytuł publikacji, wydawnictwo	2
4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	3
4.3.1. Wprowadzenie	3
4.3.2. Omówienie celu naukowego wykonanych prac	6
4.3.3. Omówienie osiągniętych wyników	8
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo- badawczych	13
5.1. Przed uzyskaniem doktoratu	13
5.2. Po uzyskaniu doktoratu	14
6. Podsumowanie osiągnięć i dorobku	15
6.1. Działalność naukowo-badawcza	15
6.2. Działalność dydaktyczna i popularyzatorska	16
6.3. Działalność organizacyjna	17

1. Imię i nazwisko

Paweł Piotr Zawadzki

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

- 1987 Magister inżynier melioracji wodnych
Akademia Rolnicza w Poznaniu, Wydział Melioracji Wodnych.
Praca magisterska pod tytułem: Wyznaczanie krzywej rozkładu porów otwartych w wybranych geotekstyliach. Promotor: dr inż. Jacek Młynarek
- 1998 Doktor nauk rolniczych w zakresie kształtowania środowiska
Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska.
Rozprawa doktorska pod tytułem: Lokalna erozja dna cieku w gruntach różnoziarnistych. Promotor: dr hab. inż. Ryszard Błażejowski, prof. nadz. recenzenci: prof. dr hab. Szczepan Ludwik Dąbkowski, dr hab. inż. Czesław Szafranski, prof. nadz.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 2015 - obecnie **Starszy specjalista** w Katedrze Inżynierii Wodnej i Sanitarnej
- 1998 – 2015 **Adiunkt** w Zakładzie Inżynierii Wodnej, Katedra Inżynierii Wodnej i Sanitarnej (poprzednio Katedrze Budownictwa Wodnego), Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu.
- 1989 – 1998 **Asystent** w Zakładzie Inżynierii Wodnej, Katedra Budownictwa Wodnego, Akademia Rolnicza w Poznaniu.
- 1988 – 1989 **Asystent stażysta** w Katedrze Budownictwa Wodnego, Akademia Rolnicza w Poznaniu.

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

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Odmulanie zbiorników retencyjnych i oddzielanie wybranych frakcji osadów w separatorze szczelinowym

4.2. Autor, rok wydania, tytuł publikacji, wydawnictwo

1. **Zawadzki P.** (2017): Odmulanie zbiorników retencyjnych i oddzielanie wybranych frakcji osadów w separatorze szczelinowym. Rozprawy naukowe 494. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Redaktor działu: prof. dr hab. Jolanta Komisarek, recenzent: prof. dr hab. inż. Artur Radecki-Pawlik (Zał. 5.)

25 pkt.

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

4.3.1. Wprowadzenie

Przegrodzenie rzeki i spiętrzenie wody płynącej, bez względu na założone cele, powoduje przerwanie ciągłości transportowanego rumowiska rzecznoego, co uruchamia dwa niekorzystne zjawiska: akumulację i erozję. Odkładanie się rumowiska w zbiorniku, jego stopniowe wypływanie się, powoduje utratę cech użytkowych oraz pogorszenie funkcjonalności. W przypadku zbiorników retencyjnych obserwuje się stopniową utratę pojemności, a niekiedy i pogorszenie się jakości wody. Zwiększona energia strumienia wody płynącej poniżej jazu przy równoczesnym zatrzymaniu rumowiska w zbiorniku, sprzyja podmywaniu brzegów i pogłębianiu koryta. Towarzyszy temu zniszczenie umocnień brzegów, obniżenie zwierciadła wody w rzece, jak i wód gruntowych w jej sąsiedztwie.

Zasadniczym czynnikiem ograniczającym prawidłową eksploatację zbiorników przepływowych jest zamulanie, powodujące redukcję ich pojemności. Na utratę pojemności w wyniku gromadzenia się osadów narażone są szczególnie niewielkie obiekty. Intensywność zamulania zbiorników wyrażona poprzez średnie roczne zmniejszenie się ich pojemności początkowej, wynosi dla zbiorników dużych około 0,25%, dla średnich około 0,5%, a dla małych nawet do 3% (MADEYSKI I IN. 2008)¹. MICHAŁEC (2012)² na podstawie badań uważa, że ograniczenie funkcji małych zbiorników wodnych następuje już przy redukcji pojemności od 40 do 60% i dlatego żywotność tych zbiorników powinna być określana dla zamulenia wynoszącego 50% pojemności pierwotnej.

WIŚNIEWSKI (1969)³ oszacował, że z uwagi na budowę geologiczną i transport rumowiska z polskich zbiorników najszybciej ulegną zamuleniowi zbiorniki na karpaccich dopływach Wisły (od 70 do 120 lat), natomiast zbiorniki w Sudetach wydają się być bardziej długowieczne (700-2000 lat). ŁAJCZAK (1996)⁴ ocenił żywotność głębokich zbiorników położonych w Karpatach na okres od 260 do 11 000 lat. Autor zauważa, że zbiorniki w środkowej i dolnej

¹ MADEYSKI M., MICHAŁEC B., TARNAWSKI M., 2008. Zamulanie małych zbiorników wodnych i jakość osadów dennych. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiejs.* Seria monografia.

² MICHAŁEC B., 2012. Określenie żywotności małych zbiorników wodnych. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiejs.* 4 (3), 119–129.

³ WIŚNIEWSKI B. 1969: Zamulanie zbiorników wodnych w Polsce oraz próba jego prognozy na podstawie intensywności denudacji. *Archiwum Hydrotechniki*, Tom XVI zeszyt 4, 481-504.

⁴ ŁAJCZAK A., 1996: Reservoir sedimentation problems in the Vistula River basin, Poland. *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives (Proceedings of the Exeter Symposium July 1996)*. IAHS Publ. no. 236, 501-511.

części dorzecza Wisły będą ulegały szybszemu zamulaniu, a czas ich eksploatacji będzie zależał od intensywności usuwania osadów.

