

Łukasz WIEJACZKA

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN
Institute of Geography and Spatial Organization, Polish Academy of Sciences

Wpływ zbiornika retencyjnego na relacje między temperaturą wody w rzece a temperaturą powietrza

Influence of storage reservoir on the relations between the temperature of water in the river and the air temperature

Słowa kluczowe: temperatura wody, temperatura powietrza, continuum rzeki, zbiornik Klimkówka, Ropa

Key words: water temperature, air temperature, river continuum, the Klimkówka reservoir, Ropa River

Wprowadzenie

Temperatura wody jest głównym regulatorem życia biologicznego oraz wszelakich procesów zachodzących w środowisku wód płynących (Allan 1998) i odgrywa zasadniczą rolę w badaniach nad wpływem potencjalnych zmian klimatycznych na ekosystemy wodne cieków (Mohseni i in. 1999). Szczególnie niebezpieczny w tym kontekście jest wzrost temperatury wody, który wywołuje bezpośrednio lub pośrednio różnorodne zmiany w biocenozach wodnych (Allan 1998). W naturalnych warunkach

zasadniczym czynnikiem kształtującym ustrój termiczny rzek w ciągu roku są warunki meteorologiczne, a w szczególności temperatura powietrza (Erickson i Stefan 2000). Według Edingera i innych (1968), właściwości termiczne wody w rzece zmieniają się na skutek wymiany ciepła między wodą a otoczeniem do momentu uzyskania tzw. equilibrium temperature, czyli hipotetycznej temperatury wody, przy której brak jest wymiany ciepła między wodą a powietrzem. Woda wypływająca na powierzchnię ziemi w odcinku źródłowym rzeki o temperaturze ukształtowanej przez warunki termiczne gruntu jest poddawana działaniom czynników atmosferycznych, które przejmują kontrolę nad procesami termicznymi w rzece. Wraz z odległością od źródła zaznacza się wzrost temperatury wody w rzece, której wartości zbliżają się wyraźnie do wartości średniej temperatury powietrza danego okresu

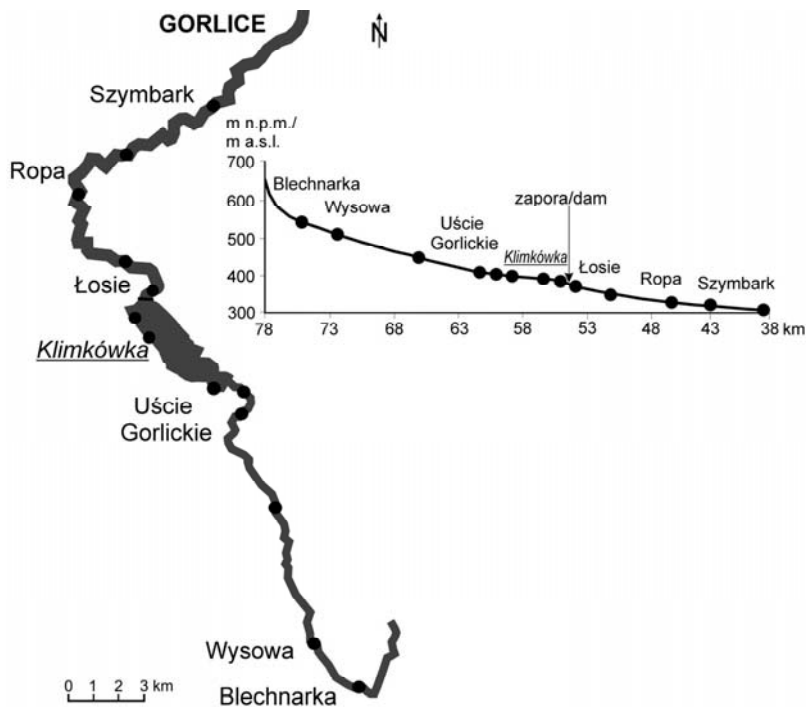
dla rozpatrywanego obszaru. Im większy przepływ, tym temperatura wody rzecznej wolniej ulega zmianom wraz z biegiem rzeki (Mohseni i in. 1999). W rzekach o zwiększonym zasilaniu podziemnym wpływ temperatury powietrza na temperaturę wody może być osłabiony. Temperatura wód podziemnych jest naturalnym czynnikiem zakłócającym relacje temperatura wody – temperatura powietrza (Bogan i in. 2003, O’Driscoll i DeWalle 2006).

Do antropogenicznych przyczyn zaburzeń w relacjach między temperaturą wody rzecznej a temperaturą powietrza, oprócz dostawy ścieków na obszarach zurbanizowanych, należy zaliczyć zbiorniki retencyjne. Ustrój termiczny rzeki zostaje istotnie zmieniony na skutek kształtowania się w zbiorniku w ciągu roku stratyfikacji termicznej, która powoduje zmiany temperatury wody w rzece poniżej jego lokalizacji. Szczególnie rozwiniętym cyklem termicznym charakteryzują się zbiorniki retencyjne w strefie klimatu umiarkowanego, ponieważ latem obserwuje się w nich uwarstwienie proste, zimą odwrócone, natomiast wiosną i jesienią cechuje je stan homotermii.

