

Załącznik 3

Autoreferat stanowiący opis dorobku i osiągnięć naukowych

dr Maciej Liro

Kraków, 2023

1. Imię i nazwisko: **Maciej Liro**
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.
 - **2018: doktor nauk o Ziemi**, Uniwersytet Jagielloński, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, dziedzina nauk o Ziemi, tytuł rozprawy: *Ewolucja żwirowodnych koryt rzecznych powyżej zbiorników zaporowych – na przykładzie dorzecza Dunajca*, praca doktorska obroniona z wyróżnieniem.
Promotor: prof. dr hab. Kazimierz Krzemień,
Promotor pomocniczy: dr hab. Elżbieta Gorczyca, prof. UJ.
 - **2012: tytuł magistra**, Uniwersytet Jagielloński, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, kierunek geografia, spec. geomorfologia, praca dyplomowa pt. *Wpływ regulacji i zabudowy hydrotechnicznej na warunki sedymentacji osadów Dunajca i Białki*.
Promotor: prof. dr hab. Kazimierz Krzemień.
 - **2010: tytuł licencjata**, Uniwersytet Pedagogiczny im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, Wydział Geografii i Biologii, Instytut Geografii, kierunek geografia, spec. geografia z przyrodą, praca dyplomowa pt. *Zapis powodzi w osadach dolnego Dunajca*
Promotor: prof. dr hab. Józef Kukulak.
 - **2007: świadectwo maturalne**, II Liceum Ogólnokształcące im. Jana Hetmana Tarnowskiego w Tarnowie, profil menadżerski.
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.
 - **2018–obecnie: adiunkt**, Instytut Ochrony Przyrody Polskiej Akademii Nauk w Krakowie
 - **2017–2018: asystent**, Instytut Ochrony Przyrody Polskiej Akademii Nauk w Krakowie
 - **2015–2017: pracownik naukowo-techniczny**, Instytut Ochrony Przyrody Polskiej Akademii Nauk w Krakowie

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.

Tytuł osiągnięcia naukowego:

Wpływ uwarunkowań systemu fluwialnego rzeki górskiej na dostawę, depozycję i fragmentację makroplastiku

Spis jednotematycznych publikacji stanowiących osiągnięcie habilitacyjne:

1. **Liro, M.**, van Emmerik, T.H.M., Wyżga, B., Liro, J., Mikuś, P. **2020**. Macroplastic storage and remobilization in rivers. *Water*, 12 (2055), 1–14. (IF=3.101, 100 pkt. MEiN)
2. **Liro, M.**, van Emmerik, T.H.M., Zielonka, A., Gallitelli, L., Mihai, F.C., **2023a**. The unknown fate of macroplastic in mountain rivers. *Science of Total Environment*, 865, 161224. (IF=9.8, 200 pkt. MEiN)
3. **Liro, M.**, Zielonka, A., van Emmerik, T.H.M. **2023b**. Macroplastic fragmentation in rivers. *Environment International*, 180, 108186. (IF=11.8, 140 pkt. MEiN)
4. **Liro, M.**, Zielonka, A., van Emmerik, T.H.M., Grodzińska-Jurczak, M., Kiss, T., Liro, J., Mihai F.C. **2023c**. Mountains of plastic: Mismanaged plastic waste along the Carpathians watercourses. *Science of Total Environment*, 888, 164058. (IF=9.8, 200 pkt. MEiN)
5. **Liro, M.**, Mikuś, P., Wyżga, B., **2022**. First insight into the macroplastic storage in a mountain river: The role of in-river vegetation cover, wood jams and channel morphology. *Science of Total Environment*, 838, 156354. (IF=10.944, 200 pkt. MEiN)
6. **Liro, M.**, Zielonka, A., Hajdukiewicz, H., Mikuś, P., Haska, W., Gorczyca, E., Krzemień, K., Kieniewicz, M., **2023d**. Litter selfie: A citizen-science guide to photorecording data on macroplastic deposition along mountain rivers using smartphone. *Water*, 15 (17), 3116. (IF=3.4, 100 pkt. MEiN)

Sumaryczny Impact Factor osiągnięcia habilitacyjnego: 48,9

Sumaryczna liczba punktów za publikacje wg listy MEiN: 940

Komentarz autorski do osiągnięcia naukowego

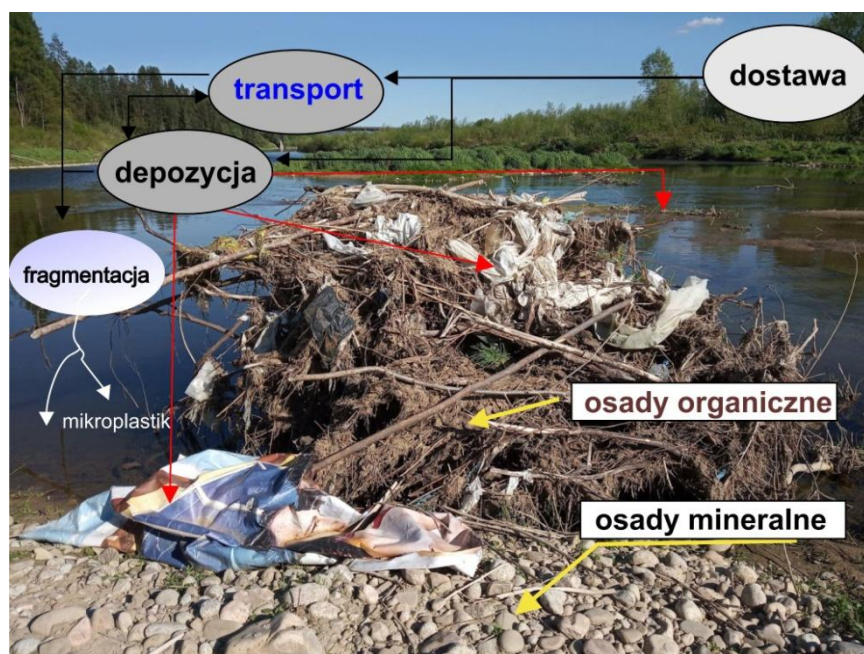
Wprowadzenie

Rzeki są korytarzami, którymi woda transportuje materiał organiczny (np. rumosz drzewny) i mineralny (np. skały) z lądów do mórz i oceanów (Allen, 1977). Rodzaj i ilość oraz sposób przemieszczania i przeobrażania tego materiału w systemie fluwialnym zależą od uwarunkowań fizyczno-geograficznych zlewni rzeki (np. budowy geologicznej, rzeźby terenu, warunków klimatycznych, pokrycia terenu) oraz antropopresji (np. sposobu użytkowania terenu, typu osadnictwa, obecności zabudowy hydrotechnicznej), (Leopold i in., 1964; Knighton, 1998; Kukulak, 2004).

Od połowy ubiegłego stulecia do środowiska trafiło łącznie aż 5300 milionów ton odpadów plastikowych (Geyer i in., 2017; Geyer, 2020), a obecność tego, nowego, niewystępującego wcześniej syntetycznego materiału potwierdzono w większości środowisk wodnych i lądowych (Barnes i in., 2009; Thompson i in., 2009; Jambeck i in., 2015; Zalasiewicz i in., 2016; Hurley i in., 2020). Ze względu na powszechność występowania plastiku w środowisku przyrodniczym jego obecność w profilach stratygraficznych uznano za jeden ze wskaźników (oprócz m.in. obecności pierwiastków promieniotwórczych lub pestycydów) epoki antropocenu (Waters i in., 2016, Zalasiewicz i in., 2016). Od rozpoczęcia emisji odpadów plastikowych do środowiska ten nowy materiał jest dostarczany do systemu fluwialnego, w którym podlega depozycji, transportowi i fragmentacji (Lechthaler i in., 2020; **Liro i in. 2020**; van Emmerik i Schwarz, 2020; Weber i Lechthaler, 2021; van Emmerik i in., 2022, 2023), prowadząc do powstawania wielu negatywnych konsekwencji dla ekosystemu rzecznoego (Blettler i in., 2020).

Sposób zachodzenia procesów dostawy, depozycji i fragmentacji plastiku w rzekach górskich nie był badany empirycznie przed rozpoczęciem prac składających się na przedstawione tutaj osiągnięcie habilitacyjne (**Załącznik 5**). Brak było także opracowań teoretycznych i koncepcyjnych, umożliwiających takie badania (**Liro in., 2023a**). Większość dotychczasowych opracowań, dotyczących zanieczyszczenia rzek makroplastikiem – definiowanym jako cząstki plastiku większe od 5–25 mm (Hurley i in., 2020; Russell i in., 2023), koncentrowała się bowiem na rzekach nizinnych, będących głównymi drogami transportu tego zanieczyszczenia z lądu do mórz i oceanów (np. Lebreton i in., 2017). Warto podkreślić, że w pracach tych rzeki były traktowane w znacznie uproszczony sposób, głównie jako strefy liniowego transportu plastiku z pominięciem możliwości występowania procesów depozycji, remobilizacji i fragmentacji makroplastiku w trakcie jego przemieszczania w systemie fluwialnym (Lebreton i in., 2017; Meijer i in., 2021). Możliwość występowania tych

procesów, zarówno w rzekach nizinnych jak i górskich, została dostrzeżona w trakcie omawianych tutaj prac (Liro i in., 2020, 2023b) (Ryc. 1), a stopień zrozumienia ich uwarunkowań czasowo-przestrzennych jest obecnie niezwykle ograniczony. Ostatnie prace sugerują jednak, że system fluwialny jest nie tylko miejscem przez które plastik dostarczony z lądu przemieszcza się do mórz i oceanów, w którym następnie podlega akumulacji i fragmentacji, ale że to sam system fluwialny, jest miejscem w którym te procesy mogą długookresowo zachodzić (Liro i in., 2020, 2023b; van Emmerik i in., 2022). Mając na uwadze ciągle rosnącą ilość odpadów plastikowych emitowanych do środowiska (Borelle i in., 2020; Geyer, 2020) oraz fakt, iż trwałość makroplastiku w środowisku może sięgać setek, a nawet tysięcy lat (Chamas i in., 2020), wskazanie gdzie i z jaką wielkością zachodzi w systemie fluwialnym jego dostawa, depozycja i fragmentacja ma fundamentalne znaczenie naukowe i aplikacyjne (van Emmerik i in., 2022; Liro i in., 2023b). Z punktu widzenia naukowego, określenie miejsc i wielkości depozycji makroplastiku w rzece daje szansę głębszego poznania relacji pomiędzy uwarunkowaniami fizyczno-geograficznymi systemu fluwialnego (np. rzeźbą koryta, typem pokrycia roślinnego) a retencją w nim plastiku (por. van Emmerik i in., 2022). Z punktu widzenia praktycznego, informacje te mogą umożliwić wskazanie miejsc, w których oczyszczanie rzek będzie w przyszłości najbardziej efektywne (por. Liro i in., 2022).



Rycina 1. Wizualizacja procesów dostawy, depozycji i fragmentacji makroplastiku w korycie rzeki górskiej wraz ze wskazaniem powiązań pomiędzy nimi. Źródło: opracowanie własne. Zdjęcie: Dunajec w Dębnie, M. Liro.

Poznanie uwarunkowań dostawy, depozycji i fragmentacji makroplastiku w rzece górskiej (**Ryc. 1**) jest ważne w kontekście lepszego zrozumienia efektów narastającej antropopresji obserwowanej w tych cennych przyrodniczo ekosystemach (Wohl, 2010; Hauer i in., 2016; Meijer i in., 2021; Schickhoff i in., 2022). Ostatnie prace wskazują bowiem, że w obszarach zamieszkałych przez człowieka rzeki górskie są szczególnie narażone na dostawę odpadów plastikowych, wynikającą z koncentracji źródeł ich emisji (np. infrastruktury mieszkaniowej i transportowej), występujących w obszarach górskich, preferencyjnie w obrębie względnie płaskich den dolin rzecznych (**Liro i in., 2023a**). W przypadku dotarcia takich odpadów do koryta rzeczno, występujący tutaj ciągły lub okresowy przepływ wody i rumowiska o dużej energii (Wohl, 2010), sprawia, że mogą one, podobnie jak naturalny materiał mineralny lub organiczny (Shumilova i in., 2019), być transportowane, deponowane i fragmentowane (**Liro i in., 2020, 2023b**) (**Ryc. 1**). Ostatnie prace sugerują na przykład, że uwarunkowania środowiska fluwialnego rzeki górskiej (np. zróżnicowana hydromorfologia koryta) mogą kontrolować nie tylko depozycję makroplastiku, ale także jego fragmentację (**Liro i in., 2023b**), pośrednio kontrolując uwalnianie do środowiska mikroplastiku i występowanie związanych z nim zagrożeń dla ekosystemów rzek górskich (**Liro i in., 2023a**), a także rzek nizinnych zasilanych w górach (por. Viviroli i in., 2007, 2020).

Cel badań

Mając na uwadze istniejącą lukę w stanie wiedzy oraz zagrożenia środowiskowe wynikające z zanieczyszczenia rzek górskich makroplastikiem głównym celem prowadzonych przeze mnie badań było określenie uwarunkowań dostawy, depozycji i fragmentacji makroplastiku, w rzece górskiej. Powyższy cel główny był realizowany poprzez następujące cele szczegółowe:

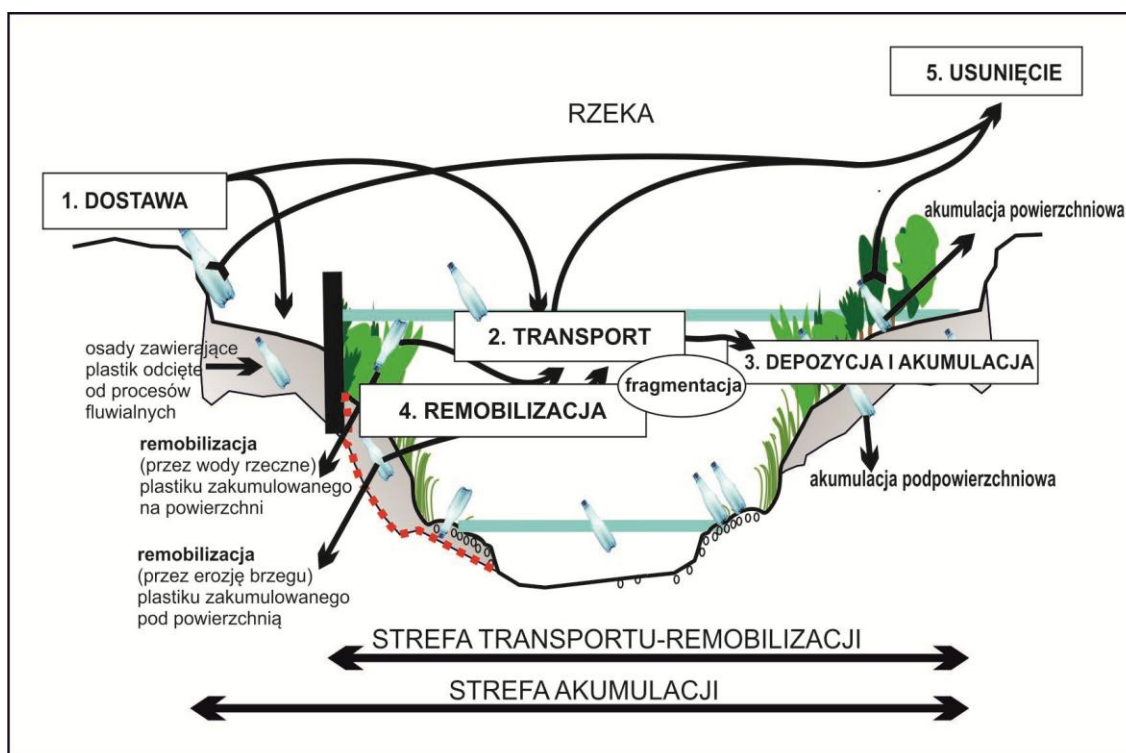
1. opracowanie ogólnych podstaw teoretycznych i koncepcyjnych umożliwiających systematyczne badanie procesów dostawy, depozycji i fragmentacji makroplastiku w rzekach (**cel realizowany w publikacjach Liro i in., 2020, 2023a,b**);
2. sformułowanie szczegółowych modeli koncepcyjnych ww. procesów dla rzeki górskiej (**cel realizowany w publikacji Liro i in., 2023a**);
3. wskazanie uwarunkowań przestrzennych dostawy odpadów plastikowych do rzek karpackich (**cel realizowany w publikacji Liro i in., 2023c**);
4. wskazanie uwarunkowań depozycji makroplastiku w korycie rzeki górskiej (**cel realizowany w publikacji Liro i in., 2022**).

W ostatnim etapie moich prac w oparciu o uzyskane wyniki badań i doświadczenia zebrane podczas prac terenowych opracowałem instrukcję i aplikację online umożliwiającą szybkie i nieskomplikowane dokumentowanie ilości i typu makroplastiku zdeponowanego wzdłuż rzek górskich przy użyciu smartfonu (**Liro i in., 2023d**). Umożliwia to osobom, niebędącym specjalistami (np. młodzieży szkolnej), samodzielne zdobywanie informacji o ilości makroplastiku zdeponowanego w rzece i ich prezentacje (w formie zdjęć) innym użytkownikom. Narzędzie to zwiększa potencjał praktyczny i edukacyjny uzyskanych wyników.

Skrócony opis uzyskanych wyników

Badania naukowe nad uwarunkowaniami dostawy, depozycji i fragmentacji makroplastiku w rzekach górskich, których wyniki wchodzi w skład niniejszego osiągnięcia habilitacyjnego (**Załącznik 5**), zostały rozpoczęte w 2020 roku. W tamtym czasie brak było w literaturze przedmiotu podstaw koncepcyjnych i teoretycznych dających możliwość systematycznych i kompleksowych badań tych procesów. Dlatego w pierwszych trzech omawianych tutaj pracach, opracowałem podstawy teoretyczne i terminologiczne oraz zaproponowałem modele koncepcyjne (**Liro i in., 2020; 2023a,b**), dające tło do dalszych badań empirycznych opisywanych w kolejnych publikacjach wynikowych (**Liro i in., 2022; Liro i in., 2023c**). Potencjał praktyczny i edukacyjny przeprowadzonych badań wyeksponowano w formie opracowanej instrukcji i formularza online umożliwiającego dokumentowanie zanieczyszczenia makroplastikiem rzek górskich (m.in. przez młodzież szkolną) przy użyciu smartfonu, opisanej w ostatniej z referowanych publikacji (**Liro i in., 2023d**).

W pierwszym etapie omawianych prac opracowałem ogólny model przemieszczania się makroplastiku w systemie fluwialnym (**Liro i in., 2020**), (**Ryc. 2 i 3**), który dał podstawy teoretyczne, koncepcyjne i terminologiczne do dalszych bardziej szczegółowych badań realizowanych po otrzymaniu przeze mnie grantu pt. *Makroplastik w rzece górskiej i pogórskiej*, (SONATA 16 NCN, budżet 347 761 zł) w 2021 roku (**Załącznik 8**).



Rycina 2. Model koncepcyjny przemieszczania się makroplastiku poprzez system fluwialny. Model wskazuje powiązania pomiędzy procesami dostawy, transportu, depozycji, remobilizacji i usuwania makroplastiku oraz strefy, w których te procesy zachodzą. *Źródło: ryc. 2 w Liro i in., 2020.*

Praca (Liro i in., 2020) prezentująca opracowany model (Ryc. 2) została opublikowana w lipcu 2020 roku w czasopiśmie międzynarodowym *Water* (IF=3.1) (Załącznik 5). Model ten (Ryc. 2) definiuje pięć procesów występujących w trakcie przemieszczania się makroplastiku w systemie fluwialnym, mianowicie: dostawę (ang. *input*), transport (ang. *transport*), remobilizację (ang. *remobilization*), depozycję (ang. *deposition, storage*) i usuwanie (ang. *output*) (Ryc. 2), identyfikując i systematyzując ich antropogeniczne i naturalne uwarunkowania w systemie fluwialnym w różnych skalach przestrzennych (od zlewni do odcinka rzeki) (Ryc. 3).

UWARUNKOWANIA ANTROPOGENICZNE

- urbanizacja (1, 5)
- zarządzanie odpadami (1)
- gęstość zaludnienia (1, 5)
- świadomość ekologiczna populacji (1, 5)
- gęstość i typ infrastruktury transportowej(1)

JEDNOSTKA PRZESTRZENNA SYSTEMU FLUWIALNEGO



UWARUNKOWANIA NATURALNE

- klimat (powodzie, opady, wiatr)(1, 5)
- powierzchnia zlewni (1, 5)
 - typ rzeźby (1)
- typ pokrycia terenu (1)

- typ użytkowania terenu (1)
- obecność zbiorników zaporowych (3)



- topografia doliny rzecznej (szerokość, rzeźba) (3)
- reżim hydrometeorologiczny rzeki (1, 2, 5)

- sposób gospodarowania obszarem zlewni (2, 3, 4)
- obecność obwałowań przeciwpowodziowych (3)



- topografia dna doliny rzecznej (szerokość, rzeźba) (3)
- reżim hydrologiczny (2)

- obecność mostów, bezpośrednie sąsiedztwo infrastruktury transportowej (1, 3)
- progi wodne i zapory wodne, ostrogi brzegowe (3)
- umocnienia brzegów (4)



- hydrodynamika odcinka rzeki (2, 3, 4)
- rzeźba koryta i równiny zalewowej (2, 3)
- dynamika układu poziomego koryta (4)
- erozyjność brzegów i dna koryta rzeki (4)
- typ roślinności nadrzecznej (2, 3, 4)
- obecność grubego rumoszu drzewnego (2, 3)

Rycina 3. Klasyfikacja antropogenicznych i naturalnych uwarunkowań procesów dostawy (1.), transportu (2.) depozycji i akumulacji (3.), remobilizacji, (4.) i usuwania (5.) makroplastiku z systemu fluwialnego. Źródło: ryc. 2 w Liro i in., 2020.

Głównym osiągnięciem tej pracy było dostrzeżenie możliwości akumulacji i remobilizacji makroplastiku w systemie fluwialnym wraz ze szczegółowym zdefiniowaniem: a. przebiegu tych procesów na drodze jego przemieszczania przez system fluwialny, b. stref ich występowania w dolinie rzecznej, oraz c. wskazanie metod umożliwiających ich dalsze empiryczne badanie. Praca ta, cytowana do tej pory ponad 84 razy, uznawana jest w literaturze przedmiotu za jedno z pierwszych opracowań teoretycznych dotyczących procesów depozycji makroplastiku w rzekach (patrz np. Margenat i in., 2021). Ponadto, w 2022 roku artykuł został wyróżniony w sekcji *Editor Choice* czasopisma *Water*.

Pierwszym z procesów zdefiniowanych i omówionych w przedstawionym modelu koncepcyjnym jest dostawa makroplastiku do systemu fluwialnego (Ryc. 1 i 2). Proces ten zdefiniowałem jako przemieszczenie makroplastiku do obszaru koryta lub równiny zalewowej rzeki, wynikające z działania procesów naturalnych (np. wiatru, splywu powierzchniowego,

erozji brzegów rzeki, ruchów masowych) lub antropogenicznych (np. intencjonalne zaśmiecanie lub nieprawidłowe zarządzanie odpadami w obszarze nadrzecznym). Następnie zdefiniowałem proces jego transportu jako przemieszczanie się makroplastiku dostarczonego do obszaru zalewowego rzeki w wyniku działania wody płynącej. Proces akumulacji (ang. *storage*) makroplastiku w systemie fluwialnym definiowałem jako zaleganie makroplastiku w obszarze zalewowym rzeki następujące po jego naturalnej lub antropogenicznej dostawie do tej strefy lub epizodzie wcześniejszego transportu. W pracy zwróciłem szczególną uwagę na uwarunkowania antropogeniczne kontrolujące ten proces w ciekach uregulowanych (np. ograniczenie przestrzenne strefy akumulacji w obwałowanych równinach zalewowych i jej poszerzenie w strefach cofek zbiorników zaporowych). Zdefiniowałem także pojęcie **strefy akumulacji makroplastiku** (ang. *macroplastic storage zone*) oraz **strefy remobilizacji makroplastiku** (ang. *macroplastic remobilization zone*) w dolinie rzecznej (**Ryc. 1**). Pierwszą z ww. stref określiłem jako część dna doliny rzecznej zalewaną wodami wezbraniowymi od lat 60. XX wieku, kiedy to rozpoczęła się masowa produkcja plastiku i możliwość jego dostawy do systemu fluwialnego. Możliwość akumulacji makroplastiku w tej strefie podzieliłem na **akumulację powierzchniową** (ang. *surface storage*) oraz **akumulację podpowierzchniową** (ang. *subsurface storage*), wskazując metody i techniki, którymi procesy te mogą być badane w sposób ilościowy w przyszłości (Tabela 1 w Liro i in., 2020). **Strefę remobilizacji makroplastiku** (ang. *macroplastic remobilization zone*) zdefiniowałem jako część strefy akumulacji makroplastiku, która może ulegać erozji na skutek oddziaływania wód rzecznych, umożliwiając ponowny transport zakumulowanego wcześniej makroplastiku. W pracy tej zwróciłem uwagę na koincydencję rozpoczęcia emisji odpadów plastikowych do środowiska (lata 60 XX wieku) z dostępnością materiałów fotogrametrycznych (np. zdjęć lotniczych) umożliwiających wyznaczenie zdefiniowanych stref oraz datowanie form i facji osadów zanieczyszczonych makroplastikiem w przeszłości. Zasygnalizowałem także, możliwość występowania fragmentacji makroplastiku podczas jego przemieszczania w systemie fluwialnym oraz **postawiłem hipotezę, że intensywność tego procesu może być wyższa w przypadku wysokoenergetycznych rzek górskich, transportujących gruboziarniste rumowisko, niż w przypadku rzek nizinnych**. Wynika to z większej energii i intensywności kontaktu mechanicznego transportowanego makroplastiku z dnem i rumowiskiem w rzece górskiej niż nizinnej.