W badaniach zakończonych w 2011 roku (projekt KLIMAT) KŁOZE I SIEIŃSKI (2012)⁵ ocenili, że istniejące w Polsce duże zbiorniki retencyjne (o pojemności nie mniejszej od 5 mln m³ i średnim wieku 55 lat) utraciły ponad 200 mln m³ swojej pierwotnej pojemności. Autorzy stwierdzili jednoznacznie, że w Polsce nie ma pełnej, wiarygodnej informacji o aktualnej pojemności zaporowych zbiorników retencyjnych. Takie stwierdzenie KŁOZE I SIEIŃSKI poparli analizą danych z 51 zbiorników, z których tylko na jednym kontrole zmulenia były wystarczające (pomiar średnio co 6 lat), a na 21 zbiornikach pomiarów batymetrycznych nigdy nie wykonywano. Na pozostałych obiektach kontrole były prowadzone dość systematycznie (co 5-10 lat) lub sporadycznie (przerwa między pomiarami od 23 do 45 lat, a nawet po 75 latach). Z tego też powodu, przygotowując informację o aktualnym stanie zamulenia poszczególnych zbiorników (jak również aktualnej pojemności), trzeba posłużyć się obliczeniami teoretycznymi i porównać je ze sporadycznie wykonanymi pomiarami batymetrycznymi na zbiornikach.

BROWN (1944)⁶ wyróżnił następujące sposoby usuwania osadów ze zbiorników zaporowych:

- kopanie, wydobywanie za pomocą koparek z odsłoniętego dna zbiornika;
- bagrowanie: mechaniczne pogłębianie za pomocą pogłębiarek chwytakowych lub wieloczerpakowych, zasysanie wody z osadami za pomocą pogłębiarek ssących (refulerów), zasysanie wody z osadami za pomocą syfonu przerzuconego przez zaporę (zwykle z pompą zalewającą syfon, umieszczoną na barce) lub rury podłączonej do upustu dennego;
- powolne spuszczenie wody ze zbiornika i płukanie naturalnym przepływem rzeki;
- kontrolowane spuszczenie wody ze zbiornika przez upusty denne;
- szybkie spuszczenie wody ze zbiornika przez duże denne upust płuczący lub podczas wezbrań;
- spuszczenie wody ze zbiornika wspomaganie hydraulicznym lub mechanicznym wzruszaniem osadów.

⁵ KŁOZE J., SIEIŃSKI E., 2012: Wprowadzenie. W: Zrównoważone gospodarowanie zasobami wodnymi oraz infrastrukturą hydrotechniczną w świetle prognozowanych zmian klimatycznych. Red. W. Majewski i T. Walczykiewicz., IMGW - Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, 163-188.

⁶ BROWN C.B., 1944. The control of reservoir silting. Miscellaneous publication No. 521. United States Department of Agriculture. U.S. Government Printing Office, Washington.

Podział taki utrzymuje się do lat współczesnych i z niewielkimi zmianami opisywany jest przez innych autorów, jednak każdy z wymienionych sposobów nie jest obojętny dla środowiska.

MORRIS I FAN (1997)⁷ zaproponowali, aby w celu ograniczenia objętości akumulowanego rumowiska oraz wyflukiwania nagromadzonych osadów, wykorzystać przewody ułożone na dnie lub pływające na powierzchni i przeprowadzone przez zapórę jako lewar lub syfon. Technika tak została z powodzeniem wdrożona i opisana przez LIU I IN. (2002)⁸ oraz CARONE I IN. (2006)⁹. Transportowany w ten sposób materiał może trafić bezpośrednio do rzeki lub na pola.

W związku z niedoborem rumowiska, w dolnym stanowisku jazu powstają warunki do wzmożonej erozji dna i brzegów. Zjawisko obserwowane początkowo bezpośrednio poniżej budowli w miarę upływu czasu eksploatacji stopnia wodnego rozwija się na odcinku rzeki długości od kilku do kilkudziesięciu kilometrów. BABIŃSKI (2007)¹⁰, który analizował zasięg i szybkość rozwoju erozji wglębnej wybranych rzek, określił, że przeciętne tempo przemieszczania się czoła fali erozyjnej wynosi ok. 6,2 km w ciągu roku, a pomijając wartości maksymalne w granicach 1–3 km rocznie. Bezpośrednim efektem erozji wglębnej cieku jest obniżenie dna koryta, co powodować może pogorszenie warunków żeglugi, zwiększenie spadów, obniżenie zwierciadła wód gruntowych. Po 30 latach funkcjonowania zapory we Włocławku koryto średniej wody obniżyło się prawie o 3,5 m na odcinku 33 km poniżej zbiornika, a na ok. 10 km dno koryta zostało oczyszczone z piaszczysto-żwirowych aluwii (BABIŃSKI 2007). Opisane zjawisko wpływa na stałe pogarszanie się stanu bezpieczeństwa stopnia Włocławek, którego urządzenia nie były projektowane z myślą o pracy w warunkach zwiększonego spadów (BABIŃSKI 2007)¹¹. Proces erozji koryta Warty poniżej zbiornika Jeziorsko rozpoczął się w momencie przegrodzenia rzeki zaporą ziemną w 1983 r. W czasie ponad 20-letnich obserwacji odnotowano m.in.: erozję liniową na długości 18,5 km, rozmycie lokalne o głębokości 7,70 m, obniżenie zwierciadła wody przy przepływach średnich o 1,95 m, czterokrotny wzrost średnicy najgrubszego (D_{95}) rumowiska dennego. PRZEDWOJSKI

⁷ MORRIS G.L., FAN J., 1997. Reservoir sedimentation handbook: design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use. McGraw-Hill New York.

⁸ LIU J., LIU B., ASHIDO K., 2002. Reservoir Sedimentation Management in Asia. German Coastal Engineering Research Council. International Conference on Hydro-Science and –Engineering. Warszawa. pp. 309-316.

⁹ CARONE M.T., GRECO M., MOLINO B., 2006. A sediment-filter ecosystem for reservoir rehabilitation. Ecol. Engineer. 26, 182–189.

¹⁰ BABIŃSKI Z., 2007. Erozja wglębna poniżej zbiorników wodnych na przykładzie wybranych zapór świata. Nauka Przyr. Technol. 1(2), 16–22.

¹¹ BABIŃSKI L., 2007. Wybrane problemy bezpieczeństwa stopnia wodnego Włocławek. Nauka Przyr. Technol. 1(2), 23–33.

I WIERZBICKI (2007)¹² oceniają, że średnie roczne obniżanie się poziomu dna i zwierciadła wody Warty poniżej zbiornika Jeziorsko wynosiło 9,3 cm.

