

AUTOREFERAT

dr Mariola KĘDRA

Kraków, marzec 2019

1. Imię i nazwisko

Mariola Urszula Kędra

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

1987 **Magister informatyki, specjalność: oprogramowanie i metody informatyki**

Kraków, Uniwersytet Jagielloński, Wydział Matematyki i Fizyki

2003 **Świadectwo potwierdzające przygotowanie pedagogiczne**

Kraków, Politechnika Krakowska, Centrum Pedagogiki i Psychologii
ukończone Studium Pedagogiczne dla Absolwentów Szkół Wyższych

2008 **Doktor nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska**

Kraków, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska
Rozprawa doktorska pt. „*Chaos deterministyczny w przepływach rzecznych
wybranej zlewni górskiej*”.

Promotor: dr hab. inż. Andrzej Prystaj

Recenzenci: prof. dr hab. Zbigniew Kundzewicz,
prof. dr hab. inż. Elżbieta Nachlik.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Zatrudnienie

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki
Wydział Inżynierii Środowiska
Katedra Inżynierii i Gospodarki Wodnej
ul. Warszawska 24
31-155 Kraków

Przebieg zatrudnienia

| | |
|--------------|--|
| 1987–1992 | Informatyk w Zakładzie Hydrauliki i Hydromechaniki, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej, Politechnika Krakowska |
| 1992–2018 | Asystent naukowo-dydaktyczny w Katedrze Inżynierii i Gospodarki Wodnej, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska |
| 2018–obecnie | Adiunkt naukowo-dydaktyczny w Katedrze Inżynierii i Gospodarki Wodnej, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska |
| 1990, 1992 | Urlopy macierzyńskie |
| 1994–2001 | Urlopy macierzyńskie i wychowawcze |

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

A) Tytuł osiągnięcia naukowego:

Przepływ rzeczny w zlewni górskiej – wybrane aspekty i uwarunkowania

B) Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego (autor/autorzy, rok wydania, tytuł publikacji, wydawnictwo – w kolejności opublikowania)

[B1] **Kędra M.** (2014) Deterministic chaotic dynamics of Raba River flow (Polish Carpathian Mountains). *Journal of Hydrology*, 509: 474–503 (Zał. 3.1)

IF (2014): 3,053; MNiSW (2014): 45 pkt; udział: 100%; cytowania (WoS): 7

[B2] **Kędra M.** (2016) Analysis of hydrological processes with non-linear methods. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Water Management*, 169(5): 212–220 (Zał. 3.2)

IF (2016): 0,547; MNiSW (2016): 25 pkt; udział: 100%; cytowania (WoS): 1

[B3] **Kędra M.,** **Wiejaczka Ł.,** **Wesoły K.** (2016) The role of reservoirs in shaping the dominant cyclicity and energy of mountain river flows. *River Research and Applications*, 32(4): 561–571 (Zał. 3.3)

IF (2016): 2,274; MNiSW (2016): 30 pkt; udział: 60%; cytowania (WoS): 5

[B4] **Kędra M.,** **Wiejaczka Ł.** (2016) Disturbance of water-air temperature synchronisation by dam reservoirs. *Water and Environment Journal*, 30(1–2): 31–39 (Zał. 3.4)

IF (2016): 1,063; MNiSW (2016): 20 pkt; udział: 70%; cytowania (WoS): 6

[B5] **Kędra M.** (2016) Reservoir-induced changes in dynamics and synchrony of river water temperature revealed by RQA and CRQA. In: *Recurrence Plots and Their Quantifications: Expanding Horizons, Proceedings of the 6th International Symposium on Recurrence Plots*, Springer Proceedings in Physics vol. 180, 289–300, Springer, Switzerland (Zał. 3.5)

Indeksowane w WoS, MNiSW (2016): 15 pkt; udział: 100%; cytowania (WoS): 3

[B6] **Kędra M.** (2017) Altered precipitation and flow patterns in the Dunajec River Basin. *Water*, 9(1): 22, DOI: 10.3390/w9010022 (Zał. 3.6)

IF (2017): 2,069; MNiSW (2017): 30 pkt; udział: 100%; cytowania (WoS): 3

[B7] **Kędra M.** (2017) Altered precipitation characteristics in two Polish Carpathian basins, with implications for water resources. *Climate Research*, 72(3): 251–265 (Zał. 3.7)

IF (2017): 1,859; MNiSW (2017): 35 pkt; udział: 100%; cytowania (WoS): 4

[B8] **Kędra M.**, Wiejaczka Ł. (2018) Climatic and dam-induced impacts on river water temperature: Assessment and management implications. *Science of the Total Environment*, 626(3): 1474–1483 (Zał. 3.8)

IF (2017*): 4,610; MNiSW (2018): 40 pkt; udział: 90-95%; cytowania (WoS): 7

* bieżący IF dotyczy 2017 r.; (IF za 2018 r. jeszcze nieopublikowany)

Średni udział w publikacjach wchodzących w skład osiągnięcia naukowego: **90,3%**

Sumaryczny IF publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego wg JCR: **15,477**,

w tym zgodnie z udziałem % własnym: **13,901**

Suma punktów wg MNiSW publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego: **240**

Sumaryczna liczba cytowań publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego wg WoS (na dzień 18.03.2019): **36**

Indeks Hirscha wg WoS: **4**, Scopus: **5**

Oświadczenia współautorów w/w prac wraz z określeniem ich indywidualnego wkładu stanowi załącznik 6.

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

Procesy i zjawiska fizyczne zachodzące w obszarze zlewni górskich charakteryzują się dużą zmiennością czasowo-przestrzenną oraz znacznym stopniem złożoności. Dynamika tych procesów odzwierciedla bezpośrednie i pośrednie interakcje i sprzężenia zwrotne między klimatem a górską topografią, warunkami geologicznymi i glebowymi oraz istniejącą szatą roślinną. Jednym z takich procesów jest odpływ wody korytem rzeczonym, który stanowi zintegrowaną odpowiedź zlewni górskiej na sygnał wejściowy utworzony przez opad orograficzny, promieniowanie słoneczne, kierunek i prędkość wiatru, temperaturę i wilgotność powietrza oraz inne czynniki atmosferyczne.

Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego pt. „Przepływ rzeczny w zlewni górskiej – wybrane aspekty i uwarunkowania” koncentrują się na analizie i opisie wybranych

aspektów dynamicznych procesu odpływu wody korytem rzecznym w zlewniach górskich, z uwzględnieniem uwarunkowań antropogenicznych (oddziaływanie wodnych zbiorników retencyjnych) i klimatycznych (globalne/regionalne ocieplenie). **Celem naukowym badań** była analiza cech dynamicznych procesu odpływu, obejmująca następujące aspekty:

- charakterystykę dobowej dynamiki przepływu rzeczno [B2] miarami dynamicznymi i statycznymi [B1];
- dominującą cykliczność dobowej dynamiki przepływu oraz wpływ zbiorników zaporowych na dominującą cykliczność i energię przepływu [B3];
- zmienność i powtarzalność przepływu miesięcznego oraz zmianę wieloletniego wzorca przepływu wobec zmian warunków klimatycznych [B6], [B7]; oraz
- dobową dynamikę temperatury wody rzecznej w interakcji z temperaturą powietrza – cykliczność i synchronizację temperatur oraz zmiany spowodowane przez zbiorniki zaporowe [B4], [B5] i trendy klimatyczne [B8].

Analizowane aspekty są istotne dla poszerzenia bazy metodycznej i analitycznej wykorzystywanej przy weryfikacji metod symulacyjnych i prognostycznych w zakresie dynamiki zasobów wodnych, co z kolei powinno ułatwić adaptacyjne zarządzanie zasobami wodnymi w warunkach postępującej urbanizacji i prognozowanych zmian klimatu. Rozważane aspekty ujęto w poniższe grupy zagadnień:

- dobowa dynamika przepływu rzeczno,
- wpływ wodnych zbiorników retencyjnych na cechy dynamiczne przepływu rzeczno,
- zmienność dynamiki odpływu rzeczno w warunkach oddziaływania zmian klimatycznych.

Do badań zastosowałam nowoczesne i komplementarne metody analizy, w tym metody nieliniowe, analizę spektralną i diagramy rekurencyjne oraz testy statystyczne (parametryczne i nieparametryczne); pozwoliły one na uzyskanie nowych, cennych naukowo i poznawczo informacji o badanych aspektach i uwarunkowaniach procesu przepływu rzeczno w zlewniach górskich, z możliwością wykorzystania w zastosowaniach aplikacyjnych (modelowanie symulacyjne i prognoza) oraz w zarządzaniu zasobami wodnymi.

Obszar badań zlokalizowano w południowej części Polski, w zlewniach karpaccich dorzecza górnej Wisły; w szczególności obejmuje on dorzecza rzek: Skawy, Raby, Dunajca i Wisłoka. Dane wykorzystane w analizach zostały udostępnione przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (IMGW–PIB), Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie, Stację Badawczą w Szymbarku –Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk oraz Zespół Elektrowni Wodnych Niedzica SA.

Dobowa dynamika przepływu rzecznoego

Publikacje B1 i B2 są wynikiem drugiego etapu prac badawczych nad dynamiką procesu odpływu wody korytem rzecznoym, prowadzonych przeze mnie w latach 2009–2013 (po doktoracie). W pierwszym etapie prac podjęłam problem zbadania istnienia i rozmiarów chaosu deterministycznego w dynamicznym systemie naturalnym, którym jest zlewnia wraz ze swą siecią rzecznoą. Ten etap prac, zakończony rozprawą doktorską¹, objął dobowe ciągi pomierzonych wartości natężenia przepływu w rzece Rabe i jej ważniejszych dopływach z lat hydrologicznych 1961–2002 i pozwolił pozytywnie zweryfikować tezę, że: „naturalny proces odpływu wody korytem rzecznoym, u swego podłoża deterministyczny, wrażliwy jest na niewielką zmianę warunków początkowych i tym samym nosi cechy chaosu deterministycznego”. Po doktoracie, świadoma celowości dalszych, szczegółowych badań w tym temacie, dla wybranych dwóch przekrojów wodowskazowych (Mszana Dolna i Proszówki na rzece Rabe) rozszerzyłam zakres analiz dobowej dynamiki odpływu rzecznoego o dodatkowe testy (test determinizmu², test nieliniowości³, test stacjonarności⁴) i metody (FNN⁵, space-time separation plot⁶, metoda Eckmanna⁷), które w pełni potwierdziły słuszność wniosków z pierwszego etapu prac zakończonych doktoratem oraz pozwoliły

¹ Kędra M. (2007) Chaos deterministyczny w przepływach rzecznych wybranej zlewni górskiej. Rozprawa doktorska, Kraków 2007, ss. 127, <http://suw.biblos.pk.edu.pl/resourceDetailsRPK&rlId=3414>

² Kaplan D.T., Glass M. (1992) Direct test for determinism in a time series. *Physical Review Letters*, 68: 427–430.

