

Wpłynęło 15.02.2017 r.
Zrecenzowano 29.05.2017 r.
Zaakceptowano 20.06.2017 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

ZMIANY TEMPERATURY WODY W PROŚNIE W LATACH 1965–2014

Mariusz PTAK¹⁾ ACDEF, Bogumił NOWAK²⁾ BDEF

- ¹⁾ Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej
²⁾ Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie

Streszczenie

Celem pracy jest analiza zmian warunków termicznych rzeki Proсны w środkowej Polsce (profil Bogusław) w ciągu ostatnich 50 lat (1965–2014). Na podstawie codziennych pomiarów temperatury prowadzonych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy stwierdzono, że średnia roczna temperatura wody rzeki Proсны uległa znacznemu ociepleniu, średnio $0,27^{\circ}\text{C}\cdot\text{dek}^{-1}$. W układzie miesięcznym najwyższy wzrost odnotowano w kwietniu – $0,46^{\circ}\text{C}\cdot\text{dek}^{-1}$. Zmiany temperatury wody były silnie uzależnione od transformacji warunków klimatycznych. Wzrost średniej rocznej temperatury powietrza w tym samym wieloleciu mierzonej na stacji Kalisz (ok. 20 km od profilu badawczego) wyniósł $0,3^{\circ}\text{C}\cdot\text{dek}^{-1}$. Tak wyraźne zmiany reżimu termicznego Proсны mają i będą miały wpływ na funkcjonowanie całego ekosystemu. Jest to dobrze widoczne, m.in. w występowaniu zjawisk lodowych, których czas trwania uległ skróceniu o $5,6\text{ dni}\cdot\text{dek}^{-1}$.

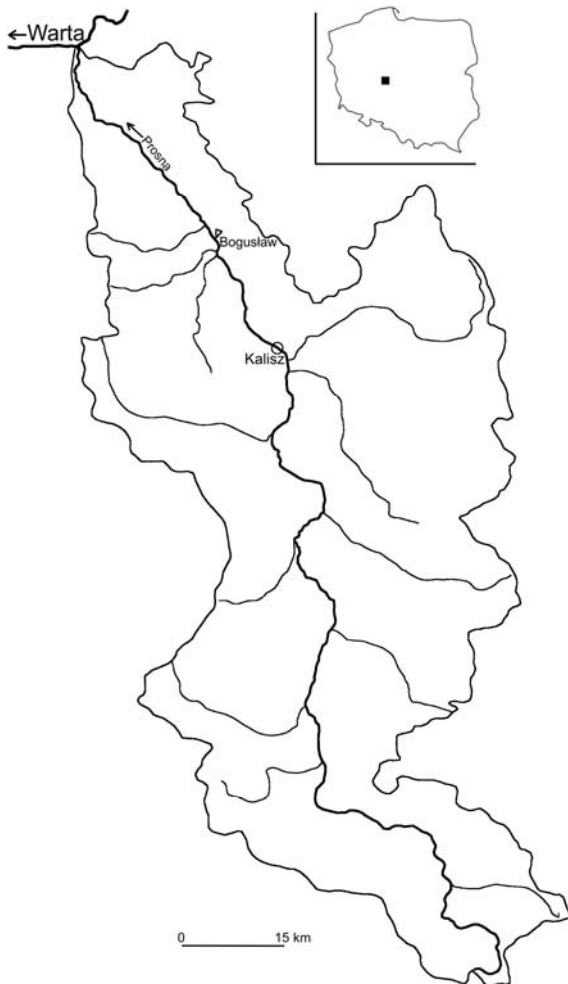
Słowa kluczowe: Proсны, rzeka, temperatura wody, zjawiska lodowe, zmiany klimatu

WSTĘP

Przemiany środowiska przyrodniczego są nierozłącznie wpisane w jego funkcjonowanie. Podłoże tych zmian, ich skala i tempo są wynikiem oddziaływania procesów naturalnych i antropogenicznych. W ciągu kilku ostatnich dziesięcioleci chętnie jest podnoszona problematyka zmian klimatycznych w odniesieniu do różnych elementów hydrosfery. Liczne opracowania dotyczą m.in. wód podziemnych [MOGAJI i in. 2013; YAGBASAN 2016], jezior [CHOIŃSKI i in. 2015; DABROWSKI i in. 2004; SKOWRON, PIASECKI 2016] oraz rzek [KWAK, IWAMI 2016; MAKHMU-

Do cytowania For citation: Ptak M., Nowak B. 2017. Zmiany temperatury wody w Prośnie w latach 1965–2014. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 17. Z. 3 (59) s. 101–112.

DOV 2016]. Temperatura wody, będąca jej podstawowym parametrem [WOOLWAY i in. 2016], ma wpływ na kształtowanie się warunków biotycznych i abiotycznych, decydując m.in. o przebiegu procesów życiowych [PEŁECHATA i in. 2015] czy jakości wody [PTAK, NOWAK 2016]. Wzrost temperatury powietrza, a w konsekwencji i temperatury wody prowadzi do zmian w cyklu obiegu wody (m.in. poprzez wzrost parowania) i wskutek tego – do ubożenia zasobów wodnych [CHOIŃSKI i in. 2016]. Jest to sytuacja szczególnie niekorzystna w odniesieniu do obszarów, na których obserwowane są niedobory wody. W Polsce strefa deficytowa obejmuje m.in. znaczną część Wielkopolski [KĘDZIORA 2008; PRZYBYŁEK, NOWAK 2011].



