



**WYDZIAŁ BIOLOGII
i OCHRONY
ŚRODOWISKA**
Uniwersytet Łódzki

MARIUSZ TSZYDEL

AUTOREFERAT

ZAŁĄCZNIK 2

AUTOREFERAT

1. Imię i Nazwisko

Mariusz Tszedel

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

- stopień naukowy doktora nauk biologicznych w zakresie ekologii, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska UŁ, 2006 r., tytuł rozprawy doktorskiej: „*Wpływ renaturyzacji nizinnej rzeki na biologię chruścików (Trichoptera)*”, promotor: prof. dr hab. Maria Grzybkowska
- tytuł magistra ochrony środowiska w zakresie ekologii i ochrony wód, Katedra Ekologii i Zoologii Kręgowców, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska UŁ, 2002 r., tytuł pracy magisterskiej: „*Reakcja zgrupowania chruścików (Trichoptera) na zakłócenia przepływu o wysokiej częstotliwości w nizinnej rzece*”, promotor: prof. dr hab. Maria Grzybkowska

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych / artystycznych oraz inne doświadczenie zawodowe:

- 2007 - do dnia dzisiejszego – adiunkt w Katedrze Ekologii i Zoologii Kręgowców, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska UŁ,
- 2006-2007 – pracownik naukowo-techniczny w Katedrze Ekologii i Zoologii Kręgowców, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska UŁ,
- 2002-2006 – słuchacz Studium Doktoranckiego Ekologii i Ochrony Środowiska na Wydziale Biologii i Ochrony Środowiska UŁ.

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

Tytuł osiągnięcia naukowego:

„Potencjał praktycznego wykorzystania larw *Hydropsyche angustipennis* (CURTIS, 1834)”

Osiągnięcie naukowe stanowi cykl 5 publikacji, których sumaryczny IF (według roku opublikowania) wynosi **8,548**, a liczba punktów Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **130**.

Pełne wersje publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe zostały zawarte w Załączniku 4.

Oświadczenia współautorów publikacji zostały zawarte w Załączniku 5.

PUBLIKACJE STANOWIĄCE OSIĄGNIĘCIE NAUKOWE

- H.1. Tszedel M.,** Markowski M., Majecki J., 2016. Larvae of *Hydropsyche angustipennis* (Trichoptera, Hydropsychidae) as indicators of stream contamination by heavy metals in Łódź agglomeration. *Zootaxa*, 4138: 127-138.
doi.org/10.11646/zootaxa.4138.1.5, ISSN 1175-5334

w JCR, pkt. MNiSW – 20 pkt, mój udział w powstaniu artykułu – 60%

IF 0,994, IF₂₀₁₇ 0,931, IF_{5-letni} 0,911, IF_{5-letni 2017} 0,982

Liczba cytowań 1/1 (wg Web of Science, logowanie 2.04.2019 r.)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: pełnieniu funkcji autora korespondującego, sformułowaniu hipotezy badawczej, współtworzeniu koncepcji badań, pozyskaniu materiału badawczego z terenu, oznaczeniu organizmów do żdanego poziomu systematycznego, analizie morfometrycznej organizmów, wyselekcjonowaniu prób do badań na zawartość metali ciężkich w tkankach, opracowaniu danych, przeprowadzeniu analiz statystycznych, stworzeniu tabel, wykresów i rycin, sformułowaniu wniosków, współudziale w pisaniu i redagowaniu manuskryptu. Kopia manuskryptu w Załączniku 4, deklaracje współautorów dotyczące ich wkładu w Załączniku 5.

- H.2. Tszedel M.,** Markowski M., Majecki J., Błońska D., Zieliński M., 2015. Assessment of water quality in urban streams based on larvae of *Hydropsyche angustipennis* (Insecta, Trichoptera). *Environmental Science and Pollution Research*, 22: 14687-14701.

DOI 10.1007/s11356-015-4638-9

w JCR, pkt. MNiSW – 30 pkt, mój udział w powstaniu artykułu – 50%

IF 2,828 (akceptacja do druku w 2014 r.), IF₂₀₁₇ 2,800, IF_{5-letni} 2,920, IF_{5-letni 2017} 2,989

Liczba cytowań 5/5 (wg Web of Science, logowanie 2.04.2019 r.)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: pełnieniu funkcji autora korespondującego, sformułowaniu hipotezy badawczej, współtworzeniu koncepcji badań, pozyskaniu materiału badawczego z terenu, oznaczeniu organizmów do żdanego poziomu systematycznego i ich analizie morfometrycznej, wyselekcjonowaniu prób do badań na zawartość metali ciężkich w tkankach, opracowaniu danych, przeprowadzeniu obliczeń statystycznych, współudziale w: sporządzeniu wykresów i rycin, sformułowaniu wniosków, pisaniu i redagowaniu manuskryptu. Kopia manuskryptu w Załączniku 4, deklaracje współautorów dotyczące ich wkładu w Załączniku 5.

- H.3. Tszedel M.,** Sztajnowski S., Michalak M., Wrzosek H., Kowalska S., Krucińska I., Lipp-Symonowicz B., 2009. Structure and properties of fibres from 5th instar larvae of caddis flies *Hydropsyche angustipennis* (Insecta, Trichoptera). *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 17: 7-13.

w JCR, pkt. MNiSW – 20 pkt, mój udział w powstaniu artykułu – 30%

IF 0,581, IF₂₀₁₇ 0,577, IF_{5-letni} 0,798, IF_{5-letni 2017} 0,757

Liczba cytowań 6/5 (wg Web of Science, logowanie 2.04.2019 r.)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: przekonaniu pracowników Katedry Materiałoznawstwa, Towaroznawstwa i Metrologii Włókiennictwa Politechniki Łódzkiej do podjęcia wspólnych badań nad oprzędem chruścików, współtworzeniu koncepcji badań, pozyskaniu materiału badawczego i przygotowaniu prób do badań, przygotowaniu wstępu do manuskryptu, współudziale w: stworzeniu rycin, pisaniu i redagowaniu ostatecznej wersji manuskryptu i sformułowaniu wniosków. Kopia manuskryptu w Załączniku 4, deklaracje współautorów dotyczące ich wkładu w Załączniku 5.

- H.4.** Strzelecki J.W., Strzelecka J., Mikulska K., **Tszydel M.**, Balter A., Nowak W., 2011. Nanomechanics of new materials – AFM and computer modelling studies of trichoptera silk. Central European Journal of Physics, 9: 482-491.

DOI: 10.2478/s11534-010-0105-x

w JCR, pkt. MNiSW – 20 pkt, mój udział w powstaniu artykułu – 20%

IF 0,728, IF₂₀₁₆ 0,765, IF_{5-letni} 0,499 (IF z 2007 – wcześniejszych danych brak), IF_{5-letni 2017} 1,012

Liczba cytowań 11/10 (wg Web of Science, logowanie 2.04.2019 r.)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: pozyskaniu środków na badania (projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Nr 0438/T02/2010/70 pt.: „Budowa i właściwości włókien chruścików (Insecta, Trichoptera) w aspekcie możliwości ich aplikacyjnego zastosowania”, realizowanego w ramach Programu „Juventus Plus”, rok realizacji: 2011), przekonaniu pracowników Katedry Fizyki Medycznej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu do podjęcia wspólnych badań nad oprzędem chruścików, współtworzeniu koncepcji badań, pozyskaniu materiału badawczego z terenu, hodowli laboratoryjnej larw, przygotowaniu prób do badań, przygotowaniu wstępnej wersji manuskryptu i zredagowaniu tekstu przed wysłaniem do Redakcji czasopisma. Kopia manuskryptu w Załączniku 4, deklaracje współautorów dotyczące ich wkładu w Załączniku 5.

- H.5.** **Tszydel M.**, M. Zabłotni A., Wojciechowska D., Michalak M., Krucińska I., Szustakiewicz K., Maj M., Jaruszewska A., Strzelecki J., 2015. Research on possible medical use of silk produced by caddisfly larvae of *Hydropsyche angustipennis* (Trichoptera, Insecta). Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 45: 142-153.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2015.02.003>

w JCR, pkt. MNiSW – 40 pkt, mój udział w powstaniu artykułu – 50%

IF 3,417 (akceptacja do druku w 2014 r.), IF₂₀₁₇ 3,239, IF_{5-letni} 3,478, IF_{5-letni 2017} 3,569

Liczba cytowań 3/3 (wg Web of Science, logowanie 2.04.2019 r.)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: pełnieniu funkcji autora korespondującego, pozyskaniu środków na badania (projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Nr 0438/T02/2010/70 pt.: „Budowa i właściwości włókien chruścików (Insecta, Trichoptera) w aspekcie możliwości ich aplikacyjnego zastosowania”, realizowany w ramach Programu „Juventus Plus”, rok realizacji: 2011), przekonaniu badaczy reprezentujących różne jednostki naukowe do podjęcia wspólnych badań nad oprzędem chruścików do sformułowaniu hipotezy badawczej, współtworzeniu koncepcji badań, pozyskaniu materiału badawczego z terenu, hodowli laboratoryjnej larw, przygotowaniu prób do badań, opracowaniu danych, wykonaniu obliczeń statystycznych, wspólnym przygotowaniem tabel i rycin, współudziale w: formułowaniu wniosków, pisaniu i redagowaniu manuskryptu. Kopia manuskryptu w Załączniku 4, deklaracje współautorów dotyczące ich wkładu w Załączniku 5.