Na stopieniu Iffezheim na Renie (PARZONKA I IN. 2010)¹³ podjęto próbę ograniczenia erozji i stworzenia warunków w których nastąpi brukowanie dna. W tym celu, materiałem mineralnym, wydobytym z górnej części zbiornika o kontrolowanym składzie granulometrycznym, zasypywano wyboje powstające w dolnym stanowisku budowli piętrzącej. W przypadku dużych zbiorników, częstym sposobem zapobiegania rozwojowi erozji lokalnej i liniowej jest budowa progów korekcyjnych, podpiętrzających wodę w dolnym stanowisku budowli lub rozważenie budowy kolejnego zbiornika (PRZEDWOJSKI I WIERZBICKI 2007). Działania te zazwyczaj są mało skuteczne, a efekty krótkotrwałe. Procesu erozji nie da się powstrzymać dopóki w dolnym stanowisku budowli piętrzącej brakuje rumowiska rzecznoego, a którego nadmiar akumuluje się w zbiorniku.

Koszty eksploatacyjne związane z usunięciem osadów zwykle są większe od nakładów inwestycyjnych na budowę nowego zbiornika, jednak możliwości lokalizacji i budowy w Polsce zbiorników o dużej pojemności są znacznie ograniczone i dlatego nie można dopuścić do degradacji istniejących zbiorników (SIEIŃSKI 2011)¹⁴. Stosowane dotychczas rozwiązania koncentrują się przede wszystkim na oddzielnym przeciwdziałaniu skutkom erozji lub usuwaniu osadów z czaszy zbiornika. Działania takie często związane są z zaangażowaniem poważnych środków technicznych i dużymi nakładami finansowymi, a ich efekt zazwyczaj poprawia warunki eksploatacji zbiornika tylko na krótki okres. Dlatego też zwrócono uwagę na metody, które pozwalają na równoczesne powstrzymanie lub złagodzenie negatywnych skutków tych zjawisk, a w szczególności możliwościom zapewnienia przepływu całości lub części rumowiska rzecznoego przez budowlę piętrzącą.

4.3.2. Omówienie celu naukowego prowadzonych prac

Poznanie i rozwiązanie problemów związanych z przerwaniem ciągłości transportu rumowiska rzecznoego w wyniku piętrzenia stanowi główny cel naukowy wykonanych przeze mnie prac. Jego osiągnięcie wymagało sformułowanie celów pomocniczych i realizacji badań na poszczególnych etapach:

¹² PRZEDWOJSKI B., WIERZBICKI M., 2007. Skutki działania progów stabilizujących w korycie Warty poniżej zbiornika Jeziorsko. *Nauka Przyr. Technol.* 1(2), 219–227.

¹³ PARZONKA W., KASPEREK R., GŁOWSKI R., 2010. Ocena degradacji koryta właściwego Odry środkowej i program działań naprawczych. *Infrastr. Ekol. Ter. Wiejs.* 8(1), 59–68.

¹⁴ SIEIŃSKI E., 2011. Projekt: KLIMAT „Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo” Zadanie 8: Przeciwdziałanie degradacji polskich zbiorników retencyjnych. Raport roczny syntetyczny. Warszawa.

- analiza i opis zjawiska rozmycia w dolnym stanowisku budowli piętrzących, rozwój tego procesu w czasie i jego wpływ na stan i eksploatację budowli hydrotechnicznej;
- analiza procesu akumulacji osadów w czaszy zbiornika, ocena wpływu podnoszącego się poziomu dna i wody na otoczenie górnej części zbiornik;
- opis metod odtwarzania i ochrony pojemności zbiorników wodnych, sposobów zagospodarowania wydobytych osadów i ich oddziaływanie na środowisko;
- opracowanie koncepcji instalacji ciągłego odmulania zbiorników z równoczesnym oddzieleniem wybranych frakcji osadu;
- utworzenie modelu matematycznego pozwalającego na symulację procesów transportu i separacji osadów, identyfikacja i weryfikacja modelu na podstawie wyników badań empirycznych.

Realizacja poszczególnych etapów badań pozwoliła na sformułowanie hipotezy roboczej, że jest możliwe oddzielenie grubszych frakcji mineralnych osadów (żwir, piasek gruby i średni) od zanieczyszczeń organicznych i drobniejszych frakcji mineralnych w postaci zawiesiny, przy wykorzystaniu separatora szczelinowego w warunkach ciągłej pracy instalacji do odmulania zbiornika. Gruby osad mineralny wraz z czystą wodą trafi bezpośrednio do cieku poniżej piętrzenia, co powinno pozwolić na zahamowanie lub ograniczenie erozji w dolnym stanowisku. Natomiast frakcje niepożądane (głównie organiczne) po odwodnieniu mogą zostać zagospodarowane, a odcieki z tych osadów nie będą w sposób istotny pogarszać jakości wód cieku lub wód gruntowych.

Obliczenia hydrauliczne, szczególnie prowadzone przy wykorzystaniu modeli matematycznych i programów komputerowych, pozwalają na przygotowanie wiarygodnej prognozy zmian w rzece. Prognoza taka pozwala na ocenę wywołanych zmian, w wypadku ich niepożądanego wpływu, umożliwia zaplanowanie działań, które mogą przeciwdziałać negatywnym skutkom.