Rys. 1. Lokalizacja obiektu badań;
źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Location of the study object;
source: own elaboration

Jedną z głównych rzek tego regionu jest Prosna (rys. 1). Rzeka ta jest lewym dopływem Warty o długości 229 km i powierzchni zlewni 4924 km². Według KANIECKIEGO [1976] jej średni spadek wynosi 0,82‰, rzeźba zlewni jest przeobrażona przez procesy peryglacjalne, a materiał budujący terasę zalewową stanowią piaski drobno- i średnioziarniste. Typ reżimu hydrologicznego został określony jako niwalny średnio wykształcony lub niwalny mocno wykształcony – w zależności od posterunku obserwacyjnego [WRZESIŃSKI 2013]. Prosna z uwagi na jeden z najdłuższych, systematycznych ciągów obserwacji temperatury wody w Polsce stanowi dobry obiekt badawczy, służący określeniu zmian reżimu termicznego wód płynących.

Celem pracy jest analiza zmian temperatury wody w Prośnie w okresie ostatnich pięćdziesięciu lat w świetle zmian klimatycznych. Założony cel opracowania został zrealizowany w odniesieniu do zmienności średnich rocznych i miesięcz-

nych wartości temperatury. Ponadto celem pracy jest teoretyczna ocena możliwości mogących łagodzić skutki zmian klimatycznych.

METODY BADAŃ

W pracy wykorzystano dane Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB) uzyskane na posterunku Bogusław w latach 1965–2014. Zestawione informacje zawierały wartości codziennych pomiarów temperatury wody i charakterystyki zjawisk lodowych. Pomiar temperatury wody wykonywany był codziennie punktowo, na głębokości 0,4 m pod powierzchnią wody o godzinie 6:00 UTC. Obserwacje zjawisk lodowych zawierają terminy ich początku i końca. Zjawisko lodowe jest definiowane jako dowolna forma lodu w wodzie (lód brzegowy, śryż, pokrywa lodowa). Wszystkie dane hydrologiczne przedstawiono w układzie roku hydrologicznego, rozpoczynającego się 1 listopada i trwającego do 30 października roku kolejnego. W odniesieniu do danych klimatycznych wykorzystano średnie miesięczne temperatury powietrza ze stacji synoptycznej Kalisz (ok. 20 km od posterunku Bogusław) w wieloleciu zbieżnym w stosunku do prowadzonych pomiarów hydrologicznych.

Do analizy trendów w pomiarach średnich rocznych wartości temperatury wykorzystano test Manna–Kendalla. Test ten polega na określeniu nieparametrycznego współczynnika korelacji rangowej τ_b -Kendalla dla serii danych oraz serii kolejnych kroków czasowych t_i , $i = 1, \dots, n$. Współczynnik τ_b określa siłę monotonicznego związku między dwiema zmiennymi. Jego wartość określa, o ile większy jest odsetek wszystkich możliwych par obserwacji, dla których kierunek różnicy między nimi jest taki sam dla obu zmiennych, od odsetka par obserwacji, które takiej zgodności nie wykazują. Obliczany jest na podstawie statystyki S , która określa liczbę par obserwacji, charakteryzujących się zgodnymi kierunkami różnic obu analizowanych zmiennych:

$$S = \sum_{i>j} \text{sgn}(X_j - X_i) \text{sgn}(Y_j - Y_i) \quad (1)$$

gdzie:

X = zmienna 1,

Y = zmienna 2,

i = zmienna indeksująca,

j = kolejne zmienna indeksująca.

Wariancja statystyki S wyznaczana jest, z uwzględnieniem możliwości występowania rang wiązanych, wg poniższego wzoru:

$$VAR(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (2)$$

gdzie:

- t = liczba rang wiązanych (p = kolejny indeks),
- n = całkowita liczba obserwacji.

Znajomość wariancji umożliwia przybliżenie rozkładu statystyki S rozkładem normalnym, dzięki przekształceniu jej na standardowy wynik Z , wg wzoru:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}, & \text{if } S > 0 \\ 0, & \text{if } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}, & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

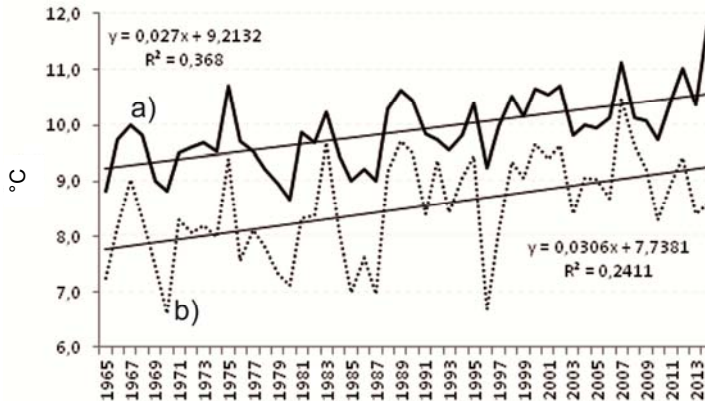
Powyższa procedura umożliwia przetestowanie hipotezy mówiącej o występowaniu monotonicznego trendu. Hipoteza zerowa zakłada brak takiego trendu, a dokładniej losowe rozmieszczenie wartości pomiarów w czasie.

