



Artykuły naukowe ♦ Artykuły naukowe ♦ Artykuły naukowe ♦ Artykuły naukowe

Grzegorz Radtke¹, Stefan Dobosz²¹Zakład Ryb Wędrownych w Rutkach, Instytut Rybactwa Śródlądowego w Olsztynie²Zakład Hodowli Ryb Łososiowatych w Rutkach, Instytut Rybactwa Śródlądowego w Olsztynie

Charakterystyka termiczna wód Raduni zasilającej ośrodek hodowli ryb łososiowatych w Rutkach

Wstęp

Temperatura jest podstawowym czynnikiem abiotycznym warunkującym funkcjonowanie organizmów wodnych. Na termikę naturalnych cieków wpływa wiele czynników,

które można sklasyfikować w cztery ogólne grupy, takie jak: warunki atmosferyczne, topografia terenu, warunki przepływu oraz związane z korytem cieku (Caissie 2006). W obszarze klimatu umiarkowanego obejmującego rzeki Polski, zakres rocznych temperatur naturalnych wód mieści

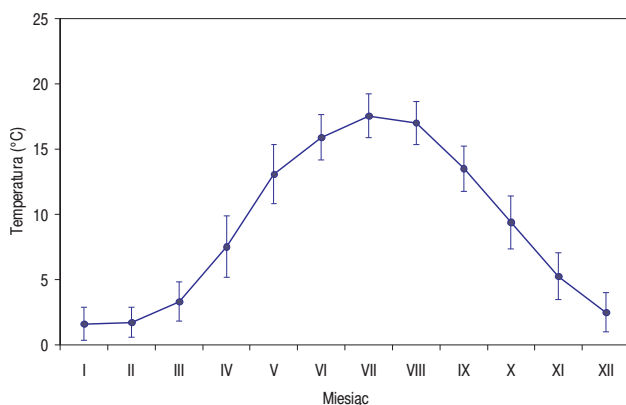
się w przedziale 0-30°C, a za najchłodniejsze uważane są rzeki górskie oraz rzeki Pomorza (Gołek 1961).

Korzystne warunki termiczne rzek na Pomorzu oraz dobra jakość wody były powodem powstania tu licznych ośrodków hodowli ryb łososiowatych (Bontemps 2012, Lirski i Myszkowski 2015). Generalnie uważa się, że latem temperatury wód zasilających obiekty pstrągowe, jedynie krótkookresowo mogą przekraczać 20°C (Backiel 1964, Goryczko i Grudniewska 2015). Takie warunki spełniają głównie małe cieki silnie zasilane źródłami. Odmienna sytuacja występuje w przypadku większych rzek pomorskich wypływających z jezior.

Zachowanie podstawowych kryteriów termicznych cieków, zasilających obiekty hodowli ryb łososiowatych, nabiera szczególnego znaczenia w obliczu zachodzących zmian klimatycznych (Walczykiewicz i Łaciak 2011). Zmiany te skutkują podwyższaniem się temperatury wody oraz spadkiem przepływu rzek, co może mieć poważne implikacje dla hodowców ryb. W tym świetle istotną rolę odgrywa szczegółowe rozpoznanie warunków termicznych wód zasilających obiekty hodowlane, a także śledzenie trendów tych zmian. Niniejsza praca przedstawia charakterystykę termiczną wód rzeki Raduni, stanowiącej źródło zasilania obiektu hodowli ryb łososiowatych w Rutkach, na przestrzeni 30 lat jego funkcjonowania. Zasygnalizowano też podstawowe potencjalne problemy hodowlane wynikające ze zmian temperatury wody.

Materiał i metody

Radunia jest największym, lewobrzeżnym dopływem Motławy (system Wisły). Według „Atlasu podziału hydrograficznego Polski” (Czarnecka 2005) Radunia wypływa z Jeziora Raduńskiego Dolnego, położonego na Pojezierzu Kaszubskim na wysokości 161 m n.p.m. Jej zlewnia obejmuje obszar 822 km², co stanowi 55,3% powierzchni całego systemu Motławy, a długość rzeki wynosi 83,1 km. Po wypłynięciu z jezior położonych w górnym biegu rzeki, Radunia płynie przelomowym odcinkiem w głęboko wcię-