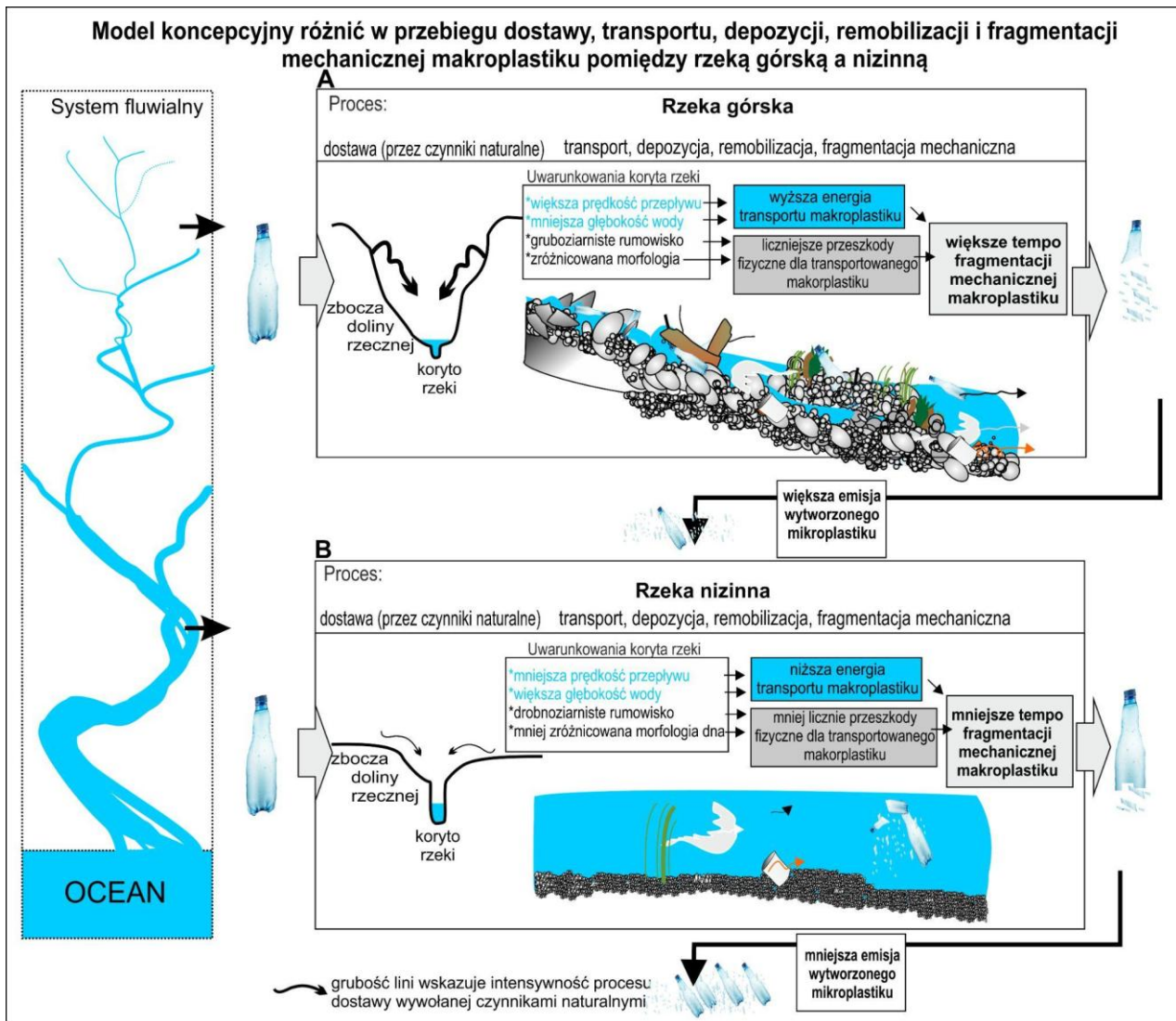
W trakcie przygotowywania opisywanej publikacji współpracowałem z hydrologiem dr. inż. Timem van Emmerikiem z Uniwersytetu w Wageningen w Holandii, który jest światowej klasy ekspertem zajmującym się zanieczyszczeniem rzek plastikiem oraz autorem

kluczowych opracowań teoretycznych i metodycznych w tej dziedzinie. W związku z szerokim spektrum zróżnicowanych czynników kontrolujących przemieszczanie się makroplastiku w systemie fluwialnym (obejmujących, zarówno uwarunkowania fizycznogeograficzne, jak i społeczno-ekonomiczne) rozpatrywanych w tym modelu do jego opracowywania zaprosiłem także specjalistów z zakresu geomorfologii fluwialnej (prof. dr. hab. Bartłomieja Wyżgę, dr. Pawła Mikusia) oraz geografii społeczno-ekonomicznej (dr Justynę Liro) (**Załącznik 7**).

Opisywana publikacja stworzyła ogólne ramy koncepcyjne i teoretyczne do moich dalszych bardziej szczegółowych badań nad procesami dostawy, depozycji i fragmentacji makroplastiku w rzekach (**Liro i in., 2020**). Celem dalszych prac było opracowanie szczegółowych modeli koncepcyjnych przebiegu tych procesów w rzekach górskich oraz zaprojektowanie eksperymentów terenowych umożliwiających zdobycie bezpośrednich danych empirycznych o ich przebiegu. Badania te realizowano w ramach dotychczasowej współpracy z dr inż. Timem van Emmerikiem z Uniwersytetu w Wageningen w Holandii i nowonawiązanej współpracy ze specjalistami z Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie (Anna Zielonka), Uniwersytetu Aleksandra Jana Cuzy w Jassach w Rumunii (dr. Florinem-Contatinem Mihai), oraz Uniwersytetu Roma Tre w Rzymie we Włoszech (Luca Galitellim) (**Załączniki 7 i 9**).

Efektom tych badań jest druga z prezentowanych prac (**Liro i in., 2023a**) wchodzących w skład osiągnięcia habilitacyjnego, opublikowana w 2023 roku w czasopiśmie *Science of the Total Environment* (**IF = 10.8, 200 pkt MEiN**) (**Załącznik 5**). W tym artykule zaprezentowałem model koncepcyjny pokazujący różnice w przebiegu procesów dostawy, transportu i remobilizacji, depozycji i fragmentacji makroplastiku pomiędzy rzeką górską i niziną (**Liro 2023a**).

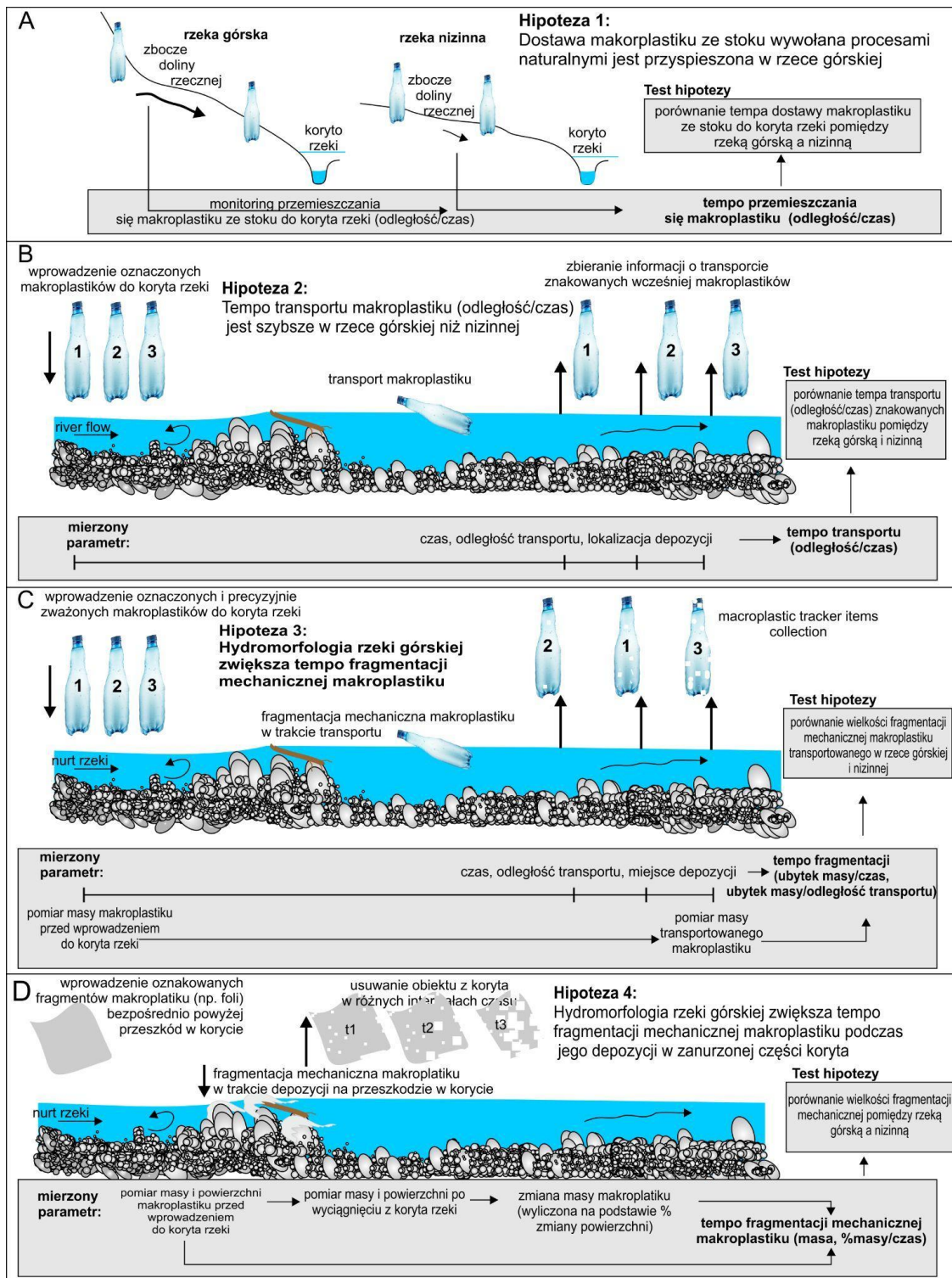
Głównym osiągnięciem tej pracy jest wskazanie przy użyciu opracowanego modelu, w jaki sposób uwarunkowania naturalne systemu fluwialnego rzeki górskiej mogą sprzyjać dostawie makroplastiku ze stoku do doliny rzecznej i koryta rzeki oraz jego remobilizacji i fragmentacji mechanicznej w korycie rzeki górskiej (Liro i in., 2023a) (Ryc. 4).



Rycina 4. Model różnic w przebiegu procesów dostawy, transportu, depozycji, remobilizacji i fragmentacji makroplastiku pomiędzy rzeką górską i niziną.

Źródło: ryc. 1 w Liro i in., 2023a.

Na uwagę zasługują także zaproponowane w tym artykule projekty eksperymentów terenowych, pozwalające na empiryczne przetestowanie czterech hipotez sformułowanych na podstawie opracowanego modelu (**Ryc. 5**).



Rycina 5. Opracowane schematy eksperymentów terenowych umożliwiające empiryczne przetestowanie czterech hipotez zaproponowanych w pracy **Liro i in., 2023a.**

Źródło: ryc. 2 w **Liro i in., 2023a.**

Ponadto, w pracy tej wprowadziłem również do literatury przedmiotu dwa nowe terminy (ang. *in-situ degradation* i ang. *microplastic factory*) (Liro i in., 2023a). Pierwszy z terminów, opisuje degradację mechaniczną makroplastiku (por. także termin *fragmentacja* omówiony w Liro i in., 2023b) występującą podczas jego depozycji w obrębie zanurzonej części koryta rzeczno. Jej przyczyną jest oddziaływanie mechaniczne przepływającej wody i transportowanego rumowiska na makroplastik (podobnie jak ma to miejsce w przypadku makroplastiku transportowanego). Jednak w przypadku degradacji *in situ* procesowi temu poddany jest makropastik zdeponowany na przeszkodzie w korycie rzeczno (np. rumoszu drzewnym lub ostrokrawędzistym rumowisku korytowym). W związku z tym proces ten odbywa się w jednym miejscu (*in situ*). Badania terenowe wykazały, że proces ten jest szczególnie predysponowany w przypadku makroplastików mających wysoki stosunek powierzchni do masy (np. folie) (Fot. 1).



Fot. 1. Fragmentacja *in-situ* makroplastiku zdeponowanego na ostrokrawędzistym otoczaku w korycie Białej Tarnowskiej.

Zdjęcie: M. Liro.

Drugi z zaproponowanych terminów (ang. *microplastic factory*) został użyty do opisu procesu przyspieszonej produkcji mikroplastiku podczas fragmentacji makroplastiku w korytach rzek górskich, wynikającej ze specyficznych uwarunkowań koryt tych rzek (np. wysokoenergetycznych przepływów, dużej liczby przeszkód fizycznych w korycie). Wykorzystując opracowany model koncepcyjny zasugerowałem, że dostawa makroplastiku ze stoku do koryta rzeki górskiej jest bardziej predysponowana niż w przypadku rzeki nizinnej. Decydują o tym uwarunkowania naturalne systemu fluwialnego rzeki górskiej, tj.: duża energia rzeźby, występowanie ruchów masowych i procesów splukiwania na stokach i zboczach den dolin rzecznych (Wohl, 2010). **Uwarunkowania te sprawiają, że odpady plastikowe zalegające na stokach lub zboczach dolin rzek górskich mogą szybciej (niż w przypadku rzek nizinnych) przemieszczać się na skutek grawitacji oraz spływu wody i przemieszczania śniegu (np. lawiny) w dół stoku ostatecznie docierając do koryta rzeki (Ryc. 4A). Dodatkowo zasugerowałem, że intensywność dostawy makroplastiku ze stoku do koryta rzeki będzie szczególnie duża w górnych odcinkach dolin rzek górskich, gdzie spadki terenu oraz ilość opadów są wyższe niż w ich niższych częściach (Hipoteza 1).** Podkreśliłem jednak, że w dolnych odcinkach rzek górskich częściej niż w górnych występują obwałowania równiny zalewowej, które mogą stanowić barierę dla dostawy makroplastiku ze stoku wywołaną wspomnianymi powyżej uwarunkowaniami naturalnymi. W celu przetestowania postawionej hipotezy zaproponowałem projekt eksperymentu terenowego wykorzystujący monitoring znakowanych odpadów plastikowych rozmieszczonych w dolinie rzeki górskiej i nizinnej (Liro i in., 2023a) (Hipoteza 1, Ryc. 5A). Zwróciłem także uwagę, że uwarunkowania antropogeniczne np. koncentracja osadnictwa i infrastruktury transportowej na względnie płaskich obszarach den dolin w niższych częściach systemu fluwialnego rzeki górskiej może częściowo zwiększać ilość makroplastiku, dostarczanego do koryta rzeki, pomimo mniej sprzyjających tutaj temu procesowi, uwarunkowań naturalnych.

W drugiej hipotezie (Ryc. 5B) zaproponowanej na podstawie opracowanego modelu (Ryc. 4) zasugerowałem, że specyficzna hydrodynamika cieku górskiego (np. wysokoenergetyczny przepływ wody) będzie zwiększać tempo transportu makroplastiku dostarczonego do koryta rzeki górskiej w porównaniu do podobnej wielkości rzeki nizinnej. Zwróciłem także uwagę, że proces ten będzie szczególnie widoczny w górnych odcinkach rzek górskich mających wyższą (niż dolne odcinki) energię przepływu oraz w odcinkach poddanych regulacji koryta, w których energia przepływu jest często zwiększona na skutek sztucznych zmian geometrii koryta (np. Petts i Gurnell, 2005). W celu przetestowania tej hipotezy zaprojektowałem eksperyment terenowy wykorzystujący pomiar

długości drogi transportu makroplastiku w korytach podobnych wielkości rzek górskiej i nizinnej (**Ryc. 5B**). Wskazałem metodykę, która może być zaimplementowana z wcześniejszych prac do przeprowadzenia tego eksperymentu (np. RFID, GPS, znakowanie plastiku; np. Duncan i in., 2020; Newbould i in., 2021; szczegóły w **Liro i in., 2023a**). **Kolejna hipoteza (Ryc. 5C) wyprowadzona z modelu (Ryc. 4) sugeruje większe nasilenie fragmentacji mechanicznej makroplastiku w czasie jego transportu w korycie rzeki górskiej w porównaniu do rzeki nizinnej (Hipoteza 3)**. Do przetestowania tej hipotezy zaproponowałem eksperyment terenowy wykorzystujący metodykę łączącą wspomniane wcześniej techniki pomiaru długości transportu makroplastiku (np. RFID, GPS, znakowanie plastiku; Duncan i in., 2020; Newbould i in., 2021) z precyzyjnym pomiarem jego wagi przed i po transporcie, która umożliwi określenie ubytku masy wynikającej z fragmentacji mechanicznej (**Ryc. 5C**). **W pracy tej wskazałem także po raz pierwszy w literaturze przedmiotu, że fragmentacja makroplastiku w korycie rzeczonym może występować nie tylko podczas jego transportu (por. Honorato-Zimmer i in., 2021), ale także podczas opływania przez wodę i rumowisko makroplastiku zdeponowanego w korycie rzeki (Fot. 1) (tzw. *degradacja in-situ*) (Liro i in., 2023a)**. W celu oceny wielkości fragmentacji mechanicznej makroplastiku występującego podczas tego procesu zaproponowałem eksperyment terenowy polegający na określeniu ubytku masy lub powierzchni makroplastiku (np. fragmentów folii plastikowej) zdeponowanych w kontrolowany sposób na przeszkodach (np. żwir, rumosz drzewny) w korycie rzeki w różnych interwałach czasowych (**Ryc. 5D**). Zwróciłem uwagę, że przeprowadzenie takiego eksperymentu w podobnej wielkości rzece górskiej i nizinnej pozwoli na porównanie wielkości fragmentacji mechanicznej (wyrażonej jako zmiana masy obiektu w czasie) i przetestowanie **hipotezy, zakładającej że tempo fragmentacji mechanicznej występuje podczas depozycji makroplastiku w korycie jest wyższe w rzece górskiej niż nizinnej (Hipoteza 4)**.

W pracy tej podkreśliłem, że potencjalne nasilenie fragmentacji mechanicznej makroplastiku w korytach rzek górskich wymaga szczególnej uwagi w dalszych badaniach i działaniach praktycznych, ponieważ może on wywoływać zagrożenia dla fauny rzeki górskiej oraz zdrowia człowieka korzystającego z zasobów wodnych rzek górskich (**Liro i in., 2023a**). **W trakcie prac nad omawianym modelem przemieszczania się makroplastiku w systemie fluwialnym rzeki górskiej (Liro i in., 2023a) napotkałem jednak trudności wynikające z braku ogólnych podstaw teoretycznych i koncepcyjnych dotyczących procesu fragmentacji makroplastiku w rzekach. Kwerenda literatury na temat tego**

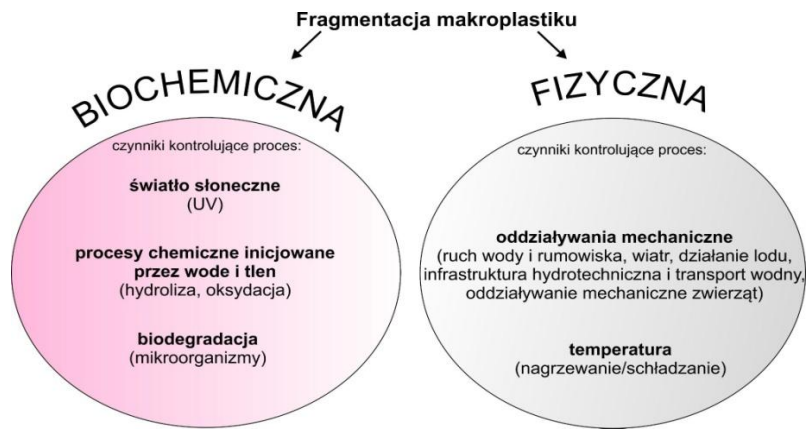
procesu wykonana w trakcie opracowywania ww. publikacji (Liro i in., 2023a) pokazała, że:

- proces fragmentacji makroplastiku był do tej pory badany głównie w środowisku morskim (np. Andrady i in., 2022);
- fragmentacja makroplastiku jest niezwykle złożonym procesem zależnym zarówno od czynników biochemicznych, jak i fizycznych oraz właściwości makroplastiku (Andrady i in., 2022; Gewert i in., 2015);
- istnieje niespójność w definiowaniu i nazywaniu procesu fragmentacji (np. pojęcia *plastic degradation*, *abrasion*, *weathering*, *ageing* (Liro, 2023b)).

Pomimo zwrócenia uwagi na możliwość występowania przyspieszonej fragmentacji makroplastiku w rzekach górskich oraz przedstawienia propozycji zdobycia o tym procesie bezpośrednich informacji poprzez eksperymentalne testowanie hipotez przedstawionych w omawianym artykule (Liro i in., 2023a), **dalsze systematyczne badanie tego procesu w systemie fluwialnym było trudne zważając na ww. luki i nieścisłości w stanie wiedzy.**

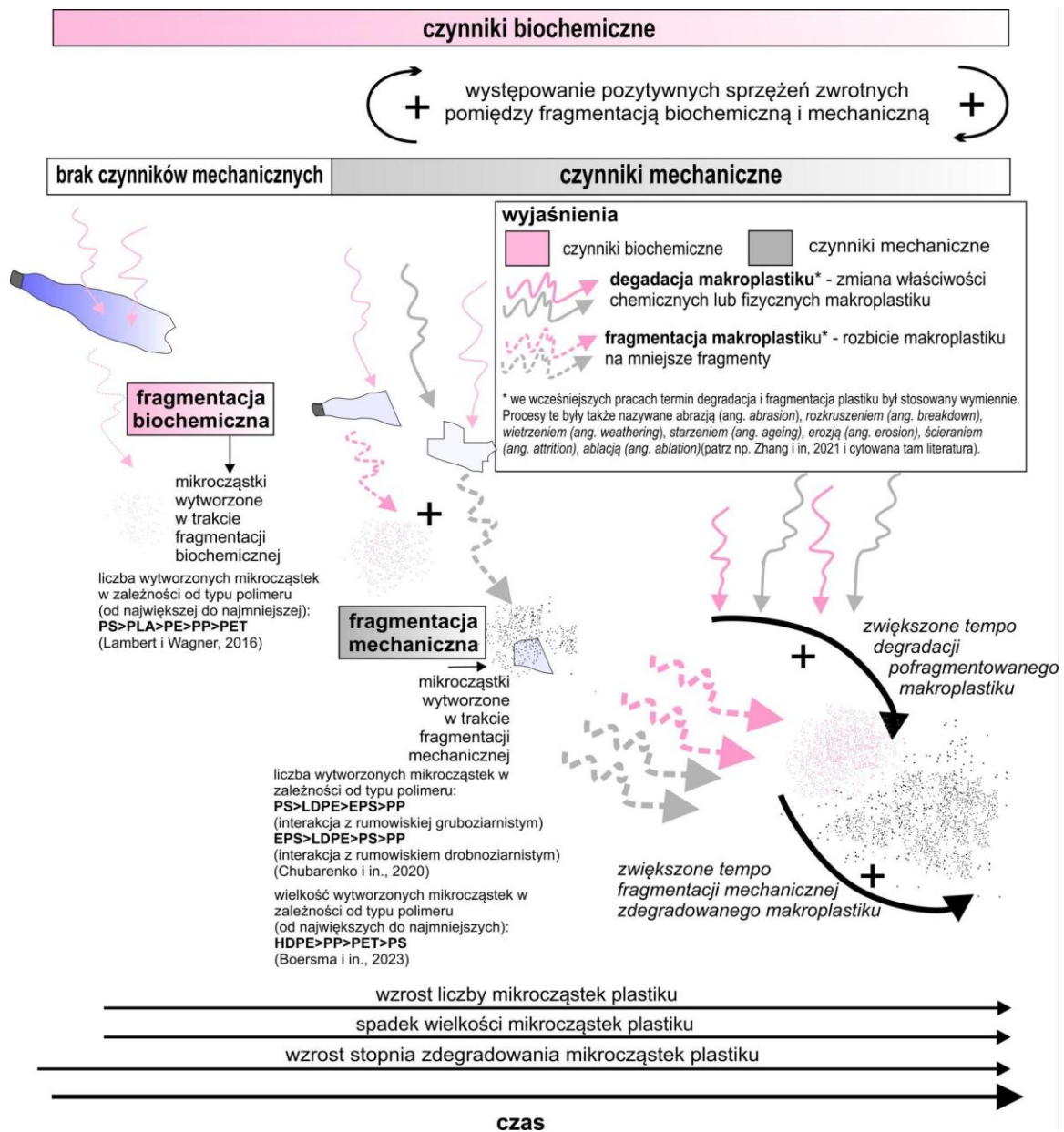
Mając na uwadze ww. trudności oraz zasadnicze znaczenie uzyskania informacji naukowych o przebiegu fragmentacji makroplastiku w rzekach w kolejnej publikacji wchodzącej w skład prezentowanego osiągnięcia habilitacyjnego opracowałem podstawy teoretyczne, terminologiczne i koncepcyjne umożliwiające dalsze, szczegółowe badania empiryczne tego procesu w systemie fluwialnym (Liro i in., 2023b). Praca ta (Liro i in., 2023b), zatytułowana *Macroplastic fragmentation in rivers* została opublikowana we wrześniu 2023 roku w prestiżowym czasopiśmie międzynarodowym *Environment International* (IF=11.8, 140 pkt MEiN) (Załącznik 5).

Głównym osiągnięciem tej pracy jest wyróżnienie i zdefiniowanie procesów fragmentacji fizycznej i biochemicznej makroplastiku (Ryc. 6) oraz podkreślenie wzajemnych relacji tych dwóch procesów ze wskazaniem i usystematyzowaniem używanej do tej pory do ich opisu terminologii (Ryc. 7).



Rycina 6. Typy fragmentacji makroplastiku i ich główne czynniki kontrolujące.