WYNIKI I DISKUSJA

Średnia temperatura wody w Prośnie w latach 1965–2014 wyniosła 10,1°C. Wartość ta kwalifikuje omawianą rzekę do ciepłych, o czym zdecydowały dwa ostatnie dziesięciolecia analizowanego okresu, dla których średnia temperatura wyniosła odpowiednio 10,2 i 10,4°C. We wcześniejszych dziesięcioleciach średnie wartości temperatury wody wynosiły: 9,5, 9,6 i 9,8°C. Z prowadzonych przez pół wieku obserwacji można wywnioskować, że nastąpił znaczny wzrost średniej rocznej temperatury wody, średnio 0,27°C·dek⁻¹. W przypadku dwóch ostatnich dekad wzrost ten wynosił aż 0,38°C·dek⁻¹. Występuje bardzo silna zależność pomiędzy temperaturą wody i powietrza (współczynnik korelacji 0,84). Jak wynika z rysunku 2., rozkład obu parametrów był zbieżny względem siebie. Jedynie w nielicznych przypadkach (np. rok 1977, 1992) przebieg zmian temperatury w obu ośrodkach (powietrze, woda) był odmienny. Średnia roczna temperatura powietrza w latach 1965–2014 wzrosła o 0,3°C·dek⁻¹. Najwyższą średnią temperaturę wody odnotowano w lipcu (18,8°C), a najchłodniejszym miesiącem był styczeń (1,5°C) – rysunek 3.

Przebieg temperatury wody był zróżnicowany, lecz we wszystkich przypadkach odnotowano jej sukcesywne ocieplenie. Najwyższy wzrost temperatury nastąpił w kwietniu (0,46°C·dek⁻¹) i lipcu (0,45°C·dek⁻¹), a najmniejszy w grudniu i lutym (0,15°C·dek⁻¹).

Konsekwencją sukcesywnego wzrostu temperatury wody jest zmiana dotychczasowych procesów, zachodzących w rzece. Dobrym wskaźnikiem tych przemian



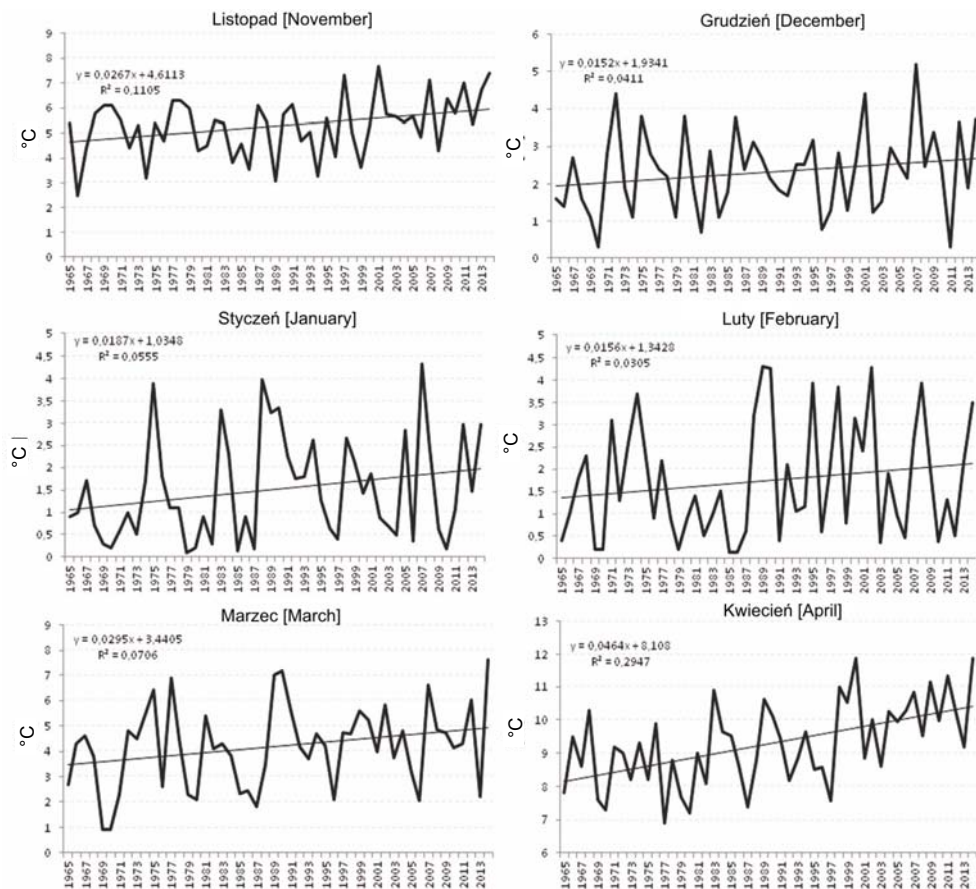
Rys. 2. Przebieg średniej rocznej temperatury wody (°C) w Prośnie w profilu Bogusław (a) i średniej rocznej temperatury powietrza na stacji meteorologicznej Kalisz (b) w latach 1965–2014; źródło: wyniki własne