W badaniach zależności między temperaturą wody w ciekach a temperaturą powietrza powszechnie stosuje się modele regresji liniowej (m.in. Johnson 1971, Webb 1987, Stefan i Preud’homme 1993, Pilgrim i in. 1998). Regresja liniowa pozwala m.in. na oszacowanie wartości temperatury wody w rzece w warunkach podwyższonej temperatury powietrza, spowodowanej potencjalnymi zmianami klimatycznymi, oraz określenie zasięgu zasilania podziemnego, jak również jego wpływu na warunki

termiczne rzeki. Mohseni i inni (1999) uważają, że modele regresji można stosować do ekstrapolacji zmian temperatury wody na podstawie zmian temperatury powietrza tylko dla wartości między 0 a 20°C. Wyrazem siły związku łączącego temperaturę wody i temperaturę powietrza są wartości współczynnika korelacji. Zastosowanie metody korelacji (i regresji liniowej) do badań powiązań między dwiema zmiennymi wymaga dysponowania dużą liczbą danych. Stąd w badaniach zależności temperatury wody rzek od temperatury powietrza ważną rolę odgrywają długoletnie serie pomiarowe, pozwalające na przedstawienie wiarygodnych wyników. Przykładem może być praca autora (Wiejaczka 2007a), w której wykazano m.in. osłabienie relacji między temperaturą wody w rzece Ropie (Beskid Niski) a temperaturą powietrza w okresie lata oraz wzmocnienie wzajemnych zależności w okresie zimy, po uruchomieniu zbiornika retencyjnego Klimkówka. W opracowaniu tym wykorzystano 25-letni cykl pomiarów prowadzonych na Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Symbarku koło Gorlic na długo przed powstaniem zbiornika, oraz po jego powstaniu.

Zbiornik Klimkówka na rzece Ropie został uruchomiony w 1994 roku. Zlokalizowany jest w środkowej części polskich Karpat, około 20 km na południe od Gorlic (rys. 1). Zapora zbiornika wysokości 33 m umiejscowiona jest w 54,4 km biegu rzeki. Całkowita pojemność zbiornika wynosi 43,5 mln m³, a jego powierzchnia przy maksymalnym piętrzeniu 398,6 m n.p.m. przekracza 3 km². Maksymalna głębokość zbiornika sięga około 30 m. Przepływ wody przez



RYSUNEK 1. Obszar badań oraz lokalizacja stanowisk pomiarowych
 FIGURE 1. Area of the research and location of measurement positions

zaporę zbiornika poza okresami wezbrań zachodzi za pomocą dwóch spustów dennych. Odpływ wyrównany ze zbiornika wynosi $2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Głównym zadaniem zbiornika jest wyrównywanie niskich przepływów rzeki oraz ochrona przeciwpowodziowa.

Uruchomienie zbiornika Klimkówka na Ropie spowodowało istotne zmiany w ustroju termicznym rzeki. Zaistniałe zmiany zostały przeanalizowane na podstawie długoletniej serii pomiarowej temperatury wody Ropy prowadzonej przez Stację Naukową IGiPZ PAN w Szymbarku, w profilu pomiarowym zlokalizowanym około 16 km poniżej zapory wodnej (Wiejaczka 2007b). Temperatura wody rzecznej w okresie lata bardzo wyraźnie spadła, a zimą nieznacznie

wzrosła w stosunku do warunków niezaburzonych działalnością zbiornika. Potwierdzeniem zauważonych zmian termicznych może być porównanie średnich miesięcznych wartości temperatury wody Ropy w Szymbarku z okresu przed powstaniem zbiornika (1982–1993) z okresem po jego uruchomieniu (1994–2006). Z przeprowadzonej analizy wynika, iż w miesiącach od października do marca w latach 1994–2006, w porównaniu z latami poprzednimi, obserwuje się wzrost średniej miesięcznej temperatury, kształtujący się od $0,5^\circ\text{C}$ (luty) do $1,3^\circ\text{C}$ (listopad, grudzień), natomiast od kwietnia do września temperatura wody uległa spadkowi od $0,2^\circ\text{C}$ (wrzesień) do $2,4^\circ\text{C}$ (maj).

Pomimo iż zaburzenia w naturalnych relacjach między temperaturą rzeki Ropy i temperaturą powietrza w okresie po powstaniu zbiornika Klimkówka zostały udokumentowane w opracowaniu autora (Wiejaczka 2007a), to przedstawione zmiany są przypisane wyłącznie do profilu pomiarowego zlokalizowanego 16 km poniżej zapory wodnej. Ponieważ wpływ zbiornika na ustrój termiczny rzeki Ropy maleje wraz z odległością od zapory, należy więc przypuszczać, że zmiany w relacjach między temperaturą wody i temperaturą powietrza spowodowane funkcjonowaniem zbiornika będą również ulegać transformacji w profilu podłużnym rzeki.

Cel i metodyka badań

Celem opracowania jest prezentacja naturalnych zmian temperatury wody rzeki Ropy zachodzących wraz z jej biegiem pod wpływem temperatury powietrza oraz wykazanie zaburzeń w relacjach temperatura wody – temperatura powietrza, występujących w profilu podłużnym rzeki, spowodowanych funkcjonowaniem zbiornika Klimkówka. Przedstawione wyniki obrazują rolę zbiornika retencyjnego w przerwaniu termicznego continuum rzeki.