³ Nakamura T., Luo X., Small M. (2005) Testing for nonlinearity in time series without the Fourier transform. *Physical Review E*, 72: 055201.

⁴ Schreiber T. (1997) Detecting and analysing nonstationarity in a time series using nonlinear cross predictions. *Physical Review Letters*, 78: 843–846.

⁵ Kennel M., Brown R., Abarbanel H.D.L. (1992) Determining embedding dimension for phase-space reconstruction using a geometrical construction. *Physical Review A*, 45: 3403–3411.

⁶ Provenzale A., Smith L.A., Vio R., Murante G. (1992) Distinguishing between low-dimensional dynamics and randomness in measured time series. *Physica D*, 58(1): 31–49.

⁷ Eckmann J.-P., Oliffson Kamphorst S., Ruelle D., Ciliberto S. (1986) Liapunov exponents from time series. *Physical Review A*, 34: 4971–4979.

uzyskać nową, całościową informację o ilościowych charakterystykach chaosu – spektrum wykładników Lapunowa⁸ dla badanego procesu odpływu. Na podstawie spektrum wykładników Lapunowa obliczona została najważniejsza z dynamicznych miar charakteryzujących układ chaotyczny – entropia Kołmogorowa-Sinai'a^{9,10} (KS), równa sumie dodatnich wykładników Lapunowa, która mierzy średnią szybkość, z jaką następuje utrata informacji o stanie chaotycznego systemu dynamicznego. Ponadto, w oparciu o spektrum wykładników Lapunowa obliczona została statyczna miara chaosu – wymiar atraktora procesu sformułowany przez Kaplana-Yorke'a¹¹ (D_{KY}), który pozwala na uzyskanie informacji o liczbie aktywnych stopni swobody badanego systemu dynamicznego¹². Uzyskane w latach 2009–2013 wyniki analiz (jakościowej i ilościowej), zawarte w pracy B1, są spójne i jednoznacznie wskazują, że badany proces odpływu wody korytem rzecznym jest nieliniowy, deterministyczny i chaotyczny. Ponadto, **unikalne w skali światowej rezultaty dotyczące spektrum Lapunowa dla procesu odpływu rzecznoego [B1] niosą dalszą, istotną informację:**

- Suma wszystkich wykładników Lapunowa jest ujemna; to pokazuje, że badany proces jest dyssypatywny (w trakcie ruchu następuje utrata/rozproszenie energii);
- Jeden z wykładników Lapunowa jest równy zero; oznacza to, że opisem dynamiki procesu jest równanie różniczkowe;
- Dla systemu rzecznoego zamkniętego przekrojem wodowskazowym Mszana Dolna (przekrój zamykający górną część zlewni Raby o pow. 158 km²), największy wykładnik Lapunowa (λ_1) jest dodatni, równy entropii KS, $KS = \lambda_1 = 0,02822$ 1/doba;
- Dla systemu rzecznoego zamkniętego przekrojem wodowskazowym Proszówki (przekrój zamykający zlewnię Raby o pow. 1470 km²), dwa największe wykładniki Lapunowa są dodatnie ($\lambda_1 = 0,03632$ 1/doba, $\lambda_2 = 0,01361$ 1/doba), a entropia KS = $\lambda_1 + \lambda_2 = 0,04993$ 1/doba;

⁸ Eckmann J.-P., Ruelle D. (1985) Ergodic theory of chaos and strange attractors. *Reviews of Modern Physics*, 57: 617–656.

⁹ Schuster H.G. (1995) *Deterministic chaos: An introduction*, 3rd ed. New York: Wiley, p. 112, p. 124.

¹⁰ Ott E. (1993) *Chaos in dynamical systems*. New York: Cambridge University Press, p. 138.

¹¹ Kaplan J.L., Yorke J.A. (1979) Chaotic behaviour of multidimensional difference equations. In: Peitgen H.O., Walther H.O. (eds.) *Functional differential equations and approximation of fixed points. Lecture Notes in Mathematics*, vol. 730. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 204–227.

¹² Theiler J. (1986) Spurious dimension from correlation algorithms applied to limited time-series data. *Physical Review A*, 34: 2427–2432.

- Dla systemu rzecznej Raby zamkniętego przekrojem wodowskazowym Mszana Dolna, wymiar $D_{KY} = 3,158$; oznacza to, że efektywna liczba stopni swobody badanej dynamiki procesu wynosi 4;
- Dla systemu rzecznej Raby zamkniętego przekrojem wodowskazowym Proszówki, wymiar $D_{KY} = 5,155$; oznacza to, że efektywna liczba stopni swobody badanej dynamiki procesu wynosi 6.

Zgodnie z rozważaniami teoretycznymi, uzyskane wartości niezmienników (D_{KY} , λ_1 , KS) zmieniają się (rosną) wzdłuż biegu rzeki. Wyższe wartości wykładników Lapunowa, entropii KS i wymiaru D_{KY} w przekroju Proszówki w porównaniu z przekrojem Mszana Dolna wskazują, że dynamika przepływu w Proszówkach jest bardziej chaotyczna i złożona niż dynamika przepływu Raby w Mszanie Dolnej. Ponieważ entropia KS jest odwrotnie proporcjonalna do przedziału czasu, w jakim można przewidywać stan układu chaotycznego⁹, obliczone wartości entropii KS wskazują, że czas ten wynosi do 35 dni dla przepływu rzeki Raby w Mszanie Dolnej i do 20 dni w Proszówkach. Niezależnie od uzyskanych wyników ilościowych i jakościowych, w publikacji B1 przedstawiona również została szczegółowa metodyka analizy procesów chaotycznych, z uwzględnieniem nowych, komplementarnych metod wspartych nieparametrycznymi testami statystycznymi. Ponadto, wynikający z tych wyników wyбір metod nieliniowych użytecznych w analizie natury (deterministycznej/losowej) procesów hydrologicznych przedstawiono w kolejnej publikacji [B2]. Nieliniowość jest ważną cechą procesów hydrologicznych^{13,14,15}; otwiera ona możliwość zachowań złożonych, które nie są możliwe w systemach liniowych, choć nie wszystkie systemy nieliniowe są złożone¹⁶.

W publikacji B2, na przykładzie: (1) procesu odpływu wody rzeką Krzyworzecą (dopływem rzeki Raby) z okresu 12 lat (1971–1982)¹⁷, (2) procesu periodycznego z szumem pomiarowym, (3) losowego procesu autoregresyjnego rzędu pierwszego tzw. czerwonego szumu oraz (4) nieskorelowanego procesu losowego o zerowej wartości oczekiwanej i stałej

¹³ Amorocho J. (1967) The nonlinear prediction problem in the study of the runoff cycle. *Water Resources Research*, 3(3): 861–880.

¹⁴ Kundzewicz Z.W., Napiórkowski J.J. (1986) Nonlinear models of dynamic hydrology. *Hydrological Sciences Journal*, 31(2): 163–185.

¹⁵ Sivakumar B., Singh V.P. (2012) Hydrologic system complexity and nonlinear dynamic concepts for a catchment classification framework. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(11): 4119–4131.

¹⁶ Phillips J.D. (2003) Sources of nonlinearity and complexity in geomorphic systems. *Progress in Physical Geography*, 27(1): 1–23.

¹⁷ W mojej rozprawie doktorskiej dane z posterunku Marwin na Krzyworzecze dotyczyły dłuższego okresu 16 lat (1971–1986).

wariancji tzw. białego szumu, przedstawiona została dodatkowa korzyść informacyjna z zastosowania dwóch metod nieliniowych łącznie (metody AFN^{18,19} i testu 0-1^{20,21,22}) w stosunku do dwóch standardowych metod liniowych (funkcji autokorelacji liniowej i spektrogramów), używanych przy badaniu wewnętrznej struktury procesów hydrologicznych na podstawie ciągów pomiarowych z odpowiedniego okresu czasu. Zastosowane metody liniowe pozwoliły prawidłowo rozpoznać proces (2) jako periodyczny i proces (4) jako losowy, jednak nie dokonały rozróżnienia między procesem odpływu (1) i czerwonym szumem (3). Dzięki użytym metodom nieliniowym (AFN^{18,19} i test 0-1^{20,21,22}), procesy (3) i (4) zostały prawidłowo rozpoznane jako losowe, a procesy (1) i (2) jako deterministyczne, oraz nastąpiło odróżnienie zachowania chaotycznego w przypadku procesu (1) od zachowania periodycznego z szumem losowym w przypadku procesu (2). W wyniku dokonanych w pracy B2 analiz, rozpoznana została dobowa dynamika badanego procesu hydrologicznego (procesu odpływu) jako deterministyczna chaotyczna, co w konsekwencji umożliwia właściwe zrozumienie zachowań badanego procesu i jego poprawny opis, a także dobór odpowiednich metod modelowania i predykcji. W publikacji B2 wskazano na możliwość przeprowadzenia podobnej analizy dla innych procesów geofizycznych, które oprócz cech losowych wykazują zachowanie deterministyczne i charakteryzują się zależnościami nieliniowymi.

Wpływ wodnych zbiorników retencyjnych na cechy dynamiczne przepływu rzecznoego

Prace B3, B4, B5 i B8 są efektem badań nad wpływem wodnych zbiorników retencyjnych na zaburzenie charakterystyk dynamiki przepływu i wymiany energii. Publikacja B3 skupia się na roli, jaką pełnią zbiorniki retencyjne w kształtowaniu cykliczności i energii przepływów rzek górskich. Tematyka wpływu zapór i zbiorników retencyjnych na cykliczność przepływów rzek była do tej pory przedmiotem nielicznych

¹⁸ Cao L. (1997) Practical method for determining the minimum embedding dimension of a scalar time series. *Physica D*, 110: 43–50.