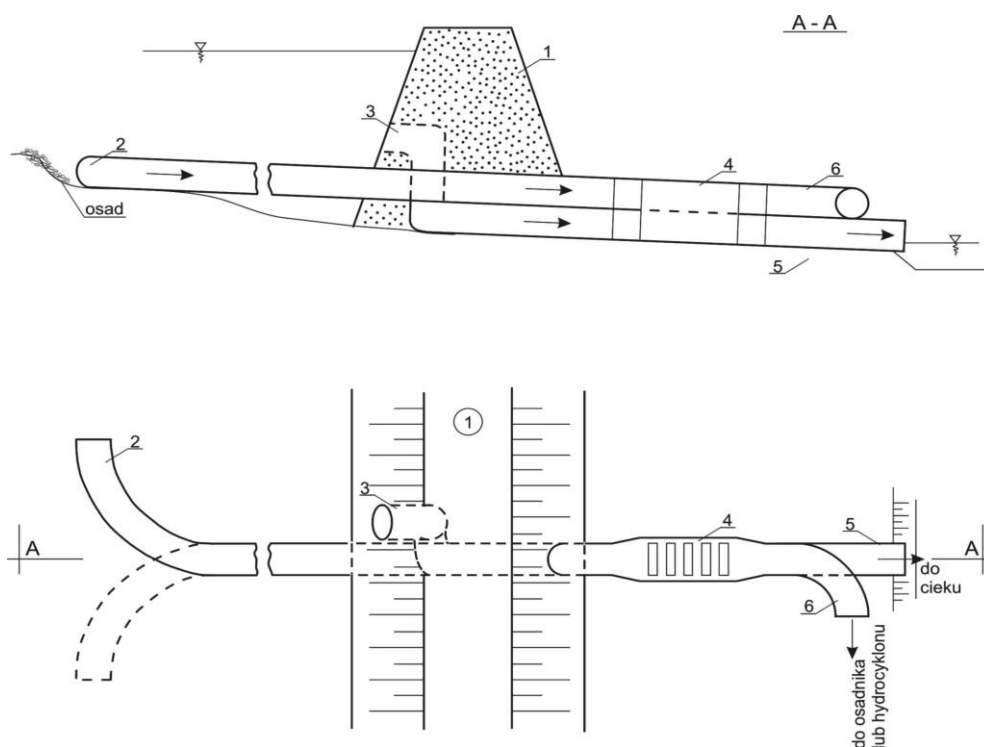
Mój autorski wkład w rozwój dyscypliny naukowej kształtowanie i ochrona środowiska polega na opracowaniu koncepcji instalacji ciągłego odmulania z separatorem szczelinowym, w tym przeprowadzenie symulacji pracy separatora na modelu matematycznym i jego weryfikacja na modelu fizycznym. Zrealizowane badania mają charakter nowatorski, a prototypowa instalacja ze zmodyfikowanym separatorem jest na etapie badań przedwdrożeniowych. Symulacja pracy separatora szczelinowego pozwoliła na określenie warunków hydraulicznych (natężenia i prędkości przepływu) w poszczególnych przewodach, przy których usuwanie i oczyszczanie osadów będzie najbardziej efektywne. Sformułowane

zostały również kryteria podobieństwa hydrodynamicznego, które będą pomocne przy projektowaniu i wprowadzeniu do praktyki innowacyjnej metody odmulania zbiorników wodnych.

4.3.3. Omówienie wyników badań

Rumowisko dopływające do zbiornika może być w sposób ciągły lub okresowy transportowe z wlotowej, górnej części zbiornika do dolnego stanowiska za pomocą przewodów ułożonych na dnie (MORRIS I FAN 1997). Aby nie pogorszyć jakości wody poniżej piętrzenia, zaproponowano prototypową instalację, która pozwoliłaby na sortowanie transportowanych osadów, z których grubsze rumowisko mineralne kierowane jest do rzeki, poniżej umocnienia dna, a drobne frakcje mineralne i organiczne, po odwodnieniu mogłyby być wykorzystane rolniczo. Instalacja ta została opisana w zgłoszeniu patentowym, a następnie objęta ochroną patentową (Patent nr 228599).

W prototypowej instalacji do usuwania osadu, pokazanej na poniższym rysunku, wykorzystywana jest różnica poziomów wody.



Schemat instalacji hydromechanicznego usuwania osadów ze zbiorników wodnych (A.2.1)

Instalację tworzą dwa przewody, połączone częściowo na krótkim odcinku poprzez separator szczelinowy (4). Wlot do przewodu, którym zasysany jest osad wraz z wodą (2), znajduje się w zbiorniku powyżej zapory (1). Drugim przewodem (3), pobierana jest czysta

woda. W separatorze (4), grubszy materiał mineralny opada przez szczeliny do dolnego przewodu (5), którym wraz z czystą wodą jest transportowany bezpośrednio do dolnego stanowiska budowli piętrzącej. Woda unosząca materiał organiczny i drobny mineralny, przepływająca ponad szczelinami, kierowana jest przewodem (6) do osadnika.

Kluczowym elementem instalacji hydromechanicznego usuwania i oczyszczania osadów dennych jest separator szczelinowy, który ma rozdzielić na dwie frakcje osad pobierany z dna zbiornika. Działanie separatora wzorowane jest na pracy piaskownika szczelinowego, który jest urządzeniem o przepływie poziomym z wydzieloną komorą magazynowania piasku poza korytem przepływowym. Piasek ten usuwany jest okresowo mechanicznie lub hydraulicznie. W separatorze, ciągły przepływ wody lub ścieków w przewodzie poniżej szczelin ma zapewnić transport cząstek stałych. Konstrukcja i eksploatacja separatora powinna być prowadzona tak, aby stworzyć warunki pracy, w których:

- zatrzymywane jest przynajmniej 75% części mineralnych o średnicy powyżej 0,2 mm;
- nie powinny być zatrzymywane cząstki organiczne w ilościach przekraczających 10% ogólnej ilości transportowanego osadu (MOŁONIEWICZ I IN. 1979)¹⁵.

Zasada działania tego typu separatorów polega na tym, że w wyniku zmniejszenia prędkości, z transportowanej mieszaniny wydziela się grubsza frakcja (piasek), która wleczona po dnie trafia do szczelin. Parametrami obliczeniowymi separatorów poziomych korytowych są: prędkość przepływu, czas przepływu oraz hydrauliczne obciążenie powierzchni piaskownika.

Dla poprawnej pracy separatora konieczne jest stworzenie warunków przepływu heterogenicznego lub ewentualnie przepływu z ruchomym dnem. Przepływ heterogeniczny lub inaczej przepływ, w którym rozkład mieszaniny w przekroju pionowym jest niejednorodny, charakteryzuje się tym, że największa koncentracja cząstek stałych jest przy dnie przewodu i maleje w kierunku ku górze. Przepływ z ruchomym dnem charakteryzuje się ruchomą warstwą materiału stałego, który wleczony jest po dnie. Warstwę tę tworzy przede wszystkim najgrubsza frakcja znajdująca się w transportowanej mieszaninie. Zakładając, że w przewodzie doprowadzającym wodę z osadami do separatora szczelinowego przepływ będzie w reżimie homo- lub heterogenicznym, na początku separatora należy doprowadzić do zmniejszenia prędkości do ok. 0,4 m/s (MOŁONIEWICZ I IN. 1979) lub 0,7 m/s (SHISHKIN

¹⁵ MOŁONIEWICZ W., SĘDZIOWSKI T., BONIKOWSKI T. (1979): Małe oczyszczalnie ścieków. Projektowanie i wykonawstwo. Arkady, Warszawa.