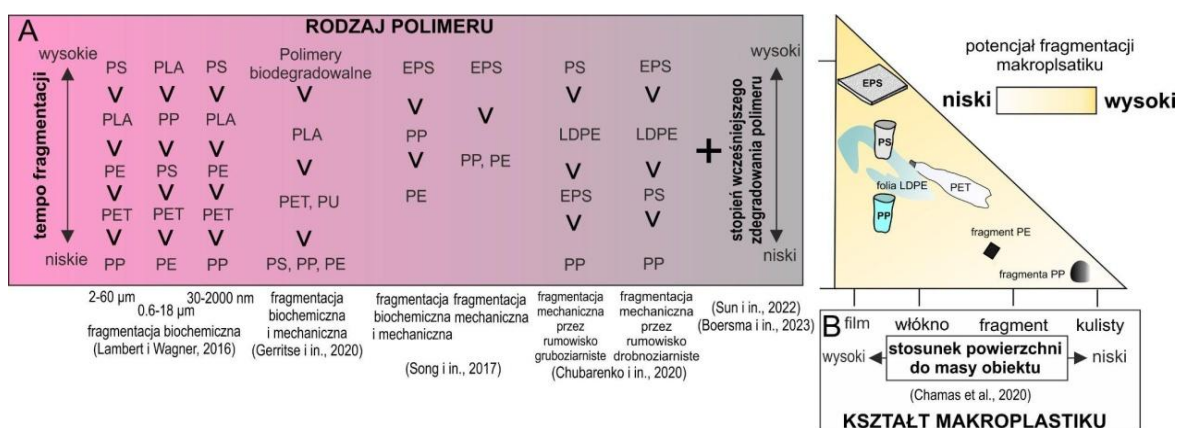
Źródło: ryc. 1 w Liro i in., 2023b.



Rycina 7. Relacje pomiędzy procesami fragmentacji biochemicznej i mechanicznej oraz właściwości wytwarzanych w wyniku ich zachodzenia mikrocząstek plastiku.

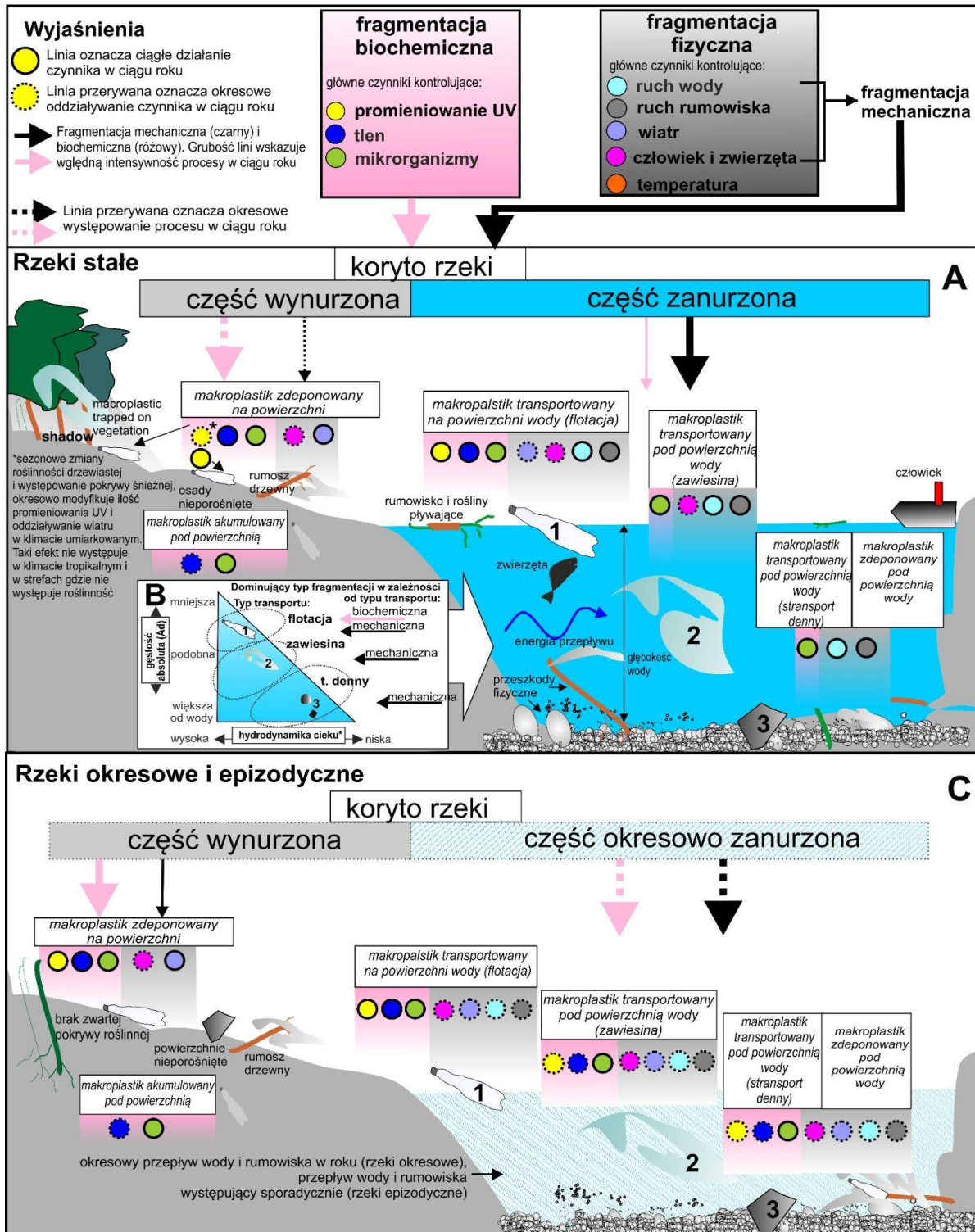
Źródło: ryc. 2 w Liro i in., 2023b.

Ponadto, w artykule tym (Liro i in., 2023b) zaprezentowałem dwa modele koncepcyjne identyfikujące typy uwarunkowań, które kontrolują fragmentację makroplastiku w systemie fluwialnym, wyróżniając i definiując uwarunkowania wewnętrzne (ang. *intrinsic controls*) (Ryc. 8) i zewnętrzne (ang. *extrinsic controls*) tego procesu (Ryc. 9). Zwróciłem także, uwagę na obecność pozytywnych sprzężeń zwrotnych pomiędzy fragmentacją mechaniczną i biochemiczną opisywanych w literaturze oraz na ich potencjalne konsekwencje (por. Corcoran i in., 2009) (zilustrowane na Rycinie 7).



Rycina 8. Model koncepcyjny uwarunkowań wewnętrznych (ang. *intrinsic controls*) kontrolujących proces fragmentacji makroplastiku. Źródło: ryc. 3 w Liro i in., 2023b.

MODEL KONCEPCYJNY FRAGMENTACJI MAKROPLASTIKU W RZECE



Rycina 9. Model koncepcyjny uwarunkowań zewnętrznych (*ang. extrinsic controls*) kontrolujących proces fragmentacji makroplastiku. Przedstawiono uwarunkowania zewnętrzne fragmentacji makroplastiku wynikające z hydromorfologii koryta i klimatu dla rzek stale płynących (A) oraz okresowych i efemerycznych (C). Wskazano także różny potencjał do zachodzenia fragmentacji mechanicznej i biochemicznej dla makroplastiku transportowanego we flotacji, suspensji oraz jako materiał denny (B).
 Źródło: ryc. 4 w Liro i in., 2023b.

W omawianej pracy wprowadziłem rozróżnienie pomiędzy pojęciami *degradacji* (ang. *degradation*) i *fragmentacji* (ang. *fragmentation*), które były wcześniej stosowane zamiennie i niejednoznacznie (patrz np. Zhang i in., 2021; Dimmassi i in., 2022) (Ryc. 7). Na podstawie syntezy istniejącej literatury proces *degradacji makroplastiku* zdefiniowałem jako zmianę właściwości fizycznych (np. rozciągliwości, koloru) i chemicznych (np. rozbicie wiązań chemicznych) makroplastiku, zwracając szczególną uwagę na inne tożsame terminy stosowane wcześniej do opisu tego procesu tj. *starzenie* (ang. *ageing*) lub *wietrzenie* (ang. *weathering*) polimeru/plastiku (Ryc. 7). Natomiast, proces *fragmentacji makroplastiku* zdefiniowałem jako jego rozbicie (ang. *breaking off*) na mniejsze fragmenty, zwracając jednocześnie uwagę na inne, tożsame terminy stosowane wcześniej do opisu tego procesu np. *abrazję* (ang. *abrasion*) lub *wietrzenie* (ang. *weathering*) (Ryc. 7). Celem rozróżnienia procesów degradacji i fragmentacji, które zaproponowałem w tej pracy było uwypuklenie roli fragmentacji jako głównego procesu prowadzącego do powstawania szkodliwych dla organizmów żywych cząstek mikroplastiku (Leslie i in., 2022) i zwrócenie uwagi na fakt, iż degradacja stanowi proces inicjujący i przyspieszający fragmentację. Rozróżnienie to było kluczowe dla wskazania uwarunkowań procesu fragmentacji przedstawionego w dalszej części tej pracy (Liro i in., 2023b). W zależności od czynników kontrolujących jej przebieg wydzieliłem dwa zasadnicze typy fragmentacji makroplastiku, mianowicie:

- *fragmentację fizyczną* (*fragmentację mechaniczną, fragmentację termiczną*), oraz
- *fragmentację biochemiczną* (*fotodegradację* wywołaną przez promieniowanie UV, *fragmentację chemiczną* związaną z procesami hydrolizy, oksydacji, oraz *biodegradację* wywołaną przez mikroorganizmy).

Najistotniejszym osiągnięciem tej pracy jest wykonana w oparciu o dotychczasowe badania eksperymentalne i terenowe, identyfikacja i systematyka uwarunkowań wewnętrznych (ang. *intrinsic controls*) procesu fragmentacji makroplastiku (Ryc. 8). Synteza ta pokazała, że najważniejsze uwarunkowania wewnętrzne procesu fragmentacji makroplastiku to: *typ polimeru i stopień jego wcześniejszej degradacji oraz stosunek jego powierzchni do masy* (Ryc. 8). Zwróciłem jednak uwagę, że czynniki te mogą wzajemnie na siebie oddziaływać w sposób wzmacniający lub osłabiający. **Relacje te zilustrowałem za pomocą trójkąta prostokątnego, w którym potencjał do fragmentacji jest wypadkową zmiennych zaprezentowanych na osiach x i y** (Ryc. 8). Oś y syntetyzuje zgromadzone w literaturze informacje dotyczące tempa fragmentacji w zależności od typu

polimeru i stopnia jego wcześniejszej degradacji. Oś ta wskazuje, że potencjał ten niezależnie od typu rozpatrywanej fragmentacji (fizyczna, biochemiczna) jest najwyższy dla polistyrenu (PS, np. białych kubków jednorazowych) i spienionego polistyrenu (EPS, np. styropianu). Przykładowo, tempo fragmentacji mechanicznej, przytaczane w istniejących pracach eksperymentalnych (np. Chubarenko i in., 2020), było dla polistyrenu i spienionego polistyrenu, aż 1000–10000 razy większe niż dla polipropylenu (PP). Co więcej, tempo fragmentacji mechanicznej wywołane przez rumowisko gruboziarniste (frakcja żwirowa) było od 5–145 razy wyższe niż to wywołane rumowiskiem drobnoziarnistym (frakcja piaszczysta) (Chubarenko i in., 2020). **Wyniki te jednoznacznie implikują zatem, że rzeki górskie transportujące gruboziarniste rumowisko mogą być miejscem bardziej sprzyjającym fragmentacji mechanicznej niż ciekii nizinne transportujące rumowisko bardziej drobnoziarniste (kwestie te zostały szczegółowo omówione w podrozdziale 2.2. omawianego artykułu Liro i in., 2023b)** (patrz także termin ang. *microplastic factories*, wprowadzony we wcześniej omawianej pracy Liro i in., 2023a). Na osi y wskazałem, że niezależnie od typu polimeru, jego wcześniejsza degradacja będzie przyspieszać tempo fragmentacji z powodu m.in. wzrostu kruchości zdegradowanego plastiku (Sun i in., 2022; Boersma i in., 2023). Z kolei na osi x omawianego diagramu uwzględniłem wpływ kształtu makroplastiku na tempo fragmentacji, wskazując, że zachodzi ona najszybciej w przypadku makroplastiku mającego wysoki stosunek powierzchni do masy (np. folii). Jako przykład wskazałem eksperyment przytaczany przez Chamasa i in. (2020), pokazujący, że tempo fragmentacji (mierzone jako % ubytek masy) obiektów plastikowych o takiej samej objętości było 260 i 1100 razy wyższe dla obiektu o kształcie filmu (ang. *film-shape*) niż odpowiednio – włókna (ang. *fiber*) i kuli (ang. *bead*) (Chamas i in., 2020). Przy omawianiu uwarunkowań wewnętrznych procesu fragmentacji zwróciłem uwagę na przykłady popularnych odpadów plastikowych mających najwyższy potencjał do fragmentacji (np. tacki styropianowe, opakowania foliowe) (**Ryc. 8**). Omówiona synteza istniejącej wiedzy o uwarunkowaniach wewnętrznych (ang. *intrinsic controls*) fragmentacji makroplastiku stworzyła szerokie tło teoretyczne do opracowania modelu fragmentacji makroplastiku przez czynniki zewnętrzne (ang. *extrinsic controls*) zaprezentowanego na **rycinie 9**.

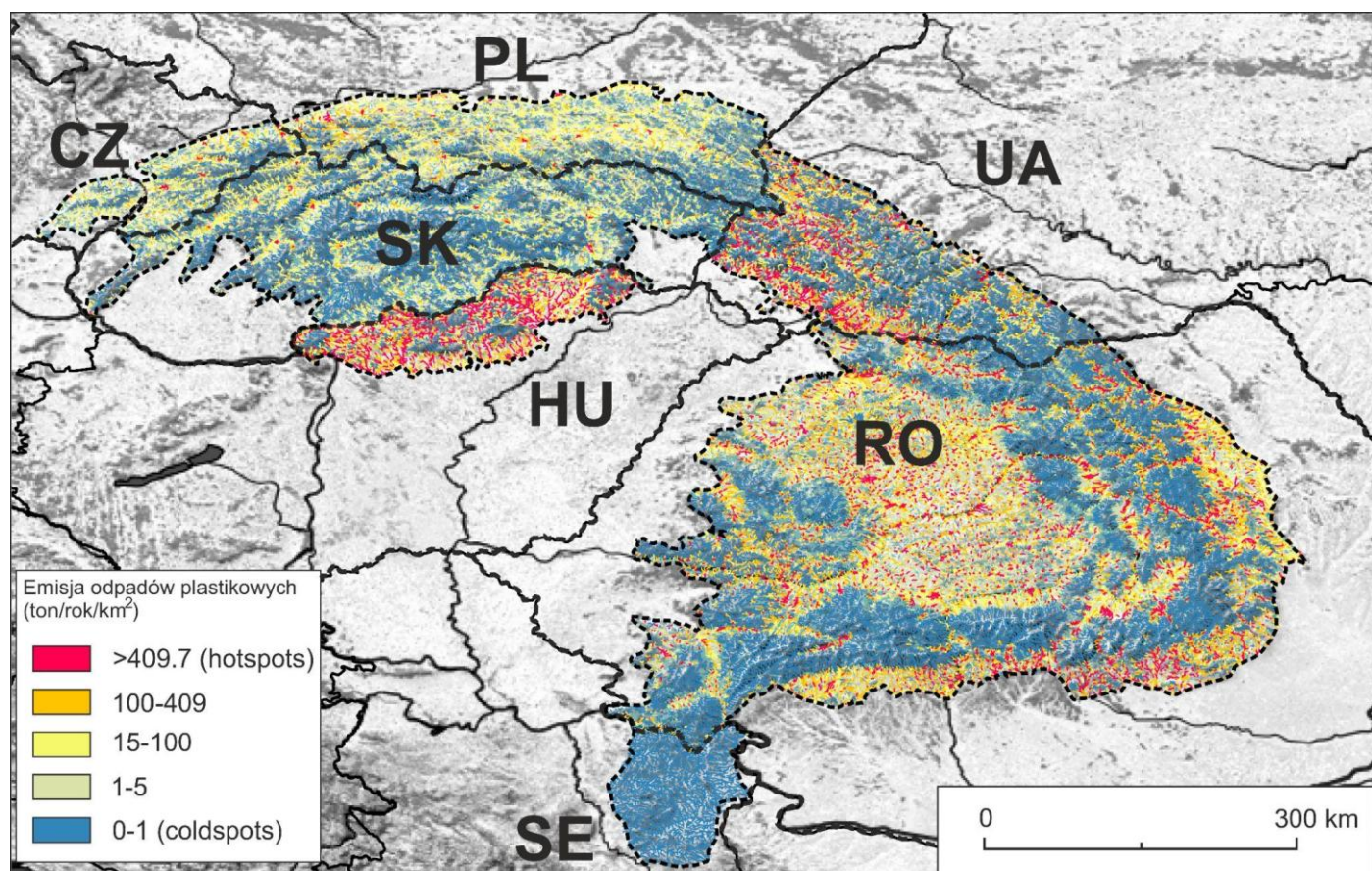
Używając tego modelu wskazałem w jaki sposób uwarunkowania zewnętrzne (hydromorfologia rzeki i klimat) modyfikują **fragmentację mechaniczną i biochemiczną makroplastiku**. Szczególną uwagę zwróciłem na uwarunkowania ww. procesów w profilu poprzecznym cieków płynących stale i okresowego, wskazując na możliwość występowania

transportu wody i rumowiska (ang. *inundated, non-inundated zones*), wiatru i oddziaływań mechanicznych ze strony człowieka i zwierząt (fragmentacja mechaniczna), a także promieniowania słonecznego, tlenu, i mikroorganizmów (fragmentacja biochemiczna) w obrębie tych stref (**Ryc. 9**). W modelu tym zróżnicowałem potencjał fragmentacji dla makroplastiku zdeponowanego na powierzchni osadów lub roślinności oraz transportowanego we flotacji (ang. *flotation*), zawiesinie (ang. *suspension*) i jako rumowisko denne (ang. *bed-load*), (**Ryc. 9**). Podkreśliłem możliwość intensywnej fragmentacji mechanicznej makroplastiku transportowanego jako rumowisko denne i w zawiesinie oraz potencjał do występowania fragmentacji mechanicznej i biochemicznej dla makroplastiku transportowanego we flotacji. **Sformułowałem hipotezę, że makroplastik transportowany w korytach rzek stale płynących jest bardziej predysponowany do fragmentacji mechanicznej niż biochemicznej.** W korytach rzek okresowo płynących również duże znaczenie ma fragmentacja biochemiczna w związku z większą dostępnością światła i tlenu w obszarze koryta (transportującego wodę tylko okresowo). **Praca ta tworzy podstawy teoretyczne i koncepcyjne dla wielu niedostrzegalnych wcześniej problemów badawczych.** Hipotezy do dalszych badań wraz z proponowaną metodyką umożliwiającą ich przetestowanie, przedstawiłem w Tabeli 2 w rozdziale 3 (*Future Outlook*) tego artykułu (**Liro i in., 2023b**).

Omówione do tej pory trzy prace koncepcyjno-teoretyczne stworzyły podstawy do rozpoczęcia usystematyzowanych analiz GIS (**Liro i in., 2023c**) i bezpośrednich badań terenowych (**Liro i in., 2022**) nad dostawą i depozycją makroplastiku w korytach rzek górskich Karpat. Badania te realizowałem od pierwszej połowy 2021 roku i ukończyłem w roku 2023, częściowo równoległe z opracowywaniem ostatniej, opisywanej powyżej pracy teoretycznej (**Liro i in., 2023b**).

W czwartej z prac (**Liro i in. 2023c**) wchodzących w skład referowanego osiągnięcia habilitacyjnego, zatytułowanej *Mountains of plastic: Mismanaged plastic waste along the Carpathian watercourses* opublikowanej w czerwcu 2023 roku w czasopiśmie międzynarodowym *Science of The Total Environment* (**IF=9.8, 200 pkt. MEiN**) (**Załącznik 5**) przedstawiłem wyniki szczegółowych analiz przestrzennych uwarunkowań dostawy odpadów plastikowych do terenów nadrzecznych wzdłuż wszystkich (ponad 175 tys. km) cieków w ekoregionie Karpat (~210 tys. km²) (CERI, 2021). Wyniki analiz przedstawiłem w formie dwóch map (**Ryc. 10 i 11**), czterech rycin (**Ryc. 12–15**) oraz mapy interaktywnej dostępnej w serwisie Google Earth (link: <https://figshare.com/ndownloader/files/40203682>).

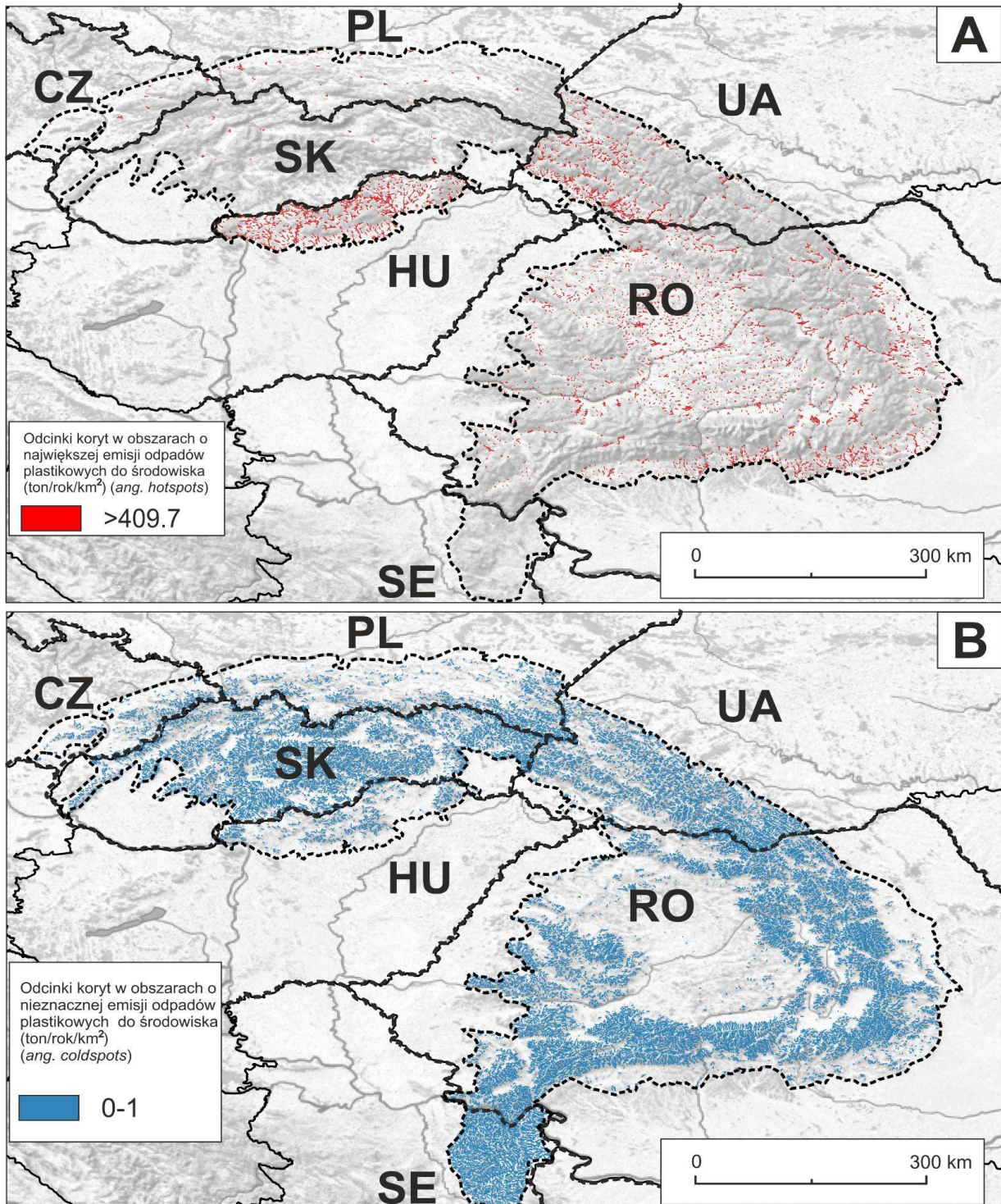
Zasadnicze obliczenia w tej pracy wykonałem wykorzystując globalną bazę danych emisji odpadów plastikowych do środowiska (Lebreton i Andrady, 2019) oraz wysokorozdzielczą bazę cieków (Lin i in., 2021). Poprzez serię operacji obliczeniowych przedstawioną na **Ryc. 1** w omawianej pracy (**Liro i in., 2023c**) określiłem wartość mediany wielkości emisji odpadów plastikowych do środowiska (na podstawie bazy danych Lebreton i Andrady, 2019) dla poszczególnych segmentów cieków karpackich (w oparciu o bazę Lin i in., 2021). Wysoka rozdzielczość bazy obrazującej cieków (mediana długości pojedynczego odcinka koryta = 1,09 km) (Lin i in., 2021) i bazy emisji odpadów plastikowych do środowiska (piksel 1 km) (Lebreton i Andrady, 2019) pozwoliła na wykonanie ww. obliczeń dla 127 940 segmentów cieków karpackich. Wyniki tych obliczeń zaprezentowano w formie poniższej mapy (**Ryc. 10**) oraz jako tabelę atrybutów dostępną w warstwie Google Earth (link: <https://figshare.com/ndownloader/files/40203682>).



Rycina 10. Mapa wielkości emisji odpadów plastikowych do środowiska wzdłuż cieków karpackich.

Źródło: ryc. 3 w Liro i in., 2023c.