¹⁹ Cao L., Mees A., Judd K., Froyland G. (1998) Determining the minimum embedding dimension of input-output time series data. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 8: 1491–1504.

²⁰ Gottwald G.A., Melbourne I. (2004) A new test for chaos in deterministic systems. *Proceedings of the Royal Society of London A*, 460(2042): 603–611.

²¹ Gottwald G.A., Melbourne I. (2005) Testing for chaos in deterministic systems with noise. *Physica D*, 212: 100–110.

²² Gottwald G.A., Melbourne I. (2009) On the implementation of the 0–1 test for chaos. *SIAM Journal on Applied Dynamical Systems*, 8(1): 129–145.

studiów. Jedną z niewielu prac w tym temacie dotyczy rzeki Kolorado²³ i wskazuje na drastyczne zaburzenie dynamiki przepływu rzecznoego po wybudowaniu zapory, skutkujące zanikiem cyklu rocznego, który jest jednym z podstawowych cykli przyrodniczych na Ziemi. W pracy B3 analiza koncentruje się na porównaniu zmian w cykliczności i energii przepływu rzek spowodowanych przez zbiorniki zaporowe o znacząco różnych parametrach i funkcjach, które zostały zbudowane na rzekach o odmiennym reżimie hydrologicznym. Duży zespół Czorsztyn-Sromowce Wyżne na rzece Dunajec, złożony z dwóch zbiorników retencyjnych i pełniący funkcję przeciwpowodziową, energetyczną oraz wyrównawczą²⁴ porównano z mniejszym zbiornikiem Besko, zbudowanym na rzece Wisłok w celu zwiększenia przepływów niskich oraz redukcji fali powodziowej w górnym biegu rzeki²⁵. Z analizy spektralnej ciągów codziennych pomiarów z okresu 15 lat (1998–2012) wynika, że w dynamice dopływu i odpływu wody z zespołu zbiorników Czorsztyn-Sromowce Wyżne dominuje cykliczność roczna. Energia spektralna dla cyklu rocznego ulega jedynie śladowemu wzrostowi (z 10,04% do 10,41%) w odpływie wody ze zbiorników w porównaniu do dopływu. Świadczy to o niewielkim, dodatnim wpływie zespołu zbiorników Czorsztyn-Sromowce Wyżne na ustabilizowanie rocznej powtarzalności przepływu wody w górnym biegu rzeki Dunajec. Analiza spektralna ciągów codziennych natężeń przepływu z badanego wielolecia dla posterunku Krościenko na Dunajcu (22,2 km poniżej zespołu Czorsztyn-Sromowce Wyżne) potwierdza istnienie dominującej, rocznej cykliczności przepływów Dunajca; zauważyć jednak można, że w posterunku Krościenko – wraz z przyrostem zlewni następuje niewielkie osłabienie powtarzalności rocznej przepływu (do wartości 9,89% energii spektralnej w cyklu rocznym).

Z dokonanej w pracy B3 analizy spektralnej obejmującej ciągi codziennych pomiarów z lat 1998–2012 wynika, że w dynamice dopływu i odpływu wody ze zbiornika Besko dominuje również cykliczność roczna, jednak energia spektralna tego cyklu jest ok. 2–3 krotnie niższa w porównaniu z cyklem rocznym przepływu rzeki Dunajec. Energia spektralna cyklu rocznego ulega 1,4-krotnemu wzrostowi (z 2,86% do 4,03%) w odpływie wody ze

²³ White M.A., Schmidt J.C., Topping D. (2005) Application of wavelet analysis for monitoring the hydrologic effects of dam operation: Glen Canyon Dam and the Colorado River at Lees Ferry. *River Research and Applications*, 21: 551–565.

²⁴ Kloss A. (Red.) (2003) Zespół zbiorników wodnych Czorsztyn-Niedzica i Sromowce Wyżne im. Gabriela Narutowicza. RZGW w Krakowie. Monografia. Hydroprojekt Warszawa: IMGW. Warszawa.

²⁵ Hennig J., Hennig I., Roszkowski A. (1991) Zbiorniki retencyjne. W: I. Dynowska, M. Maciejewski (Red.) *Dorzecze Górnej Wisły, Część II*. Warszawa-Kraków. PWN, ss. 121–143.

zbiornika w stosunku do dopływu; oznacza to, że funkcjonowanie zbiornika Besko wzmacnia powtarzalność roczną dynamiki przepływu rzeki Wisłok poniżej tego zbiornika.

Ponadto, w publikacji B3 porównano energię sygnału przed i po przejściu wody przez zbiornik zaporowy. Dla sygnału utworzonego przez wartości natężenia przepływu, zmiany w energii sygnału są wyrazem zmian w potencjale energetycznym rzeki, jako że wzrost/spadek natężenia przepływu płynącej wody rzecznej pociąga za sobą adekwatną zmianę w wielkości jej energii kinetycznej i potencjalnej. Porównując energię sygnału dla dopływu i odpływu, zauważalny jest wyraźny jej spadek w odpływie: o 40% w przypadku zespołu zbiorników Czorsztyn-Sromowce Wyżne i o 30% w przypadku zbiornika Besko. Przy uwzględnieniu, że woda wypływająca ze zbiorników zaporowych nie jest obciążona rumowiskiem, osłabienie energii sygnału po przejściu przez zbiornik łączy się z obniżeniem energii wypływającej wody, a zatem wpływa korzystnie na zmniejszenie jej siły erozyjnej.

Podsumowując, z pracy B3 wynika, że w okresie 1998–2012, funkcjonowanie zbiorników zaporowych w górnym biegu rzek karpackich (Dunajca i Wisłoka) wprowadza w cykliczności i energii przepływów zmiany, które wykazują dużą analogię. Rozpatrywane zbiorniki wzmacniają regularność naturalnego, rocznego cyklu dynamiki przepływów i obniżają energię rzek, na których są wybudowane. Jednak stosunkowo mały zbiornik Besko ma większy wpływ na wzmocnienie regularności rocznego cyklu przepływów w rzece Wisłok niż duży zespół zbiorników Czorsztyn-Sromowce Wyżne na regularność przepływów Dunajca. Wynika to z relatywnie silnej cykliczności rocznej obserwowanej w dynamice przepływów rzeki Dunajec, przy stosunkowo słabej cykliczności rocznej obserwowanej w dynamice przepływów rzeki Wisłok, a także z wielkości retencji w stosunku do odpływu i liczby cykli wymiany wody w zbiornikach.

W publikacjach B4 i B5, przy użyciu niezależnych metod, przeanalizowana została rola zbiorników zaporowych na rzekach górskich w zakłóceniu naturalnie kształtowanego synchronicznego zachowania pomiędzy dynamiką temperatur powietrza i wody rzecznej. Temperatura wody w rzece, kluczowy czynnik środowiskowy dla ekosystemów wodnych, jest wynikiem procesów transportu energii w rzece oraz wymiany ciepła między rzeką i jej otoczeniem na styku powietrze-woda i przy dnie rzeki^{26,27}. Wraz z biegiem rzeki temperatura wody, kształtowana przez zasilanie podziemne, „dąży” do temperatury otoczenia,

²⁶ Caissie D. (2006) The thermal regime of rivers: a review. *Freshwater Biology*, 51: 1389–1406.

²⁷ Sinokrot B.A., Stefan H.G. (1993) Stream temperature dynamics: measurements and modeling. *Water Resources Research*, 29(7): 2299–2312.

z szybkością zmian zależną od procesów izolujących i buforujących²⁸. Silne korelacje pomiędzy temperaturą powietrza i wody²⁹ w skali dziennej, tygodniowej i miesięcznej wykorzystywane są w modelowaniu (z użyciem regresji liniowej i nieliniowej³⁰) zmian temperatury wody rzecznej na podstawie wartości temperatur powietrza. Ponieważ temperatura wody w rzece dostosowuje się do zmian w temperaturze powietrza z pewnym opóźnieniem spowodowanym bezwładnością termiczną wody, zastosowanie w modelowaniu opóźnienia czasowego (2–3 dni dla rzek o średniej wielkości) zwiększa dokładność wyestymowanych dobowych wartości temperatur wody³¹. Zbiorniki zaporowe z rozwiniętą stratyfikacją termiczną powodują zmiany w naturalnych warunkach termicznych na odcinkach rzek poniżej zapór, osłabiając korelacje pomiędzy temperaturami wody i powietrza³². Zasięg oddziaływania zbiorników na termikę rzek może sięgać od kilku do kilkuset kilometrów w dół biegu rzek³³, przy czym zasięg i skala zmian termicznych zależy m.in. od parametrów zbiornika – jego głębokości i miejsc odpływu wody (z powierzchni/ze strefy przydennej zbiornika)³⁴, wielkości przepływu i lokalnych charakterystyk środowiska przyrodniczego³⁵.

Do określenia roli jaką pełnią zbiorniki zaporowe na rzekach górskich w zakłóceniu naturalnie kształtowanych, synchronicznych zachowań (zgodnego w fazie przebiegu czasowego) pomiędzy temperaturą powietrza i wody, w publikacji B4 zastosowana została analiza falkowa, a w publikacji B5 diagramy rekurencji krzyżowej CRP (cross-recurrence plots) i analiza CRQA³⁶. Użycie niezależnych metod (analizy falkowej i CRQA) umożliwiło weryfikację obserwowanej synchroniczności pomiędzy dobowymi wartościami temperatur

²⁸ Poole G.C., Berman C.H. (2001) An ecological perspective on in-stream temperature: natural heat dynamics and mechanism of human-caused thermal degradation. *Environmental Management*, 27(6): 787–802.

²⁹ Caissie D., El-Jabi N., Satish M.G. (2001) Modelling of maximum daily water temperatures in a small stream using air temperatures. *Journal of Hydrology*, 251(1): 14–28.

³⁰ Mohseni O., Stefan H.G., Erickson T.R. (1998) A nonlinear regression model for weekly stream temperatures. *Water Resources Research*, 34: 2685–2692.

³¹ Stefan H.G., Preud'homme E.B. (1993) Stream temperature estimation from air temperature. *Journal of the American Water Resources Association*, 29(1): 27–45.

³² Erickson T.R., Stefan H.G. (2000) Linear air/water temperature correlations for streams during open periods. *Journal of Hydrologic Engineering*, 5: 317–321.