Rys. 1. Roczny przebieg temperatury wody w Raduni w Rutkach (średnie miesięczne oraz odchylenie standardowe) w latach 1985-2014

tym jarze, gdzie utworzono rezerwat przyrody Jar Rzeki Raduni. Poniżej rezerwatu znajduje się piętrzenie elektrowni wodnej w Rutkach. Piętrzenie to służy jednocześnie do zasilania obiektu hodowlanego Zakładu Hodowli Ryb Łososiowatych IRS. Wśród ichtiofauny odcinka Raduni w okolicy Rutek przeważają gatunki reofilne, w tym pstrąg potokowy *Salmo trutta m. fario*, głowacz białopłetwy *Cottus gobio*, lipień *Thymallus thymallus*, strzebla potokowa *Phoxinus phoxinus* i minóg strumieniowy *Lampetra planeri* (Radtke i in. 2011).

Pomiary temperatury wody prowadzone są od początku powstania obiektu, tj. od 1985 roku. Rejestrację prowadzi się codziennie o godzinie 7.00 na doprowadzalniku. Ogółem zebrany materiał obejmował temperatury wody w okresie 30 lat (1985-2014). Na tej podstawie ustalono temperatury charakterystyczne, takie jak: średnie roczne, średnie półroczne (V-X, XI-IV), średnie sezonowe (wiosna – III-V, lato – VI-VIII, jesień – IX-XI, zima – XII-II) i średnie miesięczne. Ponadto określono sumę stopniodni w kolejnych latach oraz liczbę dni w roku z temperaturą równą i przekraczającą 19°C, stanowiącą górną granicę temperatur optymalnych i preferowanych dla pstrąga tęczowego (Coutant 1977, Hokanson i in. 1977, Keefer i in. 2009). Dla każdego ciągu czasowego wyznaczono linie trendu za pomocą modelu regresji liniowej ($Y = a + bx$) oraz ustalono istotność statystyczną współczynnika regresji (b - nachylenie prostej; $H_0: b = 0$; $P < 0,05$). Analizie poddano także przebieg współczynnika zmienności temperatur charakterystycznych (rok, półrocza, sezony i miesiące) w badanym okresie 1985-2014, wg wzoru $V = s/\bar{T}$, gdzie s oznacza odchylenie standardowe, a \bar{T} wartość danej średniej temperatury charakterystycznej.

Wyniki

Średnia roczna temperatura wód Raduni w analizowanym okresie wynosiła 9,0°C. Roczny przebieg temperatury wody (średnie miesięczne) w Raduni w okresie 1985-2014 przedstawia rys. 1. Najwyższą średnią wartość temperatury wody obserwowano w lipcu (17,5°C). Najniższe temperatury notowano w styczniu i lutym, odpowiednio 1,6°C i 1,7°C. Maksymalna średnia miesięczna temperatura wód Raduni w Rutkach wynosiła 19,2°C, natomiast maksymalna obserwowana temperatura (z godz. 7.00) miała wartość 22,0°C. Najwyższą dynamikę temperatur (największe wartości odchylenia standardowego) obserwowano w kwietniu i maju oraz w październiku (rys. 1).

Analiza przebiegu średniej rocznej temperatury oraz średnich temperatur za półrocze letnie (maj-październik) i półrocze zimowe (listopad-kwiecień), w analizowanym trzydziestoletnim okresie wykazywała istotny statystycznie wzrost w półroczu letnim, który wynosił 0,022°C/rok (rys. 2). Z kolei sezonowy układ temperatur wykazywał systematyczny, istotny wzrost ich wartości jesienią o 0,032°C/rok (rys. 3).

Dla większości miesięcy przebieg średnich temperatur wody w okresie 1985-2014 nie wykazywał istotnych trendów (rys. 4, tab. 1). Najwyższy przyrost średnich temperatur zanotowano dla listopada (0,055°C/rok) i kwietnia (0,045°C/rok) – w obu wypadkach zależności były istotne (tab. 1). Stosunkowo wysoki wzrost temperatur można było zauważyć dla września (0,031°C/rok), sierpnia (0,028°C/rok) i lipca (0,027°C/rok), a ponadto także dla maja (0,021°C/rok), jednak zmiany te nie były istotne (rys. 4, tab. 1).