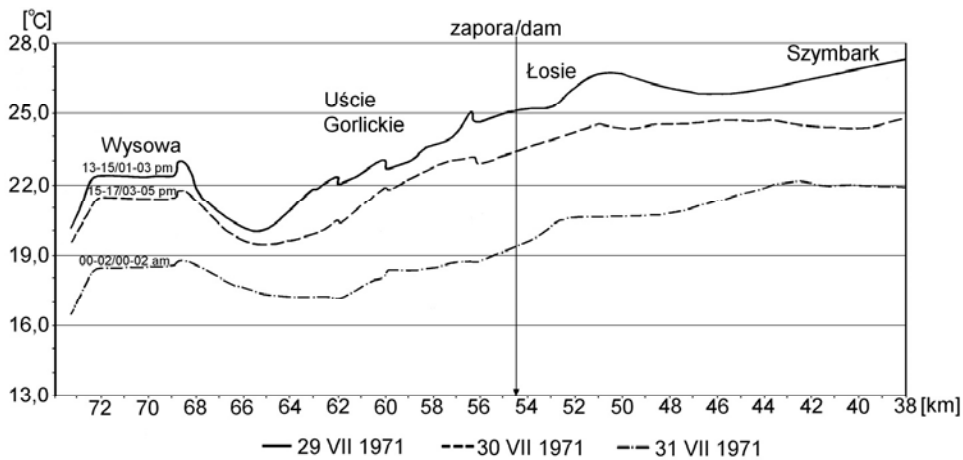
Badania temperatury rzeki Ropy oraz powietrza przeprowadzono w wybrane dni 2010 roku w różnych sezonach (lato, jesień, zima) oraz porach dnia (rano i popołudnie), w czasie zróżnicowanych warunków termicznych powietrza, na odcinku między Blechnarką (obszar źródłowy) a Szymbarkiem, długości około 40 km (rys. 1). Pomiary wykonano w 5 stanowiskach zlokalizowanych na

rzece powyżej zbiornika oraz 5 stanowiskach umiejscowionych na rzece poniżej zbiornika. Dodatkowo wykonano pomiar na trzech stanowiskach w obrębie samego zbiornika Klimkówka (przy lewym brzegu). Pomiaru temperatury wody dokonywano za pomocą czujnika temperatury pehametru terenowego, natomiast do pomiaru temperatury powietrza wykorzystano zwykły termometr ręciovowy w odległości kilku, kilkunastu metrów od rzeki, na wysokości około 1,5 m nad ziemią.

Wyniki badań

Podłużny profil termiczny Ropy niezakłócony funkcjonowaniem zbiornika Klimkówka

Dynamikę temperatury wody w Ropie w profilu podłużnym rzeki od Wysowej do Szymbarku w warunkach naturalnych (przed budową zbiornika Klimkówka) przedstawił Soja (1973), który w okresie lata wykonał na tym odcinku rzeki podłużne profile termiczne (rys. 2). Przedstawione profile termiczne Ropy wykonane w 1971 roku w dniach: 29 lipca (godz. 13–15), 30 lipca (godz. 15–16:30 przy całkowitym zachmurzeniu) oraz 31 lipca (godz. 00–02), pokazują, że temperatura wody w całym profilu podłużnym od Wysowej po Szymbark wykazuje tendencję rosnącą, niezależnie od panujących warunków atmosferycznych. Największy wzrost temperatury wody Ropy, zachodzący wraz z odległością od źródła, zaobserwowano w czasie bezchmurnej pogody przy największym natężeniu promieniowania słonecznego oraz maksymalnych dobowych wartościach temperatury powietrza (około 30°C wzdłuż



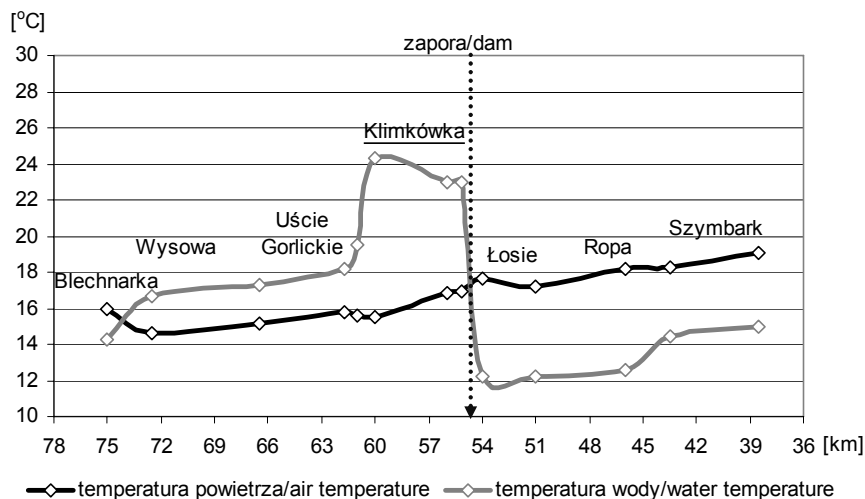
RYSUNEK 2. Podłużne profile termiczne Ropy
 FIGURE 2. Longitudinal thermal profiles of the Ropa River

całego profilu), kiedy to różnica między temperaturą wody na początku i na końcu profilu pomiarowego wyniosła 8°C. Zasadniczym czynnikiem kształtującym temperaturę rzeki na całym rozpatrywanym odcinku jest temperatura powietrza. Wyjątek stanowi 2-kilometrowy odcinek biegu rzeki, na którym wyraźnie zaznacza się spadek temperatury wody w rzece spowodowany infiltracją wody w żwir między 13 a 15 km biegu rzeki, a następnie wypływem schłodzonej wody oraz wysoką roślinnością brzegową, zacieniającą koryto.