³³ Todd C.R., Ryan T., Nicol S.J., Bearlin A.R. (2005) The impact of cold water releases on the critical period of post-spawning survival and its implications for Murray cod (*Maccullochella peelii peelii*): a case study of the Mitta Mitta River, southeastern Australia. *River Research and Applications*, 21: 1035–1052.

³⁴ Poff N.L., Hart D.D. (2002) How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal. *BioScience*, 52(8): 659–668.

³⁵ Olden J.D., Naiman R.J. (2010) Incorporating thermal regimes into environmental flows assessment: modifying dam operations to restore freshwater integrity. *Freshwater Biology*, 55: 86–107.

³⁶ Marwan N., Thiel M., Nowaczyk N.R. (2002) Cross recurrence plot based synchronization of time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 9: 325–331.

wody rzecznej i powietrza z punktu widzenia nieliniowego zjawiska synchronizacji fazowej. Synchronizacja jest jednym z podstawowych zjawisk fizycznych odkrytych w XVII wieku przez holenderskiego badacza Christiaana Huygensa³⁷. W sensie klasycznym, synchronizacja to proces powodujący wyrównanie rytmu (częstotliwości) sprzężonych ze sobą obiektów na skutek ich słabej interakcji³⁸. W XX wieku pojęcie klasycznej synchronizacji oscylatorów periodycznych zostało uogólnione na przypadek oscylatorów nieliniowych^{39,40}. Synchronizacja jako złożony, dynamiczny proces zachodzi m.in. w systemach mechanicznych, elektronicznych, biologicznych, chemicznych i ekologicznych^{38,41,42}. Dla systemów dynamicznych pozostających ze sobą w interakcji, synchronizacja fazowa odnosi się do stanu, gdy zachodzi relacja pomiędzy fazami tych systemów, podczas gdy ich amplitudy mogą pozostać prawie nieskorelowane³⁸.

Głównym celem badań zawartych w publikacjach B4 i B5 jest określenie roli zespołu zbiorników Czorsztyn-Sromowce Wyżne wybudowanego w latach 1994–1997 na Dunajcu^{24,25} w zaburzeniu naturalnie kształtowanego, synchronicznego zachowania temperatury wody w rzece Dunajec i temperatury powietrza. Analizę przeprowadzono dla ciągów codziennych pomiarów temperatur powietrza i wody z okresu hydrologicznego 1978–2012 (35 lat) z godziny 6⁰⁰ UTC dokonanych w miejscowości Krościenko, położonej 22,2 km poniżej zespołu zbiorników Czorsztyn-Sromowce Wyżne. Zależność S-kształtna pomiędzy temperaturą wody i powietrza⁴³, obserwowana również w Krościenku, wynika ze złożonych interakcji pomiędzy dwoma dynamicznymi podsystemami, z którymi te temperatury są związane: systemu rzeczno-Dunajca zamkniętego przekrojem Krościenko i lokalnego systemu pogodowego w Krościenku [B5]. Na kształt tej zależności wpływa również fakt, że temperatury te odnoszą się do różnych ośrodków fizycznych (woda i powietrze), stąd temperatura wody w rzece, w przeciwieństwie do temperatury powietrza, nie może być zasadniczo niższa niż 0 °C w zimie albo dowolnie wysoka w lecie⁴³. W okresie 1998–2012 (15 lat) po wybudowaniu zbiorników Czorsztyn-Sromowce Wyżne, nachylenie S-

³⁷ Huygens C. (1673) *Horologium Oscillatorium*. Apud F. Muguet, Paris, France.

³⁸ Pikovsky A.S., Rosenblum M.G., Kurths J. (2001) *Synchronization: A universal concept in nonlinear sciences*. Cambridge University Press, Cambridge.

³⁹ Pikovsky A.S., Rosenblum M.G., Osipov G., Kurths J. (1997) Phase synchronization of chaotic oscillators by external driving. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 104: 219–238.

⁴⁰ Pecora L.M., Carroll T.L. (1990) Synchronization in chaotic systems. *Physical Review Letters*, 64: 821–824.

⁴¹ Glass L. (2001) Synchronization and rhythmic processes in physiology. *Nature*, 410: 277–284.

⁴² Blasius B., Huppert A., Stone L. (1999) Complex dynamics and phase synchronization in spatially extended ecological systems. *Nature*, 399: 354–359.

⁴³ Mohseni O., Stefan H.G. (1999) Stream temperature/air temperature relationship: a physical interpretation. *Journal of Hydrology*, 218(3): 14–28.

kształtnej krzywej zmieniło się w stosunku do okresu przed wybudowaniem zbiorników 1978–1992 (15 lat) [B5], podczas gdy korelacje (mierzone współczynnikiem korelacji krzyżowej Pearsona) w półroczu letnim osłabły (średnio z 0,82 do 0,66), a wzrosły w półroczu zimowym (średnio z 0,62 do 0,71) [B4]. Z analizy Fouriera i falkowej [B4] wynika, że dominująca częstotliwość w dynamice temperatur odpowiada cyklowi rocznemu i zawiera większość energii spektralnej (90% dla temperatury wody i 68% dla temperatury powietrza z okresu 35 lat 1978–2012). W okresie 15 lat (1998–2012) po wybudowaniu analizowanego zespołu zbiorników, w porównaniu do 15 lat przed wybudowaniem tego zespołu (1978–1992), cykliczność roczna w dynamice temperatury powietrza uległa wzmocnieniu o 3%, a w dynamice temperatury wody o 5%. Eliminując 3% wzmocnienie rocznego cyklu przez temperaturę powietrza, można przyjąć, że funkcjonowanie zespołu zbiorników Czorsztyn-Sromowce Wyżne spowodowało ok. 2% wzmocnienie rocznej cykliczności (powtarzalności) dynamiki temperatur wody Dunajca w Krościenku [B4]. Wyniki te są zgodne z wynikami pracy B5, w której z użyciem diagramów rekurencyjnych RP⁴⁴ i RQA^{45,46,47}, przeprowadzono analizę zmian w dynamice temperatur wody Dunajca na skutek pracy zespołu zbiorników Czorsztyn-Sromowce Wyżne. Wyniki pracy B5, oparte o nieliniowe miary RQA, wskazują na wzrost regularności dynamiki i większą przewidywalność wartości temperatur wody w rzece Dunajec w Krościenku w okresie po wybudowaniu zbiorników Czorsztyn-Sromowce Wyżne.

W publikacji B4, w oparciu o falkę zespoloną Morleta^{48,49}, przeprowadzona została analiza chwilowych faz dla dominującej częstotliwości w dynamice temperatur powietrza i wody w Krościenku odpowiadającej cyklowi rocznemu. W okresie przed wybudowaniem zespołu zbiorników (1978–1992) opóźnienie fazowe wartości temperatur wody w stosunku do temperatur powietrza wynosiło średnio 0,049 radianów (2,85 dni), a po wybudowaniu zbiorników (1998–2012) wzrosło ponad 5-krotnie, średnio do 0,253 radianów (14,71 dni).

⁴⁴ Eckmann J.P., Kamphorst S.O., Ruelle D. (1987) Recurrence plots of dynamical systems. *Europhysics Letters*, 4(9): 973–977.

⁴⁵ Trulla L.L., Giuliani A., Zbilut J.P., Webber C.L. Jr (1996) Recurrence quantification analysis of the logistic equation with transients. *Physics Letters A*, 223(4): 255–260.

⁴⁶ Webber C.W. Jr, Zbilut J.P. (1994) Dynamical assessment of physiological systems and states using recurrence plot strategies. *Journal of Applied Physiology*, 76: 965–973.

⁴⁷ Zbilut J.P., Webber C.L. Jr, (1992) Embeddings and delays as derived from quantification of recurrence plots. *Physics Letters A*, 171(3-4): 199–203.

⁴⁸ Morlet J., Arens G., Fourgeau E., Giard D. (1982) Wave propagation and sampling theory – Part II: Sampling theory and complex waves. *Geophysics*, 41: 222–236.

⁴⁹ Torrence C., Compo G.P. (1998) A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79: 61–78.

Oznacza to, że naturalnie kształtowane, synchroniczne zachowanie zostało znacznie zaburzone, choć nie zanikło zupełnie. Otrzymana wartość (2,85 dni) opóźnienia czasowego w okresie przed wybudowaniem zbiorników jest zgodna z uogólnionymi wynikami (1,5–3 dni) wyprowadzonymi z równania bilansu cieplnego⁵⁰. Wyniki pracy B4 wskazują, że przy modelowaniu i predykcji temperatur wody w rzece Dunajec w Krościenku na podstawie dobowych bądź tygodniowych wartości temperatur powietrza, w okresie po wybudowaniu zbiorników Czorsztyn-Sromowce Wyżne (1998–2012) należałoby uwzględnić ok. 14–15 dniowe opóźnienie czasowe.

W publikacji B5, w oparciu o diagramy rekurencyjne⁴⁴ obliczono uogólnioną funkcję autokorelacji RR^{51} dla każdego ciągu temperatur, oraz współczynnik korelacji CPR^{51} dla tych funkcji, którego wartość pozwala zidentyfikować synchronizację fazową pomiędzy analizowanymi zmiennymi. Otrzymane wykresy funkcji RR oraz bliska jedności wartość współczynnika CPR ($CPR = 0,87$ dla ciągów z okresu 1978–1992 przed wybudowaniem zespołu zbiorników i $CPR = 0,82$ dla okresu 1998–2012 po wybudowaniu zbiorników) potwierdzają istnienie synchronizacji fazowej pomiędzy analizowanymi temperaturami powietrza i wody dla rocznej skali czasowej, jednocześnie wskazując, że w okresie po wybudowaniu zbiorników zaporowych Czorsztyn-Sromowce Wyżne siła synchronizacji fazowej uległa zmniejszeniu.

Ponadto, użyte w pracy B5 diagramy rekurencji krzyżowej CRP^{36} pozwalają na zidentyfikowanie i przestudiowanie synchronicznego zachowania dwóch zmiennych (ciągów temperatur powietrza i wody) w tej samej przestrzeni fazowej zrekonstruowanej metodą time delay embedding^{52,53}. Na podstawie linii synchronizacji tworzącej główną przekątną diagramu CRP^{36} uzyskano informację o częstotliwościach i przesunięciu fazowym pomiędzy badanymi ciągami temperatur. Wyniki analizy $CRQA$ wskazują, że w okresie przed wybudowaniem zespołu zbiorników (1978–1992), różnica fazowa pomiędzy temperaturą wody a temperaturą powietrza wynosiła średnio 2,72 dni, a po wybudowaniu zbiorników (1998–2012), wzrosła ponad 6-krotnie, średnio do 17,00 dni. Otrzymane w pracy B5 wyniki, zgodne z wynikami pracy B4, potwierdzają że funkcjonowanie zespołu zbiorników

⁵⁰ Bogan T., Mohseni O., Stefan H.G. (2003) Stream temperature-equilibrium temperature relationship. *Water Resources Research*, 39: 1245–1256.