**Podsumowanie bibliometryczne dla publikacji stanowiących OSIAGNIĘCIE NAUKOWE.
Impact Factor według bazy *Web of Science*, a punktacja według Komunikatów Ministra
Nauki i Szkolnictwa Wyższego w sprawie wykazów czasopism naukowych dla Części A:**

Sumaryczny <i>IF</i> z roku opublikowania	8,548
Sumaryczny <i>IF</i> z roku 2017 (ostatnie dostępne w <i>Web of Science</i>)	8,312
Sumaryczny <i>IF</i> 5-letni z roku opublikowania	8,606
Sumaryczny <i>IF</i> 5-letni z roku 2017 (aktualny wg <i>Web of Science</i>)	9,309
Liczba punktów MNiSW z roku opublikowania	130
Liczba punktów MNiSW wg wykazu z 2017 r. za okres 2013-2016:	140
Liczba cytowań wg bazy <i>Web of Science</i> (na dzień 2.04.2019 r.)	26
Liczba cytowań wg bazy <i>Web of Science</i> (na dzień 2.04.2019 r.) bez autocytaowań	24

Omówienie celu naukowego ww. prac i uzyskanych wyników

Hydropsyche angustipennis (Curtis, 1834) to gatunek chruścika należący do rodziny Hydropsychidae (wodosówkowate), trzeciej pod względem wielkości rodziny reprezentującej rząd Trichoptera (NESSIMIAN I DUMAS 2010). Rodzaj *Hydropsyche* jest jednym z najpowszechniej występujących wśród chruścików wód płynących (HILDREW I EDINGTON 1979). W Polsce rodzina Hydropsychidae liczy 15 gatunków, w tym 13 należy do rodzaju *Hydropsyche* (RAZOWSKI 1991). *H. angustipennis* jest chruścikiem merolimnicznym o jednorocznym, homodynamicznym (bez diapauzy) i asynchronicznym cyklu rozwojowym, podczas którego larwa przechodzi pięć linień, następnie pojawia się poczwarka zamknięta w domku i kokonie poczwarkowym, potem poczwarka wolna, a stadium finalnym jest lądowe imago (LEPNEVA 1971). Postać larwalna, spędzająca w wodzie nawet rok, jest formą dominującą w cyklu życiowym tych chruścików. Larwy dobrze znoszą czasowe deficyty tlenowe, wzrost temperatury, depryzację pokarmową (DUDGEON 1987), a także zanieczyszczenia wody, choć w wodach niezmiennych przez człowieka również są obserwowane (VAN DER GEEST I IN. 1999). Zasadlają głównie niewielkie cieki, w których za pomocą sieci łownych filtrują zawieszoną materię organiczną (CZACHOROWSKI 1989). Mogą odżywiać się też bez użycia sieci, wyszukując cząstki pokarmowe bezpośrednio z detrytusu zalegającego na dnie (PETERSEN 1985). *H. angustipennis*, jako stacjonarny filtrator bardzo liczny w szybko płynących strumieniach i mniejszych rzekach poniżej zbiorników retencyjnych, odgrywa kluczową rolę w łańcuchu troficznym (WALLACE I MERRITT 1980). Przy zagęszczeniu dochodzącym niekiedy do kilku tysięcy osobników na 1 m² (LEPNEVA 1971) jest odpowiedzialny za redukcję znacznej ilości biosestonu oraz transportowanej martwej materii organicznej. Z drugiej strony często stanowi podstawę diety dla drapieżnych bezkręgowców wodnych oraz ryb (HILDREW I EDINGTON 1979). Wśród bezkręgowej fauny dennej wód płynących uważany jest za gatunek zwornikowy (WIGGINS I MACKAY 1979).

H. angustipennis, podobnie jak i inni przedstawiciele tej rodziny, są jednymi z najlepiej przebadanych chruścików zamieszkujących wody płynące. Wśród licznych publikacji trudno jednak o opracowania dotyczące wykorzystania larw tego gatunku owadów w monitoringu wód na terenach silnie zurbanizowanych. Niewiele wiadomo też na temat

jedwabnej wydzieliny, która jest przez nie wykorzystywana do budowy sieci łownych. Uzupełnienie wiedzy dotyczącej obu tych aspektów związanych z larwami *H. angustipennis* stało się podstawą do przeprowadzonych przeze mnie badań, składających się na moje osiągnięcie naukowe omówione poniżej.

I. Monitoring wód płynących na terenie miasta z zastosowaniem larw *H. angustipennis*

Ramowa Dyrektywa Wodna (Dyrektywa 2000/60/WE) wymusiła konieczność wprowadzenia biomonitoringu wód opartego na różnych grupach organizmów wodnych (WRIGHT 2000). Bezkręgowce wodne wydają się być pod tym względem bardzo dobrym narzędziem (ADAKOLE I ANNUNE 2003, SOININEN I KÖNÖNEN 2004). Do niedawna większość stworzonych metod służących do oceny jakości środowiska wodnego opierała się zasadniczo na miarach obfitości i różnorodności biologicznej lub zmianie struktury zespołu organizmów (ALLAN I IN. 2006, MILLS I IN. 2007). Obecnie jako wskaźniki zanieczyszczenia próbuje się wykorzystywać również pojedyncze gatunki. Wybierane są takie, u których zaburzenia środowiska wodnego powodują łatwo obserwowane zmiany w historiach życiowych, w zawartości metali ciężkich w tkankach, a także w budowie narządów i powłok ciała (JOHNSON I IN. 1993). Trwa poszukiwanie jednogatunkowych wskaźników zanieczyszczenia wody (tzw. „one-species toxicity-tests”) dla różnych typów wód. Dla wód przepływających przez tereny silnie zurbanizowane liczba tego typu bioindykatorów jest jednak mocno ograniczona (BRINKMAN I JOHNSTON 2008). Kompromisem wydaje się być sięgnięcie po taksony mniej wrażliwe na zanieczyszczenia (BONADA I IN. 2004, 2005), jednak szerszy zakres tolerancji będzie kłócił się z kryteriami „dobrego bioindykatora” (HILTY I MERENLENDER 2000). To właśnie ze względu na szeroki zakres tolerancji poszczególne gatunki z rodzaju *Hydropsyche* długo nie były brane pod uwagę jako organizmy wskaźnikowe (MACEDO-SOUSA I IN. 2008), choć z drugiej strony od dawna z powodzeniem wykorzystywano je do oceny jakości wody podczas prowadzonych prac związanych z renaturyzacją dużych rzek (STUIJFZAND I IN. 1999, VAN DER GEEST I IN. 1999). Przy ocenie stopnia zanieczyszczenia wód wykorzystuje się zdolność przedstawicieli rodzaju *Hydropsyche* do odkładania wielu związków chemicznych w tkankach (SOLA I PRAT 2006) oraz podatność na subletalne deformacje ciała (CAMARGO 1991, VUORI I KUKKONEN 1996). Do tej pory przydatność *H. angustipennis* w biomonitoringu wód testowana była raczej w laboratorium. W warunkach terenowych zbadano jedynie larwy mające kontakt ze ściekami pochodzącymi z wysypisk odpadów komunalnych, z papierni lub z kopalń odkrywkowych metali szlachetnych, gdzie skład ścieków był raczej znany, a ekspozycja larw na gwałtowną zmianę chemizmu wody trwała krótko (PRAT I IN. 1999, SOLA I PRAT 2006). Niewiele wiadomo natomiast, jak gatunek ten funkcjonuje w warunkach miejskich, tj. w ciekach obarczonych długotrwale ściekami o bardzo różnym składzie i stężeniu.

W swoich badaniach dotyczących *H. angustipennis* w rzekach miejskich założyłem, że jeśli tylko larwy będą obecne w wodzie, to zależnie od typu i intensywności zanieczyszczenia badanego odcinka rzeki, uda się u nich zaobserwować zmiany zawartości metali ciężkich w tkankach (H.1.) oraz z różną intensywnością zaczną pojawiać się nieprawidłowości morfologiczne i anatomiczne w ich ciałach (H.2.). Jeśli gatunek ten ma być przydatny jako narzędzie w warunkach miejskich, ocena jakości wód rzecznych przeprowadzona z jego

wykorzystaniem powinna dać wyniki zbieżne z analizami fizyko-chemicznymi wody oraz oceną opartą na analizie różnorodności biologicznej zespołów makrobezkręgowców.

H.1. Tszydel M., Markowski M., Majecki J., 2016. Larvae of *Hydropsyche angustipennis* (Trichoptera, Hydropsychidae) as indicators of stream contamination by heavy metals in Łódź agglomeration. *Zootaxa*, 4138 (1): 127-138. doi.org/10.11646/zootaxa.4138.1.5, ISSN 1175-5334.

Wysokie stężenie metali i metaloidów w środowisku wodnym wymusza poszukiwanie tanich, szybkich i miarodajnych metod ich detekcji (KOUBA I IN. 2010). Jedną z nich jest analiza zawartości szkodliwych pierwiastków lub związków chemicznych w ciałach bezkręgowców wodnych, którą od pewnego czasu traktuje się na równi z badaniami analitycznymi prób wody (JOHNSON I IN. 1993, ROCHFORD I IN. 2000). Przyjmuje się z dużym uproszczeniem, że pierwiastki gromadzące się w tkankach odzwierciedlają poziom zanieczyszczenia środowiska w miejscu, skąd pobrano organizmy do badań (CAIN I IN. 2004, CAIN I IN. 2006). Za wykorzystaniem larw *H. angustipennis* do oceny jakości wody w warunkach miejskich przemawiały: szeroki zakres tolerancji na różnego typu zanieczyszczenia, w tym na zawarte w wodzie metale ciężkie, a także długi cykl rozwojowy larw gwarantujący rozciągniętą w czasie ekspozycję na zanieczyszczenia obecne w badanych rzekach (VOURI 1994, BARATA I IN. 2005, BONADA I IN. 2005, MACEDO-SOUSA I IN. 2008).

W najbardziej zanieczyszczonych odcinkach łódzkich rzek nie odnotowano obecności zarówno *H. angustipennis*, jak i innych przedstawicieli makrozoobentofauny (TSZYDEL I IN. 2010). Brak tych organizmów dotyczył głównie odcinków strumieni przepływających przez ścisłe centrum miasta, gdzie większość rzek została przekształcona w betonowe kanały i obciążona zrzutem ścieków z kanalizacji ogólnospławnej. Choć *H. angustipennis* jest opisywany jako gatunek eurytopowy (STUIJFZAND I IN. 1999), jego występowanie w niektórych odcinkach badanych cieków było niemożliwe z powodu niskiej zawartości tlenu i bardzo wysokiej koncentracji surowych ścieków komunalnych w wodzie. Na pozostałych stanowiskach gdzie *H. angustipennis* był stwierdzany, zawartość metali ciężkich w ciałach larw była istotnie zależna od stężenia tych pierwiastków w wodzie. W ciałach larw odnotowano znacznie więcej pierwiastków niż w wodzie. O ile w tkankach i wodzie udało się wykryć cynk, kadm i ołów, o tyle chrom, miedź i żelazo odnotowano tylko w ciałach chruścików. Dodatkowo, dla żelaza, ołowiu, chromu, kadmu i miedzi wartości stwierdzone w tkankach były wysokie i zbliżone do tych, jakie podaje GIRGIN I IN. (2010) dla innych gatunków z rodzaju *Hydropsyche* występujących w ciekach obciążonych ściekami przemysłowymi lub przepływających w sąsiedztwie intensywnie nawożonych pól. Wysokie stężenia niektórych metali ciężkich w organizmach i obecność w tkankach pierwiastków, których nie stwierdzono w wodzie, należy tłumaczyć dużą metalotolerancyjnością przedstawicieli tego gatunku (BARATA I IN. 2005, SOLA I PRAT 2006). Zdolność do kumulowania metali przez *H. angustipennis* pozwoliła na stwierdzenie pierwiastków, których urządzenia analityczne badające skład chemiczny wody nie były w stanie wykryć ze względu na próg detekcji lub zmienność stężenia zanieczyszczeń w czasie. Taka sytuacja może mieć miejsce – odpowiednio – gdy do cieku w sposób ciągły dostają się zanieczyszczenia zawierające metale ciężkie w bardzo niewielkim stężeniu lub gdy dochodzi do krótkookresowych gwałtownych

zrzutów skumulowanych zanieczyszczeń, których nie da się uchwycić w czasie badań terenowych pobierając raz w miesiącu próbę wody do analiz (ROCHFORD I IN. 2000).