Podłużne profile termiczne Ropy zakłócone funkcjonowaniem zbiornika Klimkówka

Pomiar w dniu 16 lipca 2010 roku w godzinach 04–06:30. Pomiar temperatury wody w Ropie wykonany w profilu podłużnym rzeki w okresie lata oraz temperatury powietrza – we wczesnych godzinach porannych w czasie minimalnych dobowych wartości temperatury

powietrza (rys. 3) wskazuje, że w pierwszym stanowisku pomiarowym w Blechnarce temperatura wody była niższa o 1,7°C od temperatury powietrza, ponieważ w obszarze źródłiskowym rzeki jej temperatura jest kształtowana przez dopływające wody podziemne. Dalej, wraz z biegiem rzeki, zaznaczał się większy wpływ temperatury powietrza, a relacje między temperaturą wody w Ropie a temperaturą powietrza można uznać za wprost proporcjonalne. Wzrostowi temperatury powietrza towarzyszył adekwatny wzrost temperatury wody w rzece, a różnice między wartościami badanych zmiennych sięgały 2,1–2,4°C. Temperatura wody wykazywała większe wartości aniżeli temperatura powietrza, ponieważ woda jako słaby przewodnik ciepła wolniej się ogrzewa w ciągu dnia, ale również wolniej ochładza nocą w stosunku do temperatury powietrza. W Ropie tuż powyżej cofki zbiornika różnice między wartościami temperatury badanych zmiennych wynosiły do 3,9°C.



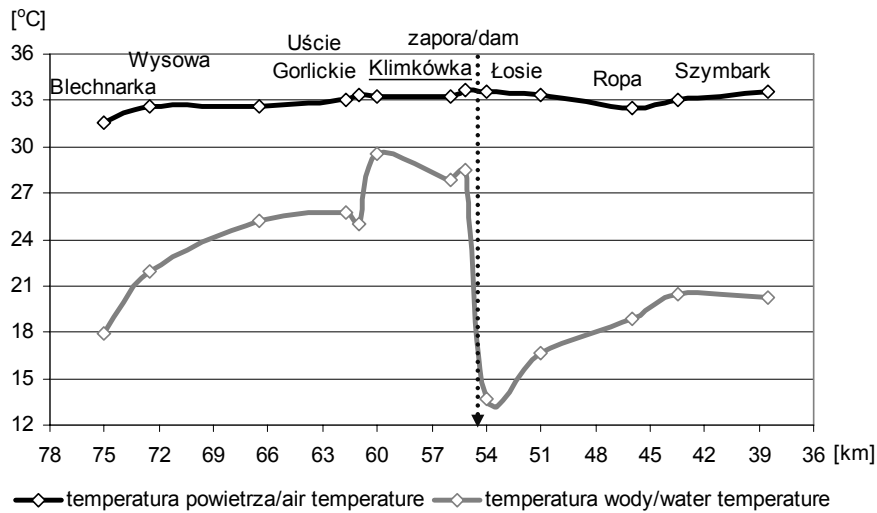
RYSUNEK 3. Podłużne profile termiczne wykonane w dniu 16.07.2010 roku w godz. 04–06:30
 FIGURE 3. Longitudinal thermal profiles made in 16 July 2010, 04–06:30 am

Powierzchniowa warstwa wody zbiornika odznaczała się bardzo dużymi wartościami temperatury (23–24°C), co było efektem jej nagrzewania się w ciągu kilku poprzednich dób, w czasie których temperatura powietrza w ciągu dnia przekraczała 30°C. Ponieważ pomiaru dokonywano w płytkich, przybrzegowych częściach akwenu, które są szczególnie podatne na nagrzanie, można więc założyć, że w bardziej oddalonych od brzegu partiach zbiornika temperatura wody powierzchniowej mogła być nieco niższa. Odnotowana temperatura wody w zbiorniku była o 6,1–8,8°C wyższa od temperatury powietrza.

Na odcinku rzeki zlokalizowanym poniżej zapory wodnej zaobserwowano odwrotną sytuację niż powyżej zbiornika. Temperatura wody była znacznie niższa aniżeli temperatura powietrza, która stopniowo rosła wraz z biegiem rzeki. Temperatura wody wypływającej ze zbiornika (z warstwy przydennej) była o 7,3°C niższa w stosunku do tempera-

tury wody wpływającej. Zbiornik Klimkówka przerwał termiczne continuum rzeki. Poniżej zapory, wraz z biegiem rzeki, zaznaczał się stopniowy wpływ temperatury powietrza na temperaturę wody, a badane relacje były wprost proporcjonalne. Jednak różnica między wartościami temperatury była znacznie większa aniżeli powyżej zbiornika i zamykała się w przedziale 3,9–5,6°C.