Fig. 2. Course of mean annual water temperature (°C) in the Proсна River in the Bogusław profile (a), and mean annual air temperature at meteorological station Kalisz (b) in the years 1965–2014; source: own study

jest m.in. występowanie zjawisk lodowych. Powstanie lodu jest cechą charakterystyczną wód powierzchniowych w umiarkowanych i subpolarnych szerokościach geograficznych, a obecność lodu w istotny sposób zmienia funkcjonowanie ekosystemów wodnych, m.in. mieszanie wody, rozkład przepływu wody, rozpuszczanie gazów itd. [WRZESIŃSKI i in. 2015].

Średni termin pojawiania się zjawisk lodowych w latach 1965–2014 przypadał na 19 grudnia, a termin ich zaniku na 19 lutego (rys. 4). Średni czas trwania zjawisk lodowych wynosił 57 dni (rys. 5). W pierwszym dziesięcioleciu analizowanego okresu średni termin powstawania zjawisk lodowych przypadał na 17 grudnia, a w ostatnim dziesięcioleciu na 4 stycznia. W tych samych wydzieleniach czasowych termin zakończenia zjawisk lodowych w pierwszym przypadku następował średnio 21 lutego, a w drugim – 12 lutego. W ciągu ostatniego półwiecza miały miejsce zmiany w reżimie lodowym Prośnie. Nastąpiło opóźnienie terminu występowania zjawisk lodowych (średnio o 3,8 dni·dek⁻¹) i jednocześnie przyspieszenie ich zaniku (średnio 1,7 dni·dek⁻¹). W konsekwencji skróceniu uległ czas trwania zjawisk lodowych (średnio o 5,6 dni·dek⁻¹).

Uzyskane w pracy wyniki wpisują się w szeroki nurt badań, dotyczący zmian temperatury wody. ASHIZAWA i COLE [1994] odnotowali wzrost temperatury wody w rzece Hudson w latach 1920–1990 o 0,12°C·dek⁻¹. BARTHOLOW [2005] w rzece Klamath w Kalifornii stwierdził wzrost temperatury wody wynoszący 0,5°C·dek⁻¹. FERRARI i in. [2007] podają, że temperatura w rzece Fraser (Kanada) w drugiej połowie XX wieku latem wzrastała w tempie ok. 0,12°C·dek⁻¹. PRATS i in. [2007] stwierdzili, że temperatura wody w rzece Ebro (Hiszpania) w latach 1955–2000



Rys. 3. Miesięczne tendencje zmian temperatury wody Prosznice w latach 1965–2014; źródło: wyniki własne

wzrosła o $2,3^{\circ}\text{C}$. ZWEIMÜLLER i in. [2008] na podstawie obserwacji prowadzonych na Dunaju w latach 1951–2006 odnotowali wzrost temperatury wody o $0,1^{\circ}\text{C}\cdot\text{dek}^{-1}$. Obserwacje prowadzone w dorzeczu środkowej Loary w latach 1977–2008 wykazały, że nastąpił wzrost temperatury wody o $1,2^{\circ}\text{C}$ [FLOURY i in. 2012]. PTAK i in. [2016], analizując zmiany temperatury pięciu rzek w strefie przymorskiej Bałtyku, odnotowali wzrost od $0,26$ do $0,31^{\circ}\text{C}\cdot\text{dek}^{-1}$. Z kolei MARSZELEWSKI i PIUS (2016) prześledzili zmiany temperatury wody 14 rzek w Polsce w latach 1961–2010. Autorzy ci wykazali, że wody w rzekach na obszarach nizinnych cechowały się dodatnią tendencją zmian temperatury, a w rzekach zlokalizowanych w strefie przedgórskiej nie stwierdzili żadnych zmian. Również obserwacje zjawisk lodowych na Prosznice korespondują z wynikami innych prac, podejmujących to zagadnienie [DE RHAM i in. 2008; JANOWICZ 2010; JIANG i in. 2008; MAGNUSON i in. 2000; PTAK, CHOŃSKI 2016]. Generalnie można stwierdzić, że dochodzi do skrócenia czasu