H.2. Tsydel M., Markowski M., Majecki J., Błońska D., Zieliński M., 2015. Assessment of water quality in urban streams based on larvae of *Hydropsyche angustipennis* (Insecta, Trichoptera). *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (19): 14687-14701. DOI 10.1007/s11356-015-4638-9.

W celu zwiększenia obiektywności oceny środowiskowej, analizę zawartości metali ciężkich w tkankach coraz częściej łączy się z obserwacjami zmian morfologicznych występujących u fauny wodnej (VAN URK I IN. 1992, LENAT 1993). U organizmów traktowanych jako dobre bioindykatory, zmiany te muszą pojawiać się pod wpływem określonego czynnika, być dobrze widoczne, łatwe do porównania z osobnikami niezmiennymi oraz nieodwracalne, nawet po ustaniu zanieczyszczenia, a jednocześnie nie powodować śmierci (VUORI 1994, JOHNSON I IN. 1993). Dla kilku gatunków należących do rodzaju *Hydropsyche* wykazano, że w kontakcie z konkretnymi związkami chemicznymi obecnymi w wodzie może dochodzić do deformacji skrzelotchawek (VUORI 1994, BONADA I IN. 2005) oraz brodawek analnych (VOURI I KUKKONEN 1996, CAIN I IN. 2000). Oba te narządy u larw wodosówek występują na zewnątrz ciała i są łatwo widoczne. Skrzelotchawki zlokalizowane są na segmentach tułowia i odwłoka (EDINGTON I HILDREW 1981). Prawidłowo wykształcone mają na ogół barwę mlecznobiałą lub kremową. Pod wpływem zanieczyszczeń czernieją i kurczą się (VUORI 1994). Z kolei brodawki analne zlokalizowane są na 9. segmencie odwłoka – segmencie analnym (EDINGTON I HILDREW 1981). Zwykle są częściowo schowane w uchyłku segmentu analnego, a ich wynicowanie na zewnątrz ma na celu zwiększenie powierzchni czynnej podczas osmoregulacji. Przyjmują wówczas postać czterech palczastych tworów o mlecznym zabarwieniu (NGUYEN I DONINI 2010). W kontakcie z zanieczyszczeniem ciemnieją (CAMARGO 1991, VUORI 1994). Ciemnienie brodawek odbytnicznych jest tłumaczone wytrącaniem się metali ciężkich w komórkach nabłonkowych tego narządu. Do wnętrza brodawek dostają się podczas aktywnej absorpcji elektrolitów, gdy włącza się proces osmoregulacji (VUORI 1994). Obserwowane zmiany w brodawkach analnych postępują z różną szybkością, są zależne od intensywności zanieczyszczenia i są nieodwracalne. Zniszczonych brodawek larwa nie jest w stanie już schować z powrotem do uchyłka (VUORI I KUKKONEN 1996). Wybarwione lub zdeformowane skrzelotchawki i brodawki analne można łatwo zaobserwować pod binokulem, bez konieczności uśmiercania larwy jako tzw. „*nondestructive biomonitors/biomarkers*” (CAMARGO I IN. 1992A,B, VUORI I KUKKONEN 1996). Zdecydowana większość informacji dotyczących zmian zachodzących w skrzelotchawkach i brodawkach analnych pod wpływem różnych związków chemicznych zawartych w wodzie pochodzi z laboratorium (CAMARGO I IN. 1992A, VUORI 1994, VUORI I KUKKONEN 1996). Niewiele jest danych o zmianach zachodzących w tych narządach w kontakcie z zanieczyszczeniami, o złożonym składzie i fluktuującym stężeniu, trafiającymi do cieków przepływających przez miasta. Celem tych badań było określenie związku pomiędzy stopniem zanieczyszczenia wody badanych strumieni a stężeniem metali ciężkich w tkankach larw oraz nasileniem się zmian morfologicznych w skrzelotchawkach i brodawkach analnych.

Stwierdzono, że odsetek pojawiających się zmian w skrzelotchawkach i brodawkach analnych zależał od poziomu zanieczyszczeń obecnych w badanym strumieniu. Wyciowanie brodawek na zewnątrz oraz ich wybarwienie się było związane z podwyższonym stężeniem jonów Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , NO_2^- , NO_3^- i PO_4^{3-} rozpuszczonych w wodzie. Zmiany w brodawkach mogły być zatem spowodowane zarówno przez sól drogową dostającą się do wody ze sptywem powierzchniowym (SCHOLES I IN. 2008, ELLIS I IN. 2012), jak i nawozy sztuczne oraz środki ochrony roślin (ABDEL-HALEEM I IN. 2001, SAVCI 2012). Te ostatnie odpowiedzialne były najprawdopodobniej za nieprawidłowości w brodawkach analnych u larw zasiedlających odcinki strumieni przepływających przez strefy peryferyjne miasta cechujące się zagospodarowaniem rolniczym i sadowniczym. Wybarwienie skrzelotchawek z kolei w znacznej mierze było spowodowane obniżonym stężeniem tlenu rozpuszczonego w wodzie, w tych odcinkach rzek, które przepływając przez ścisłe centrum miasta, miały kontakt ze ściekami bytowymi pochodzącymi z systemu kanalizacji ogólnospławnej (ROCHFORD I IN. 2000). Niewielki odsetek stanowiły natomiast skrzelotchawki, które ulegały całkowitej destrukcji. Znikomy udział tych uszkodzeń nie pozwolił ustalić istotnej korelacji ani z rodzajem, ani stężeniem zanieczyszczeń. Wydaje się, że poważne uszkodzenia w narządach wymiany gazowej u badanych larw są wynikiem działania ekstremalnie stężonych zanieczyszczeń, które uzyskano dotychczas głównie w laboratorium (CAMARGO 1991, VUORI I KUKKONEN 1996). Dla wszystkich metod zastosowanych do oceny zanieczyszczenia łódzkich cieków, analiza skupień (odległości Euklidesowe i metoda Warda jako czynnik hierarchizujący) pogrupowała badane stanowiska w bardzo podobny sposób. Oznacza to, że w ciekach przepływających przez obszar silnie zurbanizowany zarówno zawartość metali ciężkich w ciałach larw, jak i efekty subletalne pojawiające się w kontakcie z zanieczyszczeniami wydają się być równie dobrą miarą stopnia zanieczyszczenia co analizy fizyko-chemiczne wody oraz miary różnorodności biologicznej.

II. Jedwabna wydzielina wytwarzana przez larwy *H. angustipennis* i jej właściwości

Larwy wszystkich gatunków chruścików są zdolne do wytwarzania jedwabnej wydzieliny. Powstaje ona w gruczołach przędnych będących zmodyfikowanymi śliniankami – gruczołami ślinowymi szczęk. Uchodzą one parzyście po obu stronach otworu gębowego w bezpośrednim sąsiedztwie haustellum – końcowego zgrubienia wargi dolnej (CIANFICCONI I IN. 1992). Półpłynna, jedwabna substancja wydzielana z kądziółek przędnych w zależności od potrzeb zestala się w wodzie albo w masę klejącą o nieregularnych kształtach, albo w wielofunkcyjne włókna o dużej wytrzymałości. Jako materiał klejący służy głównie chruścikom domkowemu do łączenia ze sobą ziaren piasku, żwiru, patyków, części liści lub muszli ślimaków w trakcie budowy domku. Metoda spajania poszczególnych elementów oraz dobór materiału budowlanego zależy od środowiska, w którym żyją larwy, optymalizacji wydatku energetycznego, a także od budowy odnoży, aparatu gębowego i genetycznie uwarunkowanych zachowań (STATZNER I IN. 2005). Chruściki bezdomkowe wykorzystują jedwabną wydzielinę głównie do budowy prowizorycznych rurkowatych schronień z posklejanych nici, którym towarzyszy niekiedy sieć łowna. Wyglądem i funkcją sieć łowna wodosówek przypomina sieć pajęczą. Larwy budują ją zazwyczaj w szybko płynącej wodzie,

przy krawędziach kamieni (MALAS I WALLACE 1977). Sieci łowne ustawione są najczęściej prostopadle do nurtu. Wielkość sieci i oczek może się wahać również w zależności od gatunku i zaawansowania rozwojowego larw, a także od prędkości przepływu i wielkości łowionych cząstek pokarmu (HILDREW I EDINGTON 1979, WALLACE I MERRITT 1980). Budowa i kształt sieci może być uzależniona również od temperatury (PHILIPSON I MOORHOUSE 1974) lub zanieczyszczenia wody (TESSIER I IN. 2000).

Za sprawą intensywnie rozwijającej się biotechnologii, badania nad jedwabnym oprzędem wytwarzanym przez różne grupy organizmów dążą do praktycznego zastosowania. Zwykle tego typu prace mają charakter interdyscyplinarny. Podobnie było i w moim przypadku. Prowadząc różnorodne eksperymenty laboratoryjne na larwach z rodzaju *Hydropsyche* zainteresowałem się również umiejętnością wytwarzania oprzędu przez te owady. Nieliczne wówczas dane literaturowe dotyczące tej wydzieliny skłoniły mnie do współpracy z specjalistami z różnych dziedzin nauki. Przeprowadzone wstępne badania jedwabnej wydzieliny tych chruścików miały na celu określenie ewentualnego potencjału zastosowania tego materiału w praktyce. Zbadane w pierwszej kolejności parametry wytrzymałościowe włókien chruścikowych (MICHALAK I IN. 2005) raczej wykluczają ich techniczne zastosowanie w produkcji kamizelek kuloodpornych oraz bezwładnościowych pasów bezpieczeństwa w pojazdach. Włókna syntetyczne są pod tym względem zdecydowanie bardziej wytrzymałe, a ich wytwarzanie odbywa się od dawna na skalę przemysłową i jest stosunkowo tanie. Zupełnie inaczej może być w przypadku wykorzystania włókien chruścikowych do celów medycznych. W swoich badaniach próbowałem wykazać różne walory tego biomateriału, który być może w przyszłości będzie miał szansę znaleźć zastosowanie w medycynie. Poddając badaniom jedwab wytwarzany przez larwy *H. angustipennis*, starałem się określić zarówno strukturę, jak i właściwości chemiczne włókien w kontakcie z różnymi substancjami chemicznymi, zwłaszcza z silnymi rozpuszczalnikami organicznymi (H.3.), zachowania mechaniczne włókien w skali nano, a także fakturę włókien w kontekście zdolności przywierania oprzędu do powierzchni (H.4.), właściwości antyseptyczne, cytotoksyczność i podatność na sterylizację, tak aby biomateriał można było wykorzystać na bieżąco albo po czasowym przechowaniu (H.5.).