⁵¹ Romano M.C., Thiel M., Kurthz J., Kiss I.Z., Hudson J. (2005) Detection of synchronization for non-phase coherent and non-stationary data. *Europhysics Letters*, 71(3): 466–472.

⁵² Packard N.H., Crutchfield J.P., Farmer J.D., Shaw R.S. (1980) Geometry from a time series. *Physical Review Letters*, 45(9): 712–716.

⁵³ Takens F. (1981) Detecting strange attractors in turbulence. In: Rand D.A., Young L.S. (eds.) *Dynamical systems and turbulence*, Lecture Notes in Mathematics, vol. 898. Springer-Verlag, Berlin, pp. 366–381.

spowodowało zmianę (osłabienie) synchronicznych zachowań temperatur wody i powietrza, na co najmniej 22-kilometrowym odcinku rzeki Dunajec poniżej zespołu Czorsztyn-Sromowce Wyżne. Wyniki te potwierdzają możliwość stosunkowo precyzyjnej oceny przestrzennej skali zaburzeń tego procesu przez zbiorniki retencyjne (zespoły zbiorników) z rozwiniętą stratyfikacją termiczną zbudowane na rzece górskiej.

Publikacja B8 powstała w wyniku kontynuacji prac badawczych nad dynamiką temperatur wody w rzekach górskich przy uwzględnieniu uwarunkowań antropogenicznych i zmian klimatycznych. Głównym celem prac była ocena wpływu regionalnego ocieplenia⁵⁴ oraz funkcjonowania zbiorników zaporowych zbudowanych na rzekach górskich na zmiany w termice wody w stosunku do zasadniczo naturalnych warunków termicznych istniejących przed powstaniem zbiorników. Analiza badawcza skupia się tutaj na porównaniu zmian w temperaturze wody rzecznej poniżej zbiorników retencyjnych o znacząco różnych parametrach i funkcjach. Do analizy wytypowano duży zespół zbiorników Czorsztyn-Sromowce Wyżne zbudowany w latach 1994–1997 w górnym biegu rzeki Dunajec²⁴, średniego rozmiaru zbiornik Klimkówka na rzece Ropa oddany w 1994 roku i mniejszy zbiornik Besko na rzece Wisłok zbudowany w 1978 roku²⁵. Analizę oparto o ciągi codziennych temperatur wody i temperatur powietrza z tej samej miejscowości, dla lat hydrologicznych obejmujących okres przed i po wybudowaniu rozpatrywanych zbiorników. Pomiarów temperatur zostały dokonane: (a) w Krościenku nad Dunajcem, 22,2 km poniżej zespołu Czorsztyn-Sromowce Wyżne w okresie 1977–2013 (37 lat), (b) w Szymbarku, 16 km poniżej zbiornika Klimkówka w okresie 1982–2009 (28 lat), oraz (c) w Krośnie, 32,6 km poniżej zbiornika Besko w okresie 1970–1977 (8 lat) i 1986–2009 (24 lat). Dane pomiarowe dla Krościenka i Krosna pochodzą z godziny 6⁰⁰ UTC, a dla Szymbarku z godziny 13⁰⁰ UTC.

W pracy B8, na podstawie regresji liniowej zidentyfikowano istotny ($p = 0,0000$) trend rosnący w ciągach temperatur powietrza z okresu 24–37 lat o wartości 0,036 °C/rok w Krościenku (1977–2013), 0,079 °C/rok w Szymbarku (1982–2009) i 0,096 °C/rok w Krośnie (1986–2009). W ciągach temperatur wody z tego samego okresu wykryto istotny ($p = 0,0000$), choć nieco słabszy trend wzrostowy o wartości 0,029 °C/rok w Krościenku i 0,077 °C/rok w Krośnie, oraz nieistotny wzrost w Szymbarku. We wszystkich krótszych ciągach pomiarowych (8–16 lat) pochodzących z okresów przed albo po wybudowaniu rozpatrywanych zbiorników zaporowych, wykryte trendy rosnące okazały się istotne ($p < 0,005$) i silniejsze niż w ciągach dłuższych. Zauważyć można, że względna siła trendów w temperaturze wody w stosunku do trendów w temperaturze powietrza jest słabsza

w okresie po wybudowaniu rozpatrywanych zbiorników niż przed ich wybudowaniem, o 29% w Krościenku i 41% w Szymbarku, przeciwnie do obserwacji w Krośnie.

Z dokonanych w publikacji B8 zestawień cykli temperatur powietrza i wody wynika, że nastąpiła zmiana zależności pomiędzy analizowanymi temperaturami dla okresów przed i po powstaniu rozpatrywanych zbiorników. Na wspólnym wykresie, roczny cykl temperatur wody (z godziny 6⁰⁰ UTC) w Krościenku znajduje się nad cyklem temperatur powietrza dla lat 1977–1992, a dla okresu 1998–2013 cykl temperatur wody jest przesunięty w prawo, przecinając cykl temperatur powietrza. W Szymbarku, dla okresu przed wybudowaniem zbiornika Klimkówka, roczny cykl temperatur wody (z godziny 13⁰⁰ UTC) jest nieco poniżej cyklu temperatur powietrza, a po wybudowaniu zbiornika – cykl temperatur wody jest znacznie poniżej cyklu temperatur powietrza (oprócz okresu zimowego), z niewielkim przesunięciem w prawo. Dla lat 1970–1977, roczny cykl temperatur wody (z godziny 6⁰⁰ UTC) w Krośnie znajduje się nad cyklem temperatur powietrza, a dla okresu po wybudowaniu zbiornika Besko (1986–2009) cykl temperatur wody jest nieco przesunięty w prawo. Zidentyfikowane przesunięcie w dół cyklu temperatur wody potwierdza rozpoznany efekt ochładzający (głównie w okresie letnim)^{34,54,55}, spowodowany przez zbiorniki zaporowe z rozwiniętą stratyfikacją termiczną i upustami dolnymi. Zaobserwowane przesunięcie w prawo rocznego cyklu temperatur wody w stosunku do cyklu temperatur powietrza wskazuje na zmianę w synchronicznym zachowaniu pomiędzy analizowanymi temperaturami.

Po usunięciu istotnych trendów liniowych lub średnich z odpowiednich ciągów danych, w pracy B8 na podstawie analizy falkowej z użyciem falki zespolonej Morleta^{48,49} dokonano porównań chwilowych faz dla dominującej częstotliwości w dynamice temperatur powietrza i wody, odpowiadającej cyklowi rocznemu. Dla Krościenka, różnica fazowa pomiędzy temperaturą powietrza i wody w całym okresie 1977–2013 jest zasadniczo mniejsza niż 0,30 radianów (17,4 dni) i w latach 1998–2013 zwiększyła się ponad 5-krotnie w stosunku do lat 1977–1992 przed wybudowaniem zbiorników Czorsztyn-Sromowce Wyżne (średnio z 0,050 rad do 0,258 rad). Dla Szymbarku, różnica fazowa jest mniejsza niż 0,24 radianów (14 dni) w całym okresie 1982–2009 i zwiększyła się ponad 4-krotnie po wybudowaniu zbiornika Klimkówka, ze średnio 0,044 rad w latach 1982–1993 do 0,190 rad

⁵⁴ Wiejaczka Ł., Kijowska-Strugała M., Pierwoła P., Nowak M. (2015) Influence of the Czorsztyn-Sromowce Wyżne Reservoir complex on the Dunajec River thermal regime. *Geographia Polonica*, 88: 467–482.

⁵⁵ Soja R., Wiejaczka Ł. (2014) The impact of a reservoir on the physiochemical properties of water in a mountain river. *Water and Environment Journal*, 28: 473–482.

w 1994–2009. Różnica fazowa pomiędzy temperaturą powietrza i wody w Krośnie jest zasadniczo mniejsza niż 0,11 radianów (6,4 dni), przy czym różnica ta jest dwa razy większa w okresie po wybudowaniu zbiornika Besko (1986–2009, średnio 0,068 rad) niż w okresie poprzedzającym 1970–1977 (średnio 0,031 rad).

Zawarte w publikacji B8 analizy wykazały wyraźne zmiany w termice rzek, związane ze zmianą warunków klimatycznych oraz funkcjonowaniem rozpatrywanych zbiorników zaporowych. Wykrytym, istotnym trendom rosnącym w wieloletnich ciągach temperatur powietrza towarzyszą, różniące się wielkością, trendy w temperaturze wody rzecznej. Zgodnie z pracami^{56,57} analizującymi wpływ zmian klimatu na termikę rzek, wyniki te wskazują na postępujące nagrzewanie się wody w rzekach górskich [B8]. Zidentyfikowane osłabienie siły trendów w temperaturze wody względem temperatury powietrza w okresie po wybudowaniu zbiorników wskazuje na rolę, jaką poszczególne zbiorniki zaporowe pełnią w tym względzie. Osłabienie siły trendów w temperaturze wody rzecznej jest znaczące w Szymbarku (o 41%), w stosunkowo niewielkiej odległości (16 km) od zapory w Klimkówce; nieco mniejsze osłabienie siły trendów (o 29%) zidentyfikowano w Krościenku, 22,2 km poniżej zespołu Czorsztyn-Sromowce Wyżne, podczas gdy taki efekt nie jest widoczny w Krośnie, przypuszczalnie w związku ze znacznie większą odległością (32,6 km) od relatywnie małego zbiornika Besko oraz wyraźnym wzrostem natężenia przepływu w rzece Wisłok, ze średnio 3,4 m³/s w Besku do 6 m³/s w Krośnie. Równocześnie opracowania^{54,55,58} potwierdzają, że zauważalne zmiany termiczne w profilu podłużnym spowodowane przez poszczególne zbiorniki obejmują profile pomiarowe w Szymbarku i Krościenku, a w Krośnie są znikome. Uzyskane w publikacji B8 wyniki wskazują, że zespół zbiorników Czorsztyn-Sromowce Wyżne oraz zbiornik zaporowy Klimkówka wpłynęły znacząco na siłę interakcji pomiędzy temperaturą powietrza i wody na rozpatrywanych odcinkach rzek, redukując stopień ich naturalnej synchronizacji i zwiększając czas odpowiedzi temperatur wody na zmiany w dynamice temperatur powietrza. W rezultacie, w okresie po powstaniu zbiorników maksymalne wartości temperatur wody (w Krościenku i Szymbarku) obniżyły się (odpowiednio o 3,2 °C i 2,3 °C), w przeciwieństwie do temperatur

⁵⁶ Hari R.E., Livingstone D.M., Siber R., Burkhardt-Holm P., Güttinger H. (2006) Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. *Global Change Biology*, 12: 10–26.

