

Wybrane aspekty środowiskowych skutków zrzutu wód pochłodniczych przez elektrownie termiczne z otwartym systemem chłodzenia

Raport z badań terenowych
przeprowadzonych w latach 2019 i 2020



Wybrane aspekty środowiskowych skutków zrzutu wód pochłodniczych przez elektrownie termiczne z otwartym systemem chłodzenia

Raport z badań terenowych
przeprowadzonych w latach 2019 i 2020

ZESPÓŁ AUTORSKI

Michał Cebula	Pisanie i edytowanie fragmentów raportu
Karol Ciężak	Przeprowadzenie badań terenowych, wizualizacja fragmentów raportu
Łukasz Mikołajczyk	Przeprowadzenie badań terenowych, analiza danych, edytowanie fragmentów raportu
Tomasz Mikołajczyk	Przygotowanie projektu badań, opracowanie i dostosowanie metod badawczych, przeprowadzenie badań terenowych, pisanie i edytowanie fragmentów raportu
Michał Nowak	Przeprowadzenie badań terenowych, analiza danych, pisanie i edytowanie fragmentów raportu
Dariusz Skowronek	Logistyka i udział w badaniach terenowych
Robert Wawręty	Nadzór i koordynacja badań, analiza danych, redakcja, pisanie i edytowanie fragmentów raportu
Roman Żurek	Przygotowanie projektu badań, przeprowadzenie badań terenowych, analiza danych i pisanie fragmentów raportu

PODZIĘKOWANIA

Diana Maciąga i Anna Wawręty

KOREKTA

Diana Maciąga

ZDJĘCIE NA OKŁADCE

Roman Żurek

PROJEKT GRAFICZNY I SKŁAD

Magda Warszawa

Badania terenowe na zlecenie Towarzystwa na rzecz Ziemi wykonały następujące podmioty: Gospodarstwo Rybackie Mazanów, Pracownia Ekspertyz i Badań Ichtiologicznych oraz Zakład Badań Ekologicznych.

Źródłem pochodzenia danych jest Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy. Dane Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego, zostały przetworzone.
Dotyczy stron: 17, 20, 34–37, 40, 46, 65.

WYDAWCA



Towarzystwo na rzecz Ziemi
ul. Leszczyńskiej 7, 32-600 Oświęcim
tel.: 33 842 21 20, 737 692 261
e-mail: biuro@tnz.most.org.pl
tnz.most.org.pl

PARTNER



**Stowarzyszenie Pracownia
na rzecz Wszystkich Istot**
ul. Jasna 17, 43-360 Bystra
pracownia.org.pl

© Towarzystwo na rzecz Ziemi, 2021

ISBN 978-83-60106-17-4

Spis treści

Przedmowa	5
Wstęp	7
Wody chłodnicze polskich elektrowni termicznych	11
Stan ilościowy wód pochlodniczych	12
Temperatury wód pochlodniczych na przykładzie Elektrowni Kozienice w oparciu o dane operatora.....	14
Zmiany lokalnego rozkładu temperatury wód Wisły poniżej elektrowni Kozienice i Połaniec	16
Informacje ogólne	17
Elektrownia Kozienice	17
Wyniki pomiarów za pomocą termometru	17
Wyniki z automatycznych mierników temperatury	22
Elektrownia Połaniec	27
Wyniki pomiarów za pomocą termometru	27
Wyniki z automatycznych mierników temperatury	31
Dynamika zmian temperatury Wisły	33
Zmiany temperatury Wisły w latach 1981–2019	34
Zmiany temperatury wód Wisły poniżej zrzutu wód pochlodniczych elektrowni Kozienice oraz Połaniec oszacowane na bazie danych operatora elektrowni udostępnionych przez WIOŚ i Urząd Marszałkowski	37
Elektrownia Kozienice	38
Elektrownia Połaniec	39
Wyniki wstępnych badań ichtiofauny rzeki Wisły w rejonie Elektrowni Kozienice w aspekcie zróżnicowanej temperatury wody	41
Metodyka badań	42
Obszar badań	42
Metody połowu ryb	43
Analiza danych	46
Wyniki	47
Dane ogólne	47
Analiza rozkładów liczebności najliczniejszych gatunków	54
Analiza danych dotycząca długości (longitudototalis, TL) odłowionych osobników	56
Dyskusja	57
Prawnośrodowiskowe i ekonomiczne kwestie odprowadzania wód pochlodniczych z elektrowni termicznych	62
Temperatura odprowadzanych wód chłodniczych	63
Monitoring temperatury wód chłodniczych	67
Opłaty za pobór i zrzut wód chłodniczych	70
Podsumowanie i wnioski	72
Rekomendacje	75
Literatura	77
Streszczenie	81

Przedmowa

Elektrownie termiczne (węglowe, gazowe i jądrowe) z otwartym systemem chłodzenia w procesie produkcji energii używają olbrzymie ilości wody, którą pobierają z rzek, jezior lub zatok morskich. W Polsce to 62%, w USA to ok. 45% całej ilości słodkiej wody użytej w gospodarce z uwzględnieniem zaopatrzenia ludności. Zużycie tak dużej ilości wody ma szeroki, negatywny wpływ na ekosystemy wodne narażone na pobór i zrzut wody z elektrowni. Podstawowymi problemami związanymi z działaniem otwartych systemów chłodzenia są:

- unicestwienie wszelkich organizmów zassanych wraz z wodą do systemów chłodzących elektrowni (ryby, płazy, owady, skorupiaki, mięczaki etc.),
- drastyczne zmiany reżimu termicznego rzeki lub jeziora poniżej ujścia wód pochłodniczych (podgrzanie rzeki), skutkujące zmianą warunków bytowania roślin i zwierząt,
- zaburzenia ciągłości ekologicznej rzeki poprzez budowle hydrotechniczne piętrzące wodę dla potrzeb elektrowni.

Powyższymi procesom towarzyszy podniesienie temperatury wód powierzchniowych w wyniku globalnego ocieplenia, a także zmiana ich termiki spowodowana m.in. urbanizacją terenów, odprowadzeniem ścieków z innych źródeł niż energetyka, czy też funkcjonowaniem zapór.

Oddany w Państwa ręce Raport porusza problem zmian reżimu termicznego wód powierzchniowych, do których każdego roku trafia średnio 6 mld m³ podgrzanych wód pochłodniczych. W Polsce pracuje 12 elektrowni węglowych z otwartym systemem chłodzenia (każda o mocy przekraczającej 100 MW), z czego 7 znajduje się w dorzeczu Wiśły. Dwie z nich, Elektrownia Kozienice (bloki 1–10) i Elektrownia Połaniec, w ciągu ostatnich lat zużywały każdego roku najwięcej wody

w energetyce. Było to łącznie średnio 2,9 mld m³ wody, co stanowiło 47% całkowitego poboru wód na potrzeby tego sektora.

W ramach opracowania podjęto próbę oceny zmian termiki Wisły powodowanych przez elektrownie Połaniec i Kozienice. W tym celu wykorzystano dostępne dane Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, GUS oraz dane raportowane przez operatorów elektrowni, a udostępnione przez Urzędy Marszałkowskie i Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska. Ponadto przeprowadzono szereg własnych pomiarów temperatury w terenie. Niestety ze względu na permanentne kradzieże czujników temperatury oraz ich uszkodzenia zaprezentowano tylko tę część danych, którą udało się odzyskać. Wyniki oceniono pod kątem kryteriów termicznych wskazanych w nieobowiązującej już Dyrektywie 2006/44/WE w sprawie jakości słodkich wód wymagających ochrony lub poprawy w celu zachowania życia ryb. Określone w niej limity temperatur w najlepszym stopniu chroniły dotychczas ekosystemy rzeczne przed szkodliwym wpływem zanieczyszczeń termicznych. Akt ten został zastąpiony Ramową Dyrektywą Wodną, w której nie przewidziano norm regulujących dopuszczalną temperaturę wody w odbiorniku poniżej punktu zrzutu ścieków termicznych. Stare zapisy traktujemy więc jako punkt odniesienia, do którego powinna dążyć Polska, a wraz z nią pozostała część Unii Europejskiej, jeśli chce rzeczywiście chronić środowisko wodne.