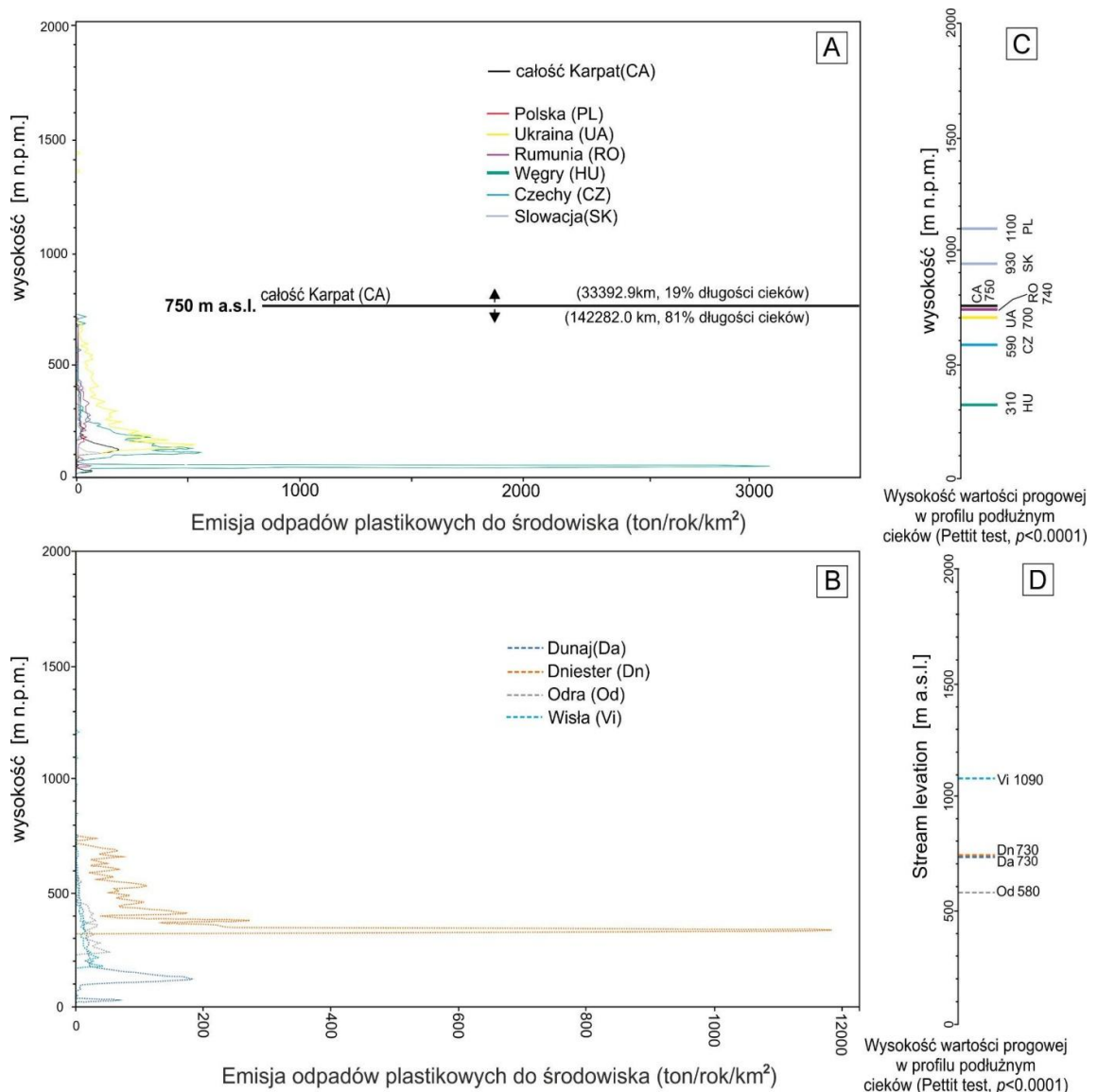
W dalszej części postępowania badawczego wykorzystałem uzyskane wyniki do detekcji odcinków o największej emisji odpadów plastikowych do środowiska i wizualizacji ich lokalizacji w obrębie ekoregionu Karpat (zdefiniowanego w pracy CERİ 2021) (Ryc. 11).



Rycina 11. Mapa odcinków koryt w obszarach o najwyższej (ang. *hotspots*) (A) i nieznacznej (ang. *coldspots*) (B) emisji odpadów plastikowych do środowiska wzdłuż cieków karpaccich.

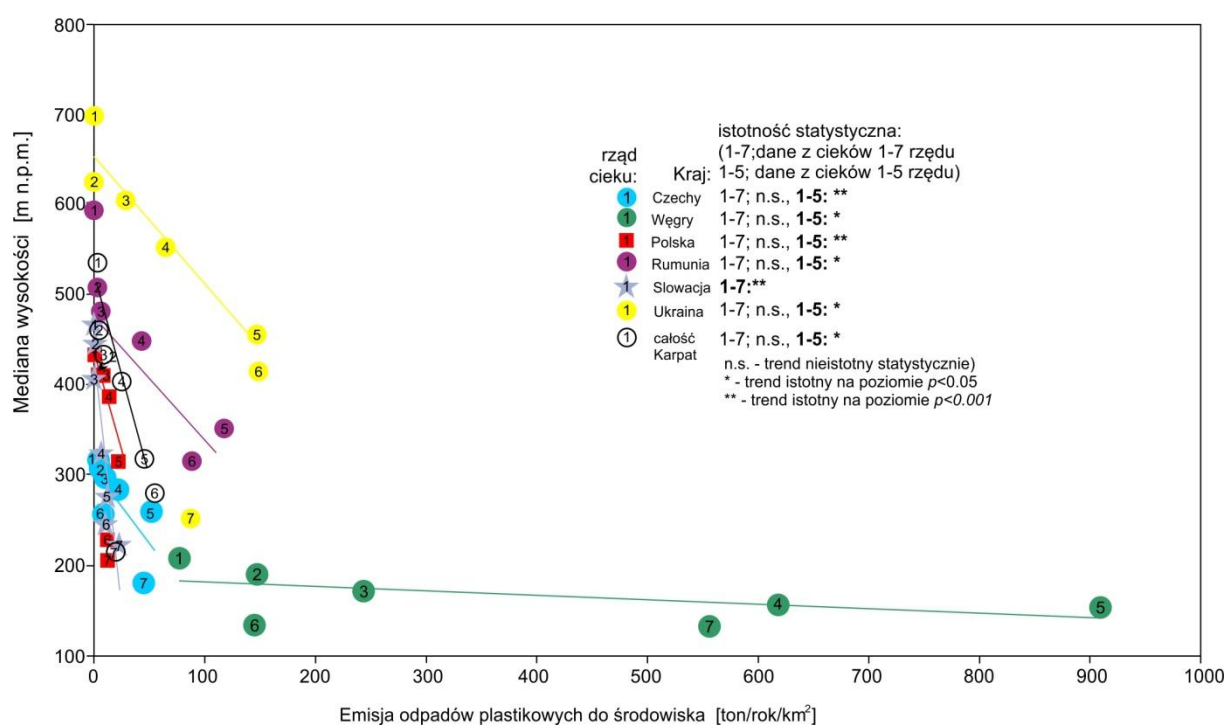
Źródło: ryc. 3 w Liro i in., 2023c.

W trakcie analiz wykonałem także serię statystyk pokazujących regionalne i lokalne zróżnicowanie wielkości emisji odpadów plastikowych do środowiska w analizowanym regionie, które zostały zaprezentowane na **rycinach 12–15**. W toku analiz udokumentowałem, że dla całości analizowanych cieków emisja odpadów plastikowych zachodzi średnio poniżej wysokości 750 m n.p.m., co stanowi 81% (142282 km) wszystkich cieków karpackich (**Ryc. 12**). Wykazałem statystycznie, że wysokość tej granicznej wysokości jest silnie zróżnicowana w zależności od topografii i położenia analizowanego kraju (**Ryc. 12A**) i zlewni rzeki (**Ryc. 12B**) w profilu wysokościowym Karpat.



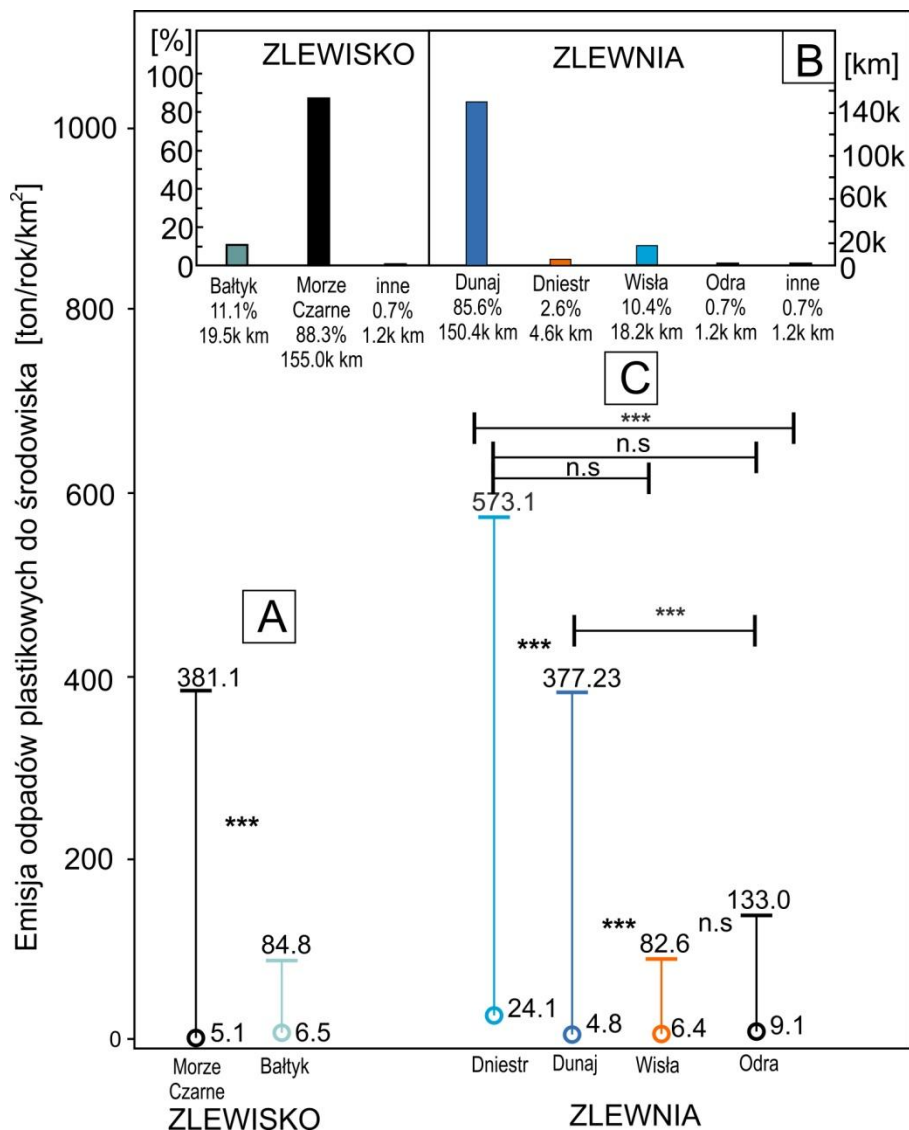
Rycina 12. Wielkość emisji odpadów plastikowych wzdłuż cieków karpackich z podziałem na kraje (A) i zlewnie głównych rzek (B). Zaznaczono wartości progowe występowania emisji odpadów plastikowych do środowiska wzdłuż cieków w analizowanych krajach (C) i zlewniach rzek (D). *Źródło: ryc. 4 w Liro i in., 2023c.*

Wykrycie ww. zależności, stanowiło podstawą do przeprowadzenia dalszych analiz zmierzających do zweryfikowania istnienia podobnego układu w zależności od rzędu cieków (Strahler, 1952) karpackich. W toku tych analiz udokumentowałem istotny statystycznie trend liniowego wzrostu emisji odpadów plastikowych wzdłuż cieków od pierwszego do piątego rzędu (Strahler, 1952) we wszystkich krajach położonych w obrębie Karpat. W przypadku Słowacji, także, w obrębie cieków od pierwszego do siódmego rzędu (**Ryc. 13**). Przebieg relacji pomiędzy wysokością położenia cieku i emisją odpadów plastikowych w analizowanych jednostkach przestrzennych (zlewnie, państwa) jest zróżnicowany i ma różny rozkład wartości (**Ryc. 13**). Najwyższa emisja odpadów plastikowych do środowiska występuje wzdłuż cieków na Węgrzech leżących w najniższych partiach ekoregionu karpackiego (CERI, 2001) (**Ryc. 13**).



Rycina 13. Wielkość emisji odpadów plastikowych wzdłuż cieków karpackich w zależności od rzędu cieku (Strahler, 1954) z podziałem na kraje. Źródło: ryc. 4 w Liro i in., 2023c.

Podczas analiz wykazałem również, że ciek karpackie położone w zlewisku Morza Czarnego (88,3% wszystkich analizowanych, 155 tys. km²) przepływają przez obszary o statystycznie wyższej emisji odpadów plastikowych do środowiska, niż te położone w zlewisku Morza Bałtyckiego (11,1%, 19,5 tys. km²) (**Ryc. 14**). Spośród analizowanych zlewni rzek karpackich najwyższa emisja odpadów występowała wzdłuż cieków należących do zlewni Dniestru (2,6%, 4,6 tys. km²), a najniższa dla tych należących do zlewni Dunaju (85,6%, 150,4 tys. km²) (**Ryc. 14**).

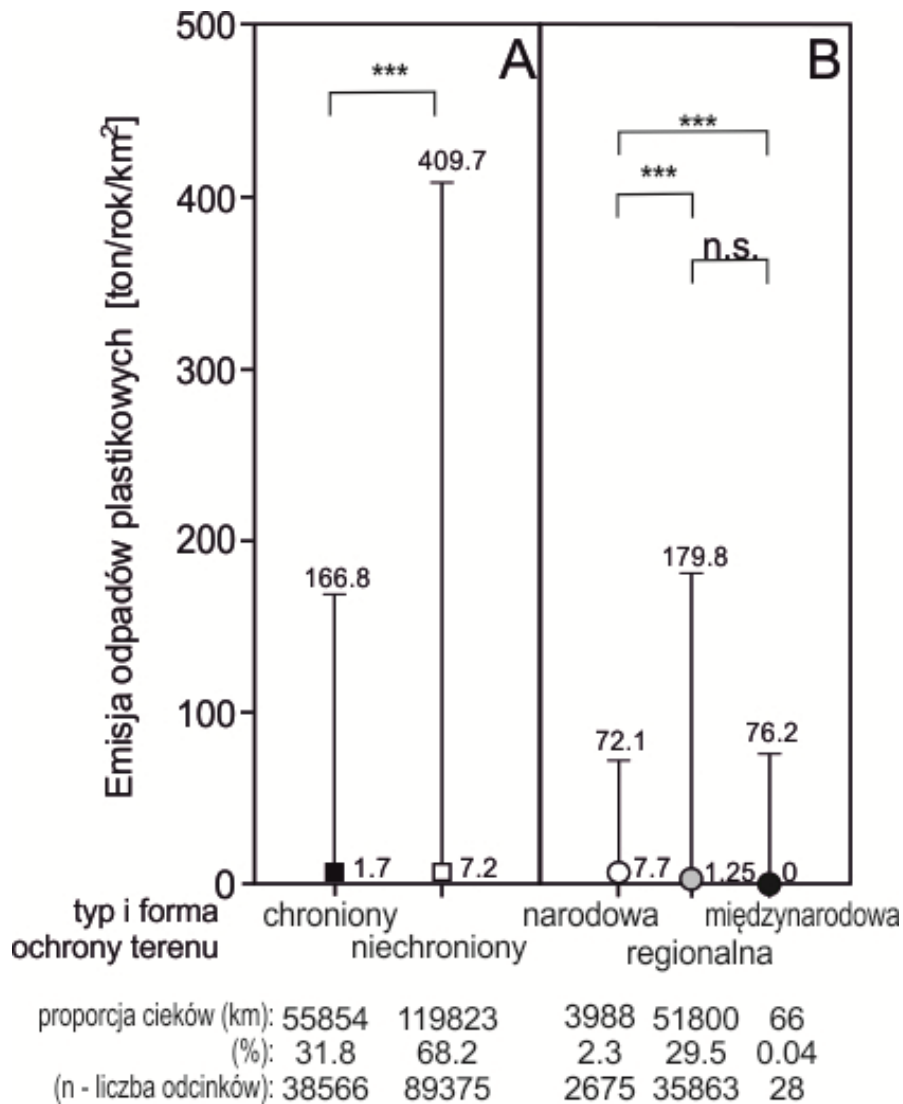


Rycina 14. Porównanie wielkości emisji odpadów plastikowych wzdłuż cieków karpackich z podziałem na zlewiska (A) i zlewnie (C). Kropką oznaczono medianę, wąsem 90 percentyl. Szczegóły statystyczne jak na rycinie 13.

Źródło: ryc. 6 w Liro i in., 2023c.

W toku dalszych analiz udokumentowałem również, że cieki w obszarach chronionych (stanowiące 31,8% wszystkich analizowanych) narażone są na istotnie mniejszą emisję odpadów plastikowych (mediana emisji odpadów=1,7 ton/rok/km²) niż te przepływające przez obszary niechronione (mediana emisji odpadów=7,2 ton/rok/km²) (Ryc. 15). Analiza wykazała jednak, istotne statystycznie różnice w wielkości emisji odpadów plastikowych pomiędzy ciekami w obszarach chronionych na poziomie krajowym, regionalnym i międzynarodowym (Ryc. 15). Wartości te były najwyższe dla cieków przepływających przez obszary chronione na poziomie krajowym (2,3% wszystkich analizowanych, 3,9 tys. km

cieków) (mediana emisji odpadów=7,7 ton/rok/km²) i istotnie niższe dla cieków przepływających przez obszary chronione na poziomie regionalnym (29.5% wszystkich analizowanych, 51.8 tys. km cieków), (mediana emisji odpadów=7,7 ton/rok/km²) i międzynarodowym (0,04% wszystkich analizowanych, 66 km cieków, mediana emisji odpadów=0 ton/rok/km²) (Ryc. 15).



Rycina 15. Porównanie wielkości emisji odpadów plastikowych wzdłuż cieków karpackich z podziałem na obszary chronione i niechronione (A) oraz różne formy ochrony terenu (B). Kropką i kwadratem oznaczono medianę, wąsem 90 percentyl. Szczegóły statystyczne jak na rycinie 13. Źródło: ryc. 6 w Liro i in., 2023c.

Najistotniejszym dokonaniem omawianej publikacji (Liro i in., 2023c) jest wskazanie odcinków rzek karpackich poddanych szczególnie wysokiej emisji odpadów plastikowych (ang. *hotspots*, Ryc. 11), zdefiniowanych jako rzeki przepływające przez obszary o wartości emisji odpadów plastikowych > 90 percentyla (>409,7 ton/rok/km²). Dla

całego ekoregionu Karpat zidentyfikowałem 11,6 tys. km takich odcinków cieków i zaprezentowałem je na mapie (Ryc. 11) wskazując że, większość z nich położona jest w Rumuni (56%, 6567,5 km), na Węgrzech (23,1%, 2,7 tys. km) i Ukrainie (16,5%, 1,9 tys. km). Wykonane analizy statystyczne pokazały także, że większość tych odcinków położona jest w zlewni Dunaju (94,6%, 10,9 tys. km) i zlewisku Morza Czarnego (98,3%, 11,4 tys. km) (szczegóły przedstawiono w tabeli 1 w pracy Liro i in., 2023c). Natomiast najwięcej odcinków rzek przepływających przez obszary, w których nie zachodzi emisja odpadów plastikowych zidentyfikowano w Rumuni (47,8%, 31,9 tys. km), na Słowacji (21,9%, 14,6 tys. km) i Ukrainie (11,2%, 7,5 tys. km). Największy udział takich odcinków występuje w zlewni Dunaju (87,6%, 58,4 tys. km) i w zlewisku Morza Czarnego (90,9%, 60,5 tys. km), (Tab. 1 w Liro i in., 2023c).

Należy podkreślić, że identyfikacja odcinków rzek, w których zachodzi szczególnie wysoka emisja odpadów plastikowych, opracowane mapy prezentujący przestrzenny układ tego procesu oraz całość statystyk zawarta w opisywanym artykule (Liro i in., 2023c) stanowi znaczące osiągnięcie nie tylko z punktu widzenia prowadzenia dalszych badań naukowych nad zanieczyszczeniem plastikiem cieków karpackich, lecz szczególnie z punktu widzenia praktycznego np. jako materiał pomocny w wyborze miejsc oczyszczania rzek i planowania poprawy zarządzania odpadami w obszarach nadrzecznych karpackich rzek. Przedstawione w publikacji wyniki dają szansę wsparcia ww. działań zarówno w skali lokalnej (np. w gminach) jak i regionalnej (np. obszary parków narodowych).

Kolejna praca (Liro i in., 2022) wchodząca w skład referowanego osiągnięcia habilitacyjnego pt. *First insight into the macroplastic storage in a mountain river: The role of in-river vegetation cover, wood jams and channel morphology*, opublikowana we wrześniu 2022 roku w czasopiśmie międzynarodowym *Science of The Total Environment* (IF=10.944, 200 pkt. MEiN) (Załącznik 5), bazowała na badaniach terenowych przeprowadzonych w korycie Dunajca w Kotlinie Orawsko-Nowotarskiej. Artykuł ten jest pierwszym w literaturze przedmiotu opracowaniem, w którym poddano analizie relację pomiędzy morfologią koryta i typem pokrycia roślinnego a przebiegiem depozycji makroplastiku w korycie rzeki górskiej. Wykonane analizy bazowały na pomiarach terenowych ilości (masa, liczba cząstek/m²) i kompozycji makroplastiku (wg podziału procentowego uwzględniającego typ polimeru i przeznaczenie użytkowe obiektu, patrz. np. van Emmerik i in., 2020a ,b) wykonanych w obrębie 144 poletek badawczych (o powierzchni 20 m²). Były one zlokalizowane na powierzchniach o czterech różnych typach pokrycia terenu,

powszechnie spotykanego w korytach rzek górskich klimatu umiarkowanego, mianowicie: osadach nieporośniętych roślinnością, roślinności zielnej, roślinności drzewiastej oraz rumoszu drzewnym (Fot. 2A.-D.).



Fotografia 2A.–D. Typy pokrycia terenu występujące w rzece górskiej klimatu umiarkowanego (A-osad nieporośnięty roślinnością, B-roślinność zielna, C-roślinność drzewiasta, D-rumosz drzewny). *Źródło: ryc. 2 w Liro i in., 2022.*

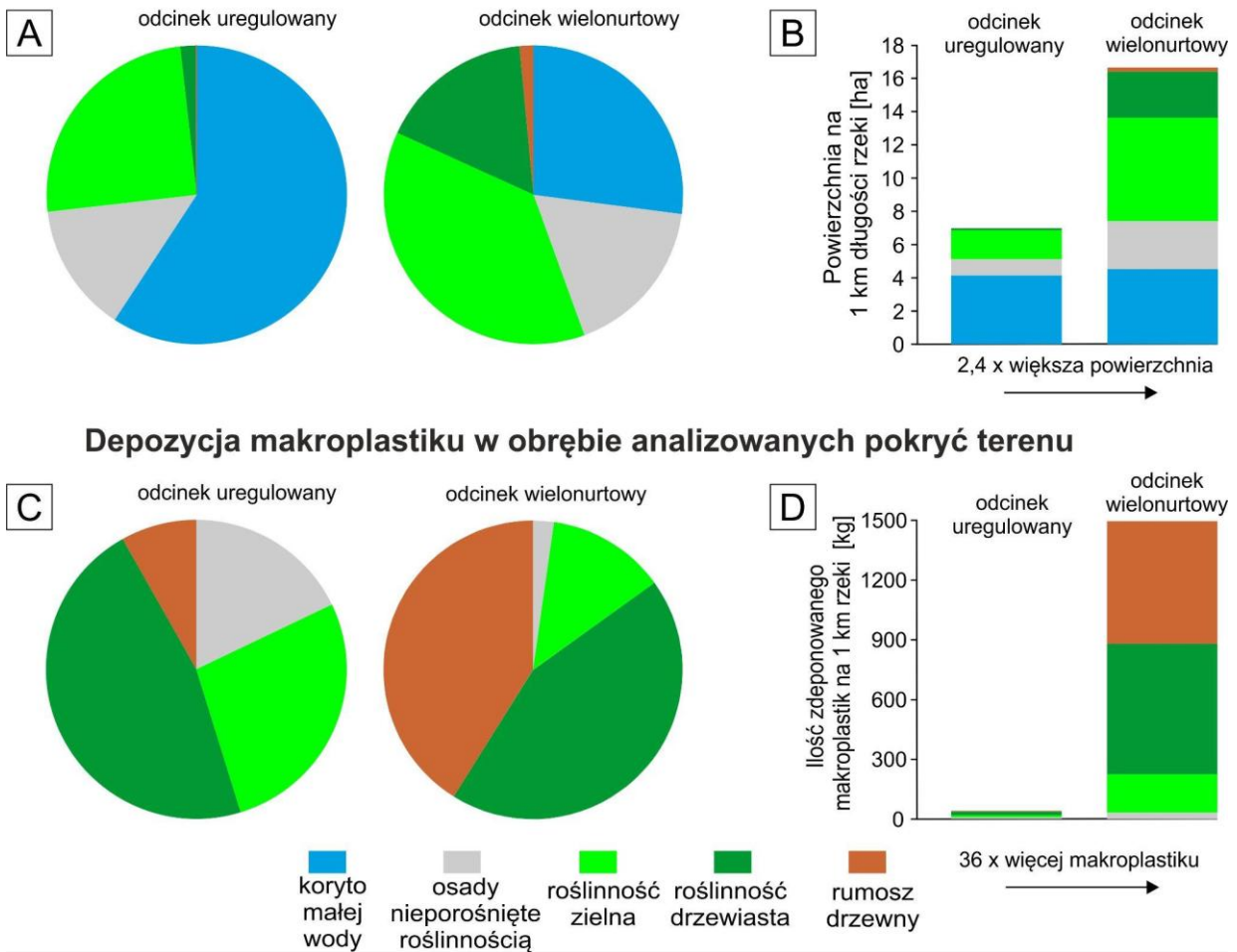
Należy podkreślić, że poletka badawcze były rozlokowane w dwóch sąsiadujących ze sobą odcinkach koryta o długościach 1,5 km i 1,2 km, mających podobną wielkość dostawy makroplastiku do koryta, jednak znacznie różniących się morfologią (odcinek wąski uregulowany i odcinek szeroki nieregulowany). Przed rozpoczęciem pomiarów makroplastiku w terenie, dla obu z tych odcinków opracowałem ortofotomapę o rozdzielczości terenowej piksela 2,5 cm (wykorzystując 1898 zdjęć wykonanych przy użyciu Drona DJI Phantom 4 Advanced oraz wyniki pomiarów terenowych dokonanych przy użyciu odbiornika GPS RTK Trimble). Następnie wykorzystałem ją do pomiarów typów pokrycia terenu w obu badanych odcinkach. W opracowanej specjalnie na potrzeby tej pracy metodyce wykonania pomiarów terenowych makroplastiku założyłem, że w każdym ze stanowisk pomiarowych należy

przeanalizować poletka badawcze reprezentujące cztery ww. typy pokrycia terenu i powinny one znajdować się w jak najbliższym wzajemnym sąsiedztwie. Takie podejście pozwoliło ograniczyć wpływ innych uwarunkowań wpływających na depozycję makroplastiku w obrębie poletek np. odległości od koryta, hydrodynamiki w czasie wezbrania. **Na uwagę zasługuje również wykonana, po raz pierwszy w tej pracy autorska klasyfikacja zebranego makroplastiku ze względu na jego kolorystykę (Ryc. 19).** Zebrany makroplastik sklasyfikowałem na cztery typy: jaskrawy (czerwony, różowy, żółty), ciemny (czarny, szary, brązowy), biały oraz przezroczysty. Klasyfikację tę zastosowałem w celu oceny potencjału do identyfikacji w terenie makroplastiku o różnej kolorystyce, zdeponowanego na tle danego pokrycia terenu. Zastosowana metodyka pozwoliła mi na zebranie niezwykle interesujących i szczegółowych danych pozwalających w toku dalszego postępowania badawczego na:

- ilościowe określenie różnic w wielkości depozycji makroplastiku pomiędzy różnymi jednostkami geomorfologicznymi koryta rzeki górskiej wynurzonych w czasie niskich i średnich przepływów;
- ocenę wpływu roli grubego rumoszu drzewnego na depozycję makroplastiku;
- identyfikację i wyjaśnienie różnic w ilości makroplastiku zdeponowanego w odcinkach rzeki górskiej różniących się morfologią koryta.