⁵⁷ Morrill J.C., Bales R.C., Conklin M.H. (2005). Estimating stream temperature from air temperature: implications for future water quality. *Journal of Environmental Engineering*, 131: 139–146.

⁵⁸ Wiejaczka Ł., Wesoły K. (2017) Effect of a small dam reservoir on the water temperature in a Carpathian river. *Geographia Polonica*, 90(4): 481–491.

powietrza, które w tym samym okresie uległy podwyższeniu (odpowiednio o 1,5 °C i 1,3 °C). Z drugiej strony, zgodnie z opracowaniem⁵⁸, równoczesny wzrost temperatur powietrza i wody w Krośnie wskazuje, że zbiornik Besko ma znikomy wpływ na warunki termiczne w rzece Wisłok 33 km poniżej zapory. W konsekwencji, na skutek postępującego nagrzewania się wody, istniejące warunki termiczne w rzece Wisłok w Krośnie są prawdopodobnie nieodpowiednie dla ryb zimnolubnych. W przeszłości rzeki Dunajec, Ropa i Wisłok były zamieszkiwane przez rodzimą faunę ryb zimnolubnych i chłodnolubnych, głównie łososiowatych i karpinowatych⁵⁹. Zidentyfikowane w obszarze badań wieloletnie trendy rosnące w temperaturze powietrza i wody rzecznej przypuszczalnie pociągną za sobą niekorzystne zmiany w siedliskach rzecznych, związane z ich degradacją termiczną [B8]. To wskazuje na potrzebę adaptacyjnego zarządzania reżimem termicznym rozpatrywanych rzek górskich, w celu zachowania jego heterogeniczności i dostosowania²⁸ do odpowiedniej fauny rzecznej. Przedstawione w pracy B8 przykłady pokazują, że nawet bez ukierunkowanego zarządzania reżimem termicznym rzek, zbiorniki zaporowe z odpływem z hipolimnionu powodują osłabienie siły trendów rosnących w temperaturze wody oraz zmniejszają i opóźniają letnie maksima temperatur wody na ok. 20 km odcinkach rzek poniżej zapór. Taka redukcja letnich maksimów temperatur wody poniżej dużych zapór jest dobrze udokumentowana w literaturze^{60,61,62,63}. Z prac tych wynika dodatkowo, że rozpatrywane zbiorniki zaporowe mogą również osłabić tendencje wzrostowe w temperaturze wody rzecznej poprzez zmniejszenie stopnia naturalnej synchronizacji pomiędzy temperaturą powietrza i wody. Aby stworzyć na odcinkach rzek poniżej zapór korzystne (zbliżone do naturalnych) warunki termiczne dla rodzimej ichtiofauny, należałoby kontrolować temperaturę wypływającej ze zbiornika wody, tak aby osłabić jej trend wzrostowy w okresie letnim przy równoczesnym unikaniu zbyt niskich temperatur. Jest to zgodnie z wcześniejszymi opracowaniami^{64,65} sugerującymi strategie adaptacyjne w zarządzaniu

⁵⁹ Bieniarz K., Epler P. (1991) Ichtiofauna. W: I. Dynowska, M. Maciejewski (Red.) Dorzecze Górnej Wisły, Część II. Warszawa-Kraków. PWN, ss. 69–81.

⁶⁰ Baxter R.M. (1977) Environmental effects of dams and impoundments. Annual Review of Ecology and Systematics, 8: 255–283.

⁶¹ Graf W.L. (2006) Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. Geomorphology, 79: 336–360.

⁶² Kondolf G.M. (1997) Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels. Environmental Management, 21(4): 533–551.

⁶³ Poff N.L., Allan J.D., Bain M.B., Karr J.R., Prestegard K.L., Richter B.D., Sparks R.E., Stromberg J.C. (1997) The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. BioScience, 47: 769–784.

⁶⁴ Gu R., McCutcheon S., Chen C.-J. (1999) Development of weather dependent flow requirements for river temperature control. Environmental Management 24, 529–540.

pracą zbiorników zaporowych celem odtworzenia przepływów środowiskowych uwzględniających reżim termiczny. Zarządzanie adaptacyjne połączone z monitorowaniem odpływu i temperatury wody oraz zmian warunków klimatycznych w poszczególnych zlewniach ułatwiłoby przyszłe modelowanie wody wypływającej ze zbiorników z wykorzystaniem realistycznych objętości i temperatur [B8]. Jako zastosowanie praktyczne, zbiorniki z odpływem z hipolimnionu – zarządzane adaptacyjnie względem zmian klimatu – mogłyby zostać wykorzystane do stworzenia poniżej zapór odpowiednich warunków siedliskowych dla ryb zimnolubnych, z kanałami tarłowymi wykorzystanymi do naturalnej reprodukcji ryb [B8].

Zmienność dynamiki odpływu rzecznoego w warunkach oddziaływania zmian klimatycznych

Publikacje B6 i B7 są wynikiem prac badawczych prowadzonych przeze mnie w ramach działalności statutowej Instytutu Inżynierii i Gospodarki Wodnej Politechniki Krakowskiej, mających na celu ocenę zmienności dynamiki przepływu rzek karpackich. W opracowaniach B6 i B7, na podstawie ciągów obserwacji miesięcznych, przeanalizowano zmiany w długookresowych charakterystykach opadu orograficznego i odpływu rzecznoego w obszarze zlewni wysokogórskiej Dunajca [B6] oraz w dwóch zlewniach beskidzkich rzek Skawy i Raby [B7]. Celem przeprowadzonych analiz była ocena: (a) w jakim zakresie zidentyfikowane w całym obszarze karpackim regionalne ocieplenie – z rosnącym trendem temperatur powietrza wynoszącym średnio 0,27 °C na dekadę⁶⁶ w latach 1961–2010, któremu *nie* towarzyszą istotne statystycznie trendy w rocznym/sezonowym opadzie obszarowym⁶⁶ – przekłada się na zmiany w charakterystykach opadu orograficznego, oraz (b) w jakim stopniu zmiany warunków klimatycznych znajdują odzwierciedlenie w charakterystykach odpływu rzecznoego w zlewni wysokogórskiej i zlewniach beskidzkich. Homogeniczność poszczególnych ciągów pomiarowych zbadano testem Alexanderssona⁶⁷.

⁶⁵ Richter B.D., Thomas G.A. (2007) Restoring environmental flows by modifying dam operations. *Ecology and Society* 12(1), 12.

⁶⁶ Spinoni J., Szalai S., Szentimrey T., Lakatos M., Bihari Z., Nagy A., Nemeth A., Kovacs T., Mihic D., Dacic M., Petrovic P., Krzic A., Hiebi J., Auer I., Milkovic J., Stepanek P., Zahradnicek P., Kilar P., Limanowka D., Pyrc R., Cheval S., Birsan M-V., Dumitrescu A., Deak G., Matei M., Antolovic I., Nejedlik P., Stastny P., Kajaba P., Bochnicek O., Galo D., Mikulova K., Nabyvanets Y., Skrynyk O., Krakovska S., Gnatiuk N., Tolasz R., Antofie T., Vogt J. (2015) Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. *International Journal of Climatology*, 35: 1322–1341.

⁶⁷ Alexandersson H. (1986) A homogeneity test applied to precipitation data. *International Journal of Climatology*, 6: 661–675.

Do oceny istotności wykrytych zmian zastosowano nieparametryczny, 2-stronny test znakowanych rang Wilcoxa⁶⁸, z uwzględnieniem korekty Bonferroni⁶⁹.

Wyniki zawarte w pracy B6 dotyczą najpierw ciągów miesięcznych sum opadu z 9 posterunków rozmieszczonych w zlewni Dunajca, które porównano dla dwóch okresów 30-letnich (1986–2015 względem 1956–1985). Istotne statystycznie ($p = 0,0039$) zmiany wieloletniego wzorca opadu wykryto dla 6 miesięcy, głównie z półrocza letniego. W okresie 30 lat 1986–2015, w porównaniu z poprzednim 30-leciem (1956–1985), w zlewni Dunajca nastąpił istotny wzrost mediany sum opadu w marcu (7,7 mm), maju (16,3 mm) i wrześniu (14,7 mm), a obniżenie mediany opadu w czerwcu (–16,1 mm), sierpniu (–12,3 mm) i grudniu (–6,6 mm). Zauważyć można, że zmiany wzorca opadu mają zasadniczo charakter kompensujący, w postaci przesunięć sum opadu pomiędzy poszczególnymi miesiącami: z czerwca do maja, z sierpnia do września, z grudnia do marca (z początku na koniec okresu zimowego). W wyniku tych i innych mniej istotnych zmian, wieloletnia roczna suma opadu w badanym obszarze zlewni Dunajca nie zmieniła się istotnie w okresie 30 lat 1986–2015 w porównaniu z poprzednim 30-leciem (1956–1985). Zmiany w dynamice wieloletniej zmienności opadu w latach 1986–2015, mierzone współczynnikiem zmienności, obejmują statystycznie istotne ($p = 0,0039$) obniżenie zmienności opadu w miesiącu styczniu i lutym, a zwiększenie zmienności opadu w lipcu i wrześniu.