Na potrzeby Raportu dokonano również oceny wpływu wód pochłodniczych Elektrowni Kozienice na ichtiofaunę. To pierwsza po kilkudziesięciu latach próba zmierzenia się z tym problemem z zastosowaniem najnowszych metod statystycznych. Ze względów finansowych i logistycznych badania w tym zakresie były zakrojone na niewielką skalę i przeprowadzone w stosunkowo krótkim okresie czasu. Dlatego należy je traktować jako pilotażowe i jako zaczątek większych, długofalowych działań. Uzyskane wyniki, jakkolwiek ciekawe, spójne i zgodne z podobnymi publikacjami o zasięgu międzynarodowym, należy traktować jako bardzo obiecujące i dające informacje oraz dane aby wyznaczyć kierunek następnych badań.

W ramach opracowania dokonano także oceny przepisów prawa krajowego pod kątem skuteczności ochrony środowiska wodnego przed negatywnym wpływem ścieków termicznych, a także analizy systemu opłat za pobór i zrzut wód pochłodniczych w zakresie zgodności z prawem unijnym. Publikację zakończono wnioskami i rekomendacjami, ze szczególnym uwzględnieniem niezbędnych zmian w prawie krajowym.

Wstęp



Zmiana termiki rzek i jezior wywołana działalnością człowieka postępuje od setek lat. W minionych wiekach wzrost temperatury wody rzek spowodowany był prawie wyłącznie przez masową wycinkę lasów. Szybko postępująca deforestacja Europy i Azji, a później Ameryki Północnej i Południowej, zlikwidowała naturalne zacienienie lustra wody rzek i potoków, przez co zwiększyła ich nasłonecznienie i przyczyniła się do ich silnego nagrzewania (Brown 1970, Beschta i wsp. 1987, Johnson i Jones 2000, Caissie 2006, Mikołajczyk i Nawrocki 2019). Zastąpienie lasów polami uprawnymi spowodowało również podniesienie się temperatury gleby, a co za tym idzie temperatury wód powierzchniowych zasilających rzeki (Quinn i wsp. 1992).

W obecnych czasach, w związku z gwałtownym rozwojem cywilizacyjnym i wzrostem liczby ludności, głównymi czynnikami powodującymi podnoszenie się temperatury wód otwartych i zmiany w reżimie termicznym rzek jest ogólne ocieplanie klimatu (Liepolt 1972, Bacalbasa-Dobrovici 1989, Webb i Nobilis 1994, Webb i Walsh 2004, Gomoiu i wsp. 2005) oraz wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia termiczne (thermal pollution) pochodzące z wielkich miast (gorące ścieki komunalne i przemysłowe), a przede wszystkim z elektrowni termicznych (węglowych, gazowych czy jądrowych) wyposażonych w otwarty system chłodzenia (once-through cooling system), które odpowiedzialne są za **80%** wszelkich zanieczyszczeń termicznych wód otwartych (John 1971, Majewski i Miller 1979, Langford 1990, Caissie 2006, Logan i Stillwell 2018). Zjawisko jest tak poważne, że doczekało się potocznej nazwy „**river water temperature crisis**” i jest przedmiotem intensywnej dyskusji i licznych prób rozwiązania tego problemu (Watts 2012, Peredo-Alvarez i wsp. 2016, Logan i Stillwell 2018). Elektrownie termiczne z otwartym systemem chłodzenia powodują podgrzanie wód i zmiany w ekosystemach zarówno rzek, jak i jezior (Reutter i Herdendorf 1976, Wilkońska 1994, Tereshchenko i wsp. 2007, Najberek i Solarz 2011, Kapusta i Bogacka-Kapusta 2015, Kapusta i wsp. 2017, Gashkina i Moiseenko 2020), zatok morskich, czy estuariów (Jones i wsp. 1996, Teixeira i wsp. 2009, Teixeira i wsp. 2012), w zależności od miejsca usytuowania elektrowni.

Rozważając wpływ zanieczyszczenia termicznego wód na ekosystemy wodne należy zacząć od przedstawienia ogólnie przyjętych faktów, na tyle znanych i oczywistych, że stanowią informację encyklopedyczną. Podniesienie temperatury wody powoduje zmniejszenie ilości rozpuszczonych w niej gazów, w tym tlenu. Taka zmiana jest bardzo niekorzystna dla ryb, gdyż wraz ze wzrostem temperatury ciała ryb

zwiększa się tempo ich metabolizmu, a przez to zapotrzebowanie organizmu na tlen (Opuszyński 1983). Mamy więc do czynienia z podwójnie niekorzystnym działaniem. Niewielka zmiana temperatury może także zwiększyć wrażliwość ryb na toksyny zawarte w wodzie (efekt synergistyczny) (Sylvester 1972, Cooke i Schreer 2001). Podwyższenie temperatury wody zwiększa również prawdopodobieństwo zakwitów glonów i sinic. W zależności od stężenia rozpuszczonego tlenu podgrzanie wód przyspiesza procesy samooczyszczania środowiska wodnego, ale jednocześnie prowadzi to do pojawienia się w wodzie toksycznych produktów przemiany materii, dalszego zaniku tlenu i możliwej przyduszy, czego ryby i inne organizmy wodne nie przeżyją. W podgrzanych wodach ryby nie przechodzą okresu zimowania, co w rezultacie zmienia ich cykl płciowy i termin rozrodu ze wszystkimi tego dalszymi konsekwencjami (Van Der Kraak i Pankhurst 1996, Luksiene i wsp. 2000). Podwyższona temperatura wody w rzekach oddziałuje również na inne organizmy związane z wodą: zrzut gorących ścieków w okresie zimowym zapobiega zamarzaniu wód, co silnie zaburza cykle życiowe ptaków, które rezygnują z migracji. Powszechnie uznaje się, że niezamarzanie fragmentów rzek poniżej elektrowni, miast i zbiorników zaporowych jest jedną z głównych przyczyn silnej ekspansji kormorana czarnego w Polsce i Europie, który powoduje gigantyczne straty w rybostanie wód otwartych. Podwyższona temperatura sprzyja pojawianiu się i adaptacji gatunków inwazyjnych, zarówno ryb jak i bezkręgowców, w tym pasożytów (Emde i wsp. 2016). Najbardziej znany przykład to inwazja azjatyckiego nicienia *Anguilicolla crassus*, który przyczynia się do zaniku węgorza w basenie Bałtyku (Hoglund i Thomas 1992, Rolbiecki i Rokicki 2005) oraz inwazja małży *Corbicula fluminea* w Wiśle poniżej Kozienic (Nowak i Mikołajczyk, dane nieopublikowane).

Zanieczyszczenie termiczne rzek i wpływ tego zjawiska na ekosystemy rzeczne jest tematem poruszonym od kilku dziesięcioleci (John 1971, Craddock 1976, Gray 1983, Langford 1990, Wiśniewski 2000, Langford 2001, Wałkuska i Wilczek 2010). Prym w tej dziedzinie wiodą instytucje naukowe z USA, gdyż to właśnie tam dokonały się największe zniszczenia i zmiany ekosystemów wodnych na skutek pracy setek elektrowni z otwartym systemem chłodzenia, które zanieczyszczają rzeki swoimi wodami chłodniczymi (Sierra Club 2011, Union of Concerned Scientists 2011). Środowisko legendarnych, gigantycznych rzek, takich jak Mississippi (28 siłowni termicznych), Missouri (6 elektrowni), Hudson River (17 elektrowni), Ohio River (18 siłowni), Tennessee River (14 siłowni termicznych) i wielu innych zostało zdegradowane właśnie przez energetykę i związane z nią zanieczyszczenia termiczne (Wright i wsp. 1999, Sierra Club 2011, Union of Concerned Scientists 2011). Oficjalne dane rządu USA wskazują, że elektrownie termiczne pobierają (i zrzucają) do rzek, jezior lub do zatok morskich **756 milionów metrów sześciennych**

wody dziennie, co daje prawie 276 miliardów metrów sześciennych podgrzanej wody rocznie. Oficjalne dane z lat 2001–2006 wskazują, że w USA średnia temperatura wód pochłódniczych jest o 10 °C wyższa od tej pobranej z rzek (Madden i wsp. 2013), a jest i tak o 5 °C niższa niż notowana w latach wcześniejszych (Langford 2001), co niewątpliwie wiąże się z postępującą modernizacją elektrowni i wprowadzaniem nowocześniejszych rozwiązań technicznych. Przemysł energetyczny wykorzystuje ponad 45% wody słodkiej, pobieranej przez całe USA (Maupin i wsp. 2010).