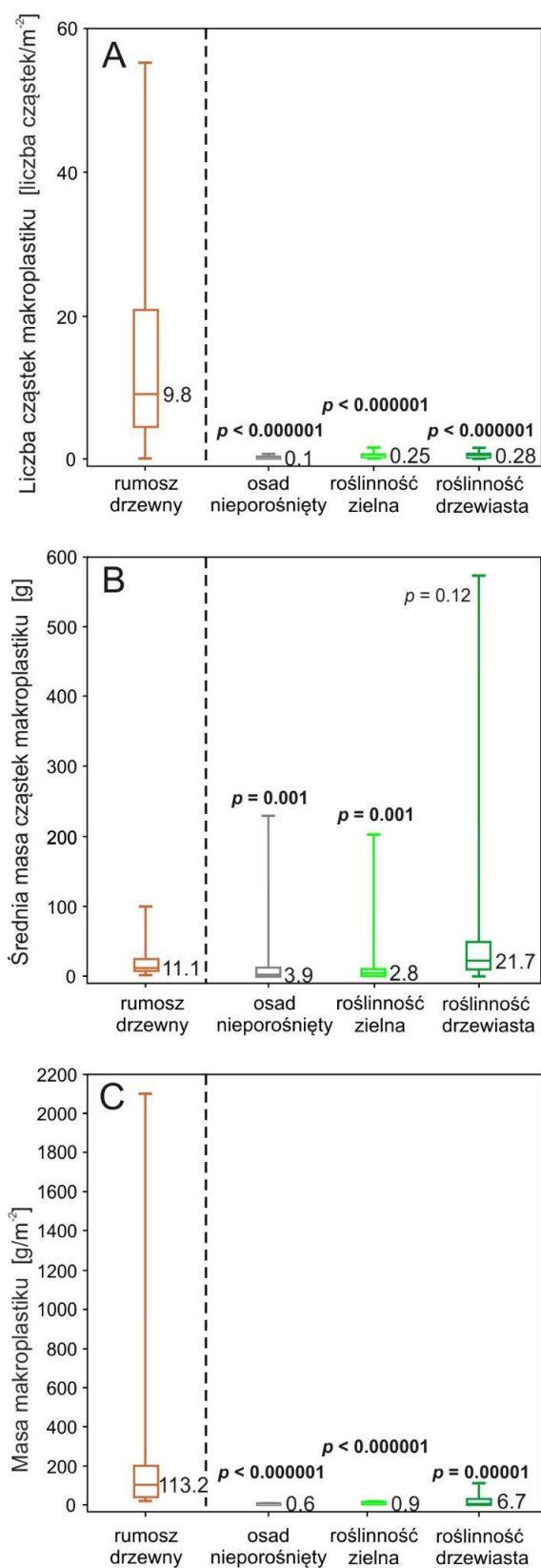
Najważniejszym osiągnięciem prezentowanej pracy (Liro i in., 2022) jest wykazanie, po raz pierwszy w literaturze przedmiotu, że morfologia koryta i jego pokrycie terenu są niezwykle istotnymi uwarunkowaniami decydującymi o ilości i typie makroplastiku zdeponowanego w korycie rzeki górskiej. W szczególności wykazano, że w szerokim korycie nieregulowanym łączna ilość makroplastiku zdeponowanego na jednym kilometrze rzeki jest aż 36 razy większa niż w przypadku odcinka tej samej długości koryta uregulowanego. Różnica ta nie może być wyjaśniona w oparciu o 2,4 razy większą powierzchnię odcinka nieregulowanego (Ryc. 16).

Udział analizowanych typów pokrycia terenu w badanych odcinkach



Rycina 16. Udział (%) (A) i powierzchnia (ha) (B) poszczególnych typów pokrycia terenu w analizowanych odcinkach Dunajca. Udział (%) (C) i ilość (kg) (D) makroplastiku zdeponowanego na analizowanych typach pokrycia terenu w badanych odcinkach. *Źródło:* ryc. 9 w Liro i in., 2022.

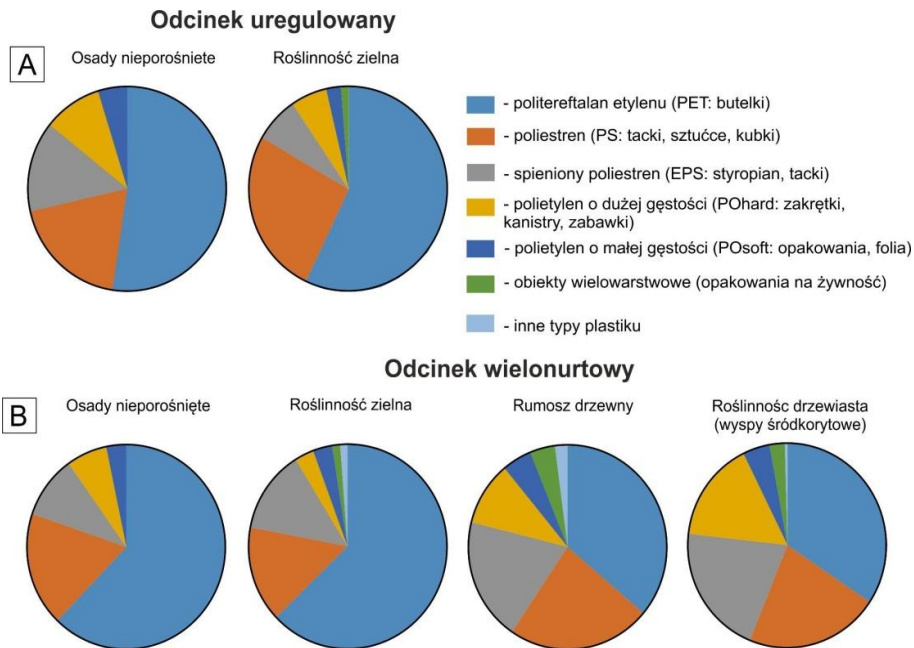
Większa ilość makroplastiku w odcinku nieregulowanym wynika bezpośrednio z dużego udziału w nim powierzchni sprzyjających depozycji makroplastiku (tj. grubego rumoszu drzewnego, wysp porośniętych roślinnością drzewiastą (Ryc. 16). Na podstawie wykonanych pomiarów terenowych wykazano, bowiem że powierzchnie pokryte rumoszem drzewnym i roślinnością drzewiastą wylapują odpowiednio 113 g/m^2 i 6 g/m^2 makroplastiku, co stanowi masę aż o 180 i 9,5 razy większą od tej zdeponowanej na osadach nieporośniętych roślinnością, występujących w podobnej odległości i wysokości w stosunku do koryta małej wody (Ryc. 17).



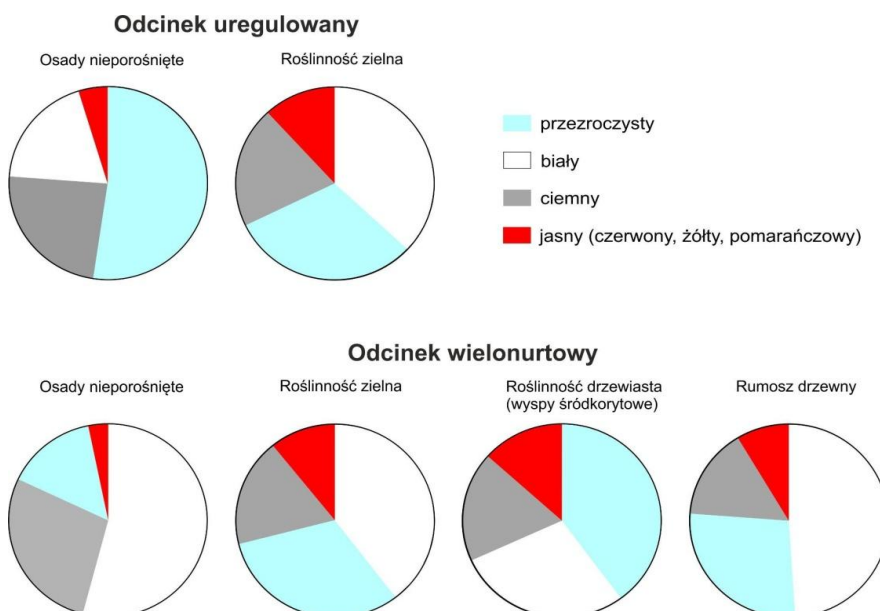
Rycina 17. Liczba cząstek makroplastiku (A), ich średnia masa (B) oraz łączna masa (C) zdeponowana w obrębie analizowanych pokryć terenu. Źródło: ryc. 5 w Liro i in., 2022.

Mając na uwadze fakt, że cykl życia form zbudowanych z rumoszu drzewnego i wysp porośniętych roślinnością drzewiastą może być dla rzek górskich dość precyzyjnie określony (van der Nat i in., 2002; Mikuś i in., 2013), w opisywanej pracy (**Liro i in., 2022**) zwróciłem uwagę na możliwość określenia wielkości i długości depozycji makroplastiku w ich obrębie, przy użyciu metod sedymentologicznych i fotogrametrycznych (np. analizy zdjęć lotniczych) stosowanych do tej pory w geomorfologii fluwialnej. Analogicznie, wskazałem także możliwość określenia ilości makroplastiku remobilizowanego w trakcie ich erozji przez wody powodziowe. W artykule szczegółowo omówiłem znaczenie praktyczne otrzymanych wniosków. **W szczególności wskazałem, że obszary występowania rumoszu drzewnego oraz porośniętych roślinnością drzewiastą wysp korytowych mogą być odpowiednimi miejscami do ręcznego usuwania makroplastiku z rzek górskich.** Natomiast wąskie odcinki uregulowane mogą służyć jako odpowiednie lokalizacje dla instalacji wyłapujących makroplastik płynący w wodzie. Zwróciłem także uwagę na zagrożenia przyrodnicze wynikające z nasilonej depozycji makroplastiku w obrębie rumoszu drzewnego, który odgrywa istotną rolę w podnoszeniu różnorodności florystycznej rzek górskich oraz tworzeniu siedlisk dla zwierząt wodnych i lądowych (np. polykanie przez zwierzęta, por. Blettler i Mitchell, 2021). Wykonana analiza typów polimerów i ich przeznaczenia użytkowego (wg klasyfikacji van Emmerik i in., 2020a, 2020b) zdeponowanych w obrębie analizowanych typów pokrycia terenu ujawniła, że w obrębie osadów niepokrytych roślinnością lub pokrytych roślinnością zielną dominowały fragmenty folii spożywczej i opakowań foliowych (zbudowanych z różnych rodzajów polietylenu (PE) (ang. *polyethylene*), oraz tacek spożywczych i styropianu (zbudowanych ze spienionego polistrenu (EPS) (ang. *expanded polystyrene*). Tego typu makroplastik stanowił odpowiednio 67% i 83%, obiektów zdeponowanych w obrębie poletek nieporośniętych roślinnością i porośniętych roślinnością zielną (**Ryc. 18**). Z kolei w obrębie wysp korytowych porośniętych roślinnością drzewiastą 54% makroplastiku stanowiły butelki plastikowe (zbudowane z politereftalanu etylenu (PET) lub pojemniki zbudowane z polietylenu o dużej gęstości (HDPE) (twarde plastiki), z dużym udziałem (36%) folii spożywczej i opakowań foliowych (zbudowanych z różnych rodzajów polietylenu (PE)) oraz tacek spożywczych i styropianu (zbudowanych ze spienionego polistrenu (EPS)). Największe zróżnicowanie typów makroplastiku występowało w poletkach pokrytych rumoszem drzewnym, w których stwierdzono zarówno duży udział różnego typu folii (PE) i pianek (EPS) (59%) oraz butelek plastikowych (PET) (30%) i innych typów plastiku (**Ryc. 18B**). Wyniki analizy kolorów zdeponowanego makroplastiku pokazały, że białe i przezroczyste objekty dominowały na wszystkich analizowanych typach powierzchni,

stanowiąc odpowiednio 68% i 76% wszystkich zdeponowanych makroplastików. Makroplastik w ciemnym kolorze stanowił 15% wszystkich zdeponowanych obiektów na rumoszu drzewnym, 18% na porośniętych roślinnością drzewiastą wyspach, 18%–20% na powierzchniach porośniętych roślinnością zielną i 24%–28% na osadach nieporośniętych roślinnością (Ryc. 19).



Rycina 18. Typy makroplastiku zdeponowane w obrębie poszczególnych typów pokrycia terenu w odcinku uregulowanym i wielonurtowym. Źródło: ryc. 9 w Liro i in., 2022.



Rycina 19. Udział kolorów makroplastiku zdeponowanego w obrębie poszczególnych typów pokrycia terenu w odcinku uregulowanym i wielonurtowym. Źródło: ryc. S1 w Liro i in., 2022.

Podsumowując, wyniki omawianej publikacji (Liro i in., 2022) wskazały, że sposób zarządzania korytem rzeczny i wynikająca z niego morfologia koryta są istotnymi uwarunkowaniami depozycji makroplastiku w korycie rzeki górskiej. W szczególności udokumentowałem, że zwężone, uregulowane odcinki koryta funkcjonują jako strefy transportu makroplastiku w dół cieku, natomiast szerokie odcinki koryta nieuregulowanego jako strefy jego akumulacji. Zatem badania te potwierdziły istotne znaczenie antropogenicznych modyfikacji koryta rzeczno jako uwarunkowań przemieszczania się makroplastiku przez system fluwialny, co sygnalizowałem w pierwszym z omawianych tutaj opracowań koncepcyjno-teoretycznych (Liro i in., 2020).

Wyniki dwóch zreferowanych powyżej publikacji (Liro i in., 2022, 2023c) wchodzących w skład prezentowanego osiągnięcia habilitacyjnego sugerują, że cieki karpackie, szczególnie w obszarach gęsto zaludnionych (Liro i in., 2023c), mogą być poważnie zagrożone wysoką emisją makroplastiku i związanymi z nią zagrożeniami. Niewątpliwie, aby w przyszłości móc rzetelnie ocenić zagrożenia wywołane przez dostawę makroplastiku do koryta tych rzek (por. np. Liro i in., 2023a, b), dalsze badania powinny zmierzać w kierunku ustalenia relacji pomiędzy wielkością emisji plastiku do środowiska a wielkością jego depozycji i fragmentacji w korycie rzeki. Zaprezentowane w artykule Liro i in., (2023c) mapy (Ryc. 10 i 11), niewątpliwie mogą pomóc w wyborze odcinków koryt dla których ustalenie takich relacji w toku dalszych badań terenowych powinno być wykonane priorytetowo. Należy jednak podkreślić, że wykonanie pomiarów terenowych umożliwiających pozyskanie takich danych w skali lokalnej i regionalnej Karpat wymaga wykonania wielkoskalowych badań terenowych. Dotychczasowe prace pokazują, że jednym z rozwiązań umożliwiającym wykonywanie prostych analiz terenowych zanieczyszczenia rzek plastikiem w większej skali przestrzennej jest tzw. *nauka obywatelska* (ang. *citizen science*) (np. Kiessling i in., 2019). Podejście to zakłada zaangażowanie osób niebędących specjalistami (np. młodzieży szkolnej i społeczności lokalnej) do wykonania badań terenowych według ściśle określonej procedury. Zebrane dane są następnie analizowane przez specjalistów i wykorzystywane do celów naukowych (np. Kiessling i in., 2019). Dodatkowym atutem wspomnianego podejścia jest fakt, że może być ono wykorzystane jako narzędzie edukacyjne, które poprzez zaangażowanie wolontariuszy w proces badań terenowych podnosi ich świadomość o występującym w środowisku problemie.

Zważając na wyniki referowanego tutaj osiągnięcia oraz obserwacje terenowe sugerujące współcześnie wciąż małą świadomość społeczną dotyczącą skutków zanieczyszczenia rzek makroplastikiem w Karpatach opracowałem instrukcję terenową wraz z aplikacją online

umożliwiająca szybkie dokumentowanie zanieczyszczenia rzek karpackich (oraz innych rzek górskich) makroplastikiem przez osoby niebędące specjalistami (np. młodzież szkolną, mieszkańców) przy użyciu smartfonu.

Artykuł naukowy (**Liro i in., 2023d**) pt. *Litter selfie: A citizen-science guide for photorecording of macroplastic deposition along mountain river using a smartphone* prezentujący opracowaną procedurę badawczą, metodykę i instrukcję wykonywania pomiarów w terenie został opublikowany w sierpniu 2023 roku w czasopiśmie międzynarodowym *Water* (**IF=3.4, 100 pkt MEiN**) (**Załącznik 5**). Opracowane narzędzie ma dwa cele:

- **naukowy**: umożliwienie pozyskiwania informacji o zanieczyszczeniu rzek górskich makroplastikiem, poprzez zaangażowanie osób niebędących specjalistami do procesu badań terenowych;
- **edukacyjny**: zwiększenie świadomości społecznej poprzez samodzielne wykonanie pomiaru oraz możliwość wykorzystania zebranych materiałów (tj. zdjęć obrazujących próby zebranego makroplastiku) oraz do celów edukacyjnych.

W omawianym artykule zaproponowałem trzyetapowe postępowanie badawcze opierające się na dokumentowaniu fotograficznym wielkości depozycji makroplastiku oraz typów zdeponowanego makroplastiku w czterech, zróżnicowanych typach pokrycia powierzchni występujących w korytach rzek górskich (**Ryc. 20**) (**Liro i in., 2022**). Przebieg zaproponowanego postępowania badawczego obejmuje następujące etapy: (i) lokalizację poletek badawczych w korycie rzeki; (ii) zebranie z powierzchni 10 m² ww. poletek zdeponowanego w nich makroplastiku, oraz (iii) wykonanie dokumentacji fotograficznej analizowanej powierzchni i zebranego z niej makroplastiku (**Ryc. 20**). **Wykonane zdjęcia użytkownik załącza w opracowanym formularzu online (przygotowanym w aplikacji ArcGiS 123 Survey), który automatycznie pobiera współrzędne geograficzne miejsc, w których wykonywane były pomiary.** Aplikacja umożliwia również przeglądanie na mapie online (Google Maps) zdjęć wykonanych wcześniej przez innych użytkowników. Zebrany materiał fotograficzny umożliwia następnie, określenie ilości (liczba/cząstek na m²) i typu (np. w oparciu o klasyfikację wykorzystaną w poprzedniej pracy **Liro i in., 2022**) makroplastiku zdeponowanego w określonym typie pokrycia terenu. Zgodnie z założeniami opracowanej instrukcji określenie ilości i typu makroplastiku na podstawie zdjęć jest wykonywane przez specjalistów, a nie przez samych użytkowników. Takie podejście,

zawężające udział użytkowników nie-ekspertów do lokalizacji poletek, zbierania z nich makroplastiku i udokumentowania prób poprzez wykonanie zdjęć (zgodnie z instrukcją), może ograniczyć problemy z brakiem porównywalności wyników zbieranych przez użytkowników o różnym poziomie wiedzy i doświadczenia do wykonywania pełnego pomiaru (Rech i in., 2015). Niewątpliwym atutem edukacyjnym opracowanej instrukcji i formularza online jest możliwość nieograniczonego przeglądania zdjęć wykonanych przez wszystkich jej użytkowników na interaktywnej mapie wskazującej miejsca pomiarów.



Rycina 20. Schemat postępowania badawczego opracowanej instrukcji do zbierania informacji o zanieczyszczeniu cieków górskich makroplastikiem z wykorzystaniem zdjęć wykonanych smartfonem i opracowanego formularza online.
Źródło: ryc. 1 w Liro i in., 2023d.

Opracowane narzędzie ma potencjał do bycia wykorzystanym w przyszłości nie tylko do celów naukowych, lecz także do zwiększania świadomości społecznej o problemie zanieczyszczenia makroplastikiem rzek górskich. Nieograniczony dostęp do materiałów zgromadzonych przy użyciu aplikacji stwarza również możliwości do ich wykorzystania w wizualizacji problemu wśród uczniów, studentów i innych zainteresowanych osób i podmiotów m.in. jednostek samorządowych i organizacji ekologicznych.

Podsumowanie osiągnięcia habilitacyjnego

Przedstawiony cykl publikacji (**Załącznik 5**) stanowi spójną całość podejmującą problematykę uwarunkowań dostawy, depozycji i fragmentacji makroplastiku w korytach rzek, w szczególności górskich. W jego skład wchodzi sześć recenzowanych publikacji naukowych opublikowanych w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym (suma **IF=48,9** suma **pkt. MNiSW=940**, **Tab. 1**) przy dominującym udziale autora (**Załącznik 7**). **Przeprowadzone badania dały pierwszy i zasadniczy wgląd w ww. problem, który nie był wcześniej badany. Ponadto, wprowadzone do literatury podstawy teoretyczne, modele koncepcyjne i terminologia stworzyły istotne podstawy do jego dalszej systematycznej eksploracji.** Podsumowując do najważniejszych osiągnięć prezentowanego dorobku habilitacyjnego (**Załącznik 5**) należą:

- opracowanie podstaw teoretycznych, koncepcyjnych i terminologicznych do badania procesów dostawy, depozycji i fragmentacji makroplastiku w rzekach (**Liro i in., 2020, 2023a, b**). Opracowano, zarówno ogólne i szczegółowe, modele koncepcyjne przebiegu ww. procesów, które stanowiły pierwsze tego typu prace w swoich dziedzinach i niektóre z nich (pomimo krótkiego czasu od daty publikacji, są obecnie powszechnie wykorzystywanymi publikacjami w literaturze przedmiotu (np. 84 cytowań, **Liro i in., 2020**);
- określenie uwarunkowań emisji (i pośrednio dostawy) plastiku do wszystkich cieków w ekoregionie Karpat (ponad 175,7 tys. km) (**Liro i in., 2023c**). Opublikowano pierwsze mapy i statystyki regionalne tego zjawiska dając podstawy do dalszych bardziej szczegółowych badań oraz działań praktycznych dotyczących tego problemu w Karpatach;
- wskazanie uwarunkowań depozycji makroplastiku w korycie rzeki górskiej (**Liro i in., 2022**). Wykonano pierwsze na świecie badania terenowe depozycji makroplastiku w korycie rzeki górskiej formułując, na podstawie zebranych danych, wnioski dotyczące

wpływu zarządzania korytem rzeki górskiej na depozycję makroplastiku, mające istotne znaczenie naukowe i praktyczne (Liro i in., 2022);

- opracowanie metodyki i narzędzi (tj. instrukcji i aplikacji) umożliwiających zbieranie informacji i podnoszenie świadomości społecznej na temat zanieczyszczenia rzek górskich makroplastikiem w przyszłości (Liro i in., 2023d).