W badanym okresie obserwowano średni przyrost sumy stopniodni w roku o ponad 6°D/rok (rys. 5). W tym przypadku zależność była na granicy istotności statystycznej ($P = 0,057$). Ponadto następował przyrost liczby dni w roku o temperaturze równej lub wyższej niż 19°C.

Należy zaznaczyć, że analizowane temperatury wody w Raduni pochodzą z godziny 7.00, przez co średnie dobowe i maksymalne dobowe oraz przeliczone na ich podstawie rzeczywiste inne temperatury charaktery-

TABELA 1

Równania regresji linii trendu dla wartości średnich miesięcznych temperatur wody w Raduni w latach 1985-2014 (* – istotność statystyczna $P < 0,05$, $n = 30$)

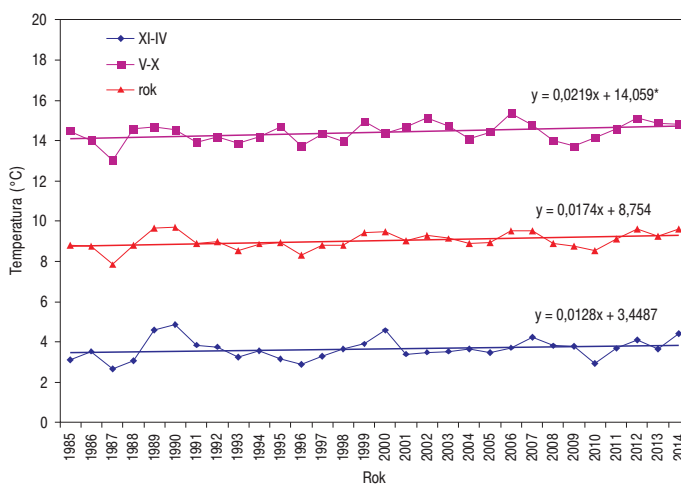
Miesiąc	Równanie regresji
Styczeń	$y = -0,0118x + 1,8066$
Luty	$y = -0,0136x + 1,9239$
Marzec	$y = -0,0028x + 3,3429$
Kwiecień	$y = 0,0446x + 6,8191^*$
Maj	$y = 0,0211x + 12,753$
Czerwiec	$y = 0,0130x + 15,686$
Lipiec	$y = 0,0268x + 17,117$
Sierpień	$y = 0,0283x + 16,578$
Wrzesień	$y = 0,0308x + 13,019$
Październik	$y = 0,0114x + 9,2023$
Listopad	$y = 0,0546x + 4,4058^*$
Grudzień	$y = 0,006x + 2,3937$

styczne z pewnością są nieco wyższe. Wyrównane pomiary temperatury w godzinach wieczornych wykazywały, że różnica pomiędzy temperaturami rano i wieczorem może dochodzić maksymalnie do ok. 2°C.

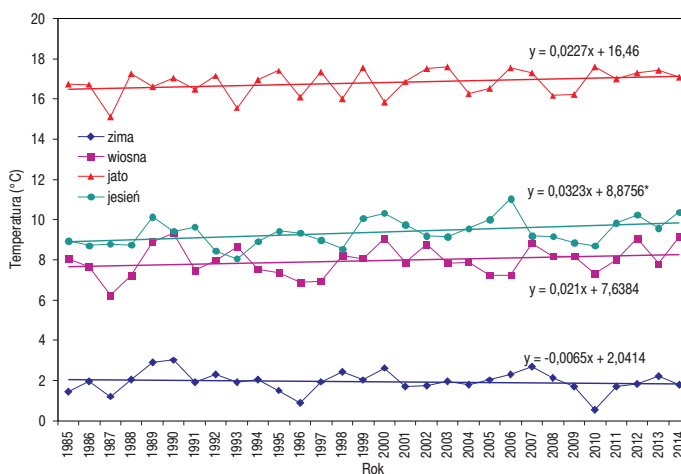
Analiza przebiegu wartości współczynnika zmienności temperatury w badanym okresie wykazała silny i istotny ($P < 0,05$) jego wzrost dla stycznia (rys. 6). W pozostałych okresach trendy tego współczynnika nie były istotne.