Ponadto porównano ciągi miesięcznych natężeń przepływu z 9 posterunków rozmieszczonych w zlewni Dunajca dla okresu 30-letniego 1986–2015 względem okresu poprzedniego 1961–1985. W latach 1986–2015, istotne statystycznie ($p = 0,0039$) zmiany wieloletniego wzorca odpływu w zlewni Dunajca dotyczą 3 miesięcy i obejmują wzrost mediany natężenia przepływu w lutym (0,80 m³/s), maju (2,96 m³/s) i wrześniu (3,30 m³/s). Zasadnicze zmiany, obejmujące wzrost odpływu w maju i wrześniu, są zgodne z kierunkiem zmian (wzrostem) opadu obserwowanym w tych miesiącach. Można również zauważyć, że obniżenie odpływu w czerwcu i sierpniu, choć mniej istotne statystycznie (odpowiednio, $p = 0,0742$ i $p = 0,0195$), jest zgodne z kierunkiem zmian (obniżeniem) opadu w tych miesiącach. Obserwowany istotny wzrost natężenia przepływu w lutym oraz mniej istotny ($p = 0,0078$) wzrost przepływu w styczniu jest prawdopodobnie związany z wyższymi temperaturami powietrza w styczniu-lutym powodującymi zwiększone topnienie śniegu.

⁶⁸ Wilcoxon F. (1945) Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics*, 1: 80–83.

⁶⁹ Bonferroni C.E. (1936) Teoria statistica delle classi e calcolo delle probabilità. *Pubblicazioni del R Istituto Superiore di Scienze Economiche e Commerciali di Firenze*, 8: 3–62.

Zmiany w wieloletniej dynamice zmienności odpływu w okresie 30 lat 1986–2015, mierzone współczynnikiem zmienności, obejmują istotnie statystycznie ($p = 0,0039$) zwiększenie zmienności odpływu w miesiącu wrześniu, a zmniejszenie zmienności w październiku. Widać zatem, że we wrześniu wzrost odpływu i jego zwiększona zmienność nawiązuje do kierunku zmian w dynamice opadu.

W pracy B7, do oceny powtarzalności procesu opadu zaproponowałam użycie współczynnika powtarzalności⁷⁰, zastosowanego dotychczas do oceny powtarzalności procesu odpływu na podstawie wieloletnich ciągów miesięcznych⁷⁰ z lat 1961–1995. Współczynnik powtarzalności, rozumiany jako względna zmiana zmienności⁷⁰, został następnie użyty w publikacjach B6 i B7 do przestudiowania zmian w wieloletniej powtarzalności procesu opadu i odpływu w obszarze rozpatrywanych zlewni. Z rezultatów opublikowanych w pracy B6 wynika, że w latach 1986–2015, w porównaniu z poprzednim 30-leciem (1956–1985), 72% powtarzalność procesu opadu w zlewni Dunajca obniżyła się istotnie ($p = 0,0039$) o medianę 6,6%. Równocześnie, wyjątkowo wysoka, 75% powtarzalność procesu odpływu rzeczno obserwowana w latach 1961–1985, uległa w latach 1986–2015 istotnemu ($p = 0,0039$) obniżeniu o medianę równą 6,7%. Widać zatem, że w okresie 30 lat 1986–2015, powtarzalność zarówno procesu opadu jak i odpływu w badanym obszarze zlewni Dunajca obniżyła się istotnie o wartość mediany bliską 7%.

Wyniki zawarte w publikacji B7 dotyczą ciągów miesięcznych i sezonowych sum opadu z 9 posterunków rozmieszczonych w obszarze zlewni beskidzkich Skawy i Raby; ciągi te porównano dla dwóch 30-leci: 1985–2014 względem 1955–1984. Istotnie statystycznie ($p = 0,0039$) zmiany wieloletniego wzorca opadu wykryto dla 5 miesięcy i 3 sezonów. W okresie od 1985 do 2014, w stosunku do poprzedniego 30-lecia, w rozpatrywanych zlewniach nastąpił istotny wzrost mediany sum opadu w marcu (11,4 mm), maju (20,3 mm) i wrześniu (15,9 mm), a obniżenie mediany opadu w lipcu (–19,4 mm) i sierpniu (–9,0 mm). Zmiana procentowa opadu jest większa w marcu, maju i wrześniu (22,8–23,8%), a mniejsza w lipcu i sierpniu (odpowiednio: –13,5% i –7,5%). Zmiany sezonowe, będące wypadkową zmian w poszczególnych miesiącach danego sezonu, obejmują istotny wzrost mediany opadu na wiosnę (31,3 mm) i jesienią (15,6 mm), a obniżenie mediany opadu w lecie (–40,6 mm). Ponieważ łączny wzrost opadu w sezonie wiosennym i jesiennym kompensuje całkowicie

⁷⁰ Chełmicki W., Skąpski R., Soja R. (1998–1999) Reżim hydrologiczny rzek karpaccich w Polsce. W: Chełmicki W., Soja R. (Red. Hydrologia karpacka z perspektywy końca XX wieku. Folia Geographica, series Geographica-Physica, nr 29–30, ss. 67–80.

jego obniżenie w sezonie letnim, wieloletnia roczna suma opadu w zlewni Skawy i Raby nie zmieniła się istotnie w 30-leciu 1985–2014 w porównaniu z poprzednim 30-leciem.

Porównano również ciągi miesięcznych i sezonowych natężeń przepływu z 9 posterunków rozmieszczonych w zlewni Skawy i Raby; przy czym porównań dokonano dla 30-lecia 1985–2014 względem okresu poprzedniego 1961–1984. W latach 1985–2014, statystycznie istotne ($p = 0,0039$) zmiany wieloletniego wzorca odpływu dotyczą 6 miesięcy i 3 sezonów. Zmiany te obejmują wzrost mediany natężenia przepływu w maju ($1,29 \text{ m}^3/\text{s}$) i wrześniu ($1,64 \text{ m}^3/\text{s}$), a obniżenie mediany przepływu w czerwcu ($-1,02 \text{ m}^3/\text{s}$), lipcu ($-0,98 \text{ m}^3/\text{s}$), sierpniu ($-1,16 \text{ m}^3/\text{s}$) i październiku ($-0,49 \text{ m}^3/\text{s}$). Zmiana procentowa odpływu jest największa we wrześniu (42,2%), mniejsza w maju i sierpniu (odpowiednio 23,1% i -22,1%), a najmniejsza w czerwcu, lipcu i październiku (pomiędzy -14,8% i -16,8%). Zasadnicze zmiany, obejmujące istotny wzrost odpływu w maju i wrześniu a obniżenie odpływu w lipcu i sierpniu, są zgodne z kierunkiem zmian w wielkości opadu obserwowanym w tych miesiącach. Ponadto statystycznie istotne ($p = 0,0039$) obniżenie odpływu w czerwcu zgadza się co do kierunku z nieco mniej istotnym ($p = 0,0078$) obniżeniem opadu w tym miesiącu. Zmiany sezonowe, obejmujące istotny wzrost odpływu na wiosnę i jesienią a obniżenie odpływu w lecie, podobnie jak dla opadu mają charakter kompensujący, dlatego wieloletni odpływ roczny w zlewni Skawy i Raby nie zmienił się istotnie w 30-leciu 1985–2014 w porównaniu z okresem poprzednim. Równocześnie, 71% powtarzalność procesu opadu w latach 1955–1984 w zlewni Skawy i Raby, w następnym 30-leciu obniżyła się istotnie ($p = 0,0039$) o medianę 8,6%. Analogicznie, powtarzalność procesu odpływu rzeczno na poziomie 49% w latach 1961–1984, uległa w następnych 30 latach istotnemu ($p = 0,0039$) obniżeniu o medianę równą 6,2%. Zatem w okresie od 1985 do 2014 powtarzalność procesu opadu i odpływu w zlewni rzeki Skawy i Raby obniżyła się istotnie o medianę 6–9%.

Wyniki badań przedstawione w publikacjach B6 i B7 stanowią nową, istotną informację o zmianach w charakterystykach opadu orograficznego, które towarzyszą regionalnemu ociepleniu⁶⁶; wyniki te pokazują także w jakim stopniu zmiany warunków klimatycznych znalazły odzwierciedlenie w charakterystykach odpływu rzeczno w zlewni wysokogórskiej i dwóch zlewniach beskidzkich. Pomimo braku statystycznie istotnych trendów w rocznych i sezonowych ciągach średniego opadu obszarowego dla całego regionu karpackiego⁶⁶, główne rezultaty zaprezentowanych w pracach B6 i B7 analiz wskazują na zmianę wzorca opadu w okresie od 1985 do 2015 – obejmującą przesunięcie sum opadu pomiędzy kilkoma (5–6) miesiącami i obniżenie opadu w sezonie letnim – a także

kilkuprocentowe (7–9%) obniżenie wieloletniej powtarzalności procesu opadu w badanych zlewniach karpackich. Zidentyfikowane zmiany w odpływie rzeczonym nawiązują do zmian w charakterystykach opadu, przy czym wielkość zmian zależy od lokalnych warunków fizjograficznych. Zmiany w charakterystykach odpływu w okresie ostatniego 30-lecia dotyczą kilku miesięcy (3–6) i w zlewni Skawy i Raby obejmują wzrost odpływu w sezonie wiosennym i jesiennym oraz jego obniżenie w sezonie letnim. Ponadto zidentyfikowano kilkuprocentowe (6–7%) obniżenie wieloletniej powtarzalności procesu odpływu rzeczowego w zlewni Dunajca i w dwóch badanych zlewniach beskidzkich.