Pomiar w dniu 16 lipca 2010 w godzinach 14:30–16:30. Badania temperatury Ropy oraz powietrza wykonane w okresie lata w godzinach popołudniowych, w czasie maksymalnych dobowych wartości temperatury powietrza (rys. 4), wykazały słabą dynamikę temperatury powietrza w całym rozpatrywanym profilu, pomimo że jej wartości były bardzo duże (31,6–33,7°C). Temperatura wody w Ropie odznaczała się z kolei dużą dynamiką, a jej wartości były wyraźnie mniejsze od temperatury powietrza. Powyżej zbiornika między Blechnarką a Uściem Gorlickim



RYSUNEK 4. Podłużne profile termiczne wykonane w dniu 16.07.2010 roku w godz. 14:30–16:30
 FIGURE 4. Longitudinal thermal profiles made in 16 July 2010, 02:30–04:30 pm

temperatura wody w rzece bardzo szybko wzrastała – z 17,9 do 25,7°C, za sprawą dużej wartości temperatury powietrza. W przypowierzchniowej warstwie zbiornika Klimkówka (pomiar wykonany przy brzegu) temperatura wody osiągnęła jeszcze większe wartości (największe z notowanych do tej pory w zbiorniku), wahające się między 27,9 a 29,6°C. Różnica między temperaturą wody rzecznej powyżej zbiornika a temperaturą powietrza na poszczególnych stanowiskach pomiarowych wynosiła 7,3–13,7°C, natomiast między temperaturą wody w zbiorniku a powietrzem była znacznie mniejsza – 3,6–5,4°C.

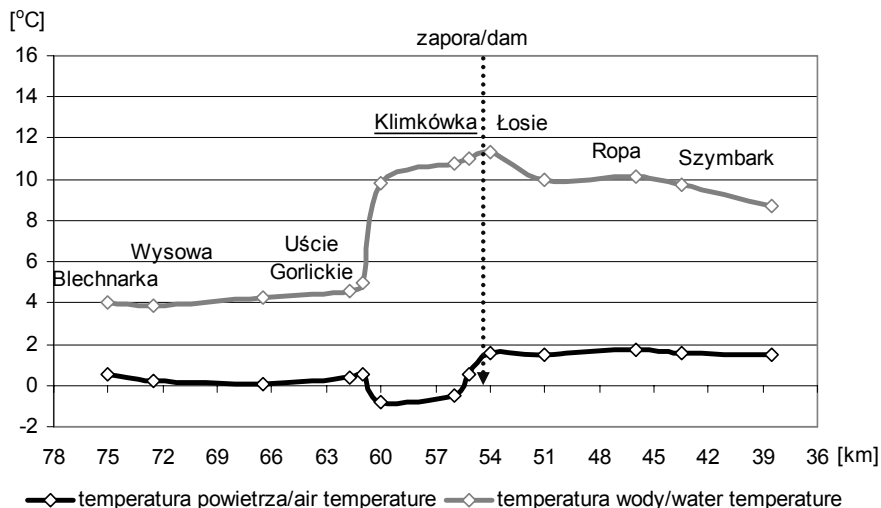
Temperatura wody wypływającej ze zbiornika (13,7°C) była o 11,3°C niższa w stosunku do temperatury wody wpływającej i aż o 14,8°C niższa od temperatury wody w warstwie powierzchniowej zbiornika. Wynika to z wykształcenia się w zbiorniku Klimkówka w okresie lata

stratyfikacji termicznej, w której wyraźnie cieplejsza woda stagnuje w przypowierzchniowej warstwie, a chłodniejsza w przydennej. Występowanie stratyfikacji termicznej w okresie lata w zbiorniku Klimkówka dokumentuje opracowanie autora (Wiejaczka 2009). W rozpatrywanym przypadku zostało także przerwane termiczne continuum rzeki. Poniżej zbiornika temperatura wody w rzece wraz z jej biegiem wyraźnie rosła – od 13,7 do 20,5°C. Różnice między temperaturą wody w Ropie poniżej zbiornika a temperaturą powietrza w poszczególnych stanowiskach pomiarowych sięgały od 19,9°C poniżej zapory do 12,5°C w Szymbarku. Warto zaznaczyć, że temperatura wody w rzece do Szymbarku nie osiągnęła wartości, którymi odznaczała się na odcinku powyżej zbiornika, i była niższa średnio o 12°C (poniżej zapory) i o 7°C (Szymbark) niż w pomiarach uzyskanych przez Soję (1973).

Pomiar w dniu 11 października 2010 roku w godzinach 05–08. W godzinach porannych w czasie minimalnych dobowych wartości temperatury powietrza temperatura wody w Ropie w całym rozpatrywanym profilu podłużnym była wyraźnie wyższa od temperatury powietrza (rys. 5). Powyżej zbiornika Klimkówka zarówno temperatura wody w Ropie, jak i temperatura powietrza w profilu podłużnym rzeki wykazywała słabe tendencje zmian. Wartości temperatury wody w rzece osiągnęły przedział 3,9–5,0°C, natomiast temperatury powietrza 0,1–0,5°C, a wzajemne różnice na poszczególnych stanowiskach pomiarowych sięgały 3,5–4,5°C. Pomiarzy wykonane w obrębie zbiornika Klimkówka pokazały, że pomimo iż temperatura powietrza wynosiła nad zbiornikiem od –0,8°C do 0,5°C (przycofce zbiornika przymrozek z widocznym szronem na trawie), to temperatura

wody przypowierzchniowej w zbiorniku oscylowała między 9,8 a 11,0°C.

Temperatura wody wypływającej ze zbiornika wyniosła 11,3°C i była o 6,3°C wyższa od temperatury wody wpływającej, co oznacza przerwanie continuum termicznego rzeki. Wzrost temperatury wody uzależniony od warunków panujących w zbiorniku był nieproporcjonalnie duży w stosunku do naturalnych zmian zachodzących powyżej zbiornika. Ponieważ woda wypływająca ze zbiornika była cieplejsza aniżeli ta, która do niego wpływała, można więc stwierdzić, że w tym wypadku zbiornik retencyjny działał na zasadzie „grzałki”. Poniżej zbiornika temperatura wody w rzece stopniowo malała wraz z jej biegiem. Spadek temperatury wody rzecznej, kontynuowany aż do końca profilu pomiarowego (8,7°C), wynikał z oddziaływania niskiej temperatury powietrza (1,5–1,7°C).



