

Wpływ zalesienia zlewni na temperaturę wody w rzece

Effects of catchment area forestation on the temperature of river waters

Mariusz Ptak

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej,
Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, ul. Bogumiła Krygowskiego 10, 61-680 Poznań

Tel. +48 61 8296255, e-mail: marp114@wp.pl

Abstract: The objective of this paper was to analyse the effects of catchment area forestation on the temperature of river waters. Two rivers, Czarna Wielka and Szprotawa, were covered in this research project and both are located in south-west Poland, running through the largest compact forest complex in the country, Bory Dolnośląskie. Both of the rivers are located within the same climatic region, and are similar in terms of their hydrology. Land use in the catchment area however is very diverse with 71.6% forest cover in the case of the Czarna Wielka River and direct contact of the forest with the river occurs over 68.3% of its length. For the Szprotawa River, the indices amount to only 39.3% and 21.6%, respectively. Data on the daily water temperatures for both of the rivers were obtained from the Hydrological Yearbooks of Surface Waters for the period 1969–1983. The mean annual water temperature in the analysed period in the case of the Czarna Wielka River amounted to 8.0°C, and in the case of the Szprotawa River it equalled 9.2°C. During the cooler half of the year (November–April), the mean water temperature for the entire examined period amounted to 3.8°C for Czarna Wielka, and 3.6°C for Szprotawa. Higher variability was recorded for the warmer seasons (May–October), where mean temperatures amounted to 12.1°C and 14.7°C, respectively. The obtained results concur with other similar research conducted around the world, and in the context of climate change are of practical value. The important role of forests in the moderation of thermal conditions is evidently unquestionable. Therefore, minimising the impact of unfavourable climatic changes on river ecosystems and their surroundings requires striving for appropriate forest management in the near-bank (buffer) zone along banks of both larger rivers and their tributaries.

Keywords: water temperature, shade, forest catchment basin, Bory Dolnośląskie,

1. Wstęp

Wielowiekowe przekształcenia środowiska przyrodniczego, będące wynikiem adaptacji do coraz to większych potrzeb człowieka, radykalnie zmieniły jego poszczególne komponenty. Zmiany w strukturze użytkowania terenu doprowadziły do szeregu reakcji zarówno w odniesieniu do czynników biotycznych, jak i abiotycznych. Pomimo znacznych przekształceń swojej struktury, ciągle najbardziej naturalnymi pozostają obszary leśne. Obecność lasów wpływa na wiele elementów środowiska przyrodniczego, w tym m.in. na: temperaturę gleby (Durło, Wilczyński 2003), jej zamarzanie (Kuźniar 1952), występowanie pokrywy śnieżnej (Feliksik et al. 2006), warunki termiczno-wilgotnościowe lokalnego klimatu (Dragańska et al. 2016), skład gatunkowy ryb (Rechulicz, Płaska

2016) itd. Specyfika ekosystemów leśnych na tle otoczenia sprawia, że wykształciło się wiele szczegółowych dyscyplin naukowych badających ich funkcjonowanie. Jedną z nich jest hydrologia leśna, zajmująca się obiegiem wody i procesów z nim związanych. Badania hydrologiczne w lasach, poruszając różnorakie aspekty, cieszą się dużym zainteresowaniem badaczy na całym świecie (Rowe, Taylor 1994; Wallace et al. 2009; Zhang et al. 2014). W przypadku Polski dziedzina ta również doczekała się licznych opracowań odnoszących się m.in. do zagadnień związanych z: retencją zasobów wodnych (Frydel 2008; Ptak 2015), wodami podziemnymi (Pawlik-Dobrowolski 1977; Liberacki 2004; Grajewski, Okoński 2007) czy przepływem i odpływem wody w rzece (Kostuch 2004, Stasik et al. 2007; Franczak 2017). Jako deficytowe należy uznać badania nawiązujące do jednej z podstawowych cech wody, tj. temperatury. Parametr ten decyduje o szeregu

Wpłynęło: 8.05.2017 r., zrecenzowano: 22.06.2017 r., zaakceptowano: 10.07.2017 r.

procesów i zjawisk odbywających się w ekosystemach wodnych. Ma on wpływ na gęstość wody, kształtuje skład gatunkowy flory i fauny oraz decyduje o możliwości rozpuszczania gazów (w tym stężenia tlenu bardzo istotnego dla elementów hydrobiologicznych i jakości wody), czasie trwania sezonu lodowego, itd. Temperatura wody jest uzależniona od szeregu czynników, tj. m.in. warunków klimatycznych, wpływu antropopresji czy zasilania podziemnego. Szczególnie wyraźne związki wykazuje ona z czynnikami klimatycznymi (Langan et al. 2001; Scheffer et al. 2001; Morrill et al. 2005), jednakże zależności te mogą być modyfikowane przez warunki lokalne związane ze strukturą użytkowania zlewni czy najbliższego sąsiedztwa wody.