Dyskusja

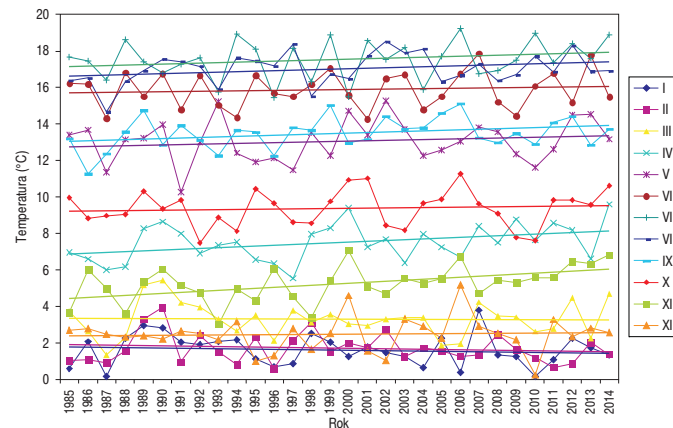
Według klasyfikacji termicznej rzek Polski, Radunię można zaliczyć do rzek zimnych, ze względu na średnią roczną temperaturę wody $\bar{T} = 9,0^{\circ}\text{C}$ i amplitudę $\Delta T = 7,9^{\circ}\text{C}$ dla analizowanego wielolecia (Nawrocka 1986, Bogdanowicz 2007). Charakterystyczne temperatury wody w Raduni



Rys. 2. Przebieg średniej rocznej temperatury oraz średnich półrocznych temperatur wody w Raduni w kolejnych latach analizowanego okresu wraz z liniami trendu (* – $P < 0,05$)

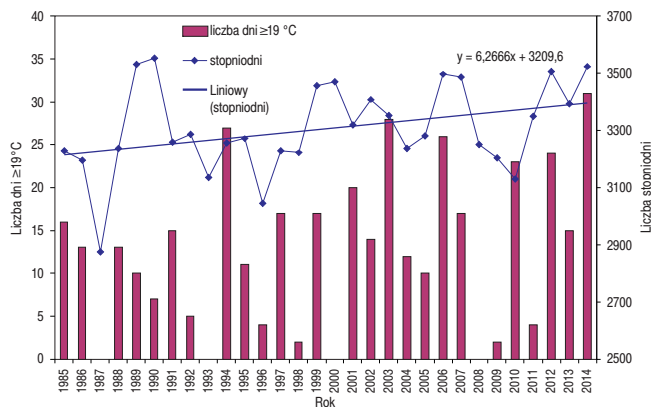


Rys. 3. Przebieg średnich sezonowych temperatur (wiosna, lato, jesień, zima) w Raduni w kolejnych latach analizowanego okresu wraz z liniami trendu (* – $P < 0,05$)

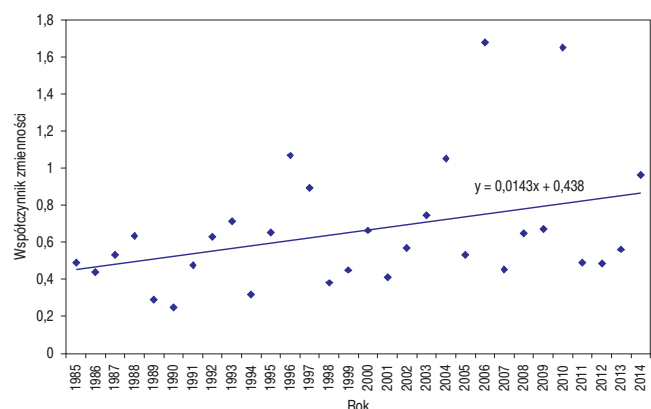


Rys. 4. Przebieg średnich miesięcznych temperatur wody w Raduni w kolejnych latach analizowanego okresu wraz z liniami trendu (równania regresji przedstawiono w tab. 1)

nie odbiegają od większości rzek Pomorza (Gołek 1961), jednakże w rejonie Pojezierza Kaszubskiego występują rzeki zasilające obiekty hodowli pstrąga znacznie zimniejsze, np. Reda (Bogdanowicz 2007), jak i zdecydowanie cieplejsze, np. Trzebiocha (Sakowicz 1961). Należy zana-



Rys. 5. Przebieg sumy temperatur (liczba stopniodni) dla Raduni w kolejnych latach badanego okresu wraz z linią trendu ($P = 0,057$) oraz liczba dni równych i wyższych od 19°C



Rys. 6. Przebieg współczynnika zmienności na poziomie istotnym ($P < 0,05$) temperatur wody dla stycznia w kolejnych latach badanego okresu

czyż, że w badanym okresie 30 lat, w Raduni i najprawdopodobniej w innych sąsiednich rzekach, zauważalny jest istotny wzrost niektórych średnich charakterystycznych temperatur.