H.3. Tszydel M., Sztajnowski S., Michalak M., Wrzosek H., Kowalska S., Krucińska I., Lipp-Symonowicz B., 2009. Structure and properties of fibres from 5th instar larvae of caddis flies *Hydropsyche angustipennis* (Insects, Trichoptera). *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 17: 7-13.

Larwy *H. angustipennis* zdolne do wytwarzania zarówno bezpostaciowej masy klejącej poszczególne elementy domku poczwarkowego, jak i włókien tworzących sieć łowną i kokon poczwarkowy (WIGGINS 2003). Włókna wykorzystane do tych badań pochodziły z sieci łownych oraz z kokonów poczwarkowych wytwarzanych przez larwy znajdujące się w najbardziej zaawansowanym stadium rozwojowym. Materiał do badań pozyskałem w warunkach laboratoryjnych, dzięki czemu otrzymałem znaczną liczbę włókien o jednolitej strukturze, pozbawionych mechanicznych uszkodzeń oraz zanieczyszczeń mogących wpływać na wyniki. Jeśli wydzielina ta znajdzie w przyszłości zastosowanie medyczne, to z dużym prawdopodobieństwem także będzie pochodzić z zaaranżowanych hodowli.

Włókna poddano badaniom zgodnie z Polską Normą PN-72/P-04604 „Metody identyfikacji surowych tkanin i włókien”. Chemiczne właściwości określono posiłkując się metodyką badawczą opracowaną dla pozbawionego serycyny jedwabiu jedwabnika morwowego (*Bombyx mori*), z którym wyniki były następnie porównywane. Spektroskopia w podczerwieni (IR) pozwoliła określić udział poszczególnych grup funkcyjnych składających się na szkielet konstrukcyjny włókna. Zestawiając wykresy widm IR dla jedwabnej wydzieliny *H. angustipennis*, *B. mori* i *Tegenaria domestica* (kątnik domowy) dało się zauważyć, że poszczególne grupy funkcyjne odpowiadające za ogólny szkielet i budowę włókna są obecne na podobnym poziomie u wszystkich trzech gatunków. Z danych literaturowych wiadomo, że zdolność do produkcji tej wydzieliny wyewoluowała dość wcześnie, skoro w świecie tak zróżnicowanych taksonomicznie bezkręgowców ma ona w $\pm 80\%$ ten sam skład i budowę chemiczną (CRAIG 2003). Z tego też względu zwyczajowo przyjęto się używać określenia jedwab dla wydzieliny produkowanej przez różne bezkręgowce. Za specyficzne właściwości oprzędu produkowanego przez daną grupę zwierząt odpowiadają różnice chemiczne na poziomie 20%. Włókna chruścikowe posiadają szereg charakterystycznych tylko dla nich wiązań chemicznych i grup funkcyjnych, dzięki czemu cechuje je wyższa niż u jedwabiu jedwabnika odporność na działanie różnych rozpuszczalników organicznych (ZHAO I IN. 2005, ZHANG I IN. 2006). Materiał poddany badaniom chemicznym pozostawał nienaruszony nawet w warunkach podwyższonej temperatury, która miała przyspieszać zachodzące reakcje. O obecności stwierdzonych dodatkowych grup funkcyjnych może świadczyć też większa gęstość jedwabiu chruścikowego w porównaniu z jedwabiem jedwabnika (MICHALAK I IN. 2005). Największe różnice zaobserwowano dla pasm absorpcyjnych odpowiedzialnych za obecność i liczbę grup $-CH_2-$ i $-CH_3-$, amidowych I, II i III i karboksylowych, warunkujących stabilność i wytrzymałość szkieletu włókna, a także blokujących związki chemiczne próbujące się przyłączyć do struktury białka lub ją rozzerwać.

H.4. Strzelecki J.W., Strzelecka J., Mikulska K., **Tszydel M.**, Balter A., Nowak W., 2011. Nanomechanics of new materials – AFM and computer modelling studies of trichoptera silk. Central European Journal of Physics, 9: 482-491. DOI: 10.2478/s11534-010-0105-x.

Dotychczas większość badań dotyczących domków larwalnych poświęcono doborowi materiału, który zwykle związany jest z ekonomią budowy takiego schronienia (STATZNER I IN. 2005). Domek powinien być wytrzymały, szybko powstawać, a jednocześnie być dla larwy możliwie najmniejszym obciążeniem energetycznym (ENGLUND I OTTO 1991). W tym celu zależnie od zaawansowania rozwojowego oraz warunków panujących w otoczeniu larwa dobiera poszczególne elementy kierując się kształtem i wielkością ziarna, a także składem chemicznym budulca i fakturą poszczególnych ziaren sklejanych ze sobą (STATZNER I IN. 2005). Równie ważna wydaje się być zdolność przywierania wydzieliny do różnych powierzchni, jednak na ten temat wiadomo było niewiele. Poznanie adhezyjnych właściwości oprzędu chruścikowego powinno ukierunkować dalsze badania w stronę opracowania biomateriału, który byłby hybrydą z komponentem nieorganicznym. Taki materiał mógłby mieć zastosowanie np. w medycynie rekonstrukcyjnej do wypełniania ubytków w tkankach u ludzi i zwierząt (ZHAO I IN. 2007, KASOJU I IN. 2009).

Celem badań było określenie faktury włókna, a także ocena, na ile może ona mieć wpływ na właściwości adhezyjne tego materiału. Badana była również morfologia sił spójności w nanoskali czyli kierunek rozchodzenia się mikrośił powstających we włóknie na powierzchni styku jedwabiu chruścikowego z „klejonym” materiałem. Zachowanie się włókien w nanoskali wyjaśnione zostało również poprzez modelowanie chemiczne. Wyniki porównano następnie z jedwabiem *B. mori* oraz *T. domestica*.

Obrazowanie włóknistej wydzieliny pochodzącej z gruczołów przednich *H. angustipennis* z wykorzystaniem mikroskopu sił atomowych AFM wykazało regularne występowanie na jej powierzchni wystających zgrubień o długości 150 nm. Tego typu struktur nie udało się wcześniej zaobserwować używając mikroskopu optycznego i skaningowego mikroskopu elektronowego (MICHALAK I IN. 2005, TSZYDEL I IN. 2009). Z jednej strony mogą one pełnić funkcję wzmacniającą zwiększając wytrzymałość na rozciąganie, a z drugiej strony mogą zwiększać tarcie i powierzchnię przyczepu do „sklejanych” powierzchni. Stwarza to wyjątkowe właściwości adhezyjne tej wydzieliny. Dzięki zastosowaniu AFM wykazano też, że podczas próby oderwania włókna od powierzchni, którą była szklana płytka, powstaje szereg „mikropęknięć/mikrooderwań”. Prowadzi to ostatecznie do uszkodzenia mechanicznego szkieletu struktury polimerowej włókna. Uszkodzenie to jest jednak znacznie rozciągnięte w czasie. Stopniowe rozciąganie i pękanie po sobie kolejnych wiązań ochronnych (tzw. „sacrificial bonds”) zwiększa rozpraszanie energii, opóźniając całkowite zerwanie włókna. Stwierdzone tu zjawisko osłabienia negatywnego oddziaływania siły zrywającej to histereza, bardzo istotna właściwość materiału obserwowana również we włóknach pajęczych i jedwabnika (BECKER I IN. 2003).

Połączenie badań AFM z SMD (Steered Molecular Dynamics), czyli sterowaną dynamiką molekularną, pozwoliło stworzyć model przebiegu pęknięcia wiązania ochronnego. Testowane były zarówno fragmenty α -helisy, jak i β -struktur, tzw. beta kartek. Wytrzymałość wiązania wyrażona wartością siły potrzebnej na „rozwiniecie” – zerwanie badanej struktury we włóknie – okazała się różna w zależności od ośrodka, w którym włókna były badane. Siłę związku wiązań ochronnych, a tym samym odporność na zerwanie można zwiększyć poprzez fosforylację reszt seryny w roztworze z jonami Ca^{2+} . Dodatnio naładowane jony wapniowe tworzą silny związek z ujemnymi resztami fosforylowymi pasm seryny (STEWART I WANG 2010). Dzięki tej informacji wiadomo jak zabezpieczyć włókna podczas ewentualnego przechowywania tak, aby zachować ich parametry wytrzymałościowe.

H.5. Tszedel M., M. Zabłotni A., Wojciechowska D., Michalak M., Krucińska I., Szustakiewicz K., Maj M., Jaruszewska A., Strzelecki J., 2015. Research on possible medical use of silk produced by caddisfly larvae of *Hydropsyche angustipennis* (Trichoptera, Insecta). Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 45: 142-153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2015.02.003>.

Fakt że chruściki wytwarzają swoją jedwabną wydzielinę i formują z niej bardzo wytrzymałe konstrukcje w środowisku wodnym, czyni ten biomateriał potencjalnie możliwym do wykorzystania medycznego wewnątrzustrojowo jako nici chirurgiczne, bioopatrunki lub różnego typu rusztowania dla tkanek i wypełnienia ubytków w ciele (STEWART I WANG 2010, ASHTON I IN. 2013). Biomateriał musi spełnić jednak kilka

fundamentalnych wymogów, aby mógł zostać zastosowany do celów medycznych. Nie może być on toksyczny wewnątrzustrojowo, powinien być biokompatybilny, dać się skutecznie wysterylizować różnymi metodami oraz nadawać się do przechowywania, a w jego trakcie nie tracić swoich właściwości. Tego typu kompleksowym badaniom poddano dotychczas tylko jedwab pochodzący z kokonów jedwabników i sieci pajęczych (CRAIG 2003). Dlatego też, celem przedstawionych poniżej badań była wstępna ocena przydatności jedwabnej wydzielin chruścików do szeroko rozumianego zastosowania medycznego.

W badaniach związanych z włóknami wytwarzanymi przez larwy *H. angustipennis* zastosowano materiał pochodzący z kokonów poczwarkowych. Zdecydowałem się je wykorzystać w swoich badaniach z kilku powodów. Po pierwsze, włókna wyizolowane z kokonów nie różnią w sposób istotny budową ani wytrzymałością od włókien z sieci łownych (MICHALAK I IN. 2005, TSZYDEL I IN. 2009). Drugą zaletą jest możliwość pozyskiwania z kokonu jednorazowo dużej liczby pojedynczych włókien. U *H. angustipennis* kokon poczwarkowy to stosunkowo duży twór, znacznie większy niż sieć łowna. Powstaje z gęsto posklejanych jedwabnych włókien jako wyściółka domku poczwarkowego, w którym larwa przeobraża się w poczwarkę. Po rozcięciu wzdłuż osi głównej kokon staje się prostokątnym kawałkiem włókniny o wymiarach około 13 × 5 mm. W przeciwieństwie do pajaków, larwy badanego gatunku chruścika są w stanie wytworzyć kokon w sztucznych warunkach (PHILIPSON I MOORHOUSE 1974, BASCOMBE I IN. 1990). Odpowiednio aranżując warunki laboratoryjne, poprzez pozbawienie larwy substratu do budowy domku poczwarkowego, można uzyskać sam kokon poczwarkowy składający się wyłącznie z jedwabnego oprzędu, przy prawie 90% skuteczności hodowli.