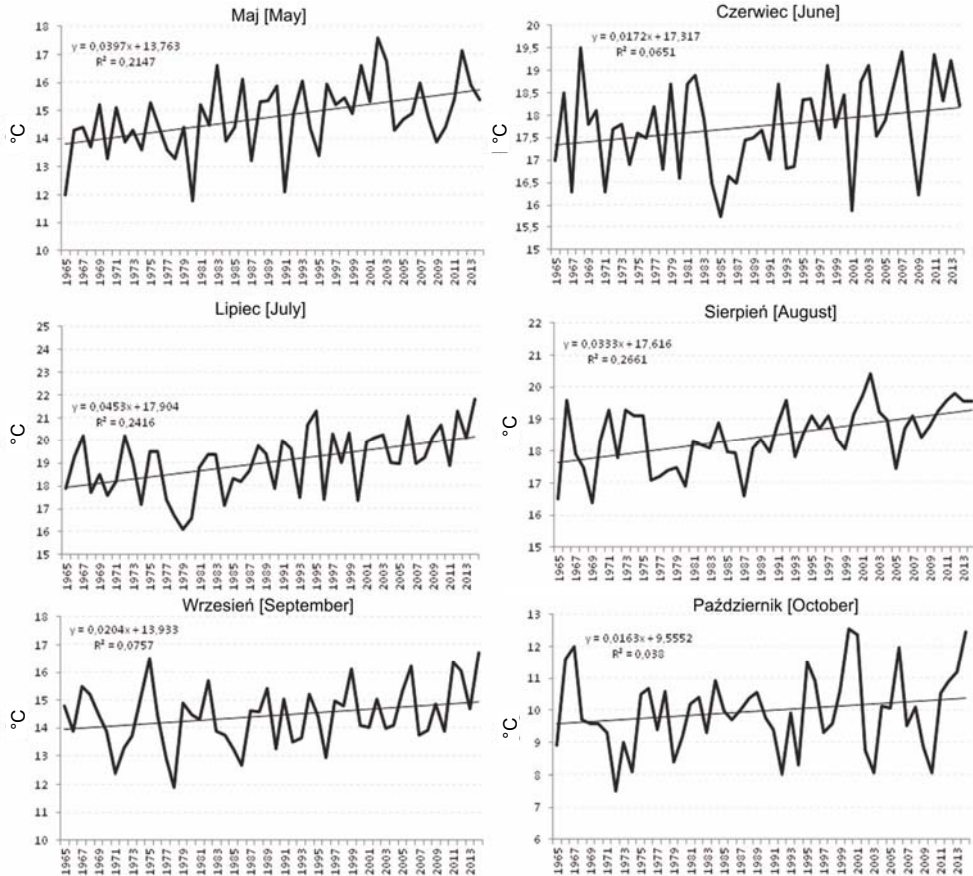
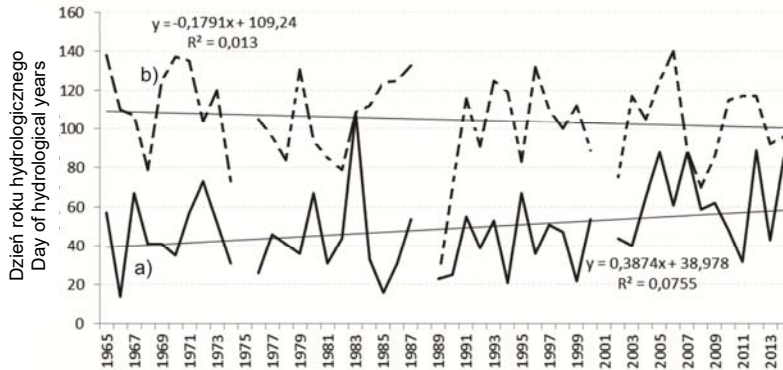


Fig. 3. Monthly tendencies of changes in water temperature in the Proсна River in the years 1965–2014; source: own study

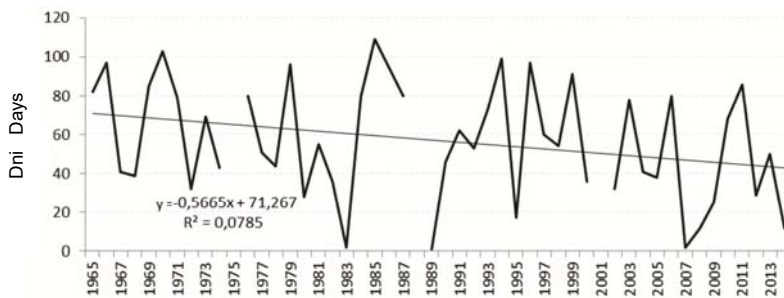
występowania zjawisk lodowych, co w przypadku omawianej rzeki można zaobserwować dwufazowo, tj. zarówno w późniejszym terminie powstawania lodu, jak i wcześniejszym terminie jego zaniku.

Przewidywany dalszy wzrost temperatury powietrza [BAK, ŁABĘDZKI 2014] będzie miał swoje konsekwencje w transformacji wielu elementów środowiska przyrodniczego. Odnotowane zmiany reżimu termicznego Proсны w kontekście funkcjonowania całego ekosystemu należy uznać za niekorzystne. Dalszy wzrost temperatury wody będzie zaburzał (w większości już przekształcone) procesy zachodzące w rzece, odnoszące się zarówno do warunków biotycznych, jak i abiotycznych. BENJAMIN i in. [2016] podkreślają, że reżim termiczny rzeki silnie wpływa na termoregulację i bioenergetykę ryb oraz harmonogram ich migracji i tarła. Z kolei AUGUSTYNOWICZ i in. [2015] stwierdzili wpływ temperatury wody w Wiśle na jej mikrobiologiczną jakość. VAN VLIET i in. [2013] przewidują, że pod ko-



Rys. 4. Terminy początku (a) i końca (b) zjawisk lodowych na Prośnie w latach 1965–2014; źródło: wyniki własne

Fig. 4. Terms of the start (a) and end of (b) ice phenomena in the Proсна River in the years 1965–2014; source: own study



Rys. 5. Czas trwania zjawisk lodowych na Prośnie w latach 1965–2014; źródło: wyniki własne

Fig. 5. Persistence of ice phenomena in the Proсна River in the years 1965–2014; source: own study

niec XXI wieku w wielu rzekach w różnych rejonach świata (w tym w Europie) dojdzie do znacznego wzrostu temperatury wody i zmniejszenia natężenia przepływu.