O ilości energii, jaka jest „pompowana” do środowiska i bezpowrotnie tracona w procesie wytwarzania energii elektrycznej niech świadczy fakt, że zaledwie 40% energii uzyskanej ze spalania paliw kopalnych lub reakcji jądrowych zostaje przekształcona w energię elektryczną. Pozostałe 60% oddawane jest w postaci podgrzanych wód pochłódniczych do rzek i jezior ze wszystkimi konsekwencjami tego procederu (Wright i wsp. 1999, European Environmental Agency 2021). Taka sytuacja jest wynikiem olbrzymiego i niepokonanego zapotrzebowania na energię, jak również funkcjonowania przestarzałego, wodochłonnego systemu produkcji energii wykorzystującego otwarte systemy chłodzenia. W tab. 1. przedstawiono przykłady kilku elektrowni z terenu USA, z precyzyjnymi danymi odnośnie ilości zużywanej wody i energii traczonej w wodach pochłódniczych.

Tab. 1. Ilość zużytej wody i oddanego ciepła do rzek dla wybranych elektrowni z terenu USA (Wright i wsp. 1999, Logan i Stillwell 2018).

Elektrownia	Rzeka	Moc (MW)	Pobór wody ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Ilość ciepła oddanego do rzeki ($10^6 \times \text{BTU}^*/\text{h}$)	Ilość ciepła oddanego do rzeki (MWh)	Wzrost temperatury wody (°C)
North Omaha U. 5	Missouri	217,6	6,9	1246	365	12,6
Fort Colhoun	Missouri	502,0	19,6	3340	979	11,9
Cooper	Missouri	835,6	35,1	5016	1470	10,0
Shawnee Fossil Pl.	Ohio	1750	68	6400	1876	10,2

* BTU – British Thermal Units. Jednostka energii stosowana przede wszystkim w Stanach Zjednoczonych. Jeden BTU to ilość energii potrzebna do podniesienia temperatury jednego funta wody o jeden stopień Fahrenheita. Jeden BTU = 1055 J = 252 cal.

Wody chłodnicze polskich elektrowni termicznych



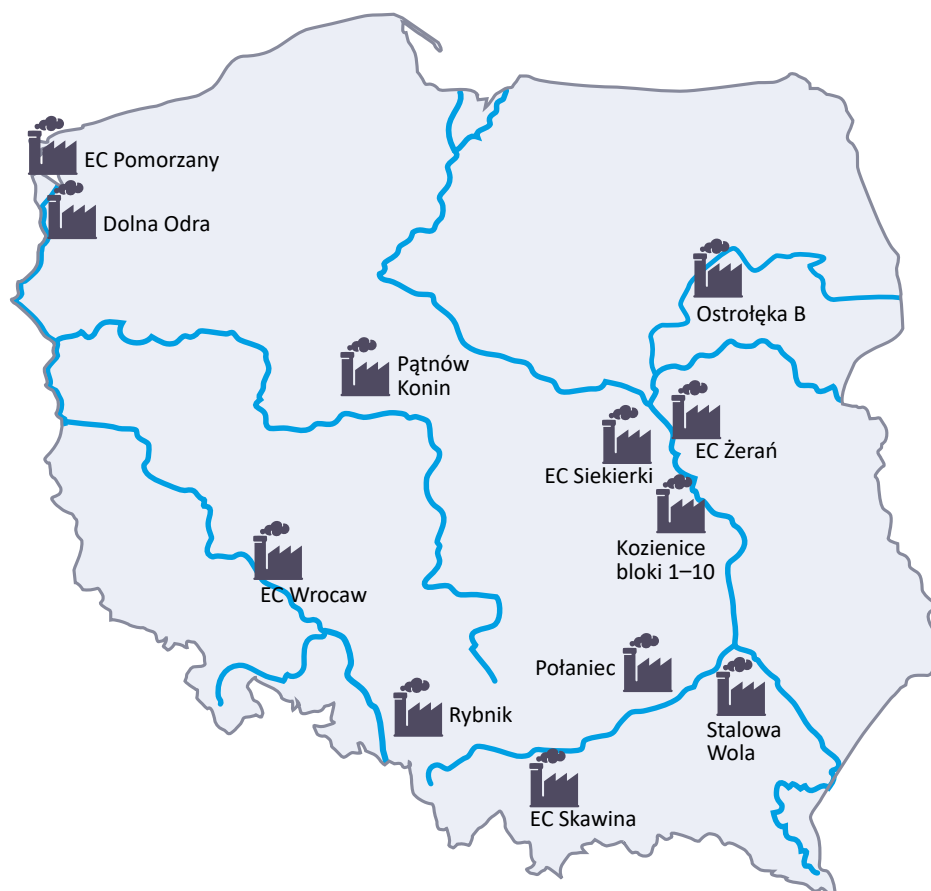
Stan ilościowy wód pochłoniczych

Elektrownie termiczne należą do największych użytkowników wody w Polsce. Woda spełnia wiele funkcji technologicznych w procesie produkcji energii jednak najbardziej wodochłonnym procesem jest chłodzenie skraplaczy (kondensatorów) turbin. Rozróżnia się trzy podstawowe systemy chłodzenia: otwarty (jednoprzepływowy), zamknięty (recyrkulacyjny) i kombinowany (łączony). Spośród trzech wymienionych układów największej ilości wody wymagają systemy otwarte. Woda po schłodzeniu kondensatorów zostaje z powrotem odprowadzana do wód powierzchniowych w postaci silnie podgrzanych ścieków. Woda jest również użytkowana w systemach odsiarczania spalin oraz do chłodzenia różnych urządzeń mechanicznych i elektrycznych. W porównaniu z chłodzeniem kondensatorów są to jednak ilości marginalne. Z uwagi na znaczne zapotrzebowanie na wodę, elektrownie cieplne lokalizowano w sąsiedztwie rzek lub jezior gwarantujących im ciągłość jej dostaw. W Polsce spośród 12 elektrowni termicznych z otwartym obiegiem chłodzenia, aż 7 zlokalizowanych jest w dorzeczu Wisły. Podstawowe parametry elektrowni wraz z dopuszczalną wielkością poboru wód przedstawiono w tabeli 2, natomiast na ryc. 1 pokazano ich rozmieszczenie.