I IN.1951)¹⁶. Prędkości te pozwalają na zatrzymywanie piasku o średnicy 0,2 mm lub 1 mm (CYWIŃSKI I IN. 1972)¹⁷. Zgodnie z teorią Hazena, czas t opadania cząstki stałej z prędkością $w_{gr} \approx w_{ss}$ na głębokości $h = D$ jest równy czasowi jego transportu poziomego na odległość $l = t \cdot v$. Prędkość przepływu wody w separatorze (v) powinna być uzależniona od prędkości opadania cząstki stałej, której usunięcie jest pożądane.

Podczas rozdzielania mieszanin ziaren drobnych i bardzo drobnych, proces klasyfikacji (separacji) często prowadzony jest w ośrodku wodnym lub powietrznym, a na ziarno materiału klasyfikowanego działają różne siły (odśrodkowa, strumieniowa czyli oporu ośrodka, ciężkości, wyporu itd.) W warunkach rzeczywistych rozdział nigdy nie jest idealny i część ziaren trafia do produktu niewłaściwego.

Teoretycznie, idealnie pracujący separator szczelinowy powinien pozwolić na rozdzielanie dwóch frakcji: grubszą (oczyszczaną), po przejściu przez szczeliny przepływającą dolnym przewodem, od drobniejszej (zanieczyszczającej), odprowadzanej górnym przewodem. Efektem niepożądanym byłoby wzajemne zanieczyszczenie frakcji po przepłynięciu przez szczeliny separatora. W naszych badaniach zaproponowano, aby sprawność separatora zawiesiny bidispersyjnej obliczać według wzoru:

$$\eta = \beta_p \cdot (1 - \beta_n)$$

gdzie: β_p - stopień wysortowania ziaren pożądanych, β_n - stopień wysortowania ziaren niepożądanych.

Definicja stopienia wysortowania β przyjęta została za KOWALSKIM (2004)¹⁸, który stopniem sedymentacji (lub stopniem osadzania) i -tej klasy ziarnowej, określa stosunek strumienia masy cząstek w wylewie do przyporządkowanego mu strumienia w zawieszynie wprowadzonej do urzędzenia (w nadawie). Stopień wysortowania informuje nas, jaka część ziaren i -tej frakcji transportowana górnym przewodem przepływa wraz z wodą szczelinami do przewodu dolnego. Oczekujemy, że w sprawnie działającym separatorze stopień wysortowania frakcji grubszych będzie jak najwyższy ($\beta_p \rightarrow 1$), natomiast dla frakcji drobnych i organicznych, jak najmniejszy ($\beta_n \rightarrow 0$).

Do wykonania numerycznego modelu separatora szczelinowego wybrano program SSIIM (Simulation of sediment movements in water intakes with multiblock option – symulacja ruchu osadów na ujęciu wody z opcją powielania siatki dyskretnej). Program został

¹⁶ SHISHKIN Z. N., KARELIN J. A., KOLOBANOV S. K., JAKOVLEV C. V., ZAK G. L. (1951): Kanalizacja. Gosudarstvennoe Izdatel'stvo Literatury po Stroitel'stvu i Arkhitecture, Moskwa.

¹⁷ CYWIŃSKI B., GDULA S., KEMPA E., KURBIEL J., PŁOSZAŃSKI H. (1972): Oczyszczanie ścieków miejskich. Podstawy technologiczne i zasady projektowania oczyszczalni. Arkady, Warszawa.

¹⁸ KOWALSKI W. (2004): Osadniki wielostrumieniowe. AGH Uczelniane Wydawnictwo Naukowe, Kraków.

opracowany przez Nilsa Reidera B. Olsena z Norweskiego Uniwersytetu Nauki i Technologii w Trondheim (OLSEN 2007; OLSEN 2009)^{19,20}. Stworzony został z myślą o modelowaniu transportu rumowiska w korytach z dnem ruchomym o skomplikowanej geometrii (zbiorniki, rzeki, dolne stanowisko budowli hydrotechnicznych).

Przeprowadzone symulacje, najpierw dla czystej wody, a następnie wody i cząstek stałych, pozwoliły na identyfikację parametrów modelu, wybór algorytmów i schematów obliczeniowych z wielu możliwości proponowanych przez program SSIIM. Równoległe z tym procesem następowały zmiany geometrii siatki modelu matematycznego, a tym samym instalacji (separatora i przewodu) do separacji osadów. Celem obu tych zabiegów było opracowanie sprawnie działającego modelu matematycznego, pozwalającego na symulację pracy separatora szczelinowego i wyznaczenie parametrów jego efektywnego działania.

Weryfikację modelu matematycznego przeprowadzono na podstawie wyników badań laboratoryjnych na modelu fizycznym separatora z wykorzystaniem mineralnych, kulistych cząstek stałych. Weryfikacja wykazała, że model z dużą wiarygodnością ($R^2 = 0,99$) odtwarza proces separacji cząstek stałych dwóch frakcji podczas przepływu hydromieszanki przez separator. Analiza wyników symulacji m.in. prędkości przepływu, wektorowego pola prędkości, koncentracji i przepływu osadów, wykazała, że model matematyczny może być użyty do optymalizacji separatora, a w szczególności konfiguracji i kształtu jego szczelin.

Separator, w górnej części komory roboczej, pracuje jak osadnik i dobrym kryterium jego wymiarowania jest liczba Hazena Ha :

$$Ha = \frac{Q}{A_o \cdot w_{ss}} = \frac{v_1 \cdot A}{A_o \cdot w_{ss}} = \frac{v_1}{w_{ss}} \cdot \frac{A}{A_o}$$

gdzie: Q – objęściowe natężenie przepływu mieszaniny, A_o – pole powierzchni rzutu poziomego osadnika, w_{ss} – prędkość opadania cząstki, v_1 – prędkość średnia mieszaniny, A – pole powierzchni przekroju poprzecznego komory roboczej.