W ostatnich latach następuje wyraźny przyrost produkcji i konsumpcji ryb pochodzących z akwakultury, przy spadku ogólnych połowów ryb w wodach otwartych. Zmniejszenie udziału ryb z połowów rybackich spowodowane jest zarówno ograniczonymi zasobami ryb, jak i negatywnym wpływem zmian klimatycznych na te zasoby (Ficke i in. 2007, De Silva i Soto 2009). W Polsce ten wzrost udziału ryb z hodowli wpisuje się w globalną zmianę profilu konsumpcji ryb, przy czym w ostatnich latach najistotniejszy przyrost produkcji obserwowany jest dla pstrąga tęczowego *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) (Bontemps 2012, Goryczko i Grudniewska 2015). Z tego względu, zmiany temperatury cieków zasilających hodowle pstrąga mogą istotnie wpłynąć na sukces hodowli lub ograniczyć produkcję. Dla obszaru Polski, przewidywane zmiany klimatyczne dotyczą wzrostu temperatury wód w rzekach oraz spadku poziomu wód (Walczykiewicz i Łaciak 2011).

W procesie hodowli temperatura wody odgrywa podstawową rolę, bowiem stymuluje i wpływa na przebieg wszystkich etapów rozwojowych ryb, począwszy od tarła,

poprzez inkubację ikry, wzrost narybku oraz dojrzewanie ryb starszych (Fry 1971, Alabaster i Lloyd 1980, Szczerbowski 1993). Zależne od temperatury są takie czynniki jak: tempo wzrostu, wykorzystanie pokarmu, odporność i zdrowotność ryb, aktywność itp. W przypadku hodowli ryb łososiowatych, uważanych za zimnolubne, w świetle zachodzących zmian klimatu istotnym elementem jest powiązanie temperatur środowiska z ich preferencjami termicznymi na każdym etapie życia. Temperatury optymalne dla wzrostu narybku pstrąga tęczowego (według różnych autorów) mieszczą się w zakresie $13-18^{\circ}\text{C}$ (m. in. Hokanson i in. 1977, Bear i in. 2007, Goryczko i Grudniewska 2015). Jednakże za górny próg temperatury optymalnej uważana jest wartość ok. $19-20^{\circ}\text{C}$. Powyżej tej wartości następuje gorsza przyswajalność pokarmu i słabsze tempo wzrostu (Hokanson i in. 1977, Myrick i Cech 2000), a są to jedne z najistotniejszych parametrów hodowlanych. W naturalnym środowisku pstrągi tęczowe unikają temperatury powyżej $18-19^{\circ}\text{C}$ (Ebersole i in. 2001, Keefer i in. 2009). Górne temperatury letalne dla pstrąga tęczowego mieszczą się w granicach $24-30^{\circ}\text{C}$, w zależności od przyjętej metody badawczej i temperatury aklimatyzacji. W naturalnych potokach zanik pstrąga tęczowego obserwowano przy temperaturze $24-25^{\circ}\text{C}$ (Eaton i in. 1995, Baird i Kruger 2003, Spina 2007).