Celem pracy jest analiza temperatury wody dwóch rzek, zlokalizowanych w południowo-zachodniej Polsce, których zlewnie charakteryzują się różnym stopniem zalesienia (ryc. 1).

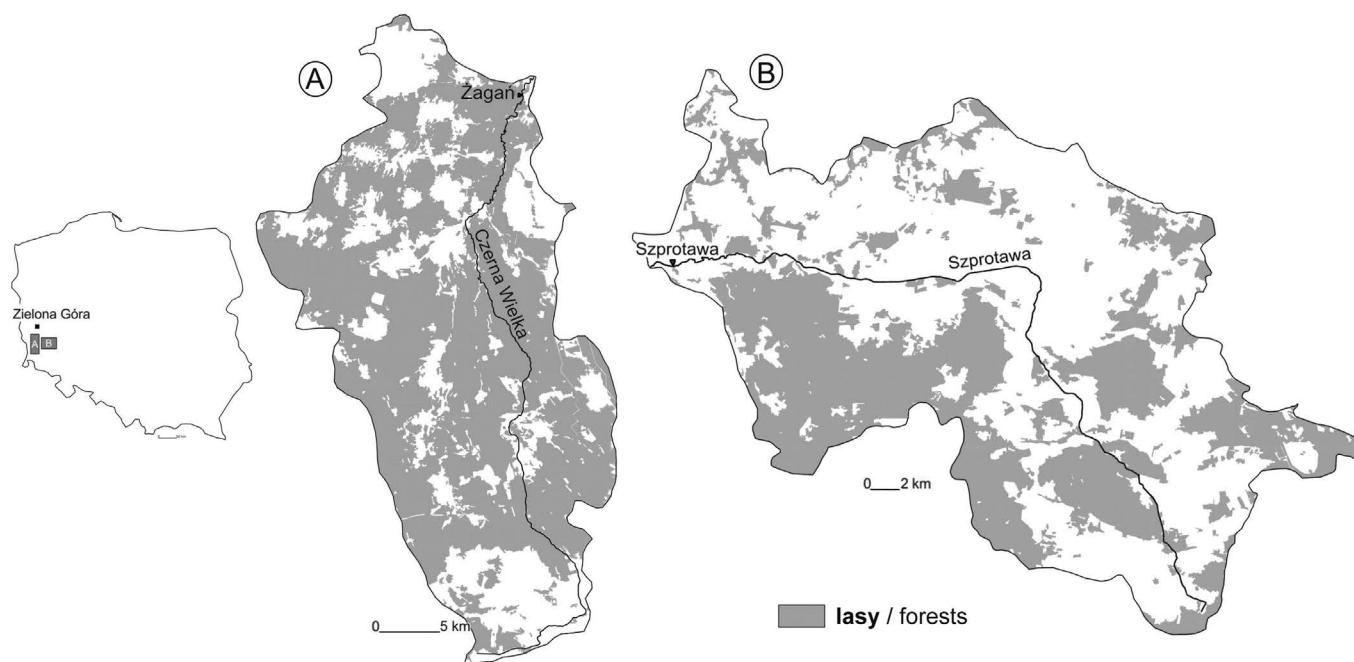
2. Materiały i metody

W pracy wykorzystano dane dotyczące codziennej temperatury wody powierzchniowej rzek: Czarna Wielka i Szprotawa. Ich wybór podyktowany był odmiennym udziałem powierzchni leśnych w zlewni, przy jednocześnie możliwie najbardziej jednorodnych cechach klimatycznych panujących w obu zlewniach, jak i parametrach hydrologicznych samych rzek. Obie rzeki przepływają przez największy w Polsce zwarty kompleks leśny – Bory Dolnośląskie. Pierwotnie panującymi typami siedliskowymi lasu były tam bór świeży i bór mieszany, których miejsce zajął bór suchy z dominującą sosną zwyczajną *Pinus sylvestris* L. z nielicznymi

pojawiającą się brzozą *Betula* L. i dębem *Quercus* L. (www.bory-dolnoslaskie.eu). Udział lasów w powierzchni zlewni Czernej Wielkiej wynosi 71,6%, a Szprotawy – 39,3%. Długość rzeki głównej pozostającej w bezpośrednim kontakcie z obszarami leśnymi stanowi odpowiednio 68,3 i 21,6%.