Cytotoksyczność została przetestowana zarówno na mysich, jak i ludzkich fibroblastach. Badano intensywność wzrostu, poziom śmiertelności komórek, a także to czy powstające komórki nie ulegają deformacjom w kontakcie z jedwabiem chruścikowym w trakcie hodowli *in vitro*. Kokony umieszczono też na podłożach mikrobiologicznych zaszczerpionych różnymi drobnoustrojami celem sprawdzenia ewentualnych właściwości antyseptycznych. W przypadku sterylizacji wzięto pod uwagę, że część stosowanych metod opiera się na traktowaniu materiału wysoką temperaturą i ciśnieniem. Dlatego też, przed przystąpieniem do tyndalizacji i autoklawowania, wykonano analizę termogravimetrii (TGA). TGA wykazała wysoką odporność włókna na wzrost temperatury w jego bezpośrednim otoczeniu, pozwalającą bez obaw zastosować standardowo wykonywaną w warunkach klinicznych sterylizację termiczną. Kokony poddano również sterylizacji za pomocą promieni UV oraz alkoholu etylowego. Z wysterylizowanych różnymi metodami kokonów pobrano włókna, które następnie poddane zostały testom mechanicznym. Wyniki porównano z włóknami pochodzącymi z kokonów niepoddanych sterylizacji, stanowiącymi odniesienie kontrolne. Wysterylizowane kokony, z których pozyskano włókna do badań, przechowano w jałowej soli fizjologicznej przez rok, celem ponownej analizy ich parametrów wytrzymałościowych. Zasympulowano w ten sposób sytuację, w której biomateriał pozyskany jest w innym czasie niż pojawia się na niego zapotrzebowanie.

Przebadany jedwab wytwarzany przez larwy *H. angustipennis* nie wykazywał żadnej cytotoksyczności, a wręcz powodował intensywniejszy wzrost komórek (prolifrację). Za ścisły związek komórek z badanym materiałem odpowiadała zapewne specyficzna faktura

włókna oraz budowa chemiczna sprzyjająca adhezji do różnych powierzchni w środowisku wodnym (STEWART I WANG 2010, STRZELECKI I IN. 2011, ASHTON I IN. 2013). Jedwab chruścikowy nie posiada właściwości antyseptycznych, dlatego zanim zostanie użyty do celów medycznych wymaga sterylizacji. Całkowite wyeliminowanie drobnoustrojów „zasiedlających” włókna tworzące kokon zapewniła tylko sterylizacja termiczna, którą badany materiał przeszedł pomyślnie bez utraty swoich właściwości mechanicznych. Ekspozycja na promieniowanie UV i czasowe zanurzenie w etanolu nie dawały w pełni jałowego materiału. Problem ze sterylnością jest tu prawdopodobnie wynikiem skomplikowanej struktury białka i gęstego ułożenia włókien w kokonach (STEWART I WANG 2010, TSUKADA I IN. 2010, ASHTON I IN. 2013), których etanol lub promienie UV nie są w stanie w pełni spenetrować. Wysterylizowane termicznie włókna nie zmieniły swoich właściwości mechanicznych względem próby kontrolnej również po okresie rocznego przechowywania. Tego nie można było powiedzieć o włóknach sterylizowanych promieniami UV i etanolem. Po sterylizacji dało się zaobserwować istotne różnice w wytrzymałości wyrażonej siłą zerwania, a także elastyczności włókien, zwłaszcza w przypadku materiału czasowo przechowywanego. Obniżenie wytrzymałości włókien było najprawdopodobniej spowodowane nadtrawieniem struktury białka enzymami proteolitycznymi wytwarzanymi przez nieusunięte bakterie. Destrukcyjne w pewnym stopniu mogło być też dla badanych włókien zastosowane promieniowanie UV, co zostało udowodnione wcześniej w badaniach jedwabiu jedwabnika i nici pajęczych (SIONKOWSKA I PLANECKA 2001).

Podsumowanie osiągnięcia naukowego

Larwy *Hydropsyche angustipennis* są jednymi z najpopularniejszych i najlepiej rozpoznawanych wśród chruścików bezdomkowych Europy i Azji borealnej. Ze względu na rozpowszechnienie i liczebność, a także łatwość pozyskania z terenu oraz hodowlę laboratoryjną to bardzo chętnie badany takson, do którego pasuje określenie „królik doświadczalny”. Wydawałoby się, że gatunek przebadano już na tyle wnikliwie, że nie uda się znaleźć nic, co mogłoby zyskać uwagę współczesnego środowiska naukowego. Wykazałem w swoich badaniach, że larwy tego gatunku z powodzeniem mogą zostać wykorzystane do monitoringu wód w niewielkich ciekach silnie przekształconych w wyniku urbanizacji, dla których brakuje uniwersalnych organizmów o charakterze bioindykatora. Moje badania jako jedne z pierwszych w naszym kraju potwierdziły przydatność analizy zawartości metali ciężkich w tkankach, a także zmian morfologicznych w postaci subletalnych deformacji skrzelotchawek i brodawek analnych w ocenie stopnia zanieczyszczenia wód ściekami miejskimi o charakterze mieszanym. Zastosowanie *H. angustipennis* jako pojedynczego gatunku w biomonitoringu wód miejskich może być dobrym uzupełnieniem już stosowanych metod oceny jakości wody.

Jeszcze większy potencjał badawczy i możliwość komercyjnego wykorzystania drzemie w jedwabnej wydzielinie wytwarzanej przez larwy *H. angustipennis*. Większość informacji dla oprzędu produkowanego przez ten gatunek w literaturze jest wynikiem badań moich i zespołu naukowców z różnych ośrodków badawczych, których przekonałem do współpracy. Między innymi to, że włókna produkowane przez larwy tego gatunku są równie

wytrzymałe jak nici pochodzące od krajowych pająków i znacznie mocniejsze od włókien jedwabnika. Wykazałem też, że możliwe jest otrzymanie tej jedwabnej wydzieliny w warunkach stworzonych przez człowieka, przy bardzo niewielkiej śmiertelności zwierząt. Larwy *H. angustipennis* dobrze znoszą warunki laboratoryjne, tworząc kokon poczwarkowy o całkiem pokaźnych rozmiarach. Kokon budują z tych samych włókien białkowych co sieć łowną. Drugorzędowa struktura białkowa zawierająca fragmenty α i β zapewnia im wytrzymałość porównywalną z niemi pajęczymi. Jedwab wytwarzany przez chruściki daje się sterylizować termicznie bez utraty właściwości mechanicznych. Nie wykazuje cytotoksyczności dla ludzkich fibroblastów w hodowlach in vitro, a wręcz przeciwnie, stymuluje wzrost komórek, co daje nadzieję na możliwość ewentualnego wykorzystania tego jedwabnego produktu również wewnątrzustrojowo. Spójność z fibroblastami była możliwa dzięki właściwościom adhezyjnym tego materiału biologicznego. Po całkowitym wysterylizowaniu biomateriał można przechowywać w jałowej soli fizjologicznej, tak jak to się odbywa w przypadku innych materiałów powszechnie wykorzystywanych w medycynie.

LITERATURA

- ABDEL-HALEEM A.S., SROOR A., EL-BAHI S.M., ZOHNY E., 2001. Heavy metals and rare earth elements in phosphate fertilizer components using instrumental neutron activation analysis. *Appl. Radiat. Isot.* 55: 569-573.
- ADAKOLE J.A., ANNUE P.A., 2003. Benthic macroinvertebrates as indicators of environmental quality of an urban stream. Zaria, Northern Nigeria. *J. Aquat. Sci.* 18: 85-92.
- ALLAN I.J., VRANA B., GREENWOOD R., MILLS G.A., ROIG B., GONZALEZ C., 2006. A "toolbox" for biological and chemical monitoring requirements for the European Union's Water Framework Directive. *Talanta* 69: 302-322.
- ASHTON N.N., ROE D.R., WEISS R.B., CHEATHAM T.E., STEWART R.J., 2013. Self-tensioning aquatic caddisfly silk: Ca^{2+} – dependent structure, strength and load cycle hysteresis. *Biomacromolecules* 14: 3668-3681.
- BARATA C., LEKUMBERRI I., VILA-ESCALE M., PRAT N., PORTE C., 2005. Trace metal concentration, antioxidant enzyme activities and susceptibility to oxidative stress in the Trichoptera larvae *Hydropsyche exocellata* from the Llobregat River basin (NE Spain). *Aquat. Toxicol.* 74: 3-19.
- BASCOMBE A.D., ELLIS J.B., REVITT D.M., SHUTES R.B.E., 1990. Development of ecotoxicological criteria in urban catchments. *Water Sci. Technol.* 22: 173-179.
- BECKER N., OROUDJEV E., MUTZ S., CLEVELAND J., HANSMA P.K., HAYASHI C.Y., MAKAROV D., HANSMA H.G., 2003. Molecular nanosprings in spider capture-silk threads. *Nat. Mater.* 2: 278-283.
- BONADA N., ZAMORA-MUÑOZ C., RIERADEVALL M., PRAT N., 2004. Ecological profiles of caddisfly larvae in Mediterranean streams: implications for bioassessment methods. *Environ. Pollut.* 132: 509-521.
- BONADA N., VIVES S., RIERADEVALL M., PRAT N., 2005. Relationship between pollution and fluctuating asymmetry in the pollution-tolerant caddisfly *Hydropsyche exocellata* (Trichoptera, Insecta). *Arch. Hydrobiol.* 162: 167-185.
- BRINKMAN S.F., JOHNSTON W.D., 2008. Acute toxicity of aqueous copper, cadmium, and zinc to the mayfly *Rhithrogena hageni*. *Arch. Environ. Con. Tox.* 54: 466-472.
- CAIN D.J., CARTER J.L., FEND S.V., LUOMA S.N., ALPERS C.N., TAYLOR H.E., 2000. Metal exposure to a benthic macroinvertebrate, *Hydropsyche californica*, related to mine drainage in the Sacramento River. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57: 380-390.
- CAIN D.J., LUOMA S.N., WALLACE W.G., 2004. Linking metal bioaccumulation of aquatic insects to their distribution patterns in a mining-impacted river. *Environ. Toxicol. Chem.* 23: 1463-1473.
- CAIN D.J., BUCHWALTER D.B., LUOMA S.N., 2006. Influence of metal exposure history on the bioaccumulation and subcellular distribution of aqueous cadmium in the insect *Hydropsyche californica*. *Environ. Toxicol. Chem.* 25: 1042-1049.