Przeprowadzone badania na modelu fizycznym i modelu matematycznym pozwoliły określić warunki, w jakich proces separacji byłby skuteczny:

- skuteczne rozdzielenie dwóch frakcji następuje wówczas, kiedy dla jednej z nich liczba Hazena jest mniejsza od 0,8, a stosunek średniej prędkości i prędkości opadania mniejszy od

¹⁹ OLSEN N. R. B. (2007): Numerical Modelling and Hydraulics. The Norwegian University of Science and Technology. <https://www.ntnu.edu/ivm/cfd>, dostęp: wrzesień 2015.

²⁰ OLSEN N. R. B. (2009): A three dimensional numerical model for simulation of sediments movements in water intakes with multiblock options. The Norwegian University of Science and Technology, <https://www.ntnu.edu/ivm/cfd>, dostęp: wrzesień 2015.

5 ($Ha < 0,8$, $v_1/w_s < 5$), a dla drugiej odpowiednio liczba Hazena większa od 4, a stosunek prędkości większy od 33 ($Ha > 4$, $v_1/w_s > 33$);

- w separatorze powinny być wykonane przynajmniej trzy szczeliny o rozstawie nie mniejszej niż szerokość szczeliny;

- szerokość szczeliny nie powinna być mniejsza niż dwie średnice największego ziarna usuwanych osadów;

- pierwsza szczelina separatora powinna być wykonana w odległości nie mniejszej niż połowa długości komory roboczej;

- długość szczeliny powinna być równa szerokości komory roboczej o przekroju prostokątnym lub połowie obwodu przekroju kołowego;

- połączenia komory roboczej separatora z przewodami do- i odprowadzającymi powinny być wykonane bez krawędzi, z łagodnym rozszerzeniem lub zwężaniem przekroju poprzecznego;

- sprawność separatora rośnie wraz ze wzrostem odległości ostatniej szczeliny od początku komory, ale jej optymalną długość pozwoli ustalić rachunek ekonomiczny.

W badaniach laboratoryjnych i w symulacjach przyjęto średnice przewodów doprowadzających hydromieszanie lub wodę równą 0,05 m. Instalacja o takich wymiarach może być stosowana w praktyce, jednak zazwyczaj są to przewody o średnicach większych. Można się spodziewać, że instalacje geometrycznie dwu-, pięcio- lub dziesięciokrotnie większe, proporcjonalnie do wzrostu objętościowego natężenia przepływu wody będą zdolne do usuwania wielokrotnie większych ilości osadów z dna zbiornika.

Badania wykazały, że liczba Hazena jest dobrym kryterium podobieństwa hydrodynamicznego i pozwala na projektowanie separatorów kilkakrotnie większych oraz prognozowanie efektywności ich pracy oraz wyznaczenie charakterystycznych średnic separowanego rumowiska. Liczba ta uwzględnia zarówno zmienność stosunku prędkości v_1/w_s , jak i zmianę pola powierzchni separatora, wynikającą z różnych szerokości, rozstawy i liczby szczelin.

Prototypowa instalacja w skali technicznej jest przedmiotem prac przedwdrożeniowych finansowanych z projektu „*Inkubator Innowacyjności +*”, który współfinansowany ze środków na naukę w ramach projektu pozakonkursowego „*Wsparcie zarządzania badaniami naukowymi i komercjalizacja wyników prac B+R w jednostkach naukowych i przedsiębiorstwach*”, realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020 (Działanie 4.4).

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

5.1. Przed uzyskaniem doktoratu

Rozpoczynając pracę, szybko zostałem włączony w badania prowadzone przez pracowników Katedry Budownictwa Wodnego (obecnie Inżynierii Wodnej i Sanitarnej), związane z pomiarami laboratoryjnymi i terenowymi budowli hydrotechnicznych. Badania skuteczności działania geotekstyliów w konstrukcjach budownictwa wodnomelioracyjnego (B.9.14 zał. 3), prowadzone były zarówno na drenażach zapór ziemnych zbiorników wodnych (zb. Jeziorsko na rzece Warta, zb. Piaski-Szczygliczka na rzece Ołobok w Ostrowie Wlkp.), jak i w laboratorium przy oznaczaniu właściwości fizycznych geowłóknin. Była to dla mnie kontynuacja badań rozpoczętych w ramach pracy magisterskiej. Wyniki tych badań przedstawione zostały w raportach etapowych (B.5. 13. zał. 3) lub publikacjach (B.4.43-44 zał. 3). Równolegle uczestniczyłem w pracach nad optymalnym projektowaniem umocnień budowli wodnomelioracyjnych (B.9.13 zał. 3). Badania modelowe rozmyć miejscowych poniżej jazu, wpływ rodzaju i długości umocnień na wielkość wyboju (B.4.42, B.4.45, B.5. 11-12. zał. 3), miały istotny wpływ na rozwój moich zainteresowań naukowych oraz wybór problematyki przyszłej pracy doktorskiej. Pozwoliły również na pierwsze publikacje z zakresu sortowania i selektywnego transportu ziaren gruntów niespoistych o zróżnicowanym uziarnieniu (B.4.41, B.4.37-38, B.11. 6-7 zał. 3).

W okresie tym uczestniczyłem również w szeregu prac związanych z określeniem stanu technicznego budowli hydrotechnicznych m.in. na podstawie pomiarów kontrolnych sieci reperów i piezometrów. Zakresem tych ekspertyz objęte było 17 elektrowni wodnych i jazów należących do Zespołu Elektrowni Wodnych Dychów (obecnie PGE Energia Odnawialna SA Oddział ZEW w Dychowie) (M. 5-10. zał. 4) czy też zapora główna zbiornika wodnego Jezioro Kowalskie (M.12. zał. 4).