RYSUNEK 5. Podłużne profile termiczne wykonane w dniu 11.10.2010 roku w godz. 05–08
 FIGURE 5. Longitudinal thermal profiles made in 11 October 2010, 05–08 am

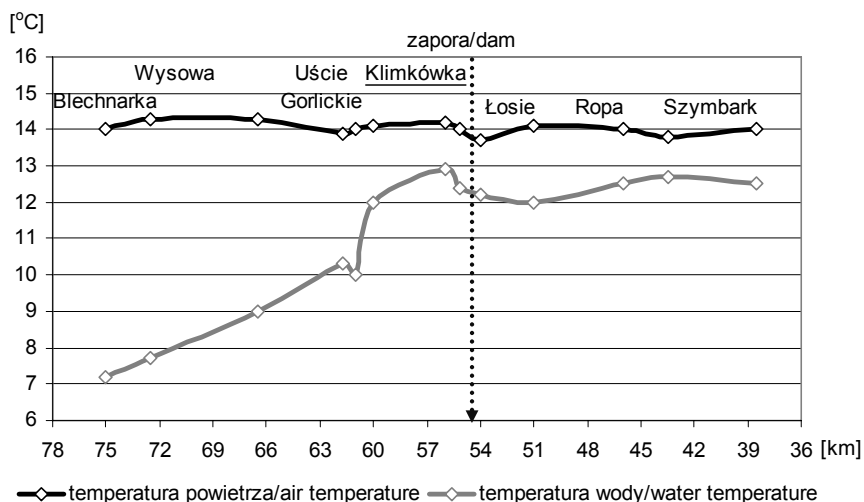
Pomiar w dniu 11 października 2010 roku w godzinach 14–16:30.

W godzinach popołudniowych (w czasie maksymalnych dobowych wartości temperatury powietrza) temperatura powietrza w całym profilu podłużnym była ustabilizowana w wąskim przedziale 13,7–14,3°C (rys. 6). Dynamika temperatury wody w rzece była zdecydowanie większa, szczególnie na odcinku powyżej zbiornika (wzrost temperatury wraz z biegiem rzeki z 7,2 do 10,3°C). Różnica między wartościami temperatury wody i powietrza wynosiła od 6,8°C na początku profilu pomiarowego do 3,6°C tuż powyżej zbiornika Klimkówka. W samym zbiorniku temperatura wody w przypowierzchniowej warstwie odznaczała się jeszcze większymi wartościami (12–12,9°C), które były zaledwie o 1,3–2,1°C mniejsze od temperatury powietrza.

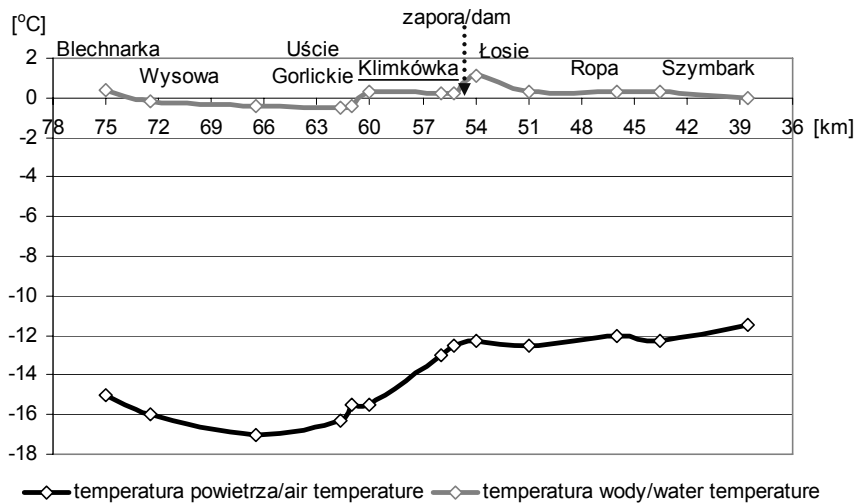
Temperatura wody wypływającej z przydennych warstw zbiornika była

o 2°C wyższa od temperatury wody wpływającej do niego i tylko o kilka dziesiątych stopnia niższa od temperatury wody w warstwie przypowierzchniowej. Oznacza to, że w okresie pomiaru masa wody zgromadzona w zbiorniku miała wyrównaną temperaturę. W takich warunkach także dochodzi do przerwania continuum termicznego rzeki, choć skala zjawiska nie jest tak wyraźna. Poniżej zbiornika wraz z biegiem rzeki temperatura wody utrzymywała się na zbliżonym poziomie 12–12,7°C, a obserwowane różnice w stosunku do temperatury powietrza na poszczególnych stanowiskach pomiarowych wynosiły 1,2–2,1°C.