Tabela 1. Zestawienie całości dorobku autora z wyszczególnieniem osiągnięcia habilitacyjnego (wyróżniono szarym tłem)

	Liczba
Recenzowane publikacje naukowe	24
Publikacje z listy JCR	17
Inne publikacje	6
Rozdziały w książkach/monografiach	1
Udział w konferencjach międzynarodowych i krajowych	53
Konferencje międzynarodowe	32
Konferencje krajowe	21
Referaty na konferencjach międzynarodowych i krajowych	27
Konferencje międzynarodowe	16
Konferencje krajowe	11
Postery na konferencjach międzynarodowych i krajowych	26
Konferencje międzynarodowe	16
Konferencje krajowe	10
Recenzowane abstrakty w materiałach pokonferencyjnych	53
Konferencje międzynarodowe	32
Konferencje krajowe	21
Międzynarodowe i krajowe projekty naukowe	6
Kierownictwo w krajowych projektach naukowych	3
Współdział w krajowych projektach naukowych	1
Współdział w międzynarodowych projektach naukowych	2
Dzieło habilitacyjne	
Sumaryczny Impact Factor	48,9
Sumaryczna liczba punktów za publikacje wg MNiE	940
Dorobek po uzyskaniu stopnia doktora	
Sumaryczna liczba punktów za publikacje wg MNiE	1940
Sumaryczny Impact Factor	83,9
Dorobek przed uzyskanie stopnia doktora	
Sumaryczna liczba punktów za publikacje wg MNiE	95
Sumaryczny Impact Factor	13,1
Podsumowanie naukometryczne całości dorobku*	
Liczba cytowań/autocytowań wg Web of Science	220/31
Liczba cytowań wg Google Scholar	402
Indeks Hirsha wg Web of Science	8
Indeks Hirsha wg Google Scholar	11
Sumaryczna liczba punktów za publikacje wg MNiE	2335
Sumaryczny Impact Factor	97

Literatura cytowana (pogrubiono prace wchodzące w skład osiągnięcia habilitacyjnego)

- Allen, J.P. 2000. *Procesy kształtujące powierzchnię Ziemi*. PWN, Warszawa.
- Andrady A.L., Barnes, P.W., Bornman, J.F., Gouind T., Madronich, S., White, C.C., Zepp, R.G., Jansen, M.A.K. 2022. Oxidation and fragmentation of plastics in a changing environment; from UV-radiation to biological degradation. *Sci. of Total Envi.*, 851, 158022.
- Barnes D.K.A., Galgani F., Thompson R.C., Barlaz M. 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos. Trans. R. Soc, B Biol. Sci.*, 364, 1985–1998.
- Blettler, M.C.M., Abrial, E., Khan, F.R., Sivri, N., Espinola, L.A. 2018. Freshwater plastic pollution: recognizing research biases and identifying knowledge gaps. *Water Res.*, 143, 416–424.
- Blettler, M.C.M., Mitchell, C. 2021. Dangerous traps: macroplastic encounters affecting freshwater and terrestrial wildlife. *Sci. Total Environ.*, 798, 149317.
- Boersma, A., Grigoriadi, K., Nooijens, M.G.A., Henke, S., Kooter, I.M., Parker, L.A., Dortmans, A., Urbanus, J.H. 2023. Microplastic Index – How to Predict Microplastics Formation? *Polymers*, 15, 2185.
- Borelle, S.B., Ringma, J., Law, K.L., Monnahan, C.C., Lebreton, L., McGivern, A., Murphy, E., i in., 2020. Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science*, 369, 1515–1518.
- Cesarini, G., Scalici, M., 2022. Riparian vegetation as a trap for plastic litter. *Environ. Pollut.*, 292(B), 118410.
- CERI, 2001. The status of the Carpathians WWF—Danube-Carpathian Programme (Vienna: Carpathian Ecoregion Initiative).
- Chamas, A., Moon, H., Zheng, J., Qiu, Y., Tabassum, T., Jang, J.H., Abu-Omar, M., Scott, S.L., Suh, S. 2020. Degradation Rates of Plastics in the Environment. *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 8, 9, 3494–3511.
- Chubarenko, I., Efimova, I., Bagaeva, M., Bagaev, A., Isachenko, I. 2020. On mechanical fragmentation of single-use plastics in the sea swash zone with different types of bottom sediments: Insights from laboratory experiments. *Mar. Poll. Bul.*, 150, 10726.
- Delorme, A.E., Koumba, G.B., Roussel, E., Delor-Jestin, F., Peiry, J.L., Voldoire, O., Garreau, A., Askanian, H., Verney, V. 2021. The life of a plastic butter tub in riverine environments. *Environ. Pollut.*, 287, 117656.
- Dimassi, S.N., Hahladakis, J.N., Yahia, M.N.D., Ahmad, M.I., Sayadi, S., Al-Ghouthi, M.A. 2022. Degradation-fragmentation of marine plastic waste and their environmental implications: A critical review. *Arab. J. Chem.*, 15(11), 104262.
- Duncan, E.M., Davies, A., Brooks, A., Chowdhury, G.W., Godley, B.J., Jambeck, i in., 2020. Message in a bottle: open source technology to track the movement of plastic pollution. *PLoS ONE*, 15, e0242459.
- Gewert, B., Plassmann, M.M., MacLeod, M., 2015. Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environ. Sci. Process Impacts.*, 17(9), 1513–1521.
- Geyer, R., 2020. Production, use, and fate of synthetic polymers, [w]: Letcher, T.M. (red.), *Plastic Waste and Recycling*. Academic Press, Londyn, 13–32.
- Geyer, R., Jambeck J., Lavender Law, K., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.*, 3, e1700782.
- Honorato-Zimmer, D., Kiessling, T., Gatta-Rosemary, M., Kroeger Campodónico, C., Núñez-Farías, P., Rech, S., Thiel, M. 2021. Mountain streams flushing litter to the sea – Andean rivers as conduits for plastic pollution. *Environ. Poll.*, 291, 118166.
- Hurley, R., Horton, A., Lusher, A., Nizzetto, L. 2020. Plastic waste in the terrestrial environment, [w:] Letcher, T.M. (red.), *Plastic Waste and Recycling*. Academic Press, Londyn, 163–193.

- Jambeck, J.R., Geyer, R., Siegler, T., Perryman, M., Anrady, A., Narayan, R., Lavender Law, K. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347, 768–771.
- Kiessling, T., Knickmeier, K., Kruse, K., Brennecke, D., Nauendorf, A., Thiel, M. 2019. Plastic Pirates sample litter at rivers in Germany-riverside litter and litter sources estimated by schoolchildren. *Environ. Pollut.*, 245, 545–557.
- Knighton, D., 1998. *Fluvial Forms and Processes. A New Perspectives*. John Wiley & Sons Inc., Nowy Jork.
- Kukulak, J., 2004. *Zapis skutków osadnictwa i gospodarki rolnej w osadach rzeki górskiej: na przykładzie aluwioów dorzecza górnego Sanu w Bieszczadach Wysokich*. Prace Monograficzne - Akademia Pedagogiczna im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, Kraków.
- Lebreton, L., Andrady, A. 2019. Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Commun.*, 5 (6), 1–11.
- Lebreton, L., van der Zwet, J., Damsteeg, J.W., Slat, B., Andrady, A., Reisser J. 2017. River plastic emissions to the world's oceans. *Nat. Commun.*, 8, 15611.
- Lechthaler, S., Waldschläger, K., Stauch, G., Schüttrumpf, H. 2020. The Way of Macroplastic through the Environment. *Environments*, 7, 73.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G., Miller, J.P., 1964. *Fluvial Processes in Geomorphology*. Freeman, San Francisco.
- Lin, P., Pan, M., Wood, E.F., Yamazaki, D., Allen, G.H. 2021. A new vector-based global river network dataset accounting for variable drainage density. *Sci. Data*, 8, 28.
- Liro, M., van Emmerik, T.H.M., Wyźga, B., Liro, J., Mikuś, P. 2020. Macroplastic storage and remobilization in rivers. *Water*, 12 (2055), 1–14.**
- Liro, M., Mikuś, P., Wyźga, B. 2022. First insight into the macroplastic storage in a mountain river: The role of in-river vegetation cover, wood jams and channel morphology. *Sci. Total Envi.*, 838 (3), 156354.**
- Liro, M., van Emmerik, T.H.M., Zielonka, A., Gallitelli, L., Mihai, F.C., 2023a. The unknown fate of macroplastic in mountain rivers. *Sci. Total Envi.*, 865, 161224.**
- Liro, M., Zielonka, A., van Emmerik, T.H.M., 2023b. Macroplastic fragmentation in rivers. *Environment International*, 180, 108186.**
- Liro, M., Zielonka, A., van Emmerik, T.H.M., Grodzińska-Jurczak, M., Kiss, T., Liro, J., Mihai F.C., 2023c. Mountains of plastic: Mismanaged plastic waste along the Carpathians watercourses. *Sci. Total Envi.* 888, 164058.**
- Liro, M., Zielonka, A., Hajdukiewicz, H., Mikuś, P., Haska, W., Gorczyca, E., Krzemień, K., Kieniewicz, M., 2023d. Litter selfie: A citizen-science guide to photorecording data on macroplastic deposition along mountain rivers using smartphone. *Water*, 15 (17), 3116.**
- Margenat, H., Ruiz-Orejón, L.F., Cornejo, D., Martí, E., Vila, A., Le Roux, G., Hansson, S., Guasch, H., 2021. *Guidelines of Field-Tested Procedures and Methods for Monitoring Plastic Litter in Mountain Riverine Systems (PLASTICØPYR Project)*. European Commission, Luksemburg.
- Meijer, L., van Emmerik, T., van der Ent, R., Schmidt, Ch., Lebreton, L. 2021. More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. *Sc. Adv.*, 7, (18).
- Newbould, R.A., Powell, D.M., Whelan, M.J. 2021. Macroplastic debris transfer in rivers: a travel distance approach. *Front. Water*, 3, 724596.
- Rech, S., Macaya-Caquilpán, V., Pantoja, J., Rivadeneira, M.M., Kroeger Campodónico, C., Thiel, M. 2015. Sampling of riverine litter with citizen scientists – findings and recommendations. *Environ Monit Assess.*, 187, 335.
- Russell, C.E., Pohl, F., Fernández, R. 2023. Plastic as a Sediment – A Universal and Objective practical solution to growing ambiguity in plastic litter classification schemes. EarthArxiv.

- Schickhoff, U., Bobrowski, M., Mal, S., Schwab, N. & Singh, R.B. 2022. The world's mountains in the Anthropocene, [w]: Schickhoff, U, Singh, R.B. & Mal, S. (red.). *Mountain Landscapes in Transition Effects of Land Use and Climate Change*, Springer Nature, Szwajcaria, 1–144.
- Shumilova, O., Tockner, K., Gurnell, A.M., Langhans, S.D., Righetti, M., Lucía, A., Zarfl, C. 2019. Floating matter: a neglected component of the ecological integrity of rivers. *Aquat. Sci.*, 81, 25,
- Strahler, A.N., 1952. Dynamic basis of geomorphology. *Geol. Soc. Am.Bull.*, 63, 923–938.
- Thompson, R.C.; Swan, S.H.; Moore, C.J.; vom Saal, F.S. 2009. Our plastic age. *Philos. Trans. R. Soc. B.*, 364,
- van Emmerik, T., Schwarz, A., 2020. Plastic debris in rivers. *WIREs Water* 7, e1398.
- van Emmerik, T., Seibert, J., Strobl, B., Etter, S., den Oudendammer, T., Rutten, M., bin Ab Razak, MS., van Meerveld, I., 2020a. Crowd-based observations of riverine macroplastic pollution. *Front. Earth Sci.* 8, 298.
- van Emmerik, T., Roebroek, C., de Winter, W., Vriend, P., Boonstra, M., Hougee, M., 2020b. Riverbank macrolitter in the Dutch Rhine–Meuse delta. *Environ. Res. Lett.* 15 104087.
- van Emmerik, T.H.M., Mellink, Y., Hauk, R., Waldschlager, K., Schreyers, L. 2022. Rivers as Plastic Reservoirs. *Front. Water*, 3, 786936.
- van Emmerik, T.H.M., Frings, R.M., Schreyers, L.J., Hauk, R., de Lange, S.I., Mellink, Y. 2023. River plastic transport and deposition amplified by extreme flood. *Nat. Water*, 1, 514–522.
- Waters, C.N., Zalasiewicz, J., Summerhayes, C., Barnosky, A.D., Poirier, C., Gałuszka, A., i in., 2016. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science* 351, aad2622.
- Weber, C.J., Lechthaler, S., 2021. Plastics as a stratigraphic marker in fluvial deposits. *Anthropocene*, 36, 100314.
- Wohl, E., 2010. *Mountain Rivers Revisited*. Water Resour. Monogr. 19, American Geophysical Union, Waszyngton.
- Viviroli, D., Durr, H.H. Messerli, B., Meybeck, M., Weingartner, R. 2007. Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance. *Water Resources Research*, 43, 7.
- Viviroli, D., Kumm, M., Meybeck, M. i in. 2020. Increasing dependence of lowland populations on mountain water resources. *Nat. Sustain.*, 3, 917–928.
- Zalasiewicz, J. Waters, C.N. Sul, J.I.D. Corcoran, P.L. Yonan, Y. 2016. The geological cycle of plastics and their use as a stratigraphic indicator of the Anthropocene. *Anthropocene*, 13, 4–17,

OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH

Moje dotychczasowe zainteresowania naukowe koncentrowały się na określeniu wpływu człowieka na funkcjonowanie ekosystemu rzeki górskiej (**Załącznik 6**). W szczególności interesowało mnie poznanie wpływu funkcjonowania zbiorników zaporowych na zmiany koryta rzek górskich (**Załącznik 6**) oraz określenie uwarunkowań dostawy, depozycji i fragmentacji makroplastiku w tych rzekach (**Załącznik 5**). W badaniach prowadzonych w korytach rzek karpackich, wykorzystywałem zarówno tradycyjne (np. kartowanie terenowe, eksperyment terenowy) jak i najnowsze metody badawcze z zakresu geomorfologii i hydromorfologii (m.in. rekonstrukcje przebiegu koryt rzecznych z użyciem historycznych zdjęć lotniczych (Liro, 2015, 2016, 2017) oraz pozyskiwanie materiałów fotogrametrycznych przy użyciu bezzałogowych statków powietrznych (UAV) (np. Liro i in., 2020; Liro i Mikuś, 2019). W trakcie prac nad zanieczyszczeniem rzek górskich makroplastikiem opracowałem także własną metodykę, pozwalającą ilościowo określić wielkość fragmentacji makroplastiku w trakcie jego transportu w rzece poprzez powtarzane, precyzyjne pomiary wagi tych obiektów wykonane przed i po ich transporcie w rzece.

Prowadzona przeze mnie działalność naukowo-badawcza została doceniona w postaci otrzymanych stypendiów naukowych (**Załącznik 10**). W 2022 roku za osiągnięcia naukowo-badawcze przyznano mi **stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla wybitnych młodych naukowców** a w 2018 roku **stypendium START Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej dla wybitnych młodych naukowców** (przed ukończeniem 30 roku życia). Wcześniej uzyskałem także **stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego za wybitne osiągnięcia dla doktorantów** w 2014 roku. W trakcie studiów doktoranckich w latach 2012–2016 pięciokrotnie otrzymałem **stypendium JM Rektora Uniwersytetu Jagiellońskiego dla najlepszych doktorantów** oraz **Nagrodę Dyrektora Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego** w 2014 roku. W trakcie studiów magisterskich zostałem nagrodzony **stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla studentów za znaczące osiągnięcia naukowe** w 2011 roku (**Załącznik 10**). Poniżej przedstawiłem opis moich dotychczasowych osiągnięć nie wchodzących w skład osiągnięcia habilitacyjnego z rozróżnieniem dorobku przed i po doktoracie.

Przed uzyskaniem stopnia doktora

Prowadzenie własnych badań naukowych rozpocząłem od analiz sedymentologicznych osadów Dunajca. Badania te prowadziłem w ramach prac licencjackiej

przygotowywanej pod opieką Prof. dr. hab. Józefa Kukulaka w Instytucie Nauk Geograficznych i Biologicznych, Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie oraz pracy magisterskiej przygotowywanej pod opieką Prof. dr. hab. Kazimierza Krzemienia w Instytucie Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Realizacja własnych badań terenowych i laboratoryjnych już w czasie studiów licencjackich i magisterskich pozwoliła mi na opublikowanie dwóch recenzowanych artykułów naukowych (**Liro, 2012, 2014**) (**Załącznik 6**). W pierwszym z nich pt. *Wpływ regulacji koryta na warunki sedymentacji osadów na równinie zalewowej dolnego Dunajca* (**Liro, 2012**) opublikowanym w *Przeglądzie Geologicznym* (**lista B, MNiSW (2012)**) (2 cytowania) przedstawiłem wyniki rekonstrukcji warunków depozycji osadów zdeponowanych w obrębie bocznego koryta w dolnym biegu Dunajca w Kotlinie Sandomierskiej. Wyniki tej pracy pokazały, że regulacja koryta i wywołane nią pogłębienie koryta spowodowały istotne zmiany warunków depozycji osadów na równinie zalewowej prowadzące do szybkiego wypełniania basenów międzyostrogowych i zwężania koryta w tym odcinku. W drugim artykule (**Liro, 2014**), pt. *Differences in the reconstructions of the depositional environment of overbank sediments performed using the C/M diagram and cumulative curve analyses*, opublikowanym w czasopiśmie *Landform Analysis* (**lista B, MNiSW (2014)**) (2 cytowania), przedstawiłem porównanie wyników rekonstrukcji środowiska depozycji osadów pobranych wcześniej w dolnym biegu Dunajca (**Liro, 2012**) oraz prób pozyskanych z Dunajca w strefie cofki Zbiornika Czorsztyńskiego, wykonane przy użyciu krzywych kumulacyjnych i diagramu C\M. W trakcie studiów licencjackich i magisterskich (2008–2012) uczestniczyłem w badaniach natężenia ruchu turystycznego w Pienińskim Parku Narodowym i w Gorczańskim Parku Narodowym realizowanych przez Studenckie Koło Naukowe Uniwersytetu Pedagogicznego im. KEN w Krakowie. Byłem, także współautorem artykułu naukowego powstałego w oparciu o wyniki tych badań (czasopismo *Turyzm*, Gąsiorek i in., 2012).

Po rozpoczęciu studiów doktoranckich podjąłem się wyjaśnienia wpływu zjawiska cofki (cyklicznych zalewów dna doliny rzecznej związanych z funkcjonowaniem zbiornika zaporowego) (Łajczak, 2006; **Liro i Krzemień, 2020**), występującego powyżej zbiorników zaporowych na ewolucję koryt rzek zwirodennych. Badania te realizowałem w latach 2012–2018 w ramach dysertacji doktorskiej przygotowywanej w Zakładzie Geomorfologii w Instytucie Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, pod opieką prof. dr. hab. Kazimierza Krzemienia, która została obroniona z wyróżnieniem w dniu 20 lutego 2018 roku. Badania te były częściowo finansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach grantu **PRELUDIUM 10**, pt. *Wpływ podniesienia bazy erozyjnej wywołanego przez*

zbiornik zaporowy na hydrodynamikę i układ roślinności w korycie i na równinie zalewowej górskiej rzeki żwirodnej (budżet 87 860 zł), którym kierowałem w latach 2016–2019 (**Załącznik 8**). Wyniki moich prac dotyczących ww. zagadnienia przedstawiłem w formie sześciu samodzielnie napisanych artykułów opublikowanych w prestiżowych czasopismach międzynarodowych (m.in. *Geomorphology* (IF=3.0, 35 pkt. MNiSW (2015)), *Catena* (IF=3.6, 40 pkt. MNiSW (2017)), *Zeitschrift für Geomorphologie* (IF=1.1, 15 pkt. MNiSW(2015)), *Science of the Total Environment* (IF=6.56, 200 pkt. MNiSW (2019)) (**Załącznik 6**). Za ww. osiągnięcia w 2018 roku otrzymałem, wspomniane wcześniej, stypendium **START Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej dla wybitnych młodych naukowców (Załącznik 10)**.

Prace badawcze nad określeniem wpływu zjawiska cofki na koryta rzek górskich rozpocząłem od przeglądu i syntezy literatury oraz opracowania podstaw teoretycznych i koncepcyjnych tego zjawiska, które przedstawiłem w pracy pt. *Conceptual model for assessing channel changes upstream from a dam reservoirs* (Liro, 2014), opublikowanej w czasopiśmie *Quaestiones Geographicae* (15pkt MNiSW (2014)) (32 cytowania) (**Załącznik 6**).

Następnie w publikacji (**Liro, 2015a**) pt. *Gravel-bed channel changes upstream of a reservoir: the case of the Dunajec River upstream of the Czorsztyn Reservoir, southern Poland*, opublikowanej w czasopiśmie *Geomorphology* (IF=3.3, 35 pkt. MNiSW), przedstawiłem wyniki analiz fotogrametrycznych historycznych zdjęć lotniczych na podstawie, których po raz pierwszy w literaturze przedmiotu udokumentowałem zmiany koryta żwirodnego zachodzące powyżej zbiornika zaporowego (na przykładzie Dunajca powyżej Zbiornika Czorsztyńskiego). Wyniki te pokazały, że w cofce zbiornika zaporowego poszerzenie koryta wywołane dużym wezbraniem jest ponad dwukrotnie większe niż w odcinku nieobjętym cofką. Informacje te są istotne, zarówno z punktu widzenia poznawczego, jak i praktycznego. W artykule podkreśliłem także, że obserwowane zmiany koryta żwirodnego w cofce znacząco różnią się od przewidywań istniejących modeli opracowanych na podstawie badań koryt zbudowanych z materiału drobnoziarnistego (np. Xu, 1990; Schumm, 2005). Spostrzeżenia te były podstawą do dalszych bardziej szczegółowych badań zmierzających do wyjaśnienia tych niespójności (**Liro, 2016, 2017**) (**Załącznik 6**).

W kolejnej pracy (**Liro, 2016**) pt. *Development of sediment slug upstream from the Czorsztyn Reservoir (southern Poland) and its interaction with river morphology*, opublikowanej w czasopiśmie *Geomorphology* (IF=3.0, 35 pkt. (2015), MNiSW) (20

cytowań) udokumentowałem rozwój specyficznej strefy depozycji rumowiska (ang. *backwater sediment slug*, **Ryc. 12 w Liro, 2016**), której obecność przyczynia się do wzrostu szerokości koryta obserwowanego w cofce rzeki żwirodennej. W pracy tej wykazałem czasowo-przestrzenne powiązanie rozwoju tej formy ze zmianami morfologicznymi koryta (m.in. nasiloną erozją brzegów, rozwojem meandrów) (**Ryc. 12 w Liro, 2016**). W modelu tym wyjaśniłem mechanizm początkowych (tj. występujących kilkunastu latach oddziaływania cofki) zmian morfologii koryta żwirodennego w cofce zbiornika zaporowego oraz wskazałem przyczyny ich niezgodności z modelami bazującymi na badaniach rzek o dnie zbudowanym z materiału drobnoziarnistego (np. Xu, 1990).

W dalszych badaniach, których wyniki zaprezentowałem w pracy (**Liro, 2017**) pt. *Dam-induced base-level rise effects on the gravel-bed channel planform*, opublikowanej w czasopiśmie *Catena* (IF=3.256, 140 pkt. MEiN, 17 cytowań) (**Załącznik 6**), wykonałem długookresowe rekonstrukcje zmian układu koryta Dunajca i jego dopływu (Potoku Smolnik) w strefie cofki Zbiornika Rożnowskiego wykorzystując historyczne i współczesne zdjęcia lotnicze. Uzyskane wyniki pokazały, że kierunek zmian koryta w cofce znacznie różni się pomiędzy ich początkowym (<20 lat) i późniejszym etapem zachodzenia (>20 lat). W pracy tej udokumentowałem istnienie zależności pomiędzy dostosowaniami koryta i jego inicjalną strukturą (szerokością, powierzchnią łach) (**Ryc. 7 w Liro, 2017**), która jest decydująca w kontekście możliwości przebiegu sukcesji roślinnej i związanego z nią zwężania koryta obserwowanego w późniejszym etapie dostosowań (>20 lat). Uzyskane wyniki badań w połączeniu z wcześniejszymi pozwoliły mi na opracowanie modelu koncepcyjnego długookresowych zmian układu koryta żwirodennego w strefie cofki zbiornika zaporowego (**Ryc. 12 w Liro, 2017**). W modelu tym wyróżniłem i wyjaśniłem dwa etapy dostosowań, które mogą wystąpić w korycie żwirodennym położonym w strefie cofki zbiornika zaporowego. W pierwszym etapie następuje stopniowe zwężanie i spadek szerokości koryta, wywołane ekspansją roślinności nadrzecznej na łachach. Spadek szerokości koryta, może być w tym czasie, okresowo hamowany przez rozwój strefy depozycji rumowiska korytowego w cofce (por. Liro, 2016). Zakończenie pierwszego etapu dostosowań koryta następuje w momencie, w którym cała przestrzeń dostępna do ekspansji roślinności zostaje wykorzystana, a pokryte gęstą roślinnością i drobnoziarnistymi osadami brzegi koryta stabilizują je (>20 lat). W drugim etapie koryto jest stabilizowane bocznie w związku z dalszym rozwojem roślinności drzewiastej na jego brzegach oraz jako wyniki wzrostu miąższości drobnoziarnistych osadów pozakorytowych (**Ryc. 12 w Liro 2017**).

Przed uzyskaniem stopnia doktora współpracowałem z naukowcami z Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego (prof. dr. hab. Kazimierzem Krzemieniem, dr hab. Elżbietą Gorczycą, prof. UJ, mgr. Mateuszem Sobuckim). Efektem tej współpracy była przygotowana wspólnie publikacja pt. *Effects of environmental changes and human impact on the functioning of mountain river channels, Carpathians, southern Poland* (**Krzemień i in., 2015**) opublikowana w czasopiśmie *Annals of Warsaw University of Life Sciences, Land Reclamation* (12 cytowań) (**Załącznik 6**). Opracowanie to podsumowuje różne przykłady wpływu człowieka na funkcjonowanie systemu fluwialnego rzeki górskiej.

Po uzyskaniu stopnia doktora

Po uzyskaniu stopnia doktora moje zainteresowania badawcze koncentrowały się coraz mocniej na praktycznych zastosowaniach zdobytej wiedzy z zakresu geomorfologii fluwialnej w działaniach renaturyzacyjnych i określeniu uwarunkowań depozycji i fragmentacji makroplastiku rzek karpackich (**Załącznik 6**). Całość wcześniejszych prac nad funkcjonowaniem rzek żwirowodnych w cofkach zbiorników zaporowych wraz z perspektywami ich dalszych badań podsumowałem w pracy przeglądowej (**Liro, 2019**) opublikowanej pt. *Dam reservoir backwater as a field-scale laboratory of human-induced changes in river biogeomorphology: A review focused on gravel-bed rivers* w czasopiśmie *Science of The Total Environment* (IF=6.551, 200 pkt. MEiN, 57 cytowań) (**Załącznik 6**). W pracy tej szczegółowo omówiłem podstawy teoretyczne i terminologiczne umożliwiające dalsze systematyczne badania koryt rzek górskich w cofkach zbiorników zaporowych. Dodatkowo, sformułowałem model koncepcyjny (**Ryc. 2 w Liro, 2019**) przy użyciu, którego wyjaśniłem szczegółowo zmiany ekosystemu rzeki górskiej w zasięgu cofki zbiornika zaporowego oraz zaproponowałem szczegółowe hipotezy do dalszych badań. Wprowadziłem w tej pracy podział na pośrednie (ang. *indirect*) i bezpośrednie (ang. *direct*) efekty oddziaływania cofki na koryto rzeki górskiej ilustrując ich skutki na diagramach i modelach koncepcyjnych (np. **Ryc. 3–4 w Liro, 2019**). Omawiany artykuł jest obecnie jedną z najczęściej cytowanych prac w ww. problematyce (57 cytowań). W celu przybliżenia ww. wniosków czytelnikowi krajowemu napisałem także artykuł pt. *Wpływ cofki zbiornika zaporowego na koryto rzeki górskiej: perspektywy badań*, opublikowany w *Przeglądzie Geograficznym* w 2020 roku (**Liro i Krzemień, 2020b**) (**Załącznik 6**). W pracy tej szczegółowo omówiłem aktualny stan wiedzy, wyniki uzyskane w trakcie realizacji mojej pracy doktorskiej oraz perspektywy przyszłych badań nad zmianami rzek żwirowodnych w cofkach zbiorników zaporowych. Dodatkowo, w artykule przetłumaczyłem na język polski i

wyjaśniłem terminy (np. *backwater sediment slug*, *backwater fluctuation zone*), wprowadzone wcześniej do literatury międzynarodowej (np. **Ryc. 1 w Liro i Krzemień, 2020b**).