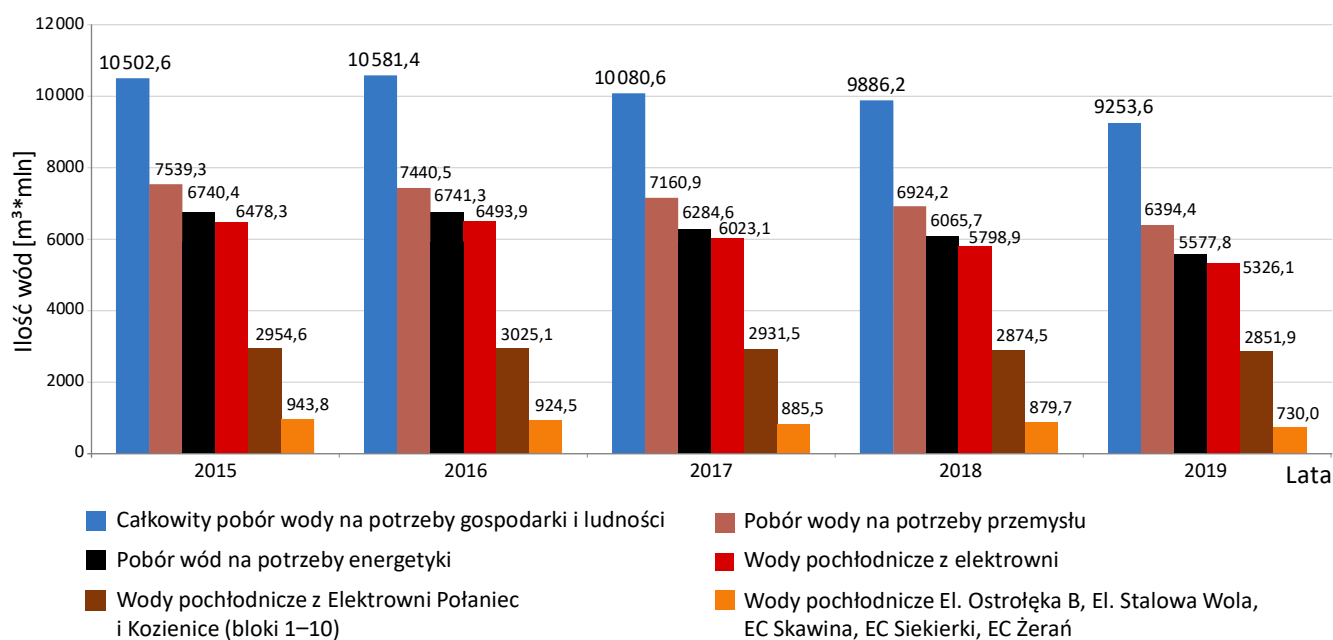
Na ryc. 2 przedstawiono zużycie wody w latach 2015–2019 (dane GUS i elektrowni w dyspozycji WIOŚ i Urzędów Marszałkowskich) przez elektrownie cieplne z uwzględnieniem 7 elektrowni zlokalizowanych w dorzeczu Wisły. Całkowity średnioroczny pobór wód na potrzeby funkcjonowania polskiej energetyki konwencjonalnej wynosił 6,3 mld m³. **96%** z nich trafiło do otwartych systemów chłodzenia elektrowni termicznych, a następnie w całości zostało odprowadzonych do wód powierzchniowych w postaci silnie podgrzanych ścieków. W tym czasie elektrownie Kozienice, Połaniec, Ostrołęka B, Skawina, Stalowa Wola, Siekierki i Żerań średnio każdego roku pobierały i odprowadzały do rzek łącznie 3,80 mld m³ wód chłodniczych, co stanowiło 54% całkowitego poboru wód w przemyśle i 38% w całej gospodarce krajowej z uwzględnieniem ludności. **Spośród elektrowni z dorzecza Wisły najwięcej wody na potrzeby chłodzenia kondensatorów zużyły elektrownie Kozienice oraz Połaniec.** Elektrownia Kozienice średnio w ciągu roku wykorzystywała 1,64 mld m³, natomiast Elektrownia Połaniec 1,29 mld m³ wody. Łączne zużycie wód przez obie elektrownie stanowiło 29% całkowitego poboru wód na potrzeby całej gospodarki krajowej oraz ludności i 47% wód wykorzystanych w całej polskiej energetyce.

Tab. 2. Zestawienie dopuszczalnego poboru wód krajowych elektrowni o mocy >100 MW z otwartym systemem chłodzenia, wg stanu z grudnia 2019 roku (IPPC).

Nazwa elektrowni	Moc osiągalna MW	Rzeka lub zbiornik	Dopuszczalny pobór wód wg IPPC Q [m ³ *s ⁻¹]
Kozienice (bloki 1–10)	2941	Wisła	100,1
Połaniec	1882	Wisła	66,2
Ostrołęka B	690	Narew	25,0
EC Skawina	330	Wisła	20,5
Stalowa Wola II i III	250	San	8,9
EC Siekierki	591	Wisła i Wilanówka	Wisła 5–15 (pobór zależny od kwartału) Wilanówka 3,5
EC Żerań	373	Wisła i kanał Żerań	2,8–5,6 (pob. zależny od półrocza)
Pątnów I, Pątnów II, Konin	1311	Jezioro Pątnowskie i Jezioro Gostawskie	52,5
Dolna Odra	1362	Odra	48,0
Rybnik	1800	Ruda (zalew rybnicki)	38,9
EC Pomorzany	134	Odra	5,9
EC Wrocław	263	Odra	2,2–5,0 (pob. zależny od kwartału)



Ryc. 1. Lokalizacja krajowych elektrowni termicznych z otwartym systemem chłodzenia o mocy >100 MW.



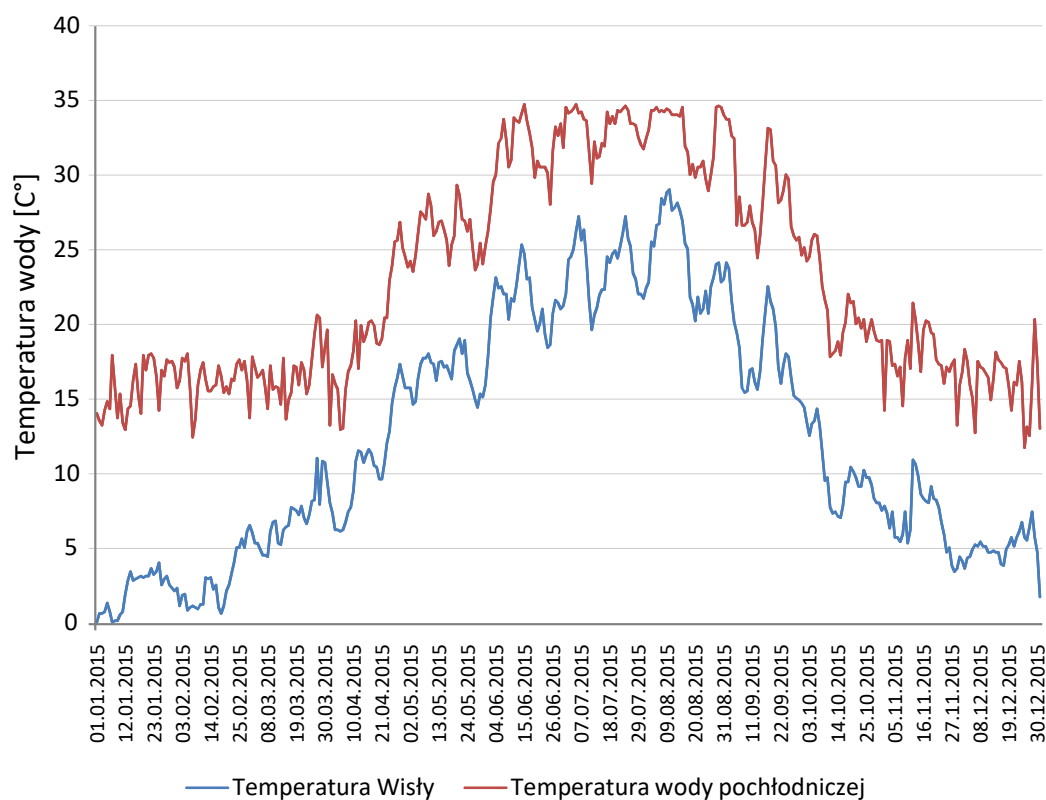
Ryc. 2. Zużycie wody w energetyce na tle gospodarki Polski ze szczególnym uwzględnieniem elektrowni z otwartym systemem chłodzenia zlokalizowanych w dorzeczu Wisły. Na podstawie danych GUS oraz raportowanych przez elektrownie ciepłe z dorzecza Wisły.