Pomiar w dniu 28 grudnia 2010 roku w godzinach 06–09. Pomiar w okresie zimy przeprowadzono tylko w godzinach porannych przy skrajnie małych wartościach temperatury powietrza (rys. 7). Uzyskane dane wykazały słabą dynamikę temperatury wody w rzece w całym profilu podłużnym – między



RYSUNEK 6. Podłużne profile termiczne wykonane w dniu 11.10.2010 roku w godz. 14–16:30
FIGURE 6. Longitudinal thermal profiles made in 11 October 2010, 02–04:30 pm



RYSUNEK 7. Podłużne profile termiczne wykonane w dniu 28.12.2010 roku w godz. 06–09
 FIGURE 7. Longitudinal thermal profiles made in 28 December 2010, 06–09 am

–0,5 a 1,1°C, co – biorąc pod uwagę odnotowane wartości temperatury powietrza – jest zupełnie uzasadnione. Większe zmiany między poszczególnymi stanowiskami pomiarowymi odnotowano w przypadku temperatury powietrza na odcinku powyżej zbiornika, gdzie wraz z biegiem rzeki początkowo był zauważalny spadek temperatury z –15,0 do –17,0°C, a następnie jej wzrost do –15,5°C, kontynuowany w miejscu lokalizacji zbiornika, aż do stanowiska pomiarowego zlokalizowanego poniżej zapory wodnej (–12,3°C). Dalej w dół biegu rzeki temperatura powietrza wykazywała stabilność w wąskim przedziale od –12,3 do –11,5°C. Temperatura wody na pierwszym stanowisku pomiarowym, zlokalizowanym w Blechnarce, wyniosła 0,4°C. Dodatnia wartość jest wynikiem zasilania podziemnego rzeki. Dalej, wraz z biegiem rzeki, kontrolę nad procesami termicznymi w rzece przejmowała temperatura powietrza, po-

wodując szybkie przechłodzenie wody (wartości temperatury poniżej 0°C), o czym świadczą pojawiające się różne formy zlodzenia (m.in. częściowa pokrywa lodowa, śryż). Zaobserwowane różnice między temperaturą wody i temperaturą powietrza sięgały 15–17°C. W przypowierzchniowej warstwie zbiornika Klimkówka temperatura wody (mierzona pod pokrywą lodową o grubości około 5 cm) wykazywała dodatnie wartości (0,2–0,3°C).

Woda wypływająca ze zbiornika była cieplejsza (1,1°C), co wynikało z wykształcenia się zimowej stratyfikacji w zbiorniku, charakteryzującej się chłodniejszą wodą w górnych i cieplejszą w dolnych partiach zbiornika. Dodatnie wartości temperatury (0,3°C) w Ropie utrzymywała na dystansie kilkunastu kilometrów poniżej zbiornika. Na skutek oddziaływania ujemnej temperatury powietrza na końcu profilu pomiarowego temperatura wody uległa ob-

niżeniu do 0°C. Warto także zaznaczyć, że na odcinku poniżej zbiornika pierwsze formy lodowe (śryż) zaobserwowano dopiero w odległości około 10 km od zapory wodnej. Można zatem uznać, że w tym przypadku zostało przerwane termiczne oraz lodowe continuum rzeki.

Zimą w ciągu dnia na odcinku Ropy powyżej Klimkówki (o warunkach niezakłóconych działalnością zbiornika) może często zaistnieć sytuacja, w której temperatura powietrza i wody rzecznej osiągną te same wartości – około 0°C. Poniżej zapory jest to możliwe dopiero wówczas, gdy podwyższona temperatura wody wypływającej ze zbiornika zostanie wraz z biegiem rzeki obniżona do wartości zbliżonych do temperatury powietrza.

Dyskusja i wnioski

Przedstawione w artykule podłużne profile termiczne Ropy oraz zmiany temperatury powietrza wskazują jednoznacznie na przerwanie continuum termicznego rzeki spowodowane funkcjonowaniem zbiornika retencyjnego Klimkówka. Powyżej zbiornika temperatura wody w rzece przy dodatnich wartościach temperatury powietrza zachowuje swój naturalny wzrostowy trend wraz z odległością od źródła, warunkowany temperaturą powietrza, która już w obszarze źródłiskowym rzeki przejmuje kontrolę nad warunkami termicznymi wody. Stopień zmian termicznych wody rzecznej jest uzależniony od wartości temperatury powietrza. Im wyższa temperatura powietrza, tym szybszy wzrost temperatury wody wraz z biegiem rzeki. Zimą, przy skrajnie ujemnych war-

tościach temperatury powietrza, woda w Ropie na odcinku powyżej zbiornika (często w warunkach zlodzenia rzeki) ma wyrównaną temperaturę – w okolicach 0°C.

Poniżej lokalizacji zbiornika Klimkówka wartości temperatury wody w rzece ukształtowanej wewnątrz zbiornika znacznie odbiegają od wartości obserwowanych powyżej zbiornika. Jest to szczególnie obserwowalne w okresie lata, kiedy woda wypływająca ze zbiornika jest znacznie chłodniejsza od wody wpływającej. W okresie zimy kształtuje się odwrotna sytuacja, w której woda wypływająca ze zbiornika jest cieplejsza od wody wpływającej. W konsekwencji osłabieniu ulegają relacje temperatura wody – temperatura powietrza. Temperatura powietrza zachowuje stałą tendencję zmian zachodzącą wraz z biegiem doliny Ropy w danych warunkach atmosferycznych, natomiast wartości temperatury wody poniżej lokalizacji zbiornika zupełnie odbiegają od wartości, którymi woda powinna na tym odcinku biegu rzeki charakteryzować się w warunkach naturalnych. W miarę oddalania się od zapory w dół biegu rzeki wartości temperatury wody zwiększają się w okresie lata, natomiast zmniejszają zimą. Świadczy to o tym, że w miarę oddalania się od zapory wodnej temperatura powietrza pomimo silnego oddziaływania zbiornika stopniowo przejmuje kontrolę nad warunkami termicznymi rzeki. Zaznaczyć należy, że temperatura wody w Ropie poniżej zbiornika do końca rozpatrywanego profilu pomiarowego nie odzyskiwała wartości, które przyjmowała na odcinku powyżej zbiornika. Maksymalny zasięg zbiornika, a jednocześnie odległość, przy jakiej temperatura powietrza przejmuje