W trakcie mojej pracy w Instytucie Ochrony Przyrody Polskiej Akademii Nauk w Krakowie (od czerwca 2015 roku) brałem aktywny udział w kilku projektach krajowych (dwa granty OPUS (**Załącznik 8**) i jeden projekt rewitalizacyjny pt. *Tarliska Górnej Raby - Utrzymanie rzek górskich* (KIK/37), których efektem, w okresie po uzyskaniu stopnia doktora, były cztery publikacje, których byłem współautorem. Pierwsza z tych prac (Mikuś i in., 2019) pt. *Island development in a mountain river subjected to passive restoration: The Raba River, Polish Carpathians*, opublikowana w czasopiśmie *Science of the Total Environment* (IF=6.6, 200 pkt. MNiSW) (**Załącznik 6**), podsumowała wyniki 10-letnich badań terenowych dokumentujących przebieg samoistnej renaturyzacji (ang. *passive restoration*) koryta Raby w odcinku pomiędzy Lubniem i Pcimiem, w którym prowadzone wcześniej były prace zapobiegające regulacji koryta tej rzeki. W dwóch kolejnych pracach (Wyźga i in., 2021, Mikuś i in., 2021) pt. *Impact of the restoration of an incised mountain stream on habitats, aquatic fauna and ecological stream quality* i *Changes of fluvial processes caused by the restoration of an incised mountain stream* opublikowanych w czasopiśmie *Ecological Engineering* (IF=4.4, 100 pkt. MEiN), zostały podsumowane efekty innowacyjnego, w skali Karpat, projektu renaturyzacyjnego przeprowadzonego na Potoku Krzczonówka (dopływie Raby). W potoku tym nastąpiło w ostatnich 70 latach znaczne pogłębienie dna i niemal całkowity zanik dna aluwialnego. W trakcie projektu w korycie tego potoku wybudowano konstrukcje imitujące naturalne bystrza rzeczne (ang. *artificial boulder ramps*), których celem było wyłapanie materiału transportowanego z górnego odcinka potoku w związku z planowanym tutaj usunięciem zapory przeciwrumowiskowej. Wyniki zaprezentowane w dwóch ww. publikacjach pokazały, że zbudowane w korycie sztuczne bystrza przyczyniły się nie tylko do poprawy morfologii koryta, lecz także do przywrócenia w nim naturalnie występującego dna aluwialnego zapewniającego siedliska rydom i bezkręgowcom dennym. Podsumowaniem wyników ww. projektów renaturyzacyjnych przeprowadzonych w karpatach była praca (Wyźga i in., 2021) pt. *Scientific monitoring of immediate and long-term effects of river restoration projects in the Polish Carpathians*, opublikowana w czasopiśmie *Ecohydrology & Hydrobiology* (IF=3.6, 70 pkt. MEiN), której byłem współautorem (**Załącznik 6**).

W latach 2020–2023 byłem wykonawcą, a następnie kierownikiem (w związku ze śmiercią prof. dr hab. Bartłomieja Wyźgi) grantu pt. *Bezpośrednie i długotrwałe efekty projektów rewitalizacji rzek w polskich Karpatach* (OPUS 17, Narodowego Centrum Nauki)

(Załącznik 8). Po uzyskaniu stopnia doktora, brałem także udział w kilku projekcie zagranicznym pt. *Quantifying the Development and Dynamics of Reservoir Delta and Related Backwater Vegetation in the Context of Physical Drivers*, kierowanym przez dr. Nathana Holste (U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, Waszyngton, Stany Zjednoczone) (Załącznik 8). Do moich zadań w tym projekcie należała selekcja materiałów fotogrametrycznych oraz wykonanie analiz zmian układu delty i koryta Dunajca w strefie cofki Zbiornika Rożnowskiego. Od 2020 roku współpracuje z dr. Malią Volke (Washington Department of Natural Resources, Waszyngton, Stany Zjednoczone) i dr. Michaeliem Scottem (Colorado State University, Stany Zjednoczone) przy opracowywaniu wyników inwentaryzacji florystycznej przeprowadzonej w latach 2019–2021 w obrębie cofki Zbiornika Rożnowskiego. Wyniki tej inwentaryzacji zaprezentowałem jako referat w czasie warsztatów pt. *Riparian Vegetation Responses to Global Changes* organizowanych w dniach 29–30.01.2020 w Madrycie (Liro i in., 2020a). Publikacja podsumowująca te badania jest obecnie opracowywana i zostanie przesłana do czasopisma *Science of The Total Environment* w listopadzie 2023 roku.

Tabela 2. Wykaz projektów kierowanych i realizowanych przez autora

Projekty naukowe <i>Numer, tytuł i typ projektu oraz agencja finansująca/zlecająca</i>	Wielkość finansowania (PLN)	Funkcja
Po uzyskaniu stopnia doktora		
– 2020/39/D/ST10/01935, <i>Makroplastik w rzece górskiej i pogórskiej</i> , grant SONATA 16, Narodowe Centrum Nauki (okres realizacji 2021–2024)	347 761	Kierownik
– 2019/33/B/ST10/00518, <i>Bezpośrednie i długotrwałe efekty projektów rewitalizacji rzek w polskich Karpatach</i> , grant OPUS 17, Narodowe Centrum Nauki (okres realizacji 2020–2024)	360 760	Kierownik *
Przed uzyskaniem stopnia doktora		
– 2015/19/NST10/01526 <i>Wpływ podniesienia bazy erozyjnej wywołanego przez zbiornik zaporowy na hydrodynamikę i układ roślinności w korycie i na równinie zalewowej górskiej rzeki żwirodennej</i> , grant PRELUDIUM 10, Narodowe Centrum Nauki (okres realizacji 2016–2019)	87 860	Kierownik
– Dotacja na projekty młodych naukowców IOP PAN: <i>Analiza krótko okresowych zmian morfologii i szaty roślinnej Potoku Smolnik w strefie cofki Zbiornika Rożnowskiego przy użyciu zdjęć lotniczych wykonanych przy użyciu nisko-budżetowego drona</i> (okres 2021)	4500	Kierownik

– DS./MND/WBiNoZ/IGiGP/28/2015 <i>Przyczyny i skutki erozji bocznej koryta żwirodennego powyżej zbiornika zaporowego</i> Projekt finansowany przez IGiGP UJ (okres realizacji 2015–2016)	6000	Kierownik
– DS./MND/WBiNoZ/IGiGP/25/2014 <i>Wpływ podniesienia bazy erozyjnej na wykształcenie i tempo migracji akumulacyjnych form koryta w rzece żwirodennej.</i> Projekt finansowany przez IGiGP UJ (okres realizacji 2014–2015)	5200	Kierownik
– DS./MND/WBiNOZ/IGiGP/26/2013 <i>Ewolucja koryta jedno- i wielonurtowego powyżej zbiornika zaporowego,</i> projekt finansowany przez IGiGP UJ (okres 2013–2014)	2333	Kierownik

Łączny budżet kierowanych projektów 814 414 PLN

* funkcja objęta po śmierci prof. dr hab. Bartłomieja Wyżgi w październiku 2022 roku.

Po uzyskaniu stopnia doktora

– 20052, <i>Quantifying the development and dynamics of reservoir delta and related backwater vegetation in the context of physical drivers,</i> kierownik dr Nathan Holste (okres realizacji 2020–2022), U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, Waszyngton Stany Zjednoczone	Wykonawca
– <i>Wykonanie ortofotomap brzegów zbiorników wodnych Porąbka, Tresna, Czaniec, Świnna Poręba,</i> Wody Polskie, Zarząd Zlewni w Żywcu (okres realizacji 2021)	Główny wykonawca

Przed uzyskaniem stopnia doktora

2013/09/B/ST10/00056 <i>Określenie wielkości i zasięgu współczesnego wcięcia się rzek polskich Karpat i jego wpływu na hydraulikę przepływów wezbraniowych,</i> OPUS 5, Narodowe Centrum Nauki, kierownik prof. dr hab. Bartłomiej Wyżga (okres realizacji 2014–2017)	Wykonawca
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

Ważną z punktu widzenia zdobywania doświadczenia naukowego była także współpraca z dr. hab. Michałem Nonesem z Instytutu Geofizyki PAN w Warszawie oraz dr hab. Michałem Tritthart z Instytutu Inżynierii Hydraulicznej i Badań Rzek Uniwersytetu Zasobów Naturalnych i Nauk o Życiu w Wiedniu (BOKU) prowadzona w latach 2021–2022. W ramach tej współpracy przygotowaliśmy wspólnie wniosek grantowy pt. *Anthropogenic rivers: Microplastics in water and sediments of the Danube and Vistula Rivers (nr 548266)*, z którym aplikowaliśmy w konkursie grantów międzynarodowych Weave-UNISONO (NCN) w latach 2021–2022. Kolejna aplikacja z ww. poprawionym wnioskiem jest planowana w grudniu 2023 roku.

W 2022 roku byłem współredaktorem wspólnie dr. Milošem Rusnákiem i dr Anną Kidovą (Zakład Geografii Fizycznej, Geomorfologii i Zagrożeń Naturalnych, Instytut Geografii, Słowackiej Akademii Nauk); dr Moniką Šulc Michalková i dr Zdeněkiem Máčka (Zakład Geografii Uniwersytet Masaryka w Brnie, Czechy), dr. László Bertalanem (Zakład Geografii Fizycznej i Geoinformatyki, Uniwersytet w Debreczynie, Węgry) oraz dr Malią Volke

(Departament Zasobów Naturalnych w Waszyngtonie, Stany Zjednoczone) zeszytu specjalnego pt. *Remote Sensing of Riparian Ecosystems*, wydanego w czasopiśmie międzynarodowym **Remote Sensing** (IF=5.0, 100 pkt. MEiN) (link do zeszytu -> https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/rs_riparian_ecosystem).

W 2021 roku na zlecenie Wód Polskich opracowałem ortofotomapę brzegów zbiorników wodnych (Tresna, Porąbka, Czaniec, Mucharski) na terenie Zarządu Zlewni w Żywcu. W ramach tego zlecenia byłem odpowiedzialny za zaplanowanie i wykonanie nalotów (przy użyciu drona) stref brzegowych ww. zbiorników zaporowych oraz opracowanie na ich podstawie ortofotomap tych stref.

Po uzyskaniu stopnia doktora kontynuowałem moją współpracę z naukowcami z Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego (prof. dr. hab. Kazimierzem Krzemieniem, dr hab. Elżbietą Gorczycą, prof. UJ, mgr. Mateuszem Sobuckim). Efektem tej współpracy była praca pt. *Changes of mountain river channel and their environmental effects* (**Krzemień i in., 2019**) (7 cytowań), która została opublikowana jako rozdział w międzynarodowej monografii pt. *Open Channel Hydraulics, River Hydraulics Structures and Fluvial Geomorphology* wydanej przez CRC Press Taylor & Francis Group (**Załącznik 6**). Współpraca ta była następnie kontynuowana podczas opracowywania publikacji pt. *Litter selfie: A citizen–science guide to photorecording data on macroplastic deposition along mountain rivers using smartphone*. opublikowanej w czasopiśmie międzynarodowym **Water** (IF=3.4, 100 pkt. MEiN), która wchodzi w skład prezentowanego tutaj osiągnięcia habilitacyjnego (patrz strony 36–37).

Podsumowując, wyniki moich dotychczasowych badań zaprezentowałem w formie 17 publikacji indeksowanych w bazie JCR (**sumaryczny IF=96.8, punkty MNiE=2320**) (Tab. 1) (**Załączniki 5 i 6**). Badania te były również prezentowane przeze mnie w formie 16 referatów i 16 posterów na konferencjach międzynarodowych oraz 11 referatów i 10 posterów na konferencjach krajowych (**Załącznik 4**).

Dotychczas pełniłem funkcję kierownika trzech grantów finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki (PRELUDIUM 10, SONATA 16 – w trakcie realizacji, OPUS 17 – w trakcie realizacji) (**Załącznik 8**) oraz wykonawcą w trzech innych projektach badawczych finansowanych ze środków krajowych i zagranicznych (**Tab. 2**). W trakcie moich dotychczasowych prac badawczych kierowałem także sześcioma mniejszymi projektami naukowymi finansowanych ze środków statutowych Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ i Instytutu Ochrony Przyrody PAN w Krakowie.

Literatura cytowana

a. prace autora z okresu przed uzyskaniem stopnia doktora

- Gąsiorek, J., Liro, M., Leja, K. 2012. Tourism intensity on trails in Pieniny National Park, summer season 2010. *Tourism*, 22 (1), 53–57.
- Krzemień, K., Gorczyca, E., Sobucki M., Liro M. Lyp M. 2015. Effects of environmental changes and human impact on the functioning of mountain river channels, Carpathians, southern Poland. *Annals of Warsaw University of Life Sciences, Land Reclamation*, 47(3), 249–260.
- Liro, M., 2012. Wpływ regulacji koryta na warunki sedymentacji osadów na równinie zalewowej dolnego Dunajca. *Przegląd Geologiczny*, 60(7), 380–386.
- Liro, M., 2014. Conceptual model for assessing the channel changes upstream from a dam reservoir. *Quaestiones Geographicae*, 33(1), 61–74.
- Liro M., 2015a. Gravel-bed channel changes upstream of a reservoir: the case of the Dunajec River upstream of the Czorsztyn Reservoir, southern Poland. *Geomorphology*, 228, 694–702.
- Liro M., 2015b. Estimation of the impact of the aerialphoto scale and the measurement scale on the error in digitization of a river bank. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 59(4): 443-453.
- Liro, M., 2016. Development of sediment slug upstream from the Czorsztyn Reservoir (southern Poland) and its interaction with river morphology. *Geomorphology*, 253, 225–238.
- Liro M., 2017. Dam-induced base-level rise effects on the gravel-bed channel planform. *Catena*, 153, 143–156.

b. prace autora z okresu po uzyskaniu stopnia doktora

- Krzemień, K., Gorczyca, E., Sobucki, M., Liro, M. 2019. Changes of mountain river channel and their environmental effects. [W:] A. Radecki-Pawlik, J. Hradecky, S. Pagliaria, E. Hendrickson, (red.), *Open Channel Hydraulics, River Hydraulics Structures and Fluvial Geomorphology*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Liro, M., Mikuś, P., 2019. Wykorzystanie drona i techniki "structure from motion" do tworzenia wysokorozdzielczych ortofotomap i modeli wysokościowych koryta rzeki. III Konferencja Naukowa Geomorfologia Stosowana – Procesy naturalne i aktywowane. Chęciny, 5, 7.06.2019, 43.
- Liro, M., Krzemień, K., 2020. Wpływ cofki zbiornika zaporowego na koryto rzeki górskiej – perspektywy badań. *Przegląd Geograficzny* 92, 1, 55–68.
- Liro, M., Ruiz-Villanueva, V., Mikuś, P., Wyzga, B., Bladé-Castellet, E., 2020a. Changes in the hydrodynamics of a mountain river induced by dam reservoir backwater. *Sci. Total Envi.* 744, 140555.
- Liro, M., Walusiak, E., Mikuś, P., Volke, M., Scott, M., 2020b. *River-forest-human interaction changes in dam reservoir backwater zone of the mountain stream*. Workshop "Riparian Vegetation Responses to Global Changes". 29.01.2020. Madryt (Hiszpania).
- Liro M., Mikuś P., Oglęcki P., Radecki-Pawlik A., Zawiejska J. 2021. Scientific monitoring of immediate and long-term effects of river restoration projects in the Polish Carpathians. *Ecol. & Hydrob.* 21, 244–255.
- Mikuś P., Wyzga B., Walusiak E., Radecki-Pawlik A., Liro M., Hajdukiewicz H., Zawiejska J., 2019. Island development in a mountain river subjected to passive restoration: The Raba River, Polish Carpathians. *Sci. Total. Envi.* 666, 406–420.
- Mikuś, P., Wyzga, B., Bylak, A., Kukula, K., Liro, M., Oglęcki, P., Radecki-Pawlik, A., 2020. Impact of the restoration of an incised mountain stream on habitats, aquatic fauna and ecological stream quality. *Ecol. Eng.*, 170, 106365.
- Wyzga B., Amirowicz A., Bednarska A., Bylak A., Hajdukiewicz H., Kędzior R., Kukula K., Liro M., Mikuś P., Oglęcki P., Radecki-Pawlik A., Zawiejska J. 2021b. Scientific monitoring of immediate and long-term effects of river restoration projects in the Polish Carpathians. *Ecohydrology & Hydrobiology* 21, 244–255.

Wyżga, B., **Liro, M.**, Mikuś, P., Radecki-Pawlik, A., Jeleński, J., Zawiejska, J., Plesiński, K. **2021a**. Changes of fluvial processes caused by the restoration of an incised mountain stream. *Ecol. Eng.*, 168,106286.

Inna literatura cytowana

Łajczak A., 2006, Deltas in dam-retained lakes in the Carpathian part of the Vistula Drainage Basin, *Prace Geograficzne*, 116, s. 99–109.

Schumm, S.A., 2005. *River Variability and Complexity*. Cambridge, Nowy Jork.

Xu, J., 1990. Complex response in adjustment of Weihe channel to the construction of the Sanmenxia Reservoir. *Z. Geomorphol.* 34, 233–245.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Moją dotychczasową działalność naukową realizowałem we współpracy z dziewięcioma jednostkami zagranicznymi (**Tab. 3**) i czterema krajowymi.

Odbyłem także cztery krótkie staże zagraniczne (**Załącznik 9**) na:

- Uniwersytecie w Padwie we Włoszech: opiekun prof. Nicola Surian, program stypendialny SET (dwa tygodnie w czerwcu 2015 roku) (**przed uzyskaniem stopnia doktora**) (**Załącznik 9**),
- Uniwersytecie w Umei w Szwecji: opiekun prof. Christer Nilsson, wyjazd studyjny w ramach stypendium START FNP (dwa tygodnie w październiku 2019 roku), (**po uzyskaniu stopnia doktora**) (**Załącznik 9**),
- Uniwersytecie w Wageningen w Holandii: opiekun dr inż. Tim van Emmerik, staż finansowany przez Instytut Ochrony Przyrody PAN w Krakowie (tydzień we wrześniu 2022 roku, **po uzyskaniu stopnia doktora**) (**Załącznik 9**) oraz
- Uniwersytecie Roma Tre w Rzymie we Włoszech, staż finansowany przez Instytut Ochrony Przyrody PAN w Krakowie (tydzień we wrześniu 2023 roku), **po uzyskaniu stopnia doktora**) (**Załącznik 9**).

Poniżej przedstawiłem opis tej współpracy z podziałem na na okres przed i po uzyskaniu stopnia doktora.

PRZED UZYSKANIEM STOPNIA DOKTORA

Przed uzyskaniem stopnia doktora prowadziłem współpracę krajową z Politechniką Krakowską, Uniwersytetem Rolniczym w Krakowie, Szkołą Główną Gospodarstwa

Wiejskiego w Warszawie i stowarzyszenia ekologicznymi. Współpraca ta była bezpośrednim efektem realizacji grantu nr 2013/09/B/ST10/00056 *Określenie wielkości i zasięgu współczesnego wcięcia się rzek polskich Karpat i jego wpływu na hydraulikę przepływów wezbraniowych*, (OPUS 5, Narodowe Centrum Nauki) (Załącznik 8) oraz projektu rewitalizacyjnego pt. *Tarliska Górnej Raby – utrzymanie rzek górskich* (KIK/37) realizowanym przez **Stowarzyszenie AbOvo** we współpracy z Regionalnym Zarządem Gospodarki Wodnej w Krakowie. W trakcie tych projektów aktywnie współpracowałem ze specjalistami z Wydziału Inżynierii Lądowej, Politechniki Krakowskiej (Prof. dr hab. Artur Radecki-Pawlik), Katedry Inżynierii Wodnej i Geotechniki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie (dr hab. inż. Karol Plesiński, Prof. UR) oraz Katedrą Kształtowania Środowiska SGGW w Warszawie (dr hab. Paweł Ogłeckim prof. SGGW). W ramach tej współpracy prowadziliśmy wspólne badania terenowe rumowiska korytowego, hydrodynamiki cieków, morfologii koryta oraz bezkręgowców wodnych w korycie Raby, Krzczonówki, Trzebuńki, Białej Tarnowskiej i Wisłoki; a także przygotowaliśmy wspólnie analizy i publikacje podsumowujące te badania (np. Mikuś i in., 2021).

PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA

Po uzyskaniu stopnia doktora kontynuowałem dotychczasową współpracę z jednostkami krajowymi oraz nawiązałem współpracę zagraniczną z dziewięcioma jednostkami zagranicznymi. Bezpośrednim efektem tej współpracy jest pięć recenzowanych publikacji naukowych (**Liro i in., 2020a, b, Liro i in., 2023a,b,c**) oraz siedem wystąpień na konferencjach zagranicznych i cztery wystąpienia na konferencjach krajowych. **Współpraca z dr. inż. Timem van Emmerikiem trwająca od 2020 roku do chwili obecnej pozwoliła na lepsze przygotowanie wniosku grantowego (grant SONATA 16 Narodowego Centrum Nauki otrzymanego w 2021 roku) (Załącznik 8) i powstanie publikacji wchodzących w skład omawianego tutaj osiągnięcia habilitacyjnego (Załącznik 5). Należy podkreślić że, spośród sześciu prac wchodzących w skład prezentowanego tutaj osiągnięcia habilitacyjnego, cztery były realizowane we współpracy międzynarodowej z naukowcami z Uniwersytetu w Wageningen w Holandii (dr. inż. Tim van Emmerik), Uniwersytetu Aleksandra Jana Cuzy w Jassach w Rumuni (dr. Florin-Constantin Mihai), Uniwersytetu Roma Tre w Rzymie we Włoszech (Luca Galitelli) oraz z Uniwersytetu w Segedynie na Węgrzech (prof. Timea Kiss, Węgry) (Tab. 3) (Załącznik 9). Przebieg i efekty tej współpracy omówiłem poniżej z podziałem na jednostki naukowe których dotyczyła**

współpraca w trakcie tworzenie referowanego dzieła habilitacyjnego (a.-f.) oraz współpracę prowadzoną w ramach innych problemów badawczych (g.-j.).