Zaprezentowane w B6 i B7 wyniki badań nie tylko poszerzają zakres możliwych analiz nad wpływem lokalnych (regionalnych) zmian klimatycznych na zmianę charakterystyk hydrologicznych; stwarzają także możliwość skonfrontowania rezultatów modelowania symulacyjnego i predykcji dynamiki procesów hydrologicznych w ujęciu ilościowym. Pozwoli to na poprawną weryfikację modeli symulacyjnych na podstawie realnie zaobserwowanych zmian. Oparte o dane miesięczne wyniki prac B6 i B7 mogą stanowić informację użyteczną w zarządzaniu gospodarką wodną w badanym regionie. Zmiany w charakterystykach odpływu rzeczowego, w dużej mierze spójne ze zmianami charakterystyk opadu [B6], [B7], oznaczają konieczność opracowania – adekwatnych do wykrytych zmian – strategii zarządzania dostępnymi zasobami wodnymi w rozpatrywanych zlewniach ze szczególnym uwzględnieniem potencjalnych niedoborów wody w okresie letnim. Należy również zwrócić uwagę na zaobserwowane obniżenie powtarzalności procesu opadu i odpływu [B6], [B7], które może dodatkowo utrudnić realizację założonych strategii adaptacyjnych w obszarze analizowanych zlewni karpackich.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Moja działalność naukowo-badawcza po doktoracie koncentruje się na badaniach dotyczących dynamiki procesów środowiskowych w zlewniach karpackich, przy uwzględnieniu zmian warunków klimatycznych oraz czynników antropogenicznych (zmian w pokryciu i zagospodarowaniu zlewni, budowy zbiorników retencyjnych, itp.). Podobnie jak w przypadku przedstawionego wcześniej osiągnięcia naukowego, celem tych badań jest identyfikacja czasowej i przestrzennej dynamiki zmian charakterystyk procesów fizycznych w zlewniach górskich, na obszarze Karpat. Rezultaty tych prac są ukierunkowane na wspomaganie adaptacyjnego podejścia do zarządzania zasobami wodnymi w warunkach postępującej urbanizacji i zmian klimatu. W badaniach naukowych stosuję zaawansowane, nowoczesne metody analizy procesów, w tym metody nieliniowe, diagramy rekurencyjne, analizę spektralną Fouriera i falkową, metodę dekompozycji sygnałów CEEMDAN⁷¹ (Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition with Adaptive Noise) oraz testy statystyczne parametryczne i nieparametryczne.

W latach 2013–2017, w ramach działalności statutowej Instytutu Inżynierii i Gospodarki Wodnej Politechniki Krakowskiej, prowadziłam badania naukowe w projekcie „Współczesne metody projektowania i zarządzania w inżynierii i gospodarce wodnej”, będąc kierownikiem zadania związanego z oceną zmienności przepływu rzek i potoków zlewni karpackich. Głównym celem wieloletniego tematu była charakterystyka zmian reżimu hydrologicznego rzek obszaru karpackiego w Polsce oraz weryfikacja trwałości tendencji do zmian tego reżimu. Chodziło również o zidentyfikowanie związków czasowo-przestrzennych pomiędzy zaobserwowanymi zmianami reżimu hydrologicznego a warunkami panującymi w zlewni, w celu rozpoznania i wskazania zasadniczych czynników powodujących zmianę reżimu rzek rozpatrywanych zlewni karpackich oraz określenie granic obszaru zaobserwowanych zmian. Od 2018 r. w ramach działalności statutowej Katedry Inżynierii i Gospodarki Wodnej Politechniki Krakowskiej realizuję projekt badawczy poświęcony ocenie zmienności przepływu w obszarze Małej Wisły, będąc kierownikiem tego projektu. Wyniki tego projektu zostały dotychczas opublikowane w artykule:

- **Kędra M.**, Szczepanek R. (2019) Land cover transitions and changing climate conditions in the Polish Carpathians: Assessment and management implications. Land

⁷¹ Torres M.E., Colominas M.A., Schlotthauer G., Flandrin P. (2011) A complete ensemble empirical mode decomposition with adaptive noise. IEEE ICASSP, Praque, pp. 4144-4147.

Degradation & Development, DOI: 10.1002/ldr.3291; IF (2017): **7,270**; MNiSW (2018): **50** pkt; udział 65%; cytowania (WoS): 0.

Ponadto, jako kierownik projektu badawczego w konkursie **MINIATURA 2** finansowanym przez Narodowe Centrum Nauki rozpoczęłam realizację pojedynczego działania naukowego obejmującego wyjazd na konferencję międzynarodową; termin realizacji 16.10.2018–15.10.2019.

Od 2013 roku, uzyskane wyniki badań przedstawiam corocznie na konferencjach naukowych, które są dla mnie okazją do dyskusji zagadnień badawczych w międzynarodowym gronie naukowców oraz rozwijania kontaktów z naukowcami z ośrodków naukowych w kraju i za granicą (m.in. IGiPZ PAN w Krakowie; Department of Hydrology and Climatology, Vilnius University, Litwa; National Institute of Hydrology and Water Management, Rumunia).

Po doktoracie aktywnie uczestniczyłam w 11 międzynarodowych konferencjach naukowych, prezentując wyniki moich prac badawczych w ośrodkach naukowych w kraju i za granicą w formie 12 prezentacji ustnych i 2 prezentacji posterowych:

1. International Carpatho-Balcan-Dinaric Conference on Geomorphology, Slovak Academy of Sciences, Stara Lesna, **Słowacja**, 2013; prezentacja ustna;
2. 15th Biennial Conference of the Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins ERB2014: “Advances in Hydrologic Research on Pristine, Rural and Urban Small Basins”, the Civil Engineering Department of the University of Coimbra, Coimbra, **Portugalia**, 2014; 2 prezentacje ustne;
3. International Scientific Conference: “Geomorphology and Environmental Challenges”, Slovak Academy of Sciences, Snina, **Słowacja**, 2014; prezentacja ustna;
4. 6th International Symposium on Recurrence Plots, Grenoble Institute of Technology, Grenoble, **Francja**, 2015; prezentacja ustna;
5. The World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium “WMESS 2015, Prague, **Czechy**, 2015; prezentacja ustna;
6. 16th Biennial Conference of the Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins ERB2016: “Hydrological Behaviour in Small Basins Under Changing Conditions”, National Institute of Hydrology and Water Management, Bucharest, **Rumunia**, 2016; prezentacja ustna;

7. International Conference: “Towards the Best Practice of River Restoration and Maintenance“, Cracow University of Technology, Kraków, **Polska**, 2016; prezentacja ustna;
8. International Conference Energy, Environment and Material Systems (EEMS’2017), Opole University of Technology, Polanica-Zdrój, **Polska**, 2017; prezentacja ustna i prezentacja posterowa;
9. 2nd International Conference on the Sustainable Energy and Environmental Development – SEED’17, AGH University of Science and Technology, Kraków, **Polska**, 2017; prezentacja ustna;
10. 1st International Scientific Conference: Hydrology in Natural and Anthropogenic Environments (HYDRO2018), University of Agriculture in Cracow, Kraków, **Polska**, 2018; 2 prezentacje ustne;
11. 17th Biennial Conference of the Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins ERB2018: “Innovative Monitoring Techniques and Modeling Approaches for Analysing Hydrological Processes in Small Basins”, Technical University Darmstadt, Darmstadt, **Niemcy**, 2018; prezentacja posterowa.

W 2015 roku byłam współprzewodniczącą sesji Hydro-Hydrogeological Sciences II podczas konferencji międzynarodowej: The World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium “WMESS 2015” w Czechach.

Wyniki moich prac badawczych przedstawione na konferencji międzynarodowej Energy, Environment and Material Systems (EEMS’2017) zostały opublikowane w czasopiśmie konferencyjnym E3S Web of Conferences w dwóch artykułach naukowych indeksowanych w bazie Journal Citation Reports (JCR):

- **Kędra M.** (2017) Long-term trends in river flow: a case study of the Soła River (Polish Carpathians), E3S Web of Conferences, vol. 19, art. 02012; DOI: 10.1051/e3sconf/20171902012; MNiSW (2017): 15 pkt; udział 100%; cytowania (WoS): 1;
- **Kędra M.** (2017) Long-term trends in river water temperature: a case study of the Raba River (Polish Carpathians), E3S Web of Conferences, vol. 19, 02016; DOI: 10.1051/e3sconf/20171902016; MNiSW (2017): 15 pkt; udział 100%; cytowania (WoS): 0.

Przedstawione na konferencji międzynarodowej 2nd International Conference on the Sustainable Energy and Environmental Development – SEED'17 wyniki zostały opublikowane w artykule naukowym, indeksowanym w bazie Scopus i będącym w trakcie indeksowania w bazie WoS:

- **Kędra M.** (2019) Multi-annual hydro-climatic trends in the Dunajec Basin (Polish Carpathians), IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 214, 012067; DOI: 10.1088/1755-1315/214/012067; MNiSW (2018): 15 pkt; udział 100%; cytowania (WoS): 0.

Podstawowe wskaźniki dorobku naukowego przedstawiłam w poniższej tabeli.

| Podstawowe wskaźniki bibliograficzne | | Przed doktorem | Po doktoracie | Razem |
|---|--------|----------------|---------------|---------------|
| Sumaryczny IF wg JCR (zgodnie z rokiem opublikowania), w tym zgodnie z udziałem % własnym | | - | 22,747 | 22,747 |
| | | - | 18,626 | 18,626 |
| Liczba cytowań (na dzień 18.03.2019) | WoS | - | 37 | 37 |
| | Scopus | - | 42 | 42 |
| Indeks Hirsha (na dzień 18.03.2019) | WoS | - | 4 | 4 |
| | Scopus | - | 5 | 5 |
| Suma punktów MNiSW (zgodnie z rokiem opublikowania) | | 8 | 348 | 356 |

W 2013 roku odbyłam krótki staż naukowy (4-dniowy wyjazd studialny) w Szwajcarii, w Instytucie F.-A. Forel na Uniwersytecie Genewskim, u prof. V. Slaveykovej, poświęcony zagadnieniom jakości wody w Jeziorze Genewskim oraz metodom i sprzętowi badawczemu do monitoringu jakości wody.

W ramach działalności na rzecz nauki wykonałam 11 recenzji do następujących czasopism międzynarodowych:

1. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Water Management (2014):
1 manuskrypt;
2. Springer Proceedings in Physics (2015): 1 manuskrypt;
3. Applied Mechanics and Materials (2015): 1 manuskrypt;
4. Water (Switzerland) (2017–2019): 6 manuskryptów;
5. Science of the Total Environment (2018): 1 manuskrypt;
6. River Research and Applications (2019): 1 manuskrypt.

Moja praca naukowa z lat 2016–2018 została doceniona przez **J.M. Rektora Politechniki Krakowskiej**, od którego w 2018 i 2019 roku otrzymałam nagrodę dla pracowników naukowych i naukowo-dydaktycznych za wyróżniające osiągnięcia naukowe. W 2018 roku otrzymałam również wyróżnienie w konkursie na najlepszą prezentację podczas I. Międzynarodowej Konferencji Naukowej pt. „Hydrology in Natural and Anthropogenic Environments (HYDRO2018)”, która odbyła się na Wydziale Leśnym Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.

Szczegółowy wykaz osiągnięć naukowych wraz z listą opublikowanych prac badawczych znajduje się w dołączonym do wniosku załączniku 4.

18 marca 2019

Mariola Kędra