Początek mojego zatrudnienia zbiegł się z komputeryzacją Katedry (pierwszy komputer klasy PC). Wiązało się to ze zwiększonym zainteresowaniem metodami numerycznymi, językami programowania oraz wykorzystaniem komputerów przy obliczeniach hydraulicznych. Zdobyte umiejętności i doświadczenie, w ramach projektu „system programów dla projektowania i eksploatacji obiektów melioracyjnych i budowli wodnomelioracyjnych (B.9.12 zał. 3) pozwoliło na autorstwo lub współautorstwo programów komputerowych m.in.: WYPAD i PRZELEW (Q.1.3 zał. 4), OPTYUMO (B.4.45 zał. 3), a w kolejnych latach programami do obliczeń ruchu wolnozmiennego w korytach otwartych – metoda graficzno-

całkowa i metoda Czarnomskiego (z późniejszymi zmianami Q.2.1 zał. 4). W latach 1990-95 wiedza ta pozwoliła również na prace nad modelem matematycznym ruchu nieustalonego rzeki Warty na odcinku od zbiornika Jeziorsko do Obornik Wlkp. (B.5.7-9 zał. 3). W obliczeniach wykorzystywano pakiet programów SPRuNeR²¹. Parametry modelu identyfikowane i weryfikowane były na podstawie m.in. historycznych fal powodziowych obserwowanych na Warcie (B.4.39-40 zał. 3).

5.2. Po uzyskaniu doktoratu

Po obronie doktoratu w 1998 roku kontynuowałem większość badań. W ramach projektów badawczych oceny wpływu dużych zbiorników na zmiany w korycie (B.9.4-7 zał. 3) czy weryfikacji modelu matematycznego rozmycia lokalnego (B.9.9 zał. 3) prowadzone były pomiary wielkości rozmycia lokalnego w naturze, jak i na modelu fizycznych. Wyniki przedstawione zostały w pracach dyplomowych wykonanych pod moim kierunkiem (J.1.a 2, 3, 6, 8, 9, 13 zał. 4) oraz w publikacjach (B.4.5, B.4.18, B.4.25, B.4.26, B.4.34 zał.3).

Analiza przyczyn i skutków rozmycia dna poniżej zbiornika Jeziorsko wykazała dobitnie, że rozwiązanie problemów zachodzących w dolnym stanowisku musi być rozwiązywana kompleksowo. Spowodowało to rozszerzenie moich zainteresowań o problematykę akumulacji osadów w zbiornikach wodnych (B.4.4, B.4.19, B.9.8 zał. 3), jak również ocenę stanu technicznego budowli hydrotechnicznych (B.9.10 zał. 3). Dlatego w podjętych badaniach starano się określić potencjalne źródło osadów (B.4.28-29 zał. 3), sposób ich transportu w rzekach nizinnych (B.4.14-15 zał.3), zmiany właściwości fizycznych i reologicznych (B.4.35 zał. 3), czy ich wpływ na jakość wody w zbiornikach (B.4.7 zał.3). Z badaniami tymi związana była również ocena oddziaływania nowych lub modernizowanych budowli piętrzących na zmiany położenia wód gruntowych lub właściwości gruntów, w otoczeniu zbiornika (B.4.2, B.4.10, B.4.11. zał. 3)

Analiza rozwiązań konstrukcyjnych budowli hydrotechnicznych w aspekcie bezpieczeństwa i oddziaływania na środowisko pozwoliła na: wskazanie przyczyn niekorzystnych zjawisk towarzyszących filtracji przez zaporę m.in. przy pierwszym napełnieniu zbiornika (B.4.1, B.4.6 zał. 3) lub przyczyn awarii (B.4.33 zał. 3), charakterystykę eksploatacji małych jazów (B.4.27, B.4.32 zał. 3) oraz ocenę stanu technicznego budowli hydrotechnicznych (B.4.3, B.4.30 zał. 3). W tej ostatniej publikacji opisano autorską metodę kontroli i oceny stanu technicznego jazu, opartą na określeniu

²¹ WOSIEWICZ B., LAKS I., SROKA Z. (1996): Computer system of flow simulation for the Warta river. Pr. Nauk. Inst. Geotech. Hydromech. P. Wroc. 71, Ser. Konf. 38,143-156.

miejsca, rodzaju i wielkości uszkodzeń poszczególnych elementów konstrukcyjnych (stałe, ruchome, betonowe, stalowe itd.). Metoda ta została wykorzystana m.in. przez DĄBKOWSKIEGO I JĘDRYKĘ (2014)²², TARNAWSKIEGO I MICHALCA (2007)²³, MICHALCA (2013)²⁴.

Po doktoracie kontynuowane były również prace związane z obliczeniami hydraulicznymi przepływu wody w korytach otwartych z wykorzystaniem modelu matematycznego rzek: Warty (B.1.1, B.1.2, B.4.36, B.4.24, B.5.4 zał. 3), Kamionki (B.4.31 zał. 3, M.3. zał. 4) lub nad określeniem wielkości oporów przepływu i obliczeniami współczynnika szorstkości (B.4.9, B.4.13, B.4.22 zał. 3).

Nowym obszarem zainteresowań naukowych, w którym mogłem wykorzystywać doświadczenie zdobyte przy badaniach w laboratorium hydraulicznym, były prace zlecone przez Fabrykę Armatury Hawle. W ramach tych badań wykonano badania nad prototypowymi konstrukcjami klap zwrotnych (B.4.20, B.5.1, B5.3 zał. 3), filtrów kołnierzowych siatkowych (B5.2, B5.5 zał. 3) lub hydrantów o dużej wydajności, poświęcając sporo uwagi podobieństwu hydrodynamicznemu w badaniach modelowych (B.4.17 zał. 3).

6. Podsumowanie osiągnięć i dorobku

6.1. Działalność naukowo-badawcza (łącznie z pozycjami ujętymi w pkt. 4)

Rodzaj osiągnięcia	Przed doktoratem	Po doktoracie	RAZEM
Aktywność krajowa			
Monografie w języku polskim	-	1	1
Rozdział w monografii w j. polskim	1	5	6
Artykuły w czasopismach innych niż z listy JCR	6	29	34
Udzielone patenty krajowe	-	1	1
Publikacje w materiałach konferencji krajowych	2	4	6

²² DĄBKOWSKI SZ. L., JĘDRYKA E (2014): Podsumowanie oceny stanu technicznego budowli, ocena stanu bezpieczeństwa, zalecenia pokontrolne. Prezentacja, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy Falenty, <http://www.itep.edu.pl/nauka/konferencje/ko20140624/Wyklad%20V.pdf>, dostęp listopad 2017.r

²³ TARNAWSKI M., MICHAŁEC B. (2007): Ocena stanu technicznego i określenie możliwości przeprowadzenia wód wezbraniowych przez jaz na rzece Usznicy. Infrastr. Ekol. Ter. Wiejs., Nr 4/2/2007, 189–199

²⁴ MICHAŁEC B. (2013): Ocena stanu technicznego jazu w Bieńczycach na rzece Dłubni metodą diagnostyki jednoetapowej. Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 61, 290–300.