- CAMARGO J., 1991. Toxic effects of residual chlorine on larvae of *Hydropsyche pellucidula* (Trichoptera; Hydropsychidae): a proposal of biological indicator. *B. Environ. Contam. Tox.* 47: 261-265.
- CAMARGO J., GARCIA DE JALON D., MUNÄOZ M.J., TARAZONA J.V., 1992A. Sublethal effects of sodium fluoride (NaF) on net-spinning caddisflies (Trichoptera). *Aquat. Insect.* 14: 23-30.
- CAMARGO J., WARD J.V., MARTIN K.L., 1992B. The relative sensitivity of competing hydropsychid species to fluoride toxicity in the Cache la Poudre river (Colorado). *Arch. Environ. Con. Tox.* 22: 107-113.
- CIANFICCONI F., BICCHIERAI M.C., MORETTI G., 1992. Silk glands and silk weave in trichopteran larvae. [In:] Otto, C. [Ed.], Proceedings of 7th International Symposium on Trichoptera, Umea, Bachhuys Pub, 33-38 pp.
- CRAIG L.C., 2003. Spiderwebs and Silk. Tracing Evolution from Molecules to Genes to Phenotypes. Oxford University Press, Oxford.
- CZACHOROWSKI S., 1989. Differentiation of the habitats of Hydropsychidae larvae (Insecta: Trichoptera) in the Pasleka River as a result of avoidance of trophic competition. *Pol. Arch. Hydrobiol.* 36: 123-132.
- DUDGEON D., 1987. A laboratory study of optimal behavior and the cost of net construction by *Polycentropus flavomaculatus* (Insecta, Trichoptera). *J. Zool.* 211: 121-141.
- EDINGTON J.M., HILDREW A.G., 1981. A key to the caseless caddis larvae of the British Isles with notes on their ecology. *Freshw. Biol. Ass. Sci. Pu. N.* 43, 92 pp.
- ELLIS J.B., REVITT D.M., LUNDY L., 2012. An impact assessment methodology for urban surface runoff quality following best practice treatment. *Sci. Total. Environ.* 416: 172-179.
- ENGLUND G., OTTO C., 1991. Effects of ownership status, weight asymmetry, and case fit on the outcome of case contents in two populations of *Agrypnia pagetana* (Trichoptera: Phryganeidae) larvae. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 29: 113-120.
- GIRGIN S., KAZANCI N., DUGEL M., 2010. Relationship between aquatic insects and heavy metals in an urban stream using multivariate techniques. *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 7: 653-664.
- HILDREW A.G., EDINGTON J.M., 1979. Factor facilitating the coexistence of hydropsychid caddis larvae (Trichoptera) in the same river system. *J. Anim. Ecol.* 48: 557-576.
- HILTY J., MERENLENDER A., 2000. Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biol. Conservat.* 92: 185-197.
- JOHNSON R.K., WIEDERHOLM T., ROSENBERG D.M., 1993. Freshwater biomonitoring using individual organisms, populations and species assemblages of benthic macroinvertebrates. Chapman and Hall, New York, 40-125 pp.
- KASOJU N., BHONDE R.R., BORA U., 2009. Preparation and characterization of *Antheraea assama* silk fibroin based novel non-woven scaffold for tissue engineering applications. *J. Tiss. Eng. Regen. Med.* 3: 539-552.
- KOUBA A., BURIC M., KOZAK P., 2010. Bioaccumulation and effects of heavy metals in crayfish: a review. *Water. Air. Soil. Poll.* 211: 5-16.
- LENAT D.R., 1993. Using mentum deformities of *Chironomus* larvae to evaluate the effects of toxicity and organic loading in streams. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 21: 265-269.
- LEPNEVA S.G., 1971. Fauna of the U.S.S.R. Trichoptera I, Larvae and Pupae of Annulipalpia. Translation from 1964 Russian edition. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations, pp. 638.
- MACEDO-SOUSA J.A., GERHARDT A., BRETT C.M.A., NOGUEIRA A.J.A., SOARES A.M.V.M., 2008. Behavioural responses of indigenous benthic invertebrates (*Echinogammarus meridionalis*, *Hydropsyche pellucidula* and *Choroterpes picteti*) to a pulse of Acid Mine Drainage: A laboratorial study. *Environ. Pollut.* 156: 966-973.
- MALAS D.M., WALLACE J.B., 1977. Strategies for coexistence in three species of net-spinning caddisflies (Trichoptera) in second-order southern Appalachian streams. *Can. J. Zool.* 55: 1829-1840.
- MICHALAK M., TSZYDEL M., BILSKA J., KRUCIŃSKA I., 2005. Products of caddisfly larvae (Trichoptera) silk glands as a new natural textile fibre. *Fibres Text. East. Eur.* 6: 28-32.
- MILLS G.A., GREENWOOD R., GONZALEZ C., 2007. Environmental monitoring within the water framework directive (WFD). *Trend. Anal. Chem.* 26: 450-453.

- NESSIMIAN J.L., DUMAS L.L., 2010. Description of the immature stages of *Leptonema tridens* (Insecta: Trichoptera: Hydropsychidae) from southeastern Brazil with notes on its biology. *Zoologia* 27: 465-471.
- NGUYEN H., DONINI A., 2010. Larvae of the midge *Chironomus riparius* possess two distinct mechanisms for ionoregulation in response to ion-poor conditions. *Am. J. Physiol.* 299: 762-773.
- PETERSEN L.B.M., 1985. Food preferences in three species of *Hydropsyche* (Trichoptera). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22: 3270-3274.
- PHILIPSON G.N., MOORHOUSE B.H., 1974. Observations on ventilator and net-spinning activities of the larvae of the genus *Hydropsyche* Pict. (Trichoptera, Hydropsychidae) under experimental conditions. *Freshwat. Biol.* 4: 525-533.
- PRAT N., TOJA J., SOLA` C., BURGOS M.D., PLANS M., RIERADEVALL M., 1999. Effect of dumping and cleaning activities on the aquatic ecosystems of the Guadiamar River following a toxic flood. *Sci. Total. Environ.* 242: 231-248.
- RAZOWSKI J., 1991. Wykaz zwierząt Polski. Tom II, vol. II – Insecta. Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, 342 s.
- ROCHFORT Q., GRAPENTINE L., MARSALEK J., BROWNLEE B., REYNOLDSON T., THOMPSON S., MILANI D., LOGAN C., 2000. Using benthic assessment techniques to determine combined sewer overflow and stormwater impacts in the aquatic ecosystem. *Wat. Qualit. Res. J. Can.* 35: 365-397.
- SAVCI S., 2012. An agricultural pollutant: chemical fertilizer. *Int. J. Environ. Sci. Dev.* 3: 77-79.
- SCHOLES L., REVITT D.M., ELLIS J.B., 2008. A systematic approach for the comparative assessment of stormwater pollutant removal potentials. *J. Environ. Manag.* 88: 467-478.
- SIONKOWSKA A., PLANECKA A., 2001. The influence of UV radiation on silk fibroin. *Polym. Degrad. Stab.* 96: 523-528.
- SOININEN J., KÖNÖNEN K., 2004. Comparative study of monitoring South-Finnish rivers and streams using macroinvertebrates and benthic diatom community structure. *Aquat. Ecol.* 38: 63-75.
- SOLA C., PRAT N., 2006. Monitoring metal and metalloid bioaccumulation in *Hydropsyche* (Trichoptera, Hydropsychidae) to evaluate metal pollution in a mining river. Whole body versus tissue content. *Sci. Total. Environ.* 359: 221-231.
- STATZNER B., MÉRIGOUX S., LEICHTFRIED M., 2005. Mineral grains in caddisfly pupal cases and stream bed sediments: resource use and its limitation through conflicting resource requirements. *Limnol. Oceanogr.* 50: 713-721.
- STEWART R.J., WANG C.S., 2010. Adaptation of caddisfly larval silks to aquatic habitats by phosphorylation of H-fibroin serines. *Biomacromolecules* 11: 969-974.
- STRZELECKI J.W., STRZELECKA J., MIKULSKA K., TSZYDEL M., BALTER A., NOWAK W., 2011. Nanomechanics of new materials – AFM and computer modelling studies of trichoptera silk. *Cent. Eur. J. Phys.* 9: 482-491.
- STUIJFZAND S., ENGELS S., VAN AMMELROOY E., JONKER M., 1999. Caddisflies (Trichoptera: Hydropsychidae) used for evaluating water quality of large European rivers. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 36: 186-192
- TESSIER L., BOISVERT J.L., VOUGHT L.B., LACOURSIÈRE J.O., 2000. Anomalies on capture nets of *Hydropsyche slossonae* larvae (Trichoptera, Hydropsychidae), a potential indicator of chronic toxicity of malathion (organophosphate insecticide). *Aquat. Tox.* 50: 125-139.
- TSUKADA M., KHANB M.M.R., INOUE E., KIMURA G., HUN J.Y., MISHIMA M., HIRABAYASHI K., 2010. Physical properties and structure of aquatic silk fiber from *Stenopsyche marmorata*. *Int. J. Biol. Macromol.* 46: 54-58.
- TSZYDEL M., SZTAJNOWSKI S., MICHALAK M., WRZOSEK H., KOWALSKA S., KRUCIŃSKA I., LIPP-SYMONOWICZ B., 2009. Structure and properties of fibres from 5th instar larvae of caddisflies *Hydropsyche angustipennis* (Insecta, Trichoptera). *Fibres Text. East. Eur.* 17: 7-12.
- TSZYDEL M., KRUK A., GALICKA W., TYBULCZUK S., PIETRASZEWSKI D., MARSZAŁ L., 2010. Fauna bezkręgową w strumieniach i rzekach miasta Łodzi. *Acta Univ. Lodz., Folia Biol. et Oecol., Suppl.* 43-54.
- VAN DER GEEST H.G., GREVE G.D., DE HAAS E.M., SCHEPER B.B., KRAAK M.H.S., STUIJFZAND S.C., AUGUSTIJN K.H., ADMIRAAL W., 1999. Survival and behavioral responses of larvae and caddisfly *Hydropsyche angustipennis* to copper and diazinon. *Environ. Toxicol. Chem.* 9: 1965-1971.