Według podziału Polski na regiony klimatyczne (Woś 2010) analizowane zlewnie występują w obrębie Regionu Dolnośląskiego Zachodniego (23). W skali roku region ten cechuje się usłonecznieniem rzeczywistym rzędu 1460 godzin. W czerwcu średnie usłonecznienie rzeczywiste wynosi średnio 6,5 godziny, a w grudniu – 1,2 godziny. Średnia roczna temperatura powietrza to 8,4°C. W miesiącu najchłodniejszym (styczeń) wynosi ona -1,4°C, a w najcieplejszym (lipiec) 18,1°C. Średnie zachmurzenie osiąga 67%.

Analizy rozkładu i zmian temperatury wody w dorzeczu Odry w latach 1969–1983 dokonano dzięki dostępności danych zawartych w Rocznikach Hydrologicznych Wód Powierzchniowych (1969–1983). Po roku 1983 istnieją luki w danych, uniemożliwiające analizę porównawczą. Dane zestawiono w układzie roku hydrologicznego, który trwa od 1 listopada do 31 października. Pomiar temperatury wody prowadzono na posterunkach obserwacyjnych w Żaganii i Szprotawie o godzinie 7:00 na głębokości 0,4 m. Analizowane rzeki cechowały się podobnym średnim rocznym przepływem wody, który w latach 1971–1980 wahał się od 3,4 m³·s⁻¹ (Szprotawa) do 4,6 m³·s⁻¹ (Czarna Wielka). Pod względem odpływu wody obie rzeki charakteryzują się średnio wykształconym reżimem niwalnym, co oznacza, że średni odpływ miesiąca wiosennego wynosi od 130 do 180% średniego odpływu rocznego (Wrześniński 2013). W litologii obu zlewni przeważają utwory o średniej przepuszczalności



Rycina 1. Lokalizacja analizowanych zlewni: A – Czarna Wielka, B – Szprotawa
Figure 1. Location of the analysed catchments: A – Czarna Wielka River, B – Szprotawa River

(Mapa Hydrograficzna Polski 2001–2002). Formy użytkowania terenu określono na podstawie mapy topograficznej w skali 1:50 000, a obliczenia dotyczące udziału obszarów leśnych wykonano w programie QGIS. W pracy wykorzystano ponadto dane dotyczące temperatury powietrza dla stacji Zielona Góra (1969–1983), oddalonej od analizowanych posterunków o ok. 40 km. W programie Excel określono związek temperatury wody z temperaturą powietrza, wykorzystując w tym celu współczynnik korelacji Pearsona.

3. Wyniki i dyskusja

Przeprowadzona w pracy analiza wskazuje na zróżnicowanie warunków termicznych obu rzek. Średnie roczne temperatury wody zestawiono w tabeli 1.

W rozpatrywanym okresie średnia temperatura wody w przypadku rzeki Czernej Wielkiej wyniosła 8,0°C, a w przypadku Szprotawy – 9,2°C. Średnie roczne temperatury były zróżnicowane i zawierały się w zakresie od 0,5°C w roku 1969 do 1,8°C w roku 1982. Średnia temperatura wody półrocza chłodnego (XI–IV) dla całego okresu wyniosła w przypadku Czernej Wielkiej 3,8°C, a w przypadku Szprotawy – 3,6°C. Większe zróżnicowanie odnotowano w półroczu ciepłym (V–X), kiedy średnie temperatury były równe odpowiednio 12,1°C i 14,7°C. W okresie piętnastu lat

ekstremalna temperatura wody w przypadku Czernej Wielkiej wyniosła 19,9°C, a w przypadku Szprotawy 24,3°C. Różnice średnich maksymalnych temperatur rocznych były znaczne i wynosiły kilka stopni, osiągając w roku 1982 najwyższą wartość 6,4°C. W odniesieniu do miesiąca najzimniejszego (styczeń) i najcieplejszego (lipiec) w regionie klimatycznym, w którym znajdują się obie rzeki, różnica średniej temperatury wody wynosiła odpowiednio 0,3°C i 3,5°C. Zróżnicowanie sezonowe temperatury obu rzek jest wyraźnie widoczne w przebiegu codziennych temperatur wody, co zobrazowano na rycinie 2.