Tabela 3. Zestawienie współpracy zagranicznej realizowanej przez autora w trakcie realizowania badań wchodzących w skład referowanego osiągnięcia habilitacyjnego

Okres współpracy, jednostka współpracująca	osoba i	Przedmiot i efekt współpracy (liczba)
OSIĄGNIĘCIE HABILITACYJNE		
a. od 2020–obecnie: dr inż. Tim van Emmerik , Zakład Hydrologii i Hydrauliki Środowiskowej, Uniwersytet w Wageningen, Holandia		- wniosek grantowy (1) pt. <i>Makroplastik w rzece górskiej i pogórskiej</i> , SONATA 16, Narodowe Centrum Nauki; - artykuły naukowe (4): Liro i in., 2020; Liro i in., 2023a,b,c, - wystąpienia na konferencjach międzynarodowych (2 postery , 2 referaty), oraz dwa na konferencjach krajowych (2 referaty);
b. od 2022–obecnie: mgr Luca Galitelli , Uniwersytet Roma Tre w Rzymie, Włochy		- jeden artykuł naukowy (1): Liro i in., 2023a - opracowanie koncepcji i przeprowadzenie badań terenowych w rzece Tyber w Rzymie (wrzesień 2023);
c. od 2022–obecnie: dr Florin Constantin-Mihai , Uniwersytet Aleksandra Jana Cuzy w Jassaach, Rumunia		- artykuły naukowe (2): Liro i in., 2023a,c, - współautorstwo wystąpień na konferencjach krajowych (2 referaty);
d. od 2021–obecnie: prof. Timea Kiss , Uniwersytet w Segedynie, Węgry		- jeden artykuł naukowy (1): Liro i in., 2023c, - wystąpienia na konferencjach międzynarodowych (2 postery) i dwóch krajowych (2 referaty)
Łącznie: cztery osoby, cztery Instytucje		- 1 wniosek grantowy, z pozytywną decyzją finansowania - 4 publikacje, - 4 wystąpienia na konferencjach międzynarodowych i 2 na konferencjach krajowych,

a. Współpraca z Uniwersytetem w Wageningen (Holandia)

Od 2020 roku współpracuje z dr. inż. Timem van Emmerikiem (Zespół Hydrologii i Hydrauliki Środowiskowej, Uniwersytet w Wageningen w Holandii). Do tej pory współpraca ta zaowocowała czterema znaczącymi publikacjami (**Liro i in., 2020, 2023a,b,c**) oraz realizacją stażu w zespole dr. van Emmerika we wrześniu 2022 roku (**Załącznik 9**). Nasza współpraca rozpoczęła się, początkowo zdalnie w związku z pandemią COVID–19, w kwietniu 2020 roku od wspólnego opracowania podstaw teoretycznych, terminologii i modelu koncepcyjnego procesów akumulacji i remobilizacji makroplastiku w rzekach przedstawionych w artykule pt. *Macroplastic storage and remobilization in rivers* (**Liro i in., 2020b**). W kolejnych latach intensywnie współpracowaliśmy nad wnioskiem grantowym (grant SONATA 16 NCN, otrzymanym w 2021 roku) oraz następnie trzema pracami (pt. *The*

Unknown fate of macroplastic in mountain rivers (Liro i in., 2023a), *Mountains of plastic: Mismanaged plastic waste along the Carpathians watercourses (Liro i in., 2023b)* i *Macroplastic fragmentation in rivers (Liro i in., 2023c)*, które zostały opublikowane w prestiżowych czasopismach o międzynarodowych *Science of The Total Environment* i *Environment International (Załącznik 5)*. Niezwykle istotna dla mojego rozwoju naukowego była realizacja wyjazdu stażowego w zespole dr. van Emmerika we wrześniu 2022 roku która umożliwiła m.in. opracowanie koncepcji eksperymentów terenowych nad depozycją i fragmentacją makroplastiku w korycie rzeki górskiej przedstawionych później w publikacji pt. *The unknown fate of macroplastic in mountain rivers (Liro i in., 2023a)* i które realizuje obecnie w rzekach Karpackich (m.in. **Liro i in., 2023e**). Wizyta ta umożliwiła mi także zaproszenie członków zespołu dr. van Emmerika do realizacji wspólnych badań terenowych nad zanieczyszczeniem cieków miejskich plastikiem (Paolo Tasserone z Uniwersytetu w Wageningen), w Krakowie (zaplanowanych na październik 2023 roku w ramach realizowanego grantu SONATA 16 NCN) (**Załącznik 8**).

b. Współpraca z Uniwersytetem Roma Tre w Rzymie (Włochy)

Pobyt w zespole dr. inż. Tima van Emmerika w 2022 roku umożliwił mi także nawiązanie kontaktu z przebywającym tam w tamtym okresie Lucą Galitellim z Uniwersytetu Roma Tre w Rzymie. Efektem nawiązanej wtedy współpracy jest jedna publikacja, przygotowana częściowo wspólnie podczas mojego pobytu w Wageningen we wrześniu 2022 roku. Wraz z Lucą Galitellim opracowaliśmy również założenia metodologiczne badań porównawczych nad rolą grubego rumoszu drzewnego w wyłapywaniu makroplastiku w ciekach górskich w klimacie umiarkowanym i śródziemnomorskim, które zostały wykonane we wrześniu 2023 roku w rzece Aniene we Włoszech (**Załącznik 9**). Obecnie współpracujemy również nad manuskryptem publikacji pt. *Great Garbage Patch of Riverine Floodplains*, w której chcemy oszacować i porównać ilość plastiku zakumulowanego globalnie w rzekach i oceanach. Opracowanie to jest planowane do wysłania do czasopisma *Nature Reviews Earth & Environment* z początkiem 2024 roku.

c. Współpraca z Uniwersytetem Aleksandra Jana Cuzy w Jassach (Rumunia)

W trakcie opracowywania manuskryptów dwóch publikacji wchodzących w skład omawianego osiągnięcia habilitacyjnego (**Liro i in., 2023a, b**) (**Załącznik 5**) współpracowałem z dr. Florinem-Constantinem Mihai z Uniwersytetu Aleksandra Jana Cuzy w Jassach (Rumunia). Współpraca ta umożliwiła włączenie do tematyki obu prac wątku

zarządzania odpadami w obszarach górskich. Dr Mihai jest światowej klasy specjalistą w tej problematyce.

d. Współpraca z Uniwersytetem w Segedynie (Węgry)

Podczas opracowywania manuskryptu publikacji pt. *Mountains of plastic: Mismanaged plastic waste along the Carpathians watercourses* (Liro i in., 2023b) wchodzącego w skład referowanego osiągnięcia habilitacyjnego (Załącznik 5), współpracowałem z prof. Timeą Kiss z Uniwersytetu w Segedynie na Węgrzech. Współpraca ta przyczyniła się do lepszego wyjaśnienia przyczyn wysokiej emisji odpadów plastikowych obserwowanej w południowej części Karpat.

e. Współpraca z Uniwersytetem Jagiellońskim w Krakowie

Podczas prowadzenia poszczególnych prac wchodzących w skład omawianego tutaj osiągnięcia habilitacyjnego (Załącznik 5) współpracowałem także z pięcioma naukowcami i dwoma studentami studiów magisterskich z Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, mianowicie: prof. dr. hab. Kazimierzem, Krzemieniem, dr hab. Elżbietą Gorczycą (Liro i in., 2023d), prof. UJ, dr Justyną Liro (Liro i in., 2020b, 2023b), mgr Anną Zielonką (Liro i in., 2023a,b,c), lic. Mateuszem Kieniewiczem (Liro i in., 2023d), lic. Wojciechem Haską (Liro i in., 2023d) (będącymi stypendystami w kierowanym przeze mnie grantie SONATA 16 NCN) oraz prof. dr hab. Małgorzatą Grodzińską-Jurczak z Instytutu Nauk o Środowisku Uniwersytetu Jagiellońskiego (Liro i in., 2023b) (Załącznik 7).

f. Współpraca z Uniwersytetem w Lozanie (Szwajcaria) i Politechniką Katalońską w Barcelonie (Hiszpania)

Przed rozpoczęciem prac wchodzących w skład niniejszego osiągnięcia habilitacyjnego (Załącznik 6) współpracowałem także z dr inż. **Virginią Ruiz-Villanuewą** (Instytut Dynamiki Powierzchni Ziemi, Uniwersytet w Lozannie, Szwajcaria) oraz dr. inż. **Ernestem Bladé-Castellet** (Instytut FLUMEN, Politechnika Katalońska w Barcelonie, Hiszpania), którzy na podstawie opracowanych przeze mnie pomiarów terenowych wykonali modelowanie hydrodynamiczne dla koryta Dunajca w strefie cofki Zbiornika Czorsztyńskiego. Wyniki badań prowadzonych w ramach tej współpracy zostały przedstawione w artykule pt. *Changes in the hydrodynamics of a mountain river induced by dam reservoir backwater* (Liro i in., 2020b) opublikowanym w 2020 roku w czasopiśmie

międzynarodowym *Science of the Total Environment* (IF=7.95, pkt. MEiN=200) (**Załącznik 6**).

g. Współpraca z Uniwersytetem Stanowym w Kolorado i Departamentem Zasobów Środowiskowych w Waszyngtonie (Stany Zjednoczone)

Od 2020 roku wspólnie z dr. **Michalem Scottem** (Uniwersytet Stanowy w Kolorado, Stany Zjednoczone) i dr **Malią Volke** (Departament Zasobów Środowiskowych w Waszyngtonie, Stany Zjednoczone) opracowujemy analizy na podstawie danych z inwentaryzacji florystycznej lasu nadrzecznego przeprowadzonej w cofce Zbiornika Rożnowskiego. Efektem tej współpracy jest dotychczas jedno wystąpienie konferencyjne (**Liro i in., 2020c**) oraz jedna obecnie przygotowywana publikacja pt. *River-forest-human interactions changes in dam reservoir backwater zone of a mountain stream*, planowana do przesłania do czasopisma *Science of The Total Environment* z początkiem 2024 roku.

h. Współpraca z Uniwersytetem Rolniczym w Krakowie i Instytutem Geofizyki PAN w Warszawie

W latach 2019–2022 współpracowałem z dr. hab. inż. Karolem Plesińskim, prof. UR w Krakowie (Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie) oraz dr. hab. inż. Michaelem Nonesem prof. IG PAN (Instytut Geofizyki PAN w Warszawie) Przedmiotem tej współpracy było wykonanie modelowania oddziaływania cofki Zbiornika Rożnowskiego na hydrodynamikę Potoku Smolnik. Efektem tej współpracy była praca pt. *Modelling the Effects of Dam Reservoir Backwater Fluctuations on the Hydrodynamics of a Small Mountain Stream* (**Liro i in., 2022**) opublikowana w czasopiśmie międzynarodowym *Water* (IF=3.4, 100 pkt. MEiN) (**Załącznik 6**).

i. Współpraca z Uniwersytetem Zasobów Naturalnych i Nauk o Życiu w Wiedniu (Austria)

W latach 2021–2022 wspólnie dr hab. Michaelem Tritthart i dr Marcelem Lidermanem z Instytutu Inżynierii Hydraulicznej i Badań Rzek Uniwersytetu Zasobów Naturalnych i Nauk o Życiu w Wiedniu (BOKU) przygotowaliśmy wniosek grantowy pt. *Anthropogenic rivers: Microplastics in water and sediments of the Danube and Vistula Rivers* (nr 548266), z którym aplikowaliśmy w konkursie grantów międzynarodowych Weave-UNISONO (NCN) w latach 2021–2022. Kolejna aplikacja z ww. poprawionym wnioskiem jest planowana w grudniu 2023 roku.

j. Współpraca z Uniwersytetem w Umei, Szwecja

W roku 2019 wspólnie prof. Christerem Nilssonem z Uniwersytetu w Umea w Szwecji przygotowałem wniosek grantowy pt. *Interakcja roślinności nadrzecznej i morfologii rzek górskich klimatu umiarkowanego w strefach delt i cofek zbiorników zaporowych (SEEDAM) (nr 463094)*, z którym aplikowałem w konkursie OPUS (NCN) w roku 2020. Realizacja tej współpracy odbywała się w trakcie dwutygodniowego stażu finansowanego w ramach programu START Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej (**Załączniki 9 i 10**).

Podsumowując cztery zrealizowane wizyty zagraniczne (**Załącznik 9**) oraz wyniki moich dotychczasowych badań prowadzonych w ścisłej współpracy z dziewięcioma jednostkami zagranicznymi (**Załączniki 5 i 6**) (w szczególności te wchodzące w skład prezentowanego osiągnięcia habilitacyjnego (**Załącznik 5**) (**Tab. 3**) mogą świadczyć o mojej znaczącej aktywności naukowej prowadzonej w więcej niż jednej, jednostce naukowej, w szczególności jednostkach zagranicznych.

Literatura cytowana w tej części:

- Liro, M.**, van Emmerik, T.H., Wyżga, B., Liro, J., Mikuś, P. **2020a**. Macroplastic storage and remobilization in rivers. *Water*, 12, 1–14.
- Liro, M.**, Ruiz-Villanueva, V., Mikuś, P., Wyżga, B., Bladé-Castellet, E., **2020b**. Changes in the hydrodynamics of a mountain river induced by dam reservoir backwater. *Science of Total Environment*, 744, 140555.
- Liro, M.**, Walusiak, E., Mikuś, P., Volke, M., Scott, M. **2020c**. *River-forest-human interaction changes in the dam reservoir backwater zone of the mountain stream*. Workshop “Riparian Vegetation Responses to Global Changes”, 29–30.01.2020. Madryt
- Liro, M.**, Nones M., Mikuś, P., Plesiński K., **2022**. Modelling the Effects of Dam Reservoir Backwater Fluctuations on the Hydrodynamics of a Small Mountain Stream. *Water*, 14, 3166.
- Liro, M.**, van Emmerik, T.H., Zielonka, A., Gallitelli, L., Mihai, F.C., **2023a**. The unknown fate of macroplastic in mountain rivers. *Science of Total Environment*, 865, 161224.
- Liro, M.**, Zielonka, A., van Emmerik, T.H.M., Grodzińska-Jurczak, M., Kiss, T., Liro, J., Mihai, F.C., Liro i in., **2023b**. Mountains of plastic: Mismanaged plastic waste along the Carpathians watercourses. *Science of Total Environment*, 888, 164058.
- Liro, M.**, Zielonka, A., van Emmerik, T.H.M., **2023c**. Macroplastic fragmentation in rivers. *Environment International*, 180, 108186.
- Liro, M.**, Zielonka, A., Hajdukiewicz, H., Mikuś, P., Haska, W., Kieniewicz, M., Gorczyca, E., Krzemień, K., **2023d**. Litter selfie: A citizen-science guide for photorecording of macroplastic deposition along mountain river using a smartphone. *Water* 15, 17, 3116.

Liro, M., Mikuś, P., Zielonka, A., Kieniewicz, M., 2023e. Field experiment on transport and deposition of plastic bottles along mountain river, European Geoscience Union General Assembly, 23–28.04. 2023, Wiedeń, 1275.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA

Przed uzyskaniem stopnia doktora

W trakcie studiów doktoranckich w latach 2012–2018 prowadziłem zajęcia dydaktyczne na kierunku geografia (I i II stopień) w Instytucie Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego. Moje pensum obejmowało 90 godzin dydaktycznych rocznie.

W jego zakresie prowadziłem następujące kursy: *Terenowe metody badań przyrodniczych, Procesy hydrologiczne i geomorfologiczne w zlewni, Ćwiczenia terenowe z geomorfologii, Metody badania rzeźby, Pracownia ogólna* (współprowadzenie). Kursy te we wszystkich latach otrzymywały wysokie oceny zajęć dydaktycznych przez studentów (min. 4.7, w skali 1–5). W tym czasie pełniłem także funkcję członka komisji oceniającej prezentacje kończące kurs Pracownia dla studiów I stopnia na kierunku geografia IGiGP UJ.

Po uzyskaniu stopnia doktora

Pomimo zatrudnienia w jednostce badawczej, w której nie są prowadzone zajęcia dydaktyczne (Instytut Ochrony Przyrody PAN), realizuję swoją aktywność dydaktyczną w ramach współpracy z Instytutem Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ. **Obecnie jestem promotorem pomocniczym dwóch prac magisterskich realizowanych na kierunku Geografia w Zakładzie Geomorfologii IGiGP UJ, pod opieką hab. Elżbietą Gorczyca, prof. UJ. Pierwsza z prac pt. *Wpływ morfologii koryta na depozycję makroplastiku w korycie rzeki górskiej – na przykładzie Białej Tarnowskiej, jest realizowana przez lic. Mateusza Kieniewicza. Druga praca pt. *Drogi jako źródła dostawy odpadów plastikowych do systemu fluwialnego (na przykładzie Kamienicy Gorczańskiej) jest przygotowywana przez lic. Wojciecha Haskę.**** W obu tych pracach moja aktywność związana jest zaplanowaniem metodyki badań terenowych i opieką merytoryczną nad przygotowaniem prac. Wspomniane prace magisterskie są realizowane w ramach grantu SONATA 16 NCN, którego jestem kierownikiem (**Załącznik 8**).

Od roku 2021 w ramach współpracy z Instytutem Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ pełnię także funkcję opiekuna w Instytucie Ochrony Przyrody PAN realizowanych w tej

jednostce praktyk zawodowych oraz projektów realizowanych przez studentów I stopnia w IGiGP UJ.

DZIAŁALNOŚĆ ORGANIZACYJNA

Przed uzyskaniem stopnia doktora

W latach 2009–2011 byłem współorganizatorem projektów monitoringu ruchu turystycznego w Gorczańskim Parku Narodowym i Pienińskim Parku narodowym organizowanych przez Studenckie Koła Naukowe Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego im KEN w Krakowie. W latach 2010–2011 pełniłem funkcję skarbnika wspomnianego koła naukowego.

W latach 2013–2014 uczestniczyłem w organizacji konferencji IGU *Regional Conference – Changes, Challenges, Responsibility* w IGiGP UJ oraz szkoły letniej *5th International Georegnet Summer School (IGSS)* w ramach program CEEPUS w IGiGP UJ. W latach 2013–2015 zajmowałem się organizacją stoiska wydawnictwa IGiGP UJ podczas zjazdów PTG oraz Targów Edukacyjnych w Krakowie.

W latach 2015–2017 wspólnie z dr Justyną Liro i dr. Pawłem Krążem oraz Pawłem Franczakiem i Karoliną Listwan-Franczak byłem przewodniczącym komitetu organizacyjnego *Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej Młodych Badaczy* organizowanej w Instytucie Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ i współredaktorem dwóch tomów monografii pokonferencyjnej pt. *Współczesne problemy i kierunki badawcze w geografii* wydanych po tym wydarzeniu (**Liro i in., 2015; Franczak i in., 2016**). W roku 2016 uczestniczyłem w organizacji wycieczki i warsztatów terenowych podczas konferencji międzynarodowej *Towards the Best Practice of River Restoration and Maintenance*, organizowanej w Krakowie w dniach 20–23 września 2016 roku.

Po uzyskaniu stopnia doktora

Znaczącym osiągnięciem organizacyjnym po uzyskaniu stopnia doktora było zbudowanie i kierowanie dwoma zespołami badawczymi zajmującymi się realizacją dwóch grantów dla których uzyskałem finansowanie (grant SONATA i OPUS Narodowe Centrum Nauki) (**Załącznik 8**).

W ramach pierwszego z grantów pt. *Makroplastik w rzece górskiej i pogórskiej* (SONATA NCN) moja aktywność organizacyjna dotyczyła zbudowania zespołu badawczego składającego się z 8 osób, organizacji współpracy zagranicznej z Uniwersytetem Wageningen (z którym realizowany jest ten projekt) zarówno podczas prac formalnych jak i

merytorycznych związanych przygotowaniem wniosku grantowego i przeprowadzeniem badań terenowych. W dalszej części realizacji tego projektu kierowałem i nadzorowałem pracę wykonawców poszczególnych zadań oraz organizowałem pracę zespołów międzynarodowych opracowujących cztery publikacje naukowe (**Liro i in., 2020, 2023a,b,c**). W ramach realizowania zadań tego projektu zainicjowałem i następnie kierowałem pracą zespołu krajowego opracowującego jedną publikację (**Liro i in., 2023d**). Ponadto w trakcie realizacji ww. projektu organizowałem i nadzorowałem wykonanie dwóch prac magisterskich oraz prezentacje ich wyników przez studentów na konferencjach ogólnopolskich i zagranicznych.

Moja aktywność organizacyjna dotyczyła także organizowania i nadzorowania prac zespołu grantu pt. *Bezpośrednie i długotrwałe efekty projektów rewitalizacji rzek w polskich Karpatach (OPUS NCN)*, nad którym kierownictwo przejąłem po tragicznej śmierci Prof. dr. hab. Bartłomieja Wyżgi w sierpniu 2022 (**Załącznik 8**). Moje obowiązki organizacyjne wynikające z realizacji celów tego projektu dotyczą organizacji i nadzorowania wykonania prac terenowych oraz opracowywania i wyników i przygotowywania publikacji wynikowych przez zespół dziewięciu naukowców biorących udział w projekcie.

W kwietniu 2022 wspólnie dr Liną Polvi Sjöberg (Uniwersytet w Umeå, Szwecja), której zorganizowałem sesji tematyczną pt. *Geomorphic, ecological, hydrological & wood-related river restoration and management in a changing climate* podczas konferencji European Geoscience Union w Wiedniu (Austria) (link do strony sesji <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU22/session/43904>).

Byłem także współorganizatorem *Warsztatów Młodych Geomorfologów* organizowanych 5–6 marca 2021 roku w czasie Międzynarodowego Tygodnia Geomorfologii, w trakcie warsztatów organizowałem i prowadziłem sesje pt. *“Przygotowanie publikacji naukowych* .

DZIAŁALNOŚĆ POPULARYZUJĄCA NAUKĘ

Zarówno przed jak i po uzyskaniu stopnia doktora dużą wagę przywiązywałem do popularyzacji wyników moich badań.

Przed uzyskaniem stopnia doktora

W latach 2015–2018 brałem czynny udział w promocji Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ oraz Instytutu Ochrony Przyrody PAN podczas Festiwalu Nauki w Krakowie. W 2018 roku w ramach Festiwalu Nauki i Sztuki w Krakowie przeprowadziłem wykład pt. *Szalone życie rzeki górskiej – bałagan czy harmonia?* dla seniorów Miejskiego Dziennego Domu Pomocy Społecznej nr 2, w Krakowie.

Po uzyskaniu stopnia doktora

W późniejszym okresie wnioski z moich prac przedstawiłem w formie czterech artykułów popularnonaukowych opublikowanych w czasopismach *Chrońmy Przyrodę Ojczystą* (Liro i in., 2020), *Alma Mater* (Liro i in., 2014, 2016) oraz monografii *Geografia na przestrzeni wieków. Tradycja i współczesność* (Liro i in., 2018). W ramach popularyzacji wyników moich badań byłem także uczestnikiem następujących wywiadów i audycji:

- w programie **Dziennik Naukowy** (TVP Nauka, 17 czerwca 2023 roku) (odniesienie: <https://vod.tvp.pl/programy,88/raport-naukowy-odcinki,318732/odcinek-37,S01E37,555238>),
- w reportażu z **Festiwalu Nauki** (Radio Kraków, 15 maja 2019) (odniesienie <https://www.radiokrakow.pl/data/article/3095228/22fb76ecbc3b91fdcf4e9ebff9285c87.mp30>)
- w audycji **Ekospotkania** (Radio Kraków 21 czerwca 2021) (odniesienie: <https://www.radiokrakow.pl/audycje/badania-makroplastiku-w-karpackich-rzeka>)

Wyniki moich badań były także opisywane lub wzmiankowane na następujących portalach popularnonaukowych:

- **Nauka w Polsce** (wywiad pt. *Selfie ze śmieciami: sfotografuj makroplastik w rzece*), (<https://scienceinpoland.pap.pl/aktualnosci/news%2C98275%2Cselfie-ze-smieciami-sfotografuj-makroplastik-w-rzece.html>)
- **Nauka w Polsce** (wywiad pt. *Rzeki jako fabryki mikroplastiku*)
- **Wodne Sprawy** (artykuł pt. *Śmieci w rzekach od gór do morza*) (<https://wodnesprawy.pl/smieci-w-rzekach-od-gor-do-morza-komisja-helsinska/>)
- **Nauka w Polsce** (artykuł pt. *Mapa Karpackich Gór Plastiku*) (<https://naukawpolsce.pl/aktualnosci/news%2C97073%2Cmapa-karpackich-gor-plastiku.html>)
- **Polska Agencja Prasowa**, Dział Nauka i Technologie (artykuł pt. *Mapa Karpackich Gór Plastiku*) (<https://pap-mediroom.pl/nauka-i-technologie/mapa-karpackich-gor-plastiku>)
- **Forum akademickie** (artykuł pt. *Plastik w karpackich rzekach*) (<https://forumakademickie.pl/badania/plastik-w-rzekach-gorskich>)
- **Portalu Samorządowym** (artykuł pt. *Mapę plastikowych odpadów wzdłuż rzek i potoków opracował zespół PAN*) (<https://www.portalsamorzadowy.pl/ochrona-srodowiska/mape-plastikowych-odpadow-wzdluz-rzek-i-potokow-opracowal-zespol-pan,467795.html>)
- **Blog OnGeo.pl** (artykuł pt. *Mapa zanieczyszczenia plastikiem karpackich rzek*) (<https://blog.ongeo.pl/mapa-zanieczyszczenia-plastikiem>)

- **Focus.pl** (artykuł pt. *Plastik w rzekach – jedna ze „skamieniałości przewodnich” antropocenu*) (<https://www.focus.pl/artykul/antropocen-nowa-epoka-geologiczna>)
- **włączoszczędzanie.pl** (artykuł pt. *Powstała Mapa Karpackich Gór Plastik*) (<https://włączoszczędzanie.pl/powstała-mapa-karpackich-gor-plastiku/>)
- **stronie Narodowego Centrum Nauki** (<https://ncn.gov.pl/aktualnosci/2021-06-02-plastik-w-rzekach-gorskich-sonata16>)

Wyniki moich najnowszych badań dotyczących zanieczyszczenia rzek górskich plastikiem zostały wyróżnione podczas konferencji międzynarodowej *European Geosciences Union* w Wiedniu w 2022 roku. W związku z tym zostałem zaproszony na specjalną sesję pt. *“Omnipresent plastics: mountain rivers to microscopic soils* dotyczącą popularyzacji wyników kluczowych badań o zanieczyszczenia środowiska plastikiem (link do wystąpienia <https://youtu.be/gwli9ib9hqI?t=678>)

Ponadto, wyniki moich badań popularyzowałem w krakowskich i rzeszowskich przedszkolach, szkołach podstawowych i średnich. W latach 2020–2022 przeprowadzałem na przykład, warsztaty i lekcje dla ponad 150 uczniów Niepublicznej Szkoły Podstawowej Victoria Center Primary School (warsztaty pt. *Jak wykonać mapę przy użyciu drona?*, Przedszkola Jagiellońskiego Centrum Nauki w Krakowie (prelekcje pt. *Rośliny oraz Szalone życie rzeki górskiej*) oraz Publicznej Szkoły Podstawowej i Liceum Ogólnokształcącego im. Pauli Montal Sióstr Pijarek w Rzeszowie (lekcja pt. *Plastik w rzekach*).

Literatura cytowana

- Franczak P., Krąż P., Liro J., **Liro M.**, Listwan-Franczak K. (red.) 2016. *Współczesne problemy i kierunki badawcze w geografii. Tom 4*. IGiGP UJ, Kraków, 260.
- Liro, M.**, Liro, J., Wyżga, B., Mikuś, P., 2020. Plastik w rzekach. *Chrońmy Przyrodę Ojczyznę*, 76 (3), 61–69.
- Liro J., **Liro M.**, Krąż P., 2014. Aplikacyjność badań geograficznych. *Alma Mater*, 169–170, 120.
- Liro J., **Liro M.**, 2015. Sanktuaria w Kalwarii Zebrzydowskiej, Odporyszowie i Tuchowie na historycznych mapach austriackich. [w:] E. Bilaska-Wodecka, I. Soljan (red.) *Geografia na przestrzeni wieków. Tradycja i współczesność*, IGiGP UJ, Kraków, 457–463.
- Liro J., **Liro M.**, Krąż P., 2016. O zmianach klimatu w Polsce, powodziach błyskawicznych i geografii turystyki. *Alma Mater*, 182–183, 68–70.
- Liro J., **Liro M.**, Krąż P. (red.), 2015, *Współczesne problemy i kierunki badawcze w geografii. Tom 3*. IGiGP UJ, Kraków, 256.

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1–6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

Od 2022 roku jestem przedstawicielem młodych naukowców w Radzie Naukowej Instytutu Ochrony Przyrody PAN w Krakowie. Jestem także członkiem Stowarzyszenia Geomorfologów Polskich.

W trakcie mojej dotychczasowej pracy naukowej wykonałem kilkadziesiąt recenzji wydawniczych dla następujących czasopism międzynarodowych indeksowanych przez JCR m.in.: *Catena*, *Earth Surface Processes and Landforms*, *Geomorphology*, *Geoderma*, *Global and Planetary Change*, *Geoinformation Journal*, *Environmental Research Letters*, *Journal of Hydrology*, *River Research and Applications*, *Sedimentary Geology*, *Science of The Total Environment*, *Transaction in GIS*, *Frontiers in Environmental Science*, *Water*, *Sustainability*. Od 2022 roku jestem członkiem rady redakcyjnej czasopisma *Frontiers in Water* (IF=2.9).

.....
(podpis wnioskodawcy)