- VAN URK G., KERKUM F.C.M., SMIT H., 1992. Life cycle patterns, density and frequency of deformities in *Chironomus* larvae (Diptera: Chironomidae) over a contaminated sediment gradient. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 2291-2299.
- VUORI K.-M., 1994. Rapid behavioural and morphological responses of hydropsychid caddis larvae (Trichoptera, Hydropsychidae) to sublethal cadmium exposure. *Environ. Pollut.* 84: 291-299.
- VUORI K.-M., KUKKONEN J., 1996. Metal concentrations in *Hydropsyche pellucidula* larvae (Trichoptera, Hydropsychidae) in relation to the anal papillae abnormalities and age of exocuticle. *Water Res.* 30: 2265-2272.
- WALLACE J.B., MERRITT R.W., 1980. Filter-feeding ecology of aquatic insects. *Ann. Rev. Ent.* 25: 103-132.
- WIGGINS G.B., 2003. Caddisflies the underwater architects. University of Toronto Press, Toronto, Canada, 292 pp.
- WIGGINS G.B., MACKAY R.J., 1979. Some relationships between systematics and trophic ecology in Nearctic aquatic insects with special reference to Trichoptera. *Ecology* 59: 1211-1220.
- WRIGHT J.F., 2000. An introduction to RIVPACS. [In:] Wright, J.F., Sutcliffe, D.W. and Furse, M.T. *Assessing the biological quality of fresh waters: RIVPACS and other techniques*. Cumbria: Freshwater Biological Association, 24 pp.
- ZHANG Y., XU A., LI M., SUN P., QINA H., 2006. The diversity of strength and elongation of cocoon filament and correlative analysis among silkworm races. *J. Silk.* 7: 22-24.
- ZHAO H.P., FENG X.Q., YU S.W., CUI W.Z., ZOU F.Z., 2005. Mechanical properties of silkworm cocoons. *Polymer* 46: 9192-9201.
- ZHAO H., FENG X., GAO H., 2007. Ultrasonic treatment for extracting nanofibers from nature materials. *Appl. Phys. Lett.* 90: 73-112.

5. Omówienie pozostałych ważniejszych osiągnięć naukowo-badawczych

Moja dotychczasowa działalność naukowa związana była głównie z wykorzystaniem organizmów wodnych do oceny stopnia antropogenicznych przekształceń środowiska, w których larwy z rodzaju *Hydropsyche* miały duży udział. Badając chruściki, zainteresowałem się również wytwarzanym przez nie jedwabnym oprzędem. W przypadku oprzędu wytwarzanego przez *H. angustipennis* i *H. pellucidula* były to wstępne analizy dotyczące budowy, gęstości i właściwości wytrzymałościowych włókien w kontekście praktycznego zastosowania (A.1., A.5., B.12. i B.13.). Badania te pozwoliły mi podjąć decyzje co do dalszych prac nad możliwością wykorzystania tego biomateriału do zastosowania nakierowanego na ewentualne zastosowanie medyczne.

W moim dorobku naukowym zdecydowanie liczniejsze są prace związane z monitoringiem środowiskowym. W swoich badaniach środowiskowych skupiłem się na ocenie jakości wody z wykorzystaniem organizmów wodnych. Zwykle różnorodność gatunkowa oraz obfitość bezkręgowców bentosowych, a także ryb jest odzwierciedleniem jakości wody oraz zmian wprowadzonych przez człowieka w korytach rzecznych. Próbowałem ustalić, na ile to twierdzenie w przypadku bezkręgowców wodnych i ichtiofauny okaże się prawdziwe dla przekształconych i zanieczyszczonych cieków miejskich (B.16.). Bezkręgowce posłużyły mi również do oceny wpływu, jaki zbiorniki zaporowe wywierają na faunę wodną w odcinkach rzek poniżej piętrzenia. Badania dotyczyły zbiorników retencyjnych, o różnej wielkości, konstrukcji upustu i pełnionej funkcji.

Zbiornik Jeziorsko to duży akwen wybudowany na rzece Warcie, w celu zapewnienia ochrony powodziowej dla Sieradza i Poznania. Skala piętrzenia pozwala na uprawianie rekreacji wodnej, a także prowadzenie gospodarki rybackiej. Piętrzenie zostało skojarzone

z elektrownią wodną, której praca wymaga zachowania odpowiedniego reżimu uwalniania wody. Wskutek odkształcenia rytmu przepływów od naturalnego i drastycznego zwiększenia amplitudy dobowej, w odcinku rzeki bezpośrednio poniżej piętrzenia, organizmy są zmuszone do poszukiwania refugium, aby nie zostać porwane z prądem. Dla rzeki Warty poniżej zbiornika Jeziorsko taką ostoją mogą być zarówno zanurzone makrofity (B.7.), jak i strefy przybrzeżne porośnięte roślinnością litoralną albo umocnione kamiennym narzutem zabezpieczającym brzegi przed erozją. Rumosz w strefie przybrzeżnej był preferowany przez ryby nie tylko poniżej piętrzenia, ale wszędzie tam gdzie tego typu zabezpieczenie brzegu zostało zastosowane (A.7. i B.23.). Zapora to również bariera migracyjna, utrudniająca wędrówkę ichtiofauny z mniej zdegradowanego górnego biegu Warty, spowalniająca tym samym odbudowę zespołów ryb w środkowym odcinku Warty (A.7. i A.8.).

Konsekwencje piętrzenia miałem możliwość prześledzić również w rzece Drzewicze poniżej zbiornika zaporowego „Jezioro Drzewieckie”. Jest to zbiornik średniej wielkości, powstały na potrzeby zakładu przemysłowego „Gerlach S.A.”. Poniżej tamy usytuowano tor do treningów kajakarstwa górskiego. Tego typu konstrukcje są raczej rzadkością dla rzek nizinnych, więc aby uzyskać przepływ zbliżony do górskiego, podczas treningu musi być uwalniana ze zbiornika w krótkim okresie czasu znaczna ilość wody. Badany odcinek rzeki znajdował się ok. 1 km poniżej toru kajakowego. Stworzone warunki przypominały niekiedy te panujące w rzekach poniżej hydroelektrowni szczytowych o dobowym rytmie zapotrzebowania na energię. Badania, w których brałem udział, realizowane były w ramach grantu **KBN** nr projektu: **6 PO4F 047 19** – *„Mozaikowość warunków środowiskowych a struktura i obfitość zoobentosu w rzece o silnie zakłóconym reżimie hydrologicznym”* i były podstawą mojej pracy magisterskiej. Wykazałem w nich, że krótkotrwała, ale gwałtowna zmiana przepływu wygenerowana zrzutem wody ze zbiornika, już w niewielkiej odległości od toru kajakowego, przyczynia się do powstawania mozaiki siedlisk zasobnych w pokarm znoszony ze zbiornika (B.2., B.3. i B.6.). Zróżnicowanie mikrosiedliskowe wpłynęło korzystnie zarówno na różnorodność, jak i obfitość makrobezkręgowców wodnych w tym odcinku rzeki (B.1., B.4. i B.6.) w porównaniu z oddalonym o 10 km stanowiskiem kontrolnym (A.2.). U organizmów znajdujących się bezpośrednio poniżej toru kajakarstwa górskiego dryf bezkręgowców okazał się strategią pozwalającą unikać niekorzystnych warunków związanych z czasowym wzrostem prędkości przepływu wody (B.5., B.6. i B.8.). Bezkręgowce poniżej zapory utworzyły też charakterystyczny konglomerat reofilnych filtratorów i zdrapywaczy żywiących się znoszonym sestonem oraz glonami porastającymi kamienie i gruby żwir, które występowały obficie dzięki specyficznemu reżimowi hydrologicznemu (B.4., B.6., A.2. i A.4.). Obok siedliska o gruboziarnistym podłożu, ostoją okazało się również siedlisko pokryte makrofitami zanurzonymi (A.2. i A.4.). Potrzeba modernizacji akwenu wymusiła na władzach miasta Drzewicy decyzję o czasowym opróżnieniu zbiornika. Zabieg ten pozwolił mi prześledzić, jak badany przeze mnie wcześniej odcinek rzeki zachowa się podczas powrotu do naturalnego reżimu hydrologicznego. Badania stanowiły podstawę mojego doktoratu i były realizowane w ramach grantu **KBN** nr projektu: **6 PO4F 012 25** – *„Bentos nizinnej rzeki w warunkach powrotu do naturalnego przepływu po długotrwałych zaburzeniach spowodowanych piętrzeniem i funkcjonowaniem górskiego toru kajakowego”*, którego byłem współwykonawcą. Badania te wykazały, że podczas opróżniania akwenu i rozbiórki

konstrukcji piętrzącej doszło do umiarkowanego przemodelowania podłoża nieorganicznego, a część z badanych wcześniej siedlisk została dodatkowo przysypana warstwą osadu znoszonego z dna czasowo likwidowanego zbiornika. Wzrost ilości transportowanej i deponowanej materii organicznej i nieorganicznej różnych frakcji obserwowany był jedynie podczas początkowego okresu prowadzonych prac hydrotechnicznych (A.4. i A.6.). Zależnie od siedliska wpłynęło to w różny sposób na strukturę bezkręgowców bentosowych, ich dietę, przebieg cykli życiowych i ucieczkę w dryf (A.4., B.8. i B.9.). Usunięcie zapory i opróżnienie Jeziora Drzewieckiego nie było jednak tak destrukcyjne dla rzeki poniżej jak usunięcie innych zbiorników opisanych w literaturze przedmiotu. Na ograniczenie negatywnego wpływu złożyło się wiele czynników. Zbiornik opróżniano przez kilka miesięcy począwszy od późnego lata, kiedy znaczna część bezkręgowców wodnych opuściła środowisko wodne jako imago, a ryby większości gatunków tam występujących dawno odbyły już tarło. Uwalniana woda nie spowodowała szoku termicznego ani tlenowego w odcinku rzeki poniżej zbiornika. Odślonięcie dna misy zbiornika zbiegło się z nastaniem zimy, podczas której mróz związał osady. Wiosną odślonięte dno zostało z kolei całkowicie porośnięte roślinnością szuwarową, co znacznie zmniejszyło transfer w dół rzeki dużych ilości materii organicznej zgromadzonej wcześniej w zbiorniku (A.6.).

Wśród badanych przeze mnie zbiorników zaporowych znalazły się też zbiorniki małej retencji – gromadzące do 150 tys. m³ wody. Do badań wytypowałem trzy zbiorniki o zbliżonej pojemności retencyjnej, zlokalizowanych na rzekach o podobnym reżimie hydrologicznym. To co różniło te akweny, to sposób ich wykorzystania. Pod względem wpływu piętrzenia i uwalnianej wody na organizmy w odcinkach rzek poniżej upustu, porównałem ze sobą: 1) zbiornik przemysłowy, 2) łowisko wędkarskie i 3) miejski akwen rekreacyjny będący kąpieliskiem. W przypadku wcześniej badanych przez mnie dużych zbiorników retencyjnych, to głównie prędkość przepływu decydowała o liczebności i różnorodności zespołu organizmów wodnych zasiedlających odcinek rzeki bezpośrednio poniżej upustu. W niewielkich akwenach największy wpływ miał zaś stopień uziarnienia podłoża w korytach rzecznych poniżej piętrzenia oraz zasoby pokarmowe znoszone upustem w dół cieku. Niezależnie od pełnionej funkcji, poniżej badanych zbiorników małej retencji siedlisko kamieniste i żwirowo-kamieniste okazało się najchętniej zasiedlane, a przez to było najbardziej produktywne. W obliczu uwalniania większej wody z akwenów stanowiło także refugium (A.3.). Dla porównania, w odcinkach rzek powyżej piętrzenia, dno pokryte gruboziarnistym materiałem było rzadkością. Podłoże wpływało zarówno na możliwość kolonizowania, jak i sposób zdobywania pokarmu przez bezkręgowce (A.3.).