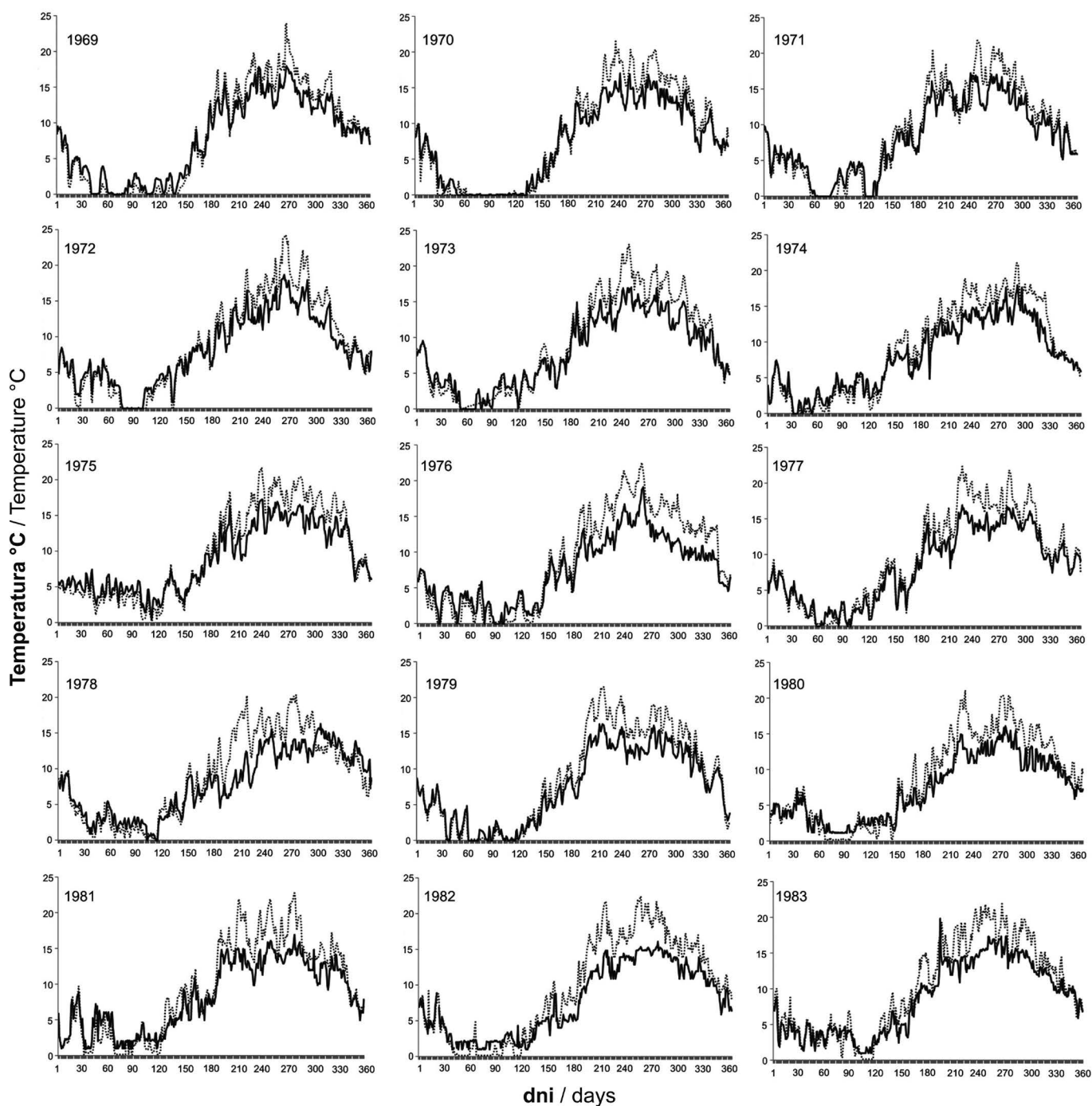
Znaczne zróżnicowanie reżimu termicznego dwóch położonych blisko siebie rzek (odległość pomiędzy posterunkami obserwacyjnymi wynosi w linii prostej zaledwie 17 km) było szczególnie widoczne w półroczu ciepłym, tj. w pełni sezonu wegetacyjnego. Wówczas to „parasol” koron drzew ogranicza radiację słoneczną, która według m.in. Caissie (2006) jest podstawowym źródłem ciepła dla rzek. Rutherford i in. (1997) podkreślają, że roślinność nadbrzeżna pochłania część promieniowania krótkofalowego, co jest najbardziej zauważalne podczas bezchmurnych dni letnich. Przyczyn rozbieżności termiki omawianych rzek, przy stosunkowo jednorodnych warunkach klimatycznych i hydrologicznych, należy upatrywać w zróżnicowanej strukturze użytkowania zlewni – związanej z lesistością.