Temperatury wód pochłódniczych na przykładzie Elektrowni Koźienice w oparciu o dane operatora

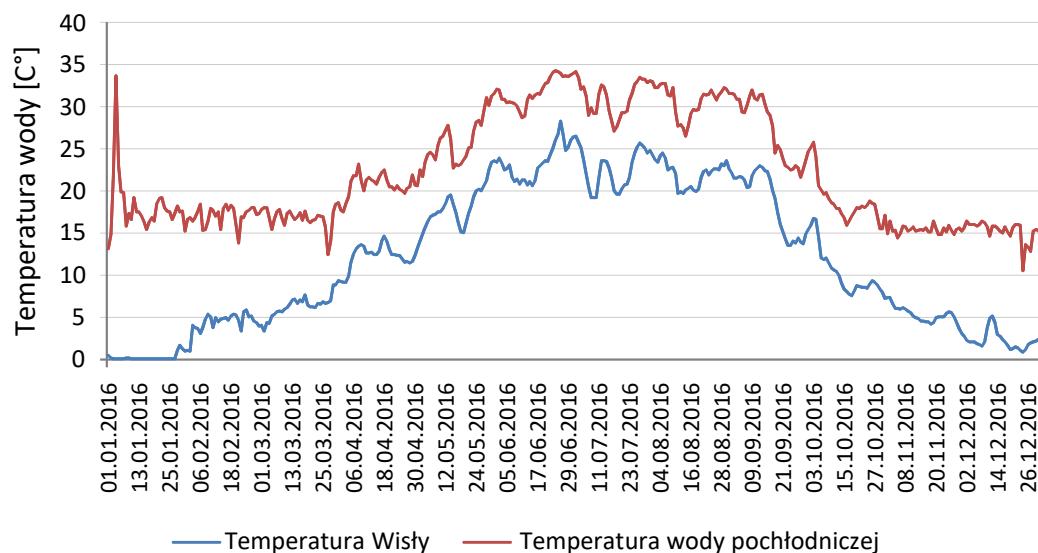
W latach 2015–2019 dobowe temperatury wody pochłódniczej (zrzutowej) Elektrowni Koźienice znajdowały się w przedziale pomiędzy $10,6^\circ\text{C}$ a $34,8^\circ\text{C}$. W tym czasie wartość ze średnich dobowych temperatur wód zrzutowych wyniosła $22,2^\circ\text{C}$, a wody pobranej do systemów chłodzenia $12,2^\circ\text{C}$. Oznacza to, że średnia z dobowych temperatur wód pochłódniczych była wyższa od średniej temperatury wody pobranej o 10°C .

W samym 2015 roku dobowe wartości temperatury wód odprowadzanych z Elektrowni Koźienice wahały się w przedziale od $15,8^\circ\text{C}$ do $32,1^\circ\text{C}$ (ryc. 3). Najwyższe odnotowane temperatury wystąpiły w dniach 15 czerwca oraz 5 lipca 2015 roku ($32,1^\circ\text{C}$), a najniższa w dniu 25 grudnia ($15,8^\circ\text{C}$). Różnice pomiędzy temperaturą wody pobranej a zrzutowej Wisły mieściły się w granicach od $5,2^\circ\text{C}$ do $17,9^\circ\text{C}$.

Z kolei w roku 2016 dobowe temperatury wód pochłódniczych mieściły się w granicach od $10,6^\circ\text{C}$ do $34,4^\circ\text{C}$ (ryc. 4). Najwyższa temperatura wystąpiła w dniu 24 czerwca, a najniższa w dniu 24 grudnia 2016 roku. Różnice pomiędzy temperaturą wody pobranej a zrzutowej wahały się w granicach od $4,3^\circ\text{C}$ do $33,7^\circ\text{C}$. Tak duża maksymalna wartość temperatury wynikała z faktu dwukrotnego podgrzania wody pochłódniczej (szczegóły w części prawnej opracowania).

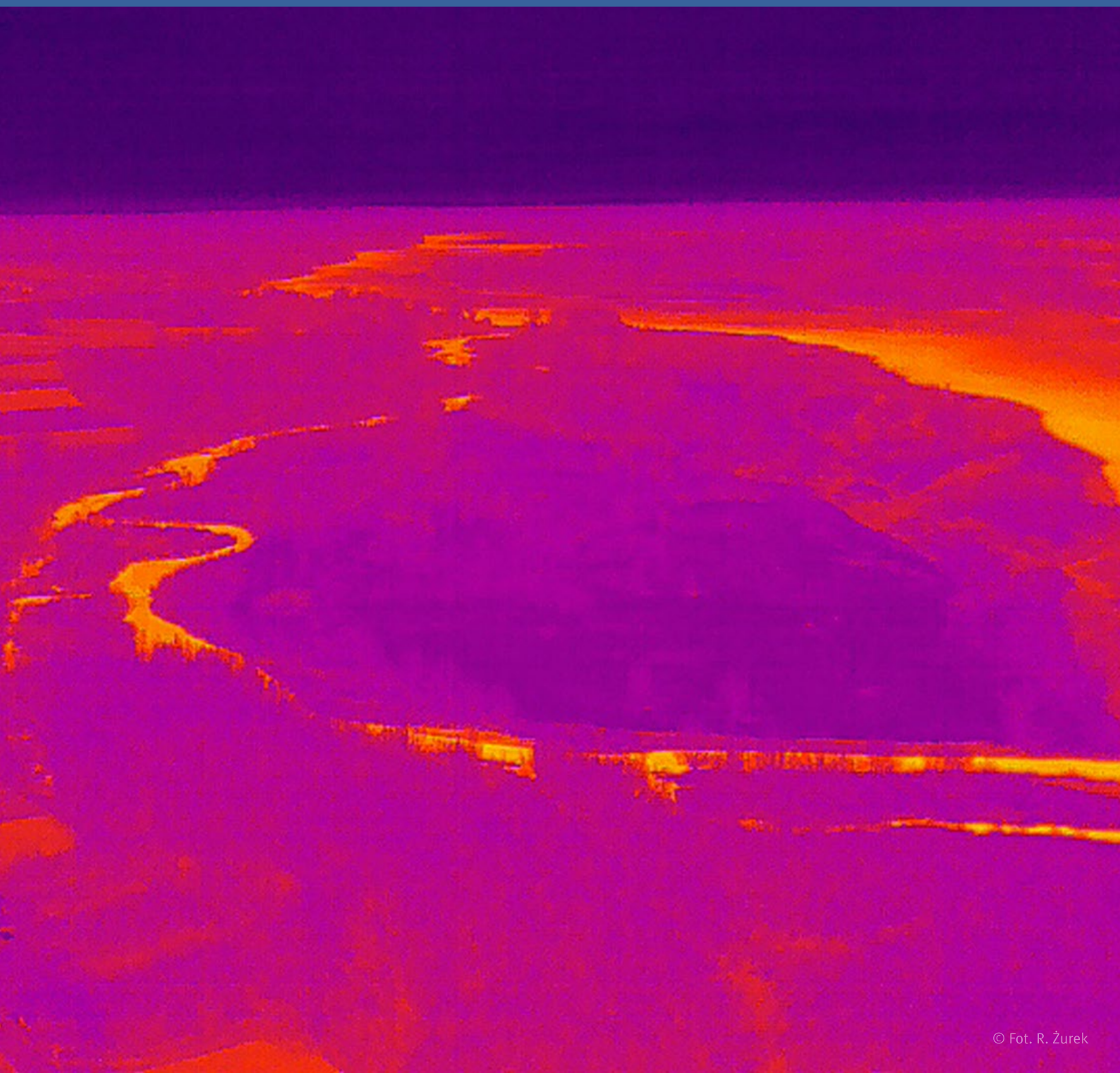


Ryc. 3. Dobowe temperatury wód pobranych na cele chłodzenia i odprowadzanych przez Elektrownię Kozienice w 2015 r. Na podstawie danych operatora elektrowni.



Ryc. 4. Dobowe temperatury wód pobranych na cele chłodzenia i odprowadzanych przez Elektrownię Kozienice w 2016 r. Na podstawie danych operatora elektrowni.