całkowitą kontrolę nad procesami termicznymi w Ropie, jest trudny do oszacowania ze względu na zrzuty ścieków przemysłowych i komunalnych z Gorlic położonych około 20 km od zbiornika (problem ten wymaga dalszych, szczegółowych badań).

Na podstawie wykonanych podłużnych profili termicznych Ropy można zauważyć, że zbiornik Klimkówka przerywa termiczną ciągłość rzeki. Z punktu widzenia continuum rzeki nowy profil termiczny Ropy zaczyna się poniżej zbiornika. Ponieważ temperatura wody rzecznej jest zasadniczym regulatorem wszelakich procesów zachodzących w jej środowisku wodnym, należy więc przypuszczać, że przerwanie continuum termicznego Ropy zakłóciło jej continuum biologiczne. W przewidywaniu potencjalnych następstw zmian klimatycznych dla środowisk wodnych rzek na podstawie badań relacji temperatura wody – temperatura powietrza należy brać pod uwagę zakłócenia tych zależności spowodowane funkcjonowaniem zbiorników retencyjnych. Istotna w tym aspekcie jest skala zmian termicznych rzeki oraz zasięg oddziaływania zbiornika.

Literatura

- ALLAN J.D. 1998: Ekologia wód płynących. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- BOGAN T., MOHSENI O., STEFAN H.G. 2003: Stream temperature – equilibrium temperature relationship. *Water Res. Res.* 39: 1245–1256.
- EDINGER J.E., DUTTWEILER D.W., GEYER J.C. 1968: The response of water temperatures to meteorological conditions. *Water Res. Res.* 4, 5: 1137–1143.
- ERICKSON T.R., STEFAN H.G. 2000: Linear air/water temperature correlations in streams during open water periods. *J. Hydrol. Eng.* 5, 3: 317–321.
- JOHNSON F.A. 1971: Stream temperatures in an Alpine area. *J. Hydrol.* 14: 322–336.
- MOHSENI O., STEFAN H.G., ERICKSON T.R. 1998: A non-linear regression model for weekly stream temperatures. *Water Res. Res.* 34, 10: 2685–2693.
- O'DRISCOLL M.A., DEWALLE D.R. 2006: Stream-air temperature relations to classify stream-ground water interactions in a karst setting, central Pennsylvania, USA. *J. Hydrol.* 329: 140–153.
- PILGRIM J.M., FANG X., STEFAN H.G. 1998: Stream temperature correlations with air temperatures in Minnesota: implications for climate warming. *JAWRA* 34, 5: 1109–1121.
- SOJA R. 1973: Termika wody w dorzeczu Ropy w okresie maksymalnych temperatur rocznych. *Przegl. Geogr.* 3: 587–597.
- STEFAN H.G., PREUD'HOMME E.B. 1993: Stream temperature estimation from air temperature. *Water Res. Res.* 29, 1: 27–45.
- WEBB B.W. 1987: The relationship between air and water temperatures for a Devon River. *Rep. Trans. Devon Ass. Advmt. Sci.* 119: 197–222.
- WIEJACZKA Ł. 2007a: Relacje pomiędzy temperaturą wody w rzece a temperaturą powietrza (na przykładzie rzeki Ropy). *Folia Geogr., Geograph.-Physica.* 37–38: 95–105.
- WIEJACZKA Ł. 2007b: Wpływ zbiornika wodnego „Klimkówka” na reżim termiczny rzeki Ropy. W: Program Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego a zadania ochrony obszarów Natura 2000. Red. A. Kostrzewski, A. Andrzejewska. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Izabelin: 367–378.
- WIEJACZKA Ł. 2009: Wpływ zbiornika wodnego Klimkówka na abiotyczne elementy środowiska przyrodniczego w dolinie rzeki Ropy. Maszynopis. Rozprawa doktorska. Szymbark.

Summary

Influence of water reservoir on the relations between the temperature of water in the river and the air temperature. This paper presents the problem disturbances in

the natural relations between the temperature of water in the Ropa River (Polish Carpathians) and the air temperature, occurring in longitudinal profile of the river, caused by the functioning of the Klimkówka reservoir. Occurred disturbances in the water temperature – air temperature relations are the result of the transformation of natural thermal regime of the Ropa River below the Klimkówka reservoir resulting from forming a thermal stratification inside the reservoir during a year. The paper drew attention to the role of reservoirs in interrupting the thermal continuum of rivers. The results demonstrate the need to consider the impact of reservoirs on

the thermals of the rivers in the study of relations between water temperature in the river and the air temperature, used to predict the potential impact of climate change on river ecosystems.

Author's address:

Łukasz Wiejaczka
Zakład Geomorfologii i Hydrologii Gór i Wyżyn
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN
ul. Św. Jana 22, 31-018 Kraków
Poland
e-mail: wieja@zg.pan.krakow.pl