Zlewnie leśne mają charakterystyczny reżim termiczny (Webb, Crisp 2006). Z pewnością fakt ten sprawia, że relacje pomiędzy temperaturą wody w rzekach i obszarami leśnymi są chętnie podejmowanym problemem badawczym hydrologii w różnych częściach świata (Zwieniecki, Newton 1999; Wilkerson et al. 2006; Hannah et al. 2008.; Rayne et al. 2008; Subehi et al. 2009; Bowler et al. 2012). Johnson (2004), w wyniku przeprowadzonego w lipcu eksperymentu ze sztucznym cieniowaniem na cieku znajdującym się w obrębie lasu doświadczalnego w Oregonie (USA) wykazał, że strumień energii netto w strefie bez cieniowania uzyskał wartość 580 [W·m⁻²], podczas gdy w strefie zacienionej został on znacznie zmniejszony – o 149 [W·m⁻²]. Odpowiada to w przybliżeniu zmniejszeniu maksymalnej temperatury o 1°C. Dohet i in. (2015), na podstawie pomiarów temperatury wody przeprowadzonych w trzech strumieniach na terenie Luksemburga, stwierdzili, że lasy nadbrzeżne wyraźnie łagodzą zimowe minima, letnie maksima i zmienność termiczną. Kristensen i in. (2015), którzy obserwowali temperaturę pięciu potoków w Danii w okresie od czerwca 2010 r. do lipca 2011 r. ustalili m.in., że nawet najkrótsze odcinki nadbrzeżnego lasu (100 m) obniżały temperaturę wody strumienia maksymalnie o 1°C w stosunku do temperatury na otwartej przestrzeni w jednym strumieniu. Większy udział lasu w tej strefie (do 500 m) zmniejsza temperaturę o ok. 2,5°C. Broadmeadow i in. (2011), analizując zlewnie dwóch rzek w Anglii w latach 2005–2007, odnotowali niższą temperaturę wody w miejscach znajdujących się w cieniu lub półcieniu, niż w miejscach otwartych. Średnia temperatura okresu letniego wahała się odpowiednio na poziomie 13,5–16,8°C w stosunku do przedziału 15,1–19,3°C w drugim przypadku. Analogicznie

Tabela 1. Średnie roczne temperatury wody analizowanych rzek w latach 1969–1983

Table 1. The average annual temperatures of the analyzed rivers in 1969–1983

Lata Years	Szprotawa [°C]	Czerna Wielka [°C]
1969	8,4	7,9
1970	8,3	7,3
1971	9,1	8,3
1972	9,2	8,2
1973	9,3	8,0
1974	9,1	8,0
1975	9,8	8,9
1976	9,0	7,5
1977	9,6	8,3
1978	9,1	7,9
1979	8,9	7,5
1980	8,7	7,3
1981	9,6	8,3
1982	9,6	7,8
1983	10,2	8,6



Rycina 2. Przebieg temperatury wody rzeki Czernej Wielkiej i Szprotawy w latach 1969–1983 (linia ciągła – Czarna Wielka, linia przerywana – Szprotawa)

Figure 2. Course of water temperature in the Czarna Wielka and Szprotawa Rivers in the period 1969–1983 (continuous line – Czarna Wielka River, dotted line – Szprotawa River)

wyglądała sytuacja w odniesieniu do temperatur maksymalnych, osiągających wartości w zakresie 14,3–19,2°C w strefie zacienionej oraz 17,0–23,1°C w strefie bez drzew. Należy podkreślić, że istotna jest lesistość całej zlewni. Temperatura wód płynących w danym profilu (punkcie) pomiarowym nie jest wyłącznie efektem stanu odnotowanego w tym miejscu, lecz także wód dopływających z innych rejonów obszaru ali-

mentacyjnego. Na ten fakt zwraca uwagę m.in. Moore i in. (2005), prezentując w modelowym ujęciu czynniki regulujące temperaturę wody w rzece. Tak więc, istotne jest posiadanie informacji w odniesieniu do występowania lasów, osłaniających inne mniejsze cieki – dopływy rzeki głównej.