Referaty wygłoszone na konferencjach krajowych	3	17	20
Udział w krajowych projektach badawczych	4	8	12
Kierowanie krajowymi projektami badawczymi	-	2	2
Nagrody za działalność naukową	-	1	1
Udział w pracach zleconych przez przemysł i samorządy	15	11	26
Aktywność międzynarodowa			
Rozdział w monografii w j. angielskim	2	-	2
Artykuły w zagranicznych czasopismach z listy JCR	-	2	2
Artykuły w zagranicznych czasopismach innych niż z listy JCR	-	1	1
Referaty na konferencjach międzynarodowych	1	1	2
Udział w projektach badań zagranicznych	-	1	1
Podstawowe wskaźniki bibliograficzne			
Sumaryczny IF wg Web of Science (zgodne z rokiem wydania)	-	0,27	0,27
Liczba cytowań	Web of Science	-	16
	Google Scholar	2	38
Indeks Hirscha	Web of Science	-	1
	Google Scholar	-	3
Suma punktów MNiSW (zgodne z rokiem publikacji)	32	317	349

6.2. Działalność dydaktyczna i popularyzatorska

Moja działalność dydaktyczna jest mocno powiązana z działalnością naukowo-badawczą. Od początku zatrudnienia prowadziłem zajęcia dydaktyczne, które tematycznie związane były z przepływami wód w korytach otwartych i ośrodkach porowatych (*Mechanika płynów*), hydrauliką budowli hydrotechnicznych (*Budowle wodne, Budowle piętrzące, Zbiorniki retencyjne*) (Q.3. zał. 4). Pozwala mi to na wykorzystanie wiedzy naukowej i doświadczenia badawczego w kontaktach ze studentami. Będąc kierownikiem takich przedmiotów jak *Mechanika płynów* (II rok. I st. na kierunkach Inżynieria Środowiska, Inżynieria i Gospodarka Wodna), *Alternatywne źródła energii czy Małe elektrownie wodne* (II r. II st. kier. Inżynieria Środowiska) za bardzo istotny element kształcenia, uważam rozszerzenie wiedzy przedstawianej na zajęciach dydaktycznych poprzez przygotowywanie i prowadzenie stron internetowych dedykowanych tym przedmiotom²⁵. Powołanie w 1998 studiów niestacjonarnych na kierunku Inżynieria Środowiska, spowodowało potrzebę przygotowania i powielania licznych materiałów dydaktycznych udostępnianych studentom. Dlatego w kolejnych latach opracowałem cykl wykładów z *Hydrauliki i podstaw hydromechaniki*,

²⁵ <http://www.up.poznan.pl/kiwis/dydaktyka.html>

Budowli piętrzących i *Małych elektrowni wodnych*, do których studenci mają obecnie dostęp drogą elektroniczną (Q.2. zał. 4). Za ważny element kształcenia z mechaniki płynów uważam możliwość samodzielnego przeprowadzenia przez studentów eksperymentu w laboratorium wodnym, dlatego od początku mojego zatrudnienia przygotowałem kilka stanowisk doświadczalnych oraz opracowałem metodykę tych doświadczeń (Q.1.2 zał. 4)²⁶. Za osiągnięcia organizacyjne, które przyczyniły się do poprawy warunków pracy dydaktycznej i wyników kształcenia dwukrotnie nagradzany byłem przez Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu (D.2, D.4 zał. 4). Poza macierzystym Wydziałem prowadziłem również wykłady z *Budowli wodnych w architekturze krajobrazu* (kier. Architektura krajobrazu na Wydziale Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu UP) oraz *Energetyki wodnej i geotermii* (kier. Ekoenergetyka na Wydziale Rolnictwa i Bioinżynierii UP).

W latach 2000 – 2016 byłem promotorem 34 prac magisterskich (J.1.a zał. 4) i 42 prac inżynierskich (J.1.b zał. 4).

W swojej pracy doceniam dużą rolę popularyzacji nauki, dlatego staram się aktywnie uczestniczyć w Poznańskich Festiwalach Nauki i Sztuki lub Nocy Naukowców (I. zał. 4). Eksperymenty w laboratorium wodnym lub wykład dla audytorium w bardzo zróżnicowanym wieku (również przedszkolacy) wymaga od naukowca dużego doświadczenia i wykorzystania nietypowych środków dydaktycznych, nieużywanych codziennie. Za wyróżnienie uważam zaproszenie do prezentacji wybranych zagadnień naukowych młodzieży ze szkół średnich, a szczególnie z klas maturalnych (I.3, I.8 zał. 4).

6.3. Działalność organizacyjna

- 2014-2016 Zespół ds. ankietyzacji dla kierunku Inżynieria i Gospodarka Wodna
- 2015 Komitet Zjazdu Absolwentów z okazji 50-lecia studiów na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska
- 2013-2016 Wydziałowa Komisja ds. Studiów
- 2007 Komisja Konkursowa do rozstrzygnięcia konkursu na stanowisko adiunkta w Katedrze Mechaniki Budowli i Budownictwa Rolniczego
- 2007 Komisja Konkursowa do rozstrzygnięcia konkursu na stanowisko adiunkta w Katedrze Gleboznawstwa i Rekultywacji
- 2003-2006 Wydziałowa Komisja ds. oceny i dokumentowania ryzyka zawodowego na stanowiska pracy Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska

²⁶ <http://www.up.poznan.pl/kiwis/dydaktyka/labmp.html>

- 2002-2005 Rektorska komisja ds. Aparatury
- 1997-2002 Rektorska Komisja ds. Nagród ze Specjalnego Funduszu Nagród dla nauczycieli akademickich
- 1990-1993 Rada Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska

Paweł Zawadzki