Analiza przebiegu temperatur dla ośrodka hodowlanego w Rutkach wskazuje, że następuje wzrost temperatury wody zasilającej obiekt, zarówno w okresie lata, jak i w miesiącach wiosennych (kwiecień) i jesienią (listopad). Podobna sytuacja obserwowana jest w sąsiadującej z Radunią rzece Trzebiosze w systemie Wdy, poniżej jezior, na której zlokalizowano ośrodek hodowlany zasilany wodą powierzchniową (Radtke – dane niepublikowane). W wyższych temperaturach spada zawartość tlenu w wodzie, a jednocześnie wzrasta zapotrzebowanie na tlen przez ryby (Fry 1971, Szczerbowski 1993). Takie zmiany mogą mieć poważny wpływ na przebieg hodowli, szczególnie w okresie lata. Jednym ze skutków przekroczenia optymalnych temperatur jest wzrost zachorowalności ryb (Alabaster i Lloyd 1980, Wedemeyer 1996). Wyższa zachorowalność ryb łososiowatych, z uwagi na zmiany klimatyczne i wzrost temperatur, prognozowana jest między innymi w warunkach hodowlanych (Karvonen i in. 2010, Marcos-Lopez i in. 2010). W ostatnich latach także w Polsce obserwowany jest wzrost przypadków nowych chorób bakteryjnych i wirusowych u pstrąga tęczowego (Grawiński 2010). Efektem zbyt wysokich temperatur mogą być poważne straty zarówno w hodowli, jak i w naturze przez wyższą zachorowalność i śmiertelność ryb. Innym problemem wynikającym ze zmian klimatu może być zmniejszenie ilości dostępnej wody do zasilania hodowli, wynikające ze spadku przepływów w rzekach (Walczykiewicz i Łaciak 2011).

Prawdopodobne zmiany klimatyczne powodujące wzrost temperatur wód, wymuszają dopasowanie strategii hodowlanych do zmieniających się warunków. Takim dopasowaniem może być większe wykorzystanie wód głębinowych i zastosowanie zamkniętego obiegu wody w procesie hodowlanym. Wprowadzenie tego typu rozwiązań na szerszą skalę, z pewnością wpłynie na poprawę jakości wód powierzchniowych, a przede wszystkim zabezpieczy hodowlę przed zmieniającymi się warunkami środowiska oraz przed przeniesieniem się czynników chorobotwórczych.