Uzyskane w pracy wyniki korespondują z innymi podobnymi badaniami tego typu przeprowadzonymi na świecie,

z których wynika jasno, że obecność lasów wpływa na obniżenie temperatury wody w rzece. Jest to wyjątkowo cenne spostrzeżenie w kontekście obserwowanych zmian klimatycznych. Temperatura wody Szprotawy i Czernej Wielkiej wykazała bardzo silny związek z temperaturą powietrza (odpowiednio $r=0,94$ i $r=0,91$, $p=0,05$). Jak wynika z tej zależności jest to kluczowy parametr decydujący o reżimie termicznym rzek. Tak jak wskazano we wstępie, temperatura wody jest ściśle powiązana z szeregiem procesów i zjawisk, zarówno natury biotycznej, jak i abiotycznej, zachodzących w samym korycie rzeki, jak i w jego otoczeniu. Obserwowany w wielu regionach półkuli północnej wzrost temperatury rzek (Kaushal et al. 2010; Jurgelėnaitė et al. 2012; Żganec 2012, Ptak et al. 2016) będzie prowadził do znacznych transformacji ekosystemów rzecznych. W związku z tym wskazane jest przeciwdziałanie tej niekorzystnej sytuacji. Jak postulują Wilby i in. [2010], odnosząc się do możliwości ochrony wód śródlądowych przez skutkami ocieplenia klimatu, zwiększenie efektu cieniowania jest kluczowym działaniem w tym względzie.

4. Podsumowanie

W Polsce związki obszarów leśnych z warunkami termicznymi w rzekach są niedocenianym problemem badawczym. Niniejsza praca, analizująca zmiany temperatury wody na tle zróżnicowanego zalesienia dwóch zlewni, uzupełnia tę lukę i stanowi punkt wyjścia do rozszerzenia badań tego typu w przyszłości w odniesieniu do kolejnych obszarów (inne rzeki, inne rejony, itd.). Podjęta analiza wpisuje się w szerszy nurt badań prowadzonych w Polsce, których celem jest określenie roli lasu w funkcjonowaniu wielu komponentów środowiska przyrodniczego. W wyniku codziennych obserwacji temperatury wody na przestrzeni piętnastu lat ustalono, że rzeka Czarna Wielka (o większym udziale terenów leśnych w powierzchni zlewni) charakteryzowała się niższymi temperaturami wody w stosunku do Szprotawy (o mniejszym udziale lasów w zlewni). Największe różnice odnotowano w półroczu ciepłym (maj–październik), wynosiły one kilka stopni. Uzyskane wyniki znajdują potwierdzenie w innych analizach tego typu prowadzonych na świecie, i w kontekście obserwowanych zmian klimatycznych mogą mieć charakter aplikacyjny. Jedną z wyraźnych oznak ocieplenia klimatu jest wzrost temperatury wód powierzchniowych, które są często utożsamiane z niepodważalnym indykátorem tych zmian. Jak wykazano, rola lasu w łagodzeniu warunków termicznych jest bezsprzeczna. Stąd też chcąc minimalizować wpływ niekorzystnych zmian klimatycznych na ekosystemy rzeczne i ich otoczenie, należy dążyć do prowadzenia odpowiedniej gospodarki leśnej zarówno w strefie przybrzeżnej (buforowej) rzek, jak i ich dopływów.

Konflikt interesów

Autor deklaruje brak potencjalnych konfliktów.

Źródło finansowania badań

Badania sfinansowano ze środków własnych.