Zmiany lokalnego rozkładu temperatury wód Wisły poniżej elektrowni Kozienice i Połaniec



Informacje ogólne

Poniżej przedstawiono wybrane wyniki badań terenowych przeprowadzonych w latach 2019–2020. Z uwagi na kradzieże oraz uszkodzenia czujników temperatury, zaprezentowano tylko tę część danych, którą udało się odzyskać. Choć nie są to pełne wyniki, dają one wyobrażenie o skali możliwych zmian termicznych wywołanych działalnością elektrowni. W obu sezonach badawczych dokonano pomiarów rozkładu temperatury poniżej elektrowni Kozienice oraz Połaniec. Obserwacji dokonywano w sposób bezpośredni, poprzez kontrolne pomiary termometrem PT-401 firmy Elmetron o dokładności do $0,1^{\circ}\text{C}$ i z wykorzystaniem lokalizatora GPS Trimble R8. Mierzono temperaturę warstwy powierzchniowej do 20 cm. W oparciu o uzyskane wyniki przygotowano mapy rozkładu temperatur. Dane zawierające współrzędne geograficzne i temperaturę wprowadzono do programu Surfer. Dla zbioru rozproszonych danych wyznaczono siatkę węzłów metodą Krigginga. Ponieważ proporcja szerokości rzeki do długości obserwowanego odcinka wynosiła około 200:5000 m, poszukiwania punktów do obliczeń wykonano stosując odpowiedni współczynnik anizotropii oraz kąt pochylenia elipsy szukania punktów wynikający z kierunku płynięcia Wisły. Dla siatki węzłów wykonano mapę konturową rozkładów temperatury. Obszary wysp i lądu wykasowano z rysunku, a następnie złożono z podkładem ortofotomapy w programie QGIS. Dodatkowo pomiary temperatury dokonywano przy użyciu elektronicznych rejestratorów do stałego monitoringu temperatury tzw. loggerów HOBO model UA-002–08, zamontowanych na głębokości 1 m. Loggery zaprogramowano na rejestrację w interwałach 1-godzinnych.

Elektrownia Kozienice

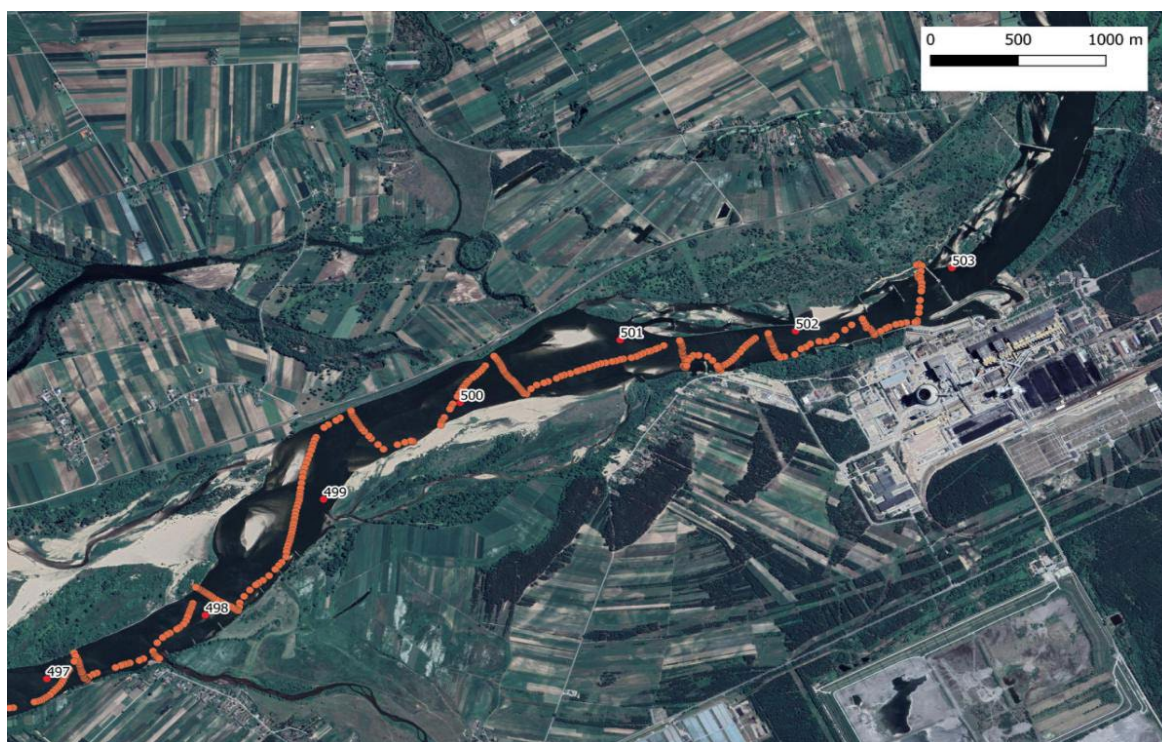
Wyniki pomiarów za pomocą termometru

20 kwietnia 2019

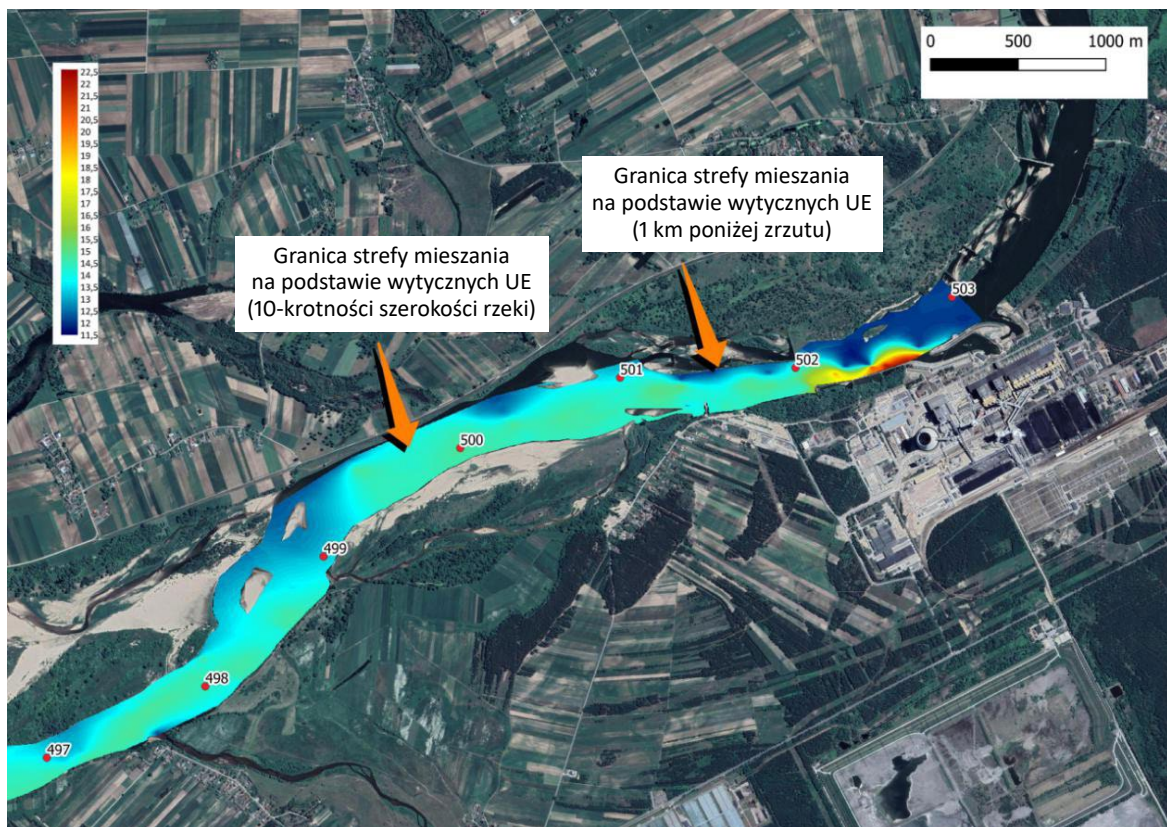
Rozkład punktów pomiarowych temperatury przedstawiono na ryc. 5. Wartość przepływu w tym dniu wynosiła około $300\text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Temperatura Wisły przed zrzutem kształtowała się na poziomie $11,5^{\circ}\text{C}$, a temperatura

wód zrzutowych (z systemu chłodzenia elektrowni) 22,2 °C, co oznacza różnicę temperatur 10,7 °C. Pomierzone wartości temperatur posłużyły do wykreślenia mapy rozkładu temperatury w rzece (ryc. 6 i 7). Przy modelowaniu i mapowaniu zanieczyszczenia termicznego nie wykreślono obszaru w kanale zrzutowym z uwagi na jego zamknięty charakter.