Uczestniczyłem również w licznych badaniach monitoringowych mających na celu określenie składu gatunkowego, struktury dominacji i kondycji zespołów ryb i minogów w systemie rzeki Wisły, gdzie badane były: Bzura, Pilica, Kamienna, Krzna, Brok i Bug wraz z ważniejszymi dopływami, a także w systemie Odry, gdzie badane były: Gwda, Ner i Warta wraz z ważniejszymi dopływami (B.10., B.11., B.14., B.15., B.20., B.21., B.22., B.23., B.25. i B.26.). Większość tych badań została zlecona przez Zarząd Główny Polskiego Związku Wędkarskiego jako podstawa planowania działań ochronnych i racjonalnej gospodarki rybackiej. Część badań z moim udziałem była elementem kontynuacji długoterminowego monitoringu, prowadzonego w odstępach mniej więcej dziesięcioletnich. Tak było

w przypadku Bugu (B.11., B.14. i B.15.), Pilicy, Gwdy (B.10. i B.26.) oraz Warty (B.23.). W przypadku (1) Bugu, (2) Warty i systemu Gwdy oraz (3) Pilicy – badania przeprowadzone zostały w ramach grantów, odpowiednio **MNiI** nr projektu: **N305 101 635** „Zagrożenia i zmiany w ichtiofaunie systemu rzeki Bug w następstwie wzrostu liczebności gatunków inwazyjnych i stresów antropogenicznych”, **MNiSW** nr projektu: **N N304 305140** „Zagrożenia i długoterminowe zmiany (1963-2013) w ichtiofaunie Warty wskutek stresów antropogenicznych i oddziaływania gatunków inwazyjnych” oraz **WFOŚiGW** nr projektu: **867/BN/D/2015** „Monitoring ichtiofauny zlewni rzeki Pilicy (szósta dekada badań) - nasilenie i kierunki długoterminowych (1963-2017) zmian metapopulacji i metazespołów ryb w wyniku antropopresji i napływu gatunków obcych”. Pozwoliło to na ocenę stopnia przebudowy zespołów ryb w zależności od zanieczyszczenia i piętrzenia wody oraz regulacji koryt (A.7., A.8. i A.9.). W ostatnich badaniach odnotowano wyraźną poprawę stanu zespołów ryb wskutek uporządkowania gospodarki ściekowej wielu regionów naszego kraju. Tempo odbudowy ichtiofauny zależne było od stanu jakości wody, a także od stanu zespołów ryb w dopływach, które są ważnym źródłem rekolonizatorów (A.7. i A.8.). Badania ichtiofauny służyły również ustaleniu statusu gatunków zagrożonych i inwazyjnych (B.26.). Gatunki obce ryb były łowione w systemie Warty nieporównywalnie rzadziej niż w systemie Wisły, pomimo połączenia obydwu systemów Kanałem Bydgoskim (B.10., B.11., B.14., B.15., B.23., B.24. i B.26.).

Jako współwykonawca projektu **UMŁ**: Umowa nr. **Ed.VII.4346/G-17/2009/2010** – nt. „Geobotaniczno-sozologiczna waloryzacja i delimitacja siedlisk przyrodniczych Łodzi jako warunek zrównoważonego, funkcjonalno-przestrzennego jej rozwoju, w zakresie: Ichtiofauna strumieni miasta Łodzi – stan, zagrożenia, perspektywy” uczestniczyłem w badaniach dotyczących ichtiofauny miejskich cieków. Inwentaryzacja ichtiologiczna miała na celu ocenę zróżnicowania przestrzennego zespołów ryb w łódzkich strumieniach. Upadek przemysłu tekstylnego, a także wybudowanie Grupowej Oczyszczalni Ścieków na terenie miasta spowodowały zmniejszenie zanieczyszczenia rzek przepływających przez miasto. Nie znalazło to jednak odzwierciedlenia w strukturze rybstanu. Ichtiofaunę cieków na terenie Łodzi można określić jako skrajnie ubogą, ponieważ do strumieni nadal odprowadzane są ścieki z systemu kanalizacji ogólnospławnej. Ponadto brakuje odpowiednich siedlisk do rozmnażania i żerowania, które likwidowano przez dziesięciolecia regulując kolejne rzeki. Problemy te dotyczą głównie małych cieków, w ścisłym centrum miasta, płynących wybetonowanymi korytami, niosących niewiele wody, niestabilnych hydrologicznie, z zatężeniem zanieczyszczeń w okresach letnich niżówek. Wszystko to sprawia, że w badanych ciekach odnotowano niewiele gatunków reofilnych poza psammofilami (kiełb i śliz), które często są dominantami w europejskich uregulowanych ciekach. Dodatkowo, duży wpływ na skład gatunkowy cieków Łodzi miały zbiorniki rekreacyjne oraz stawy hodowlane umożliwiające dominację stagnofili takich jak: lin, karaś, słonecznica czy ciernik. Obok krajowej fauny odnotowano również gatunki obce takie jak czebaczek amurski i karaś srebrzysty (B.17., B.18. i B.19.).

6. Plany badawcze na przyszłość

W najbliższej przyszłości będę kontynuował badania nad larwami *H. angustipennis* i możliwością wykorzystania tych chruścików w monitoringu środowiskowym. Larwy tego gatunku będę chciał wykorzystać jako rezydentów zasiedlających kapsuły monitoringowe, tj. urządzenie, które właśnie zostało zgłoszone przeze mnie do opatentowania – zgłoszenie patentowe nr P.428980 [WIPO ST 10/C PL 428980] dotyczące „**Kapsuły monitoringowej służącej do oceny jakości lub zanieczyszczenia wody**”. Zestaw monitoringowy składający się z kapsuły oraz organizmu testowego umieszczonego wewnątrz będzie testowany na łódzkich rzekach, na tych samych stanowiskach, na których dotychczas prowadziłem badania. Rolą kapsuły jest częściowa izolacja organizmu. Do wnętrza specjalnie spreparowanego pojemnika ma się przedostawać jedynie woda wraz z tlenem oraz zawartymi w niej związkami chemicznymi. Daje to pewność, że metale ciężkie zawarte w tkankach pochodzą jedynie z zanieczyszczonej wody, a nie z nagromadzonego przez lata osadu albo z pokarmu, który został przetransportowany z innego miejsca. Dzięki kapsule możliwe będzie uzyskanie informacji, jaki wpływ na zawartość metali ciężkich w tkankach mają zanieczyszczenia obecne w wodzie, oraz ustalenie ewentualnie innych czynników wpływających na bioakumulację tych pierwiastków w organizmach badanych zwierząt. Larwy *H. angustipennis* wydają się być dobrymi organizmami testowymi dla tego urządzenia ze względu na ich zdolność do kumulowania w tkankach znacznej ilości różnych związków chemicznych, a także odporność na długotrwałe okresy głodu i czasowe deficyty tlenowe.

Planuję również kontynuować badania dotyczące jedwabnej wydzieliny produkowanej przez larwy tego gatunku. Wykonana wstępna ocena przydatności oprzędu do ewentualnego zastosowania medycznego pozwala myśleć o stworzeniu biomateriału, który miałby walor użytkowy. W tym celu niezbędne będzie przeprowadzenie badań na organizmach żywych, którym zostanie on zaimplementowany przyżyciowo do wnętrza ciała. W 2016 roku wystąpiłem do **Lokalnej Komisji Etycznej do spraw doświadczeń na zwierzętach w Łodzi** i uchwałą nr 42/ŁB37/2016 otrzymałem zgodę na przeprowadzenie badań na myszach C57Bl/6JW (inbred) w ramach planowanego projektu pt.: „*Modyfikowane laserowo bioresorbowalne nanokompozyty do zastosowań w inżynierii tkankowej kości*”. Otrzymana zgoda była niezbędnym dokumentem aby rozpocząć wstępne badania, które dadzą podstawę do ubiegania się o finansowanie projektu badawczego pod tym samym tytułem. Wspólnie z badaczami z różnych instytucji naukowych chcemy przygotować wniosek grantowy jeszcze w tym roku. Pomysł hybrydyzacji oprzędu chruścikowego z biogodnymi nanokompozytami termoplastycznymi zrodził się z potrzeby poprawienia właściwości tych ostatnich. Wspomniane tu sztucznie otrzymywane kompozyty polimerowe mają często ograniczoną zdolność łączenia się z żywymi komórkami. W organizmie są neutralne, co oznacza, że „tkwią”, zamiast wspierać odbudowę tkanek przyległych do wypełnionego ubytku. Dzięki połączeniu wybranego polimeru z jedwabiem wytwarzanym przez larwy *H. angustipennis* można będzie spróbować zwiększyć funkcjonalność wypełnień ubytków np. kośćca w medycynie rekonstrukcyjnej lub estetycznej.

7. Podsumowanie bibliometryczne działalności naukowej i popularyzującej naukę

Podsumowanie działalności publikacyjnej składającej się z osiągnięcia habilitacyjnego (H), publikacji z JCR nie będących osiągnięciem (A), publikacji umieszczonych w ministerialnym wykazie dla artykułów bez IF (B), monografii (M), publikacji recenzowanych umieszczonych w materiałach pokonferencyjnych (K) oraz publikacji popularno-naukowych (P).

kategoria	liczba	IF	IF _{5-letni}	IF (2013-2016)	IF _{5-letni} (2013-2016)	Punkty MNIŚW	Punkty MNIŚW (2013-2016)
H.1.-H.5.	5	8,548	8,312	8,606	9,309	130	140
A.1.-A.9.	9	10,396	10,574	10,523	11,683	182	195
B.1.-B.26.	26	-	-	-	-	101	208
M.1.-M.2.	2	-	-	-	-	-	-
K.1.-K.2.	2	-	-	-	-	-	-
P.1.-P.2.	2	-	-	-	-	8	24
suma	46	18,944	18,886	19,129	20,992	421	567

Liczba cytowani wg bazy *Web of Science* (z 2.04.2019 r.)

Indeks Hirscha: 5

	wszystkie	bez autocytowań
H.1.-H.5.	26	24
A.1.-A.9.	39	31
suma	65	55

Podsumowanie działalności naukowo-badawczej i dydaktycznej

kierownictwo w grantach	formalne uczestnictwo w grantach	konferencje zagraniczne	konferencje krajowe	prace licencjackie	prace magisterskie
1	5	9	46	14	7

Łódź, 2 kwietnia 2019 r.