Literatura

- Bowler D.E., Mant R., Orr H., Hannah D.M., Pullin A.S. 2012. What are the effects of wooded riparian zones on stream temperature? *Environmental Evidence* 1: 3. DOI 10.1186/2047-2382-1-3.
- Broadmeadow S.B., Jones J.G., Langford T.E.L., Shaw P.J., Nisbet T.R. 2011. The influence of riparian shade on lowland stream water temperatures in southern England and their viability for brown trout. *River Research and Applications* 27: 226–237. DOI 10.1002/rra.1354.
- Caissie D. 2006. The thermal regime of rivers: a review. *Freshwater Biology* 51: 1389–406. DOI 10.1111/j.1365-2427.2006.01597.x.
- Dohet A., Hlúbíková D., Wetzel C.E., L’Hoste L., Iffly J.F., Hoffmann L., Ector L. 2015. Influence of thermal regime and land use on benthic invertebrate communities inhabiting headwater streams exposed to contrasted shading. *Science of the Total Environment* 550: 1112–1126. DOI 10.1016/j.scitotenv.2014.10.077.
- Dragańska E., Panfil M., Szejkowski Z. 2016. Bódźcowość warunków termiczno-wilgotnościowych obszaru leśnego i terenu otwartego. *Leśne Prace Badawcze* 77(2): 151–157. DOI 10.1515/frp-2016-0007.
- Durło G., Wilczyński S. 2003. Temperatura gleby w lesie i na otwartej przestrzeni. *Sylwan* 10: 29–36.
- Feliksik E., Wilczyński S., Durło G. 2006. Wpływ lasu [*Dentario glandulosae-Fagetum*] na kształtowanie się niektórych cech pokrywy śnieżnej w warunkach górskich na Kopciowej koło Krynicy Zdroju. *Acta Agraria et Silvicultura. Series Silvestris* 44: 53–65.
- Frydel K. 2008. Praktycznie o małej retencji wodnej w Nadleśnictwie Kaliska. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej* 10, 2(18): 87–98.
- Franczak P. 2017. Rola katastrofalnych wezbrań w kształtowaniu morfologii koryt w małych zlewniach górskich, na przykładzie zdarzenia z maja 2014 r. w zlewni górnej Skawicy. *Leśne Prace Badawcze* 78(1): 28–38. DOI 10.1515/frp-2017-0003.
- Grajewski S., Okoński B. 2007. Zmienność stanów wód gruntowych w różnowiekowych drzewostanach leśnych siedlisk bagiennych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 1: 91–99.
- Hannah D.M., Malcolm I.A., Soulsby C., Youngson A.F. 2008. A comparison of forest and moorland stream microclimate, heat exchanges and thermal dynamics. *Hydrological Processes* 22: 919–940. DOI 10.1002/hyp.7003
- Johnson S.L. 2004. Factors influencing stream temperatures in small streams: substrate effects and a shading experiment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 61: 913–923. DOI 10.1139/f04-040.
- Jurgelėnaitė A., Kriauciūnienė J., Šarauskiene D. 2012. Spatial and temporal variation in the water temperature of Lithuanian rivers. *Baltica* 25(1):65–76. DOI 10.5200/baltica.2012.25.06.
- Kaushal S.S., Likens G.E., Jaworski N.A., Pace M.L., Sides A.M., Seekell D., Belt K.T., Secor D.H., Wingate R.L. 2010. Rising stream and river temperatures in the United States. *Frontiers in Ecology and the Environment* 8(9): 461–166. DOI 10.1890/090037.
- Kostuch M. 2004. Charakterystyka niżówek w potokach górskich w zlewniach o różnej lesistości. *Woda, Środowisko, Obszary Wiejskie* 4, 2a (11): 63–71.