W ujęciu hydrobiologicznym Proсна została oceniona jako rzeka nieprzydatna do bytowania ryb karpionatych. Czynnikiem degradującym przydatność wód były m.in. azotany, fosfor ogólny, tlen rozpuszczony itd. [IOŚ... 2006]. Wzrastająca sukcesywnie temperatura wody w Prośnie będzie wpływała na dalsze pogorszenie obecnego stanu (m.in. poprzez gorsze warunki rozpuszczania gazów).

W świetle trwających zmian warunków klimatycznych, a w ich konsekwencji transformacji różnych cech hydrosfery, istotne jest wypracowanie rozwiązań, służących zmniejszeniu niekorzystnego ich oddziaływania. Optymalne są, oczywiście działania o zasięgu globalnym, np. zmniejszenie emisji CO₂. Takie podejście obecnie nie jest jednak realne z powodów ekonomicznych i prowadzoną w tym zakresie

politykę poszczególnych państw. W związku z tym rozwiązań łagodzących skutki zmian klimatycznych należy szukać na poziomie regionalnym czy lokalnym. W przypadku reżimu termicznego rzek rozwiązania takie są utożsamiane ze strefami buforowymi w strefie brzegowej w postaci obecności roślinności [PTAK 2017]. KRISTENSEN i in. [2015] analizowali temperaturę wody w pięciu potokach w Danii w okresie od czerwca 2010 do lipca 2011 roku. Przeprowadzone badania dowodzą, że nawet najkrótsze odcinki nadbrzeżnego lasu (100 m) obniżały temperaturę wody strumienia o 1°C w stosunku do temperatury wody na odcinkach otwartej przestrzeni. Na podstawie badań przeprowadzonych w Stanach Zjednoczonych JUSTICE i in. [2017] dowiedli, że połączenie zalesienia nadbrzeża i prac hydrotechnicznych umożliwiło znaczne obniżenie temperatury wody latem.

Uzyskane wyniki dla Proсны wskazują jednoznacznie na wyraźne zmiany reżimu termicznego tej rzeki. Jednocześnie stanowią punkt wyjścia do podjęcia bardziej szczegółowych opracowań, dotyczących chociażby wpływu wzrostu temperatury wody na warunki odpływu wody ze zlewni, jakości wody itd. Szybki wzrost temperatury wody obliguje ponadto do wdrożenia działań, wpływających na spowolnienie tego niekorzystnego procesu. Realizacja takiej koncepcji mogłaby się opierać np. na rozwiązaniach przytaczanych w pracy i polegających na odpowiednim zagospodarowaniu brzegów koryt rzecznych. Uzyskanie konsensusu w tej sprawie wymaga zaangażowania działań interdyscyplinarnych na wielu płaszczyznach, obejmujących nie tylko podejście czysto naukowe, ale i administracyjno-prawne.

WNIOSKI

1. W ciągu ostatniego półwiecza odnotowano znaczny wzrost średniej rocznej temperatury wody w Prośnie – $0,27^{\circ}\text{C}\cdot\text{dek}^{-1}$.

2. W układzie miesięcznym największe zmiany odnotowano w kwietniu ($0,46^{\circ}\text{C}\cdot\text{dek}^{-1}$) i lipcu ($0,45^{\circ}\text{C}\cdot\text{dek}^{-1}$).

3. Zmiany temperatury wody były silnie uzależnione od zmian warunków klimatycznych. Wzrost średniej rocznej temperatury powietrza na pobliskiej stacji synoptycznej w Kaliszu był równy $0,3^{\circ}\text{C}\cdot\text{dek}^{-1}$.

4. Odnotowane zmiany reżimu termicznego rzeki Proсны mają wpływ na procesy w niej zachodzące. Potwierdzeniem tego jest m.in. znaczne skrócenie czasu trwania zjawisk lodowych – $5,6\text{ dni}\cdot\text{dek}^{-1}$.

BIBLIOGRAFIA

- ASHIZAWA D., COLE J.J. 1994. Long-term temperature trends of the Hudson River: A study of the historical data. *Estuaries*. Vol. 17. Iss. 1 s. 166–171.
- AUGUSTYNOWICZ J., NIEREBIŃSKI M., ZAWADA M., ZIELONKA D., RUSSEL S. 2015. Wpływ podstawowych parametrów fizykochemicznych na mikrobiologiczną jakość wody na wybranym