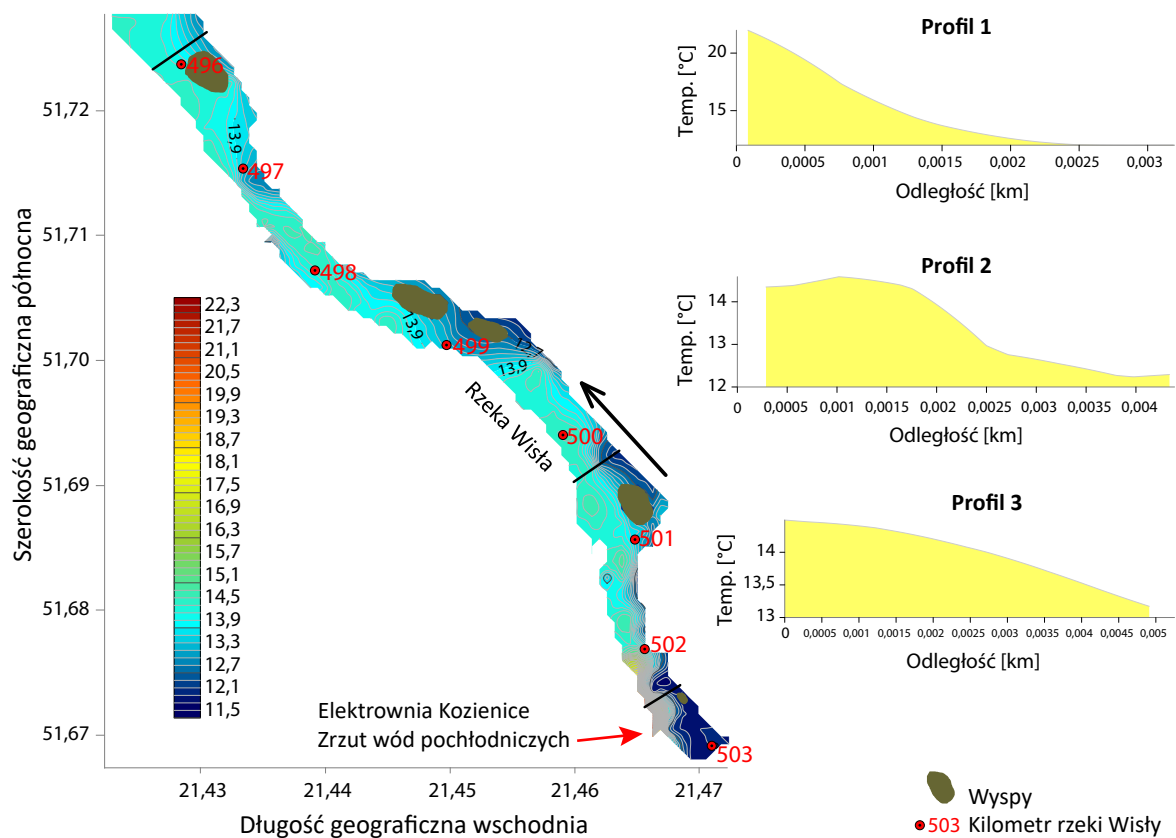
Na końcu teoretycznej strefy mieszania (1 km poniżej zrzutu), w miejscu wyznaczonym na podstawie dyrektywy UE (2008/105/WE) temperatura w kwietniu 2019 roku przy lewym brzegu Wisły w strudze ciepłej wody wynosiła 14,7 °C, a w miejscu odpowiadającemu 10-krotności szerokości rzeki wynosiła nadal 14,5–14,6 °C. Była więc o 3,2 °C wyższa od naturalnej temperatury rzeki (11,5 °C). Urządzenia pomiarowe zlokalizowane 5,7 km poniżej miejsca zrzutu wskazywały odczyty (w strudze ciepłej wody) na poziomie 13,9–14,5 °C i niewielkie pole chłodnej wody na prawym brzegu o temperaturze 13,0–13,1 °C.



Ryc. 5. Rozkład punktów pomiarowych wzdłuż rzeki Wisły poniżej Elektrowni Kozienice, kwiecień 2019. Kilometraż rzeki oznaczono czerwonymi punktami.



Ryc. 6. Rozkład temperatury wzdłuż rzeki Wisły poniżej Elektrowni Kozienice, kwiecień 2019. Kilometraż rzeki oznaczono czerwonymi punktami.

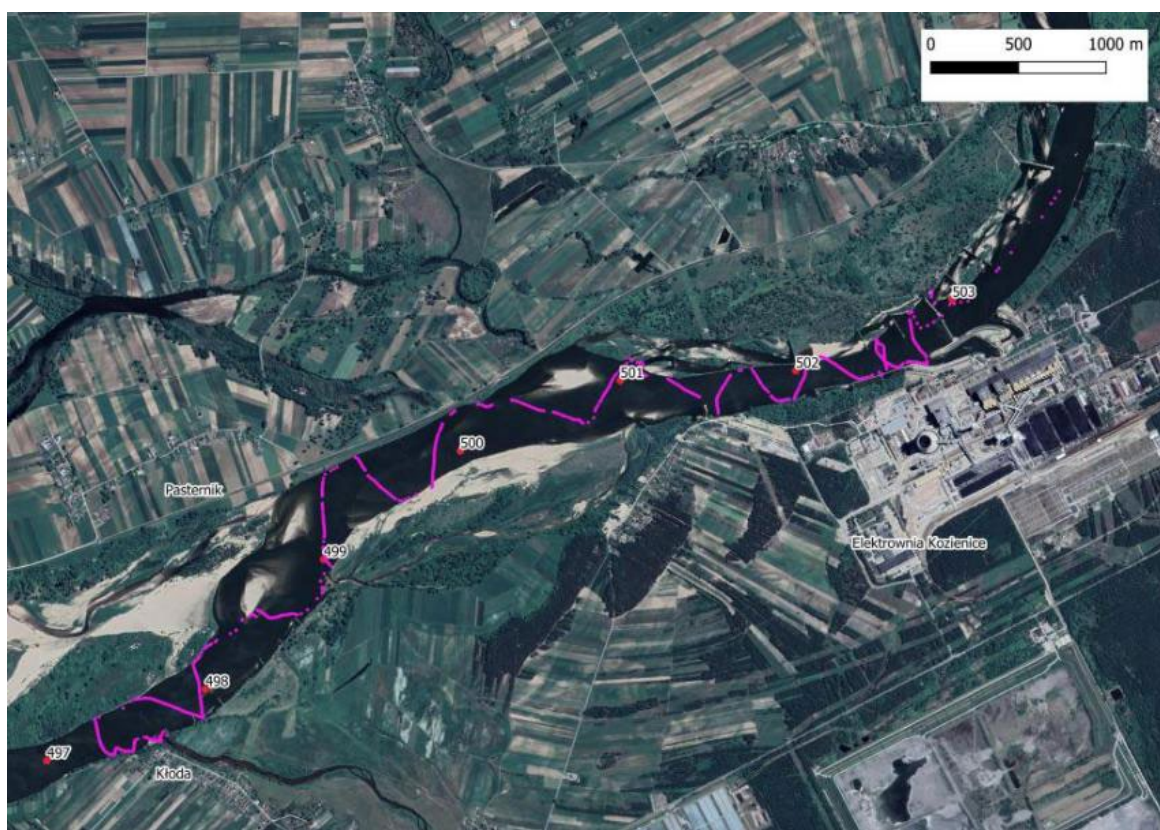


Ryc. 7. Rozkład temperatury w wybranych przekrojach poprzecznych Wisły poniżej Elektrowni Kozienice, kwiecień 2019.