- Kristensen P.B., Kristensen E.A., Riis T., Alnoe A.B., Larsen S.E., Verdonchot P.F.M., Baattrup-Pedersen A. 2015. Riparian forest as a management tool for moderating future thermal conditions of lowland temperate streams. *Inland Waters* 5(1): 27–38. DOI 10.5194/hessd-10-6081-2013.
- Kuźniar K. 1952. Przyczynki do poznania zamarzania gleby oraz grubości pokrywy śnieżnej w różnych typach lasu i na polu. *Roczniki Gleboznawcze* 2: 205–231.
- Langan S.J., Johnston L., Donaghy, M.J., Youngson A.F., Hay D.W., Soulsby C. 2001. Variation in river water temperatures in an upland stream over a 30-year period. *Science of the Total Environment* 265(1-3): 195–207. DOI 10.1016/S0048-9697(00)00659-8.
- Liberacki D. 2004. Stan wody gruntowej i uwilgotnienie wierzchnich warstw gleb w małej zlewni leśnej. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, Melioracje i Inżynieria Środowiska* 25: 305–311.
- Mapa Hydrograficzna Polski. 1:50000, 2001–2002.
- Moore R.D., Spittlehouse D.L., Story A. 2005. Riparian microclimate and stream temperature response to forest harvesting – a review. *Journal of the American Water Resources Association* 41: 813–834. DOI 10.1111/j.1752-1688.2005.tb03772.x.
- 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(1): 139–146. DOI 10.1061/(ASCE)0733-9372(2005)131:1(139).
- Pawlik-Dobrowolski J. 1977. Wpływ czynników meteorologicznych na wielkość odpływu gruntowego (na przykładzie kilku małych zlewni górskich o różnym stopniu zalesienia). *Wiadomości IMUZ* 13(1): 191–213.
- Ptak M. 2015. Odtworzenie nieistniejących jezior jako element zwiększania retencji leśnej i pozaprodukcyjnych funkcji lasu. *Sylwan* 159(5): 427–434.
- 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* 11: 35–42. DOI 10.2478/11379.
- Rayne S., Henderson G., Gill P., Forest K. 2008. Riparian Forest Harvesting Effects on Maximum Water Temperatures in Wetland-sourced Headwater Streams from the Nicola River Watershed, British Columbia. *Canada Water Resources Manage* 22: 565–578. DOI 10.1007/s11269-007-9178-8.
- Rechulicz J., Płaska W. 2016. Zróżnicowanie zespołów ryb w małych rzekach położonych na terenach zalesionych i niezalesionych. *Sylwan* 160(4): 344–352.
- Rocznik Hydrologiczny Wód Powierzchniowych. Dorzecze Odry i rzeki Przymorza. 1969–1983, IMGW.
- Rowe L.K., Taylor C.H. 1994. Hydrology and related changes after harvesting native forest catchments and establishing pinus radiata plantations. Part 3. Stream temperatures. *Hydrological Processes* 8(4): 299–310. DOI 10.1002/hyp.3360080403.
- Rutherford J.C., Blackett S., Blackett C., Saito L., Davies-Colley R.J. 1997. Predicting the effects of shade on water temperature in small streams. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 31: 707–721. DOI 10.1080/00288330.1997.9516801.
- Scheffer M., Straile D., van Nes E.H., Houser H. 2001. Climatic warming causes regime shifts in lake food webs. *Limnology and Oceanography* 46(7): 1780–1783. DOI 10.4319/lo.2001.46.7.1780.
- Stasik R., Szafranski C., Korytowski M., Liberacki D. 2007. Zmienność przepływów w ciekach małych zlewni nizinnych o zróżnicowanym zasilaniu i stopniu lesistości na tle warunków meteorologicznych. *Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus* 6(1): 15–25.
- Subehi L., Fukushima T., Onda Y. 2009. Influences of forested watershed conditions on fluctuations in stream water temperature with special reference to watershed area and forest type. *Limnology* 10: 33–45. DOI 10.1007/s10201-008-0258-0.
- Wallace J., Li M., Traylen A. 2009. Forest vegetation monitoring and runoff in water supply catchments affected by drying climate. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)* 3, Article number 54179257: III939–III942.
- Webb B.W., Crisp D.T. 2006. Afforestation and stream temperature in a temperate maritime environment. *Hydrological Processes* 20: 51–66. DOI 10.1002/hyp.5898.
- Wilby R.L., Orr H., Watts G., Battarbee R.W., Berry P.M., Chadd R., Dugdale S.J., Dunbar M.J., Elliott J.A., Extence C., Hannah D.M., Holmes N., Johnson A.C., Knights B., Milner N.J., Ormerod S.J., Solomon D., Timlett R., Whitehead P.J., Wood P.J. et al. 2010. Evidence needed to manage Freshwater ecosystems in a changing climate: Turning adaptation principles into practice. *Science of the Total Environment* 408: 4150–4164. DOI 10.1016/j.scitotenv.2010.05.014.
- Wilkerson E., Hagan J.M., Darlene S., Whitman A.A. 2006. The effectiveness of different buffer widths for protecting headwater stream temperature in Maine. *Forest Science* 52: 221–231.
- Woś A. 2010. Klimat Polski w drugiej połowie XX wieku, Wyd. Nauk. UAM, Poznań. ISBN 978-83-232-2180-7.
- Wrzesiński D. 2013. Entropia odpływu rzek w Polsce, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań. ISBN 978-83-63400-81-1.
- Zwieniecki M., Newton M. 1999. Influence of streamside cover and stream features on temperature trends in forested streams of western Oregon. *Western Journal of Applied Forestry* 14(2):106–113.
- Žganec K. 2012. The effects of water diversion and climate change on hydrological alteration and temperature regime of karst rivers in central Croatia. *Environmental Monitoring and Assessment* 184(9): 5705–5723. DOI 10.1007/s10661-011-2375-1.
- Zhang Y., Guan D., Jin C., Wang A., Wu J., Yuan F. 2014. Impacts of climate change and land use change on runoff of forest catchment in northeast China. *Hydrological Processes* 28(2): 186–196. DOI 10.1002/hyp.9564.