- odeinku Wisły [The effect of basic physical and chemical parameters on microbiological water quality in a selected section of the Vistula River]. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 15. Z. 1 (49) s. 5–15.
- BARTHOLOW J.M. 2005. Recent water temperature trends in the lower Klamath River. California. *North American Journal of Fisheries Management*. Vol. 25. Iss. 1 s. 152–162.
- BAK B., ŁABĘDZKI L. 2014. Thermal conditions in Bydgoszcz region in growing seasons 2011–2050 in view of expected climate change. *Journal of Water and Land Development*. Vol. 23 s. 21–29.
- BENJAMIN J.R., HELTZEL J.M., DUNHAM J.B., HECK M., BANISH N. 2016. Thermal regimes, nonnative trout, and their influences on native bull trout in the upper Klamath River Basin, Oregon. *Transactions of the American Fisheries Society*. Vol. 145. Iss. 6 s. 1318–1330.
- CHOIŃSKI A., ŁAWNICZAK A., PTAK M. 2016. Changes in water resources of Polish lakes as influenced by natural and anthropogenic factors. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 25. Iss. 5 s. 1883–1890.
- CHOIŃSKI A., PTAK M., SKOWRON R., STRZELCZAK A. 2015. Changes in ice phenology on Polish lakes from 1961–2010 related to location and morphometry. *Limnologia*. Vol. 53 s. 42–49.
- DABROWSKI M., MARSZELEWSKI W., SKOWRON R. 2004. The trends and dependencies between air and water temperatures in lakes in northern Poland from 1961–2000. *Hydrology and Earth System Sciences*. Vol. 8. Iss. 1 s. 79–87.
- DE RHAM L.P., PROWSE T.D., BONSAI B.R. 2008. Temporal variations in river-ice break-up over the Mackenzie River Basin, Canada. *Journal of Hydrology*. Vol. 349. Iss. 3–4 s. 441–454.
- FERRARI M.R., MILLER J.R., RUSSELL G.L. 2007. Modeling changes in summer temperature of the Fraser River during the next century. *Journal of Hydrology*. Vol. 342. Iss. 3–4 s. 336–346.
- FLOURY M., DELATTRE C., ORMEROD S.J., SOUCHON Y. 2012. Global versus local change effects on a large European River. *Science of the Total Environment*. Vol. 441 s. 220–229.
- IOŚ 2006. Raport o stanie środowiska w Wielkopolsce w roku 2005 [Report on the state of the environment in Wielkopolska in 2005]. *Biblioteka Monitoringu Środowiska*. Poznań ss. 207.
- JANOWICZ J.R. 2010. Observed trends in the river ice regimes of northwest Canada. *Hydrology Research*. Vol. 41. Iss. 6 s. 462–470.
- JIANG Y., DONG, W., YANG S., MA J. 2008. Long-term changes in ice phenology of the Yellow River in the past decade. *Journal of Climate*. Vol. 21. Iss. 18 s. 4879–4886.
- JUSTICE C., WHITE S.M., MCCULLOUGH D.A., GRAVES D.S., BLANCHARD M.R. 2017. Can stream and riparian restoration offset climate change impacts to salmon populations? *Journal of Environmental Management*. Vol. 188 s. 212–227.
- KANIECKI A. 1976. Dynamika rzeki w świetle osadów trzech wybranych odcinków Prosną [River dynamics in the light of sediments of three selected sections of Proсна]. *Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej – Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk*. PWN. Warszawa–Poznań. ISSN 0137-9771 ss. 100.
- KĘDZIARA A. 2008. Bilans wodny krajobrazu konińskich kopalni odkrywkowych w zmieniających się warunkach klimatycznych [Water balance of Konin strip mine landscape in changing climatic conditions]. *Roczniki Gleboznawcze*. T. 59. Z. 2 s. 104–118.
- KRISTENSEN P.B., KRISTENSEN E.A., RIIS T., ALNOE A.B., LARSEN S.E., VERDONSCHOT P.F.M., BATTRUP-PEDERSEN A. 2015. Riparian forest as a management tool for moderating future thermal conditions of lowland temperate streams. *Inland Waters*. Vol. 5. Iss. 1 s. 27–38.
- KWAK Y., IWAMI Y. 2016. Rapid global exposure assessment for extreme river flood risk under climate change. *Journal of Disaster Research*. Vol. 11. Iss. 6 s. 1128–1136.
- MAGNUSON J.J., ROBERTSON D.M., BENSON B.J., WYNNE R.H., LIVINGSTONE D.M., ARAI T., ASSEL R.A., BARRY R.G., CARD V., KUUSISTO E., GRANIN N.G., PROWSE T.D., STEWART K.M., VUGLINSKI V.S. 2000. Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere. *Science*. Vol. 289. Iss. 5485 s. 1743–1746.

- MAKHMUDOV R.N. 2016. Regional climate changes and river runoff in Azerbaijan. *Russian Meteorology and Hydrology*. Vol. 41. Iss. 9 s. 635–639.
- MARSZELEWSKI W., PIUS B. 2016. Long-term changes in temperature of river waters in the transitional zone of the temperate climate: A case study of Polish rivers. *Hydrological Sciences Journal*. Vol. 61. Iss. 8 s. 1430–1442.
- MOGAJI K.A., LIM H.S., ABDULLAH K. 2013. Regional modeling of climate change impacts on groundwater resources sustainability in peninsular Malaysia. *Modern Applied Science*. Vol. 7. Iss. 5 s. 72–97.
- PELECHATA A., PELECHATY M., PUKACZ A. 2015. Winter temperature and shifts in phytoplankton assemblages in a small Chara-lake. *Aquatic Botany*. Vol. 124 s. 10–18.
- PRATS J., VAL R., ARMENGOL J., DOLZ J. 2007. A methodological approach to the reconstruction of the 1949–2000 water temperature series in the Ebro River at Escatrón. *Limnetica*. Vol. 26. Iss. 2 s. 293–306.
- PRZYBYLEK J., NOWAK B. 2011. Wpływ niżówek hydrogeologicznych i odwodnień górniczych na systemy wodonośne Pojezierza Gnieźnieńskiego [Impact of hydrogeological low flows and groundwater drainage by lignite open cast mine on aquifer systems of Gniezno Lakeland]. *Biuletyn PIG*. Nr 445. Ser. Hydrogeologia. Z. 12/2 s. 513–527.
- PTAK M. 2017. Wpływ zalesienia zlewni na temperaturę wody w rzece [Effects of catchment area forestation on the temperature of river waters]. *Leśne Prace Badawcze*. T. 78. Z. 3 s. 251–256.
- PTAK M., CHOIŃSKI A. 2016. Ice phenomena in rivers of the coastal zone (Southern Baltic) in the years 1956–2015. *Baltic Coastal Zone*. Vol. 20 s. 73–83.
- PTAK M., CHOIŃSKI A., KIRVIEL J. 2016. Long-term water temperature fluctuations in coastal rivers (Southern Baltic) in Poland. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*. Vol. 11 s. 35–42.
- PTAK M., NOWAK B. 2016. Variability of oxygen-thermal conditions in selected lakes in Poland. *Ecological Chemistry and Engineering S*. Vol. 23. Iss. 4 s. 639–650.
- SKOWRON R., PIASECKI A. 2016. Dynamics of the daily course of water temperature in Polish lakes. *Journal of Water and Land Development*. No. 31 s. 149–156.
- VAN VLIET M.T.H., FRANSSEN W.H.P., YEARSLEY J.R., LUDWIG F., HADDELAND I., LETTENMAIER D.P., KABAT P. 2013. Global river discharge and water temperature under climate change. *Global Environmental Change*. Vol. 23. Iss. 2 s. 450–464.
- WOOLWAY R.I., JONES I.D., MABERLY S.C., FRENCH J.R., LIVINGSTONE D.M., MONTEITH D.T., SIMPSON G.L., THACKERAY S.J., ANDERSEN M.R., BATTARBEE R.W., DEGASPERI C.L., EVANS C.D., EYTO E.D., FEUCHTMAYR H., HAMILTON D.P., KERNAN M., KROKOWSKI J., RIMMER A., ROSE K.C., RUSAK J.A., RYVES D.B., SCOTT D.R., SHILLAND E.M., SMYTH R.L., STAEHR P.A., THOMAS R., WALDRON S., WEYHENMEYER G.A. 2016. Diel surface temperature range scales with lake size. *PLoS ONE*. 11. 3. Article number e0152466.
- WRZEŚIŃSKI D. 2013. Entropia odpływu rzek w Polsce [Entropy of the outflow of rivers in Poland]. Poznań. Bogucki Wydaw. Nauk. ISBN 9788363400811 ss. 204.
- WRZEŚIŃSKI D., CHOIŃSKI A., PTAK M., SKOWRON R. 2015. Effect of the North Atlantic Oscillation on the pattern of lake ice phenology in Poland. *Acta Geophysica*. Vol. 63. Iss. 6 s. 1664–1684.
- YAGBASAN O. 2016. Impacts of climate change on groundwater recharge in Küçük Menderes River Basin in Western Turkey. *Geodinamica Acta*. Vol. 28. Iss. 3 s. 209–222.
- ZWEIMÜLLER I., ZESSNER M., HEIN T. 2008. Effects of climate change on nitrate loads in a large river: The Austrian Danube as ex ample. *Hydrological Processes*. Vol. 22. Iss. 7 s. 1022–1036.

Mariusz PTAK, Bogumił NOWAK

CHANGES IN WATER TEMPERATURE IN PROSNA RIVER IN 1965–2014

Key words: *climate change, ice phenomena, Prosna River, rivers, water temperature*

S u m m a r y

The objective of the paper is the analysis of changes in the thermal conditions of the Prosna River in central Poland (station Bogusław) over the last 50 years (1965–2014). Based on daily temperature measurements performed by the Institute of Meteorology and Water Management – National Research Institute, it was determined that the mean annual water temperature in the analysed river considerably increased by an average of $0.27^{\circ}\text{C}\cdot\text{decade}^{-1}$. In monthly distribution, the highest increase was recorded in April. It amounted to $0.46^{\circ}\text{C}\cdot\text{decade}^{-1}$. Changes in water temperature were strongly dependent on the transformation of climatic conditions. An increase in the annual air temperature in the analogical multiannual for station Kalisz (about 20 km from the research site) amounted to $0.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{decade}^{-1}$. Such evident changes in the thermal regime of the Prosna Regime have and will have an effect on the functioning of the entire ecosystem. It is clearly visible among others in the occurrence of ice phenomena the persistence of which decreased by $5.6\text{ day}\cdot\text{decade}^{-1}$.

Adres do korespondencji: dr Mariusz Ptak, Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej, ul. B. Krygowskiego 10, 61-680 Poznań; e-mail: ptakm@amu.edu.pl