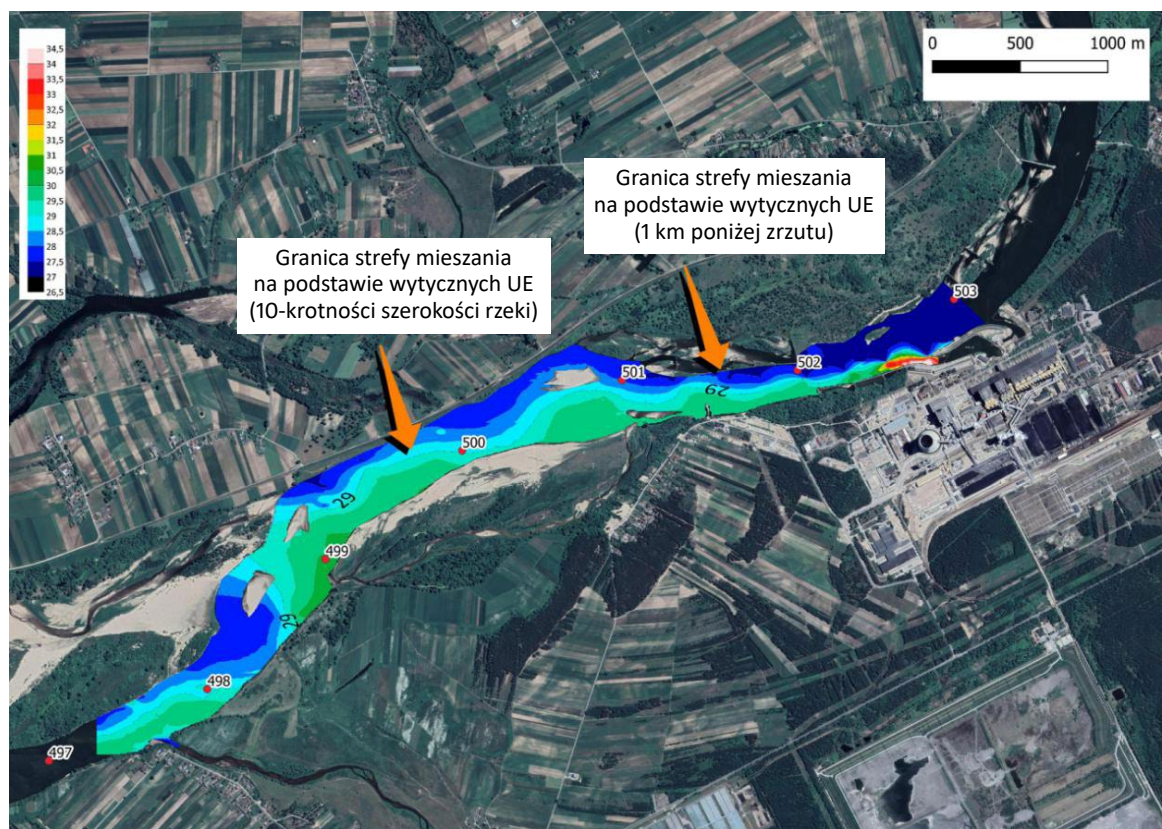
15 czerwca 2019

W czerwcu dokonano odczytów temperatury wody Wisły wg układu punktów pomiarowych przedstawionych na ryc. 8. Uzyskany tą metodą rozkład temperatur zobrazowano na ryc. 9 oraz 10. Przepływ tego dnia wynosił około $460 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Temperatura Wisły przed zrzutem wynosiła $27,1\text{--}27,2^\circ\text{C}$, a temperatura wód zrzutowych $34,3^\circ\text{C}$, co oznacza różnicę temperatur $7,2\text{--}7,1^\circ\text{C}$.

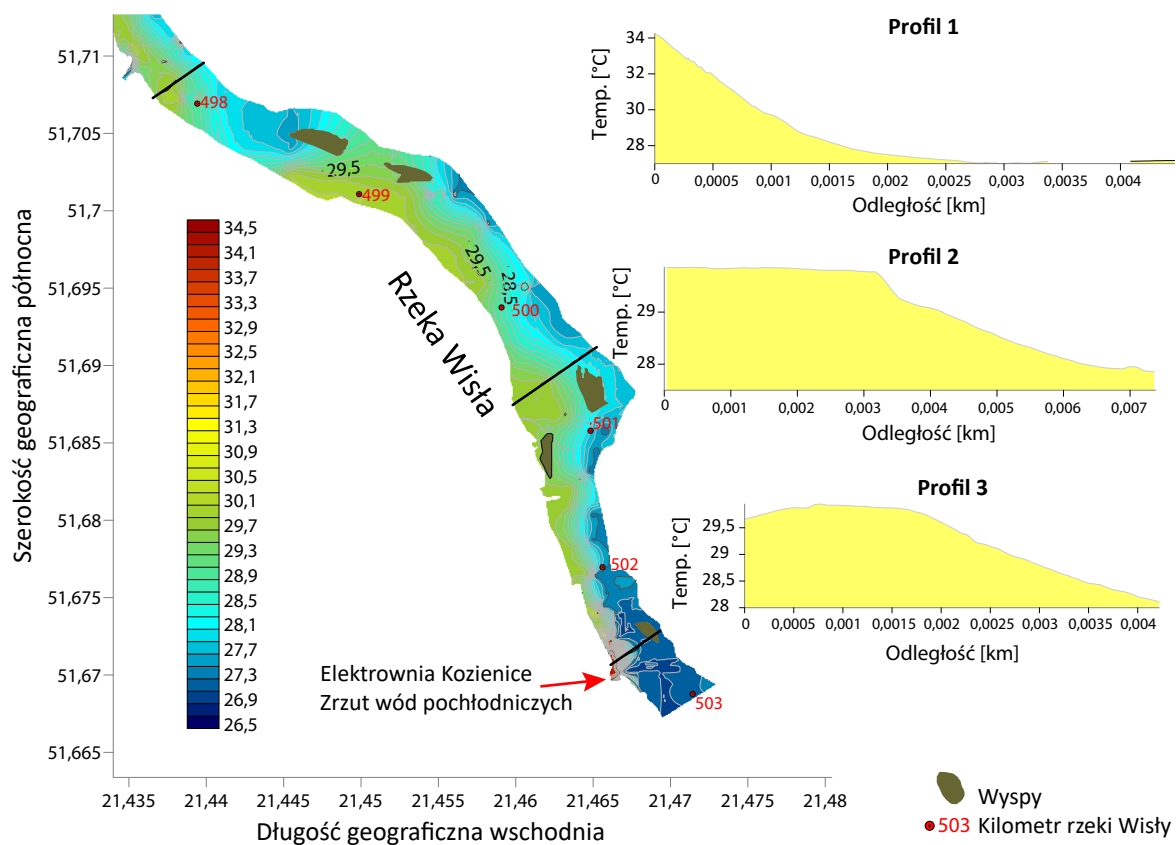
Na końcu strefy mieszania (1 km poniżej zrzutu) w miejscu wyznaczonym na podstawie dyrektywy UE (2008/105/WE) temperatura na lewym brzegu Wisły w strudze ciepłej wody wynosiła $29,9\text{--}30,0^\circ\text{C}$ (w miejscu odpowiadającym 10-krotności szerokości rzeki nadal utrzymywała się na poziomie $30,0^\circ\text{C}$), a więc była o $2,9\text{--}3,0^\circ\text{C}$ wyższa od naturalnej temperatury rzeki. Urządzenia pomiarowe zlokalizowane 5,3 km poniżej miejsca zrzutu wskazywały odczyty (w strudze ciepłej wody) w granicach $29,8\text{--}29,6^\circ\text{C}$ (o $2,7^\circ\text{C}$ wyższe od naturalnej temperatury rzeki).



Ryc. 8. Układ punktów pomiarowych wzdłuż rzeki Wisły poniżej Elektrowni Kozienice, czerwiec 2019. Kilometraż rzeki oznaczono czerwonymi punktami.



Ryc. 9. Rozkład temperatury wzdłuż rzeki Wisły poniżej Elektrowni Kozienice, czerwiec 2019. Kilometraż rzeki oznaczono czerwonymi punktami.



Ryc. 10. Rozkład temperatury w wybranych przekrojach poprzecznych Wisły poniżej Elektrowni Kozienice, czerwiec 2019.

Wyniki z automatycznych mierników temperatury