Literatura

- Alabaster J.S., Lloyd R. 1980 – Water Quality Criteria for Freshwater Fish. Butterworths, London.
- Backiel T. 1964 – Pstrągi. PWRiL, Warszawa.
- Baird O.E., Krueger C.C. 2003 – Behavioral thermoregulation of brook and rainbow trout: comparison of summer habitat use in an Adirondack river, New York – Trans. Am. Fish. Soc. 132: 1194-1206.
- Bear E.A., McMahon T.E., Zale A.V. 2007 – Comparative thermal requirements of westslope cutthroat trout and rainbow trout: implications for species interactions and development of thermal protection standards – Trans. Am. Fish. Soc. 136: 1113-1121.
- Bogdanowicz R. 2007 – Reżim rzeczny Redy – W: Wody słonawych podmokłości delty Redy i Zagórskiej Strugi (Red.) J. Fac-Benedy, R. Cieśliński, Gdańskie Tow. Naukowe, Fundacja Rozwoju UG, Gdańsk: 72-75.
- Bontemps S. 2012 – Analiza produkcji i sprzedaży pstrągów tęczowych w 2011 r. – Komun. Ryb. 4: 17-25.
- Caissie, D. 2006 – The thermal regime of rivers: a review – Freshwater Biology 51: 1389-1406.
- Coutant C.C. 1977 – Compilation of temperature preference data – J. Fish. Res. Bd. Can. 34(5): 739-746.
- Czarnecka H. (Red.) 2005 – Atlas podziału hydrograficznego Polski – IMGW, Warszawa.
- De Silva S.S., Soto D. 2009 – Climate change and aquaculture: potential impacts, adaptation and mitigation – FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 530: 151-210.
- Eaton J.G., McCormick J.H., Goodno B.E., O'Brien D.G., Stefany H.G., Hondo M., Scheller R.M. – 1995. A field information-based system for estimating fish temperature tolerances – Fisheries 20: 10-18.
- Ebersole J.L., Liss W.J., Frissell C.A. 2001 – Relationship between stream temperature, thermal refugia and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* abundance in arid-land streams in the northwestern United States – Ecol. Freshw. Fish. 10: 1-10.
- Ficke A.D., Myrick C.A., Hansen L.J. 2007 – Potential impacts of global climate change on freshwater fisheries – Rev. Fish Biol. Fisheries 17: 581-613.
- Fry F.E.J. 1971 – The effect of environmental factors on the physiology of fish – W: Fish physiology. Vol. VI. Environmental relations and behavior (Red.) W.S. Hoar and D.J. Randall, Academic Press, New York: 1-98.
- Gołek J. 1961 – Termika rzek Polski – Prace PIHM, Zesz. 62, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Goryczko K., Grudniewska J. 2015 – Chów i hodowla pstrąga tęczowego – Wyd. IRS, Olsztyn.
- Grawiński E. 2010 – Mało znane choroby ryb łososiowatych występujące na obszarze północnej Polski – Życie Weterynaryjne 85(6): 522-528.
- Hokanson K.E.F., Kleiner C.F., Thorslund T.W. 1977 – Effects of constant temperatures and diel temperature fluctuations on specific growth and mortality rates and yield of juvenile rainbow trout, *Salmo gairdneri* – J. Fish. Res. Bd. Can. 34(5): 639-648.
- Karvonen A., Rintamaki P., Jokela J., Valtonen E.T. 2010 – Increasing water temperature and disease risks in aquatic systems: Climate change increases the risk of some, but not all, diseases – International Journal of Parasitology 40: 1483-1488.
- Keefer M.L., Peery C. A., High B. 2009 – Behavioral thermoregulation and associated mortality trade-offs in migrating adult steelhead (*Oncorhynchus mykiss*): variability among sympatric populations – Can. J. Fish. Aquat. Sci. 66: 1734-1747.
- Lirski A., Myszowski L. 2015 – Polska akwakultura w 2013 roku na podstawie analizy kwestionariuszy RRRW-22. Część 2 – Komun. Ryb. 1: 12-18.
- Marcos-Lopez M., Gale P., Oidtmann B.C., Peeler E.J. 2010 – Assessing the impact of climate change on disease emergence in freshwater fish in the United Kingdom – Transboundary and Emerging Diseases 57: 293-304.
- Myrick C.A., Cech Jr. J.J. 2000 – Temperature influences on California rainbow trout physiological performance – Fish Physiol. Biochem. 22: 245-254.
- Nawrocka E. 1986 – Temperatura wód powierzchniowych. – W: Atlas hydrologiczny Polski (Red.) J. Stachy, IMiGW, T 2, Zesz. 2: Wyd. Geol., Warszawa: 588-594.
- Radtke G., Bernaś R., Dębowski P., Skóra M. 2011 – Ichtiofauna dorzecza Motławy – Rocz. Nauk. PZW 24: 5-27.
- Sakowicz S. 1961 – Warunki termiczne wody potoku Trzebiocha – Rocz. Nauk Roln. 93, D: 307-330.
- Spina A.P. 2007 – Thermal ecology of juvenile steelhead in a warm-water environment – Environ. Biol. Fish. 80: 23-34.
- Szczerbowski J.A. (Red.) 1993 – Rybactwo śródlądowe – Wyd. IRS, Olsztyn.
- Walczkiewicz T., Łaciak J. 2011 – Gospodarka wodna w Polsce w świetle zmian klimatu – Gosp. Wod. 1: 12-18.
- Wedemeyer G.A. 1996 – Physiology of fish in intensive culture systems – Chapman & Hall, ITP.

Przyjęto po recenzji 7.07.2015 r.

THERMAL CHARACTERISTICS OF RADUNIA RIVER SUPPLYING WATER FOR THE RUTKI TROUT BREEDING CENTER

Grzegorz Radtke, Stefan Dobosz

ABSTRACT. Water temperatures in the Radunia River were recorded daily during the 1985-2014 period at the IFI research trout breeding center in Rutki. In comparison to other rivers in Poland, the Radunia is cold. The average annual water temperature over the long-term was 9°C. The highest average monthly temperature was noted in July (17.5°C) and the lowest in January (1.6°C). Some increasing trends for most of the characteristic temperatures were noted. Statistically significant increases were recorded for the summer half-years, and among seasons in the fall. In relation to average monthly temperatures, the highest significant increases occurred in April and November. In winter, a slight but not significant, decrease in temperature was observed. For temperatures in January, a significant increase in the coefficient of variation occurred. In addition, there was an increase in the number of days with temperatures of $\geq 19^\circ\text{C}$, which is the upper limit of the optimum temperature for rainbow trout. The increase of river temperatures can probably be explained by climate change. These changes can have serious consequences for trout farms that are supplied with surface waters because of the resulting higher incidence of fish diseases, slower growth, and higher mortality.

Keywords: Radunia River, water temperature, rainbow trout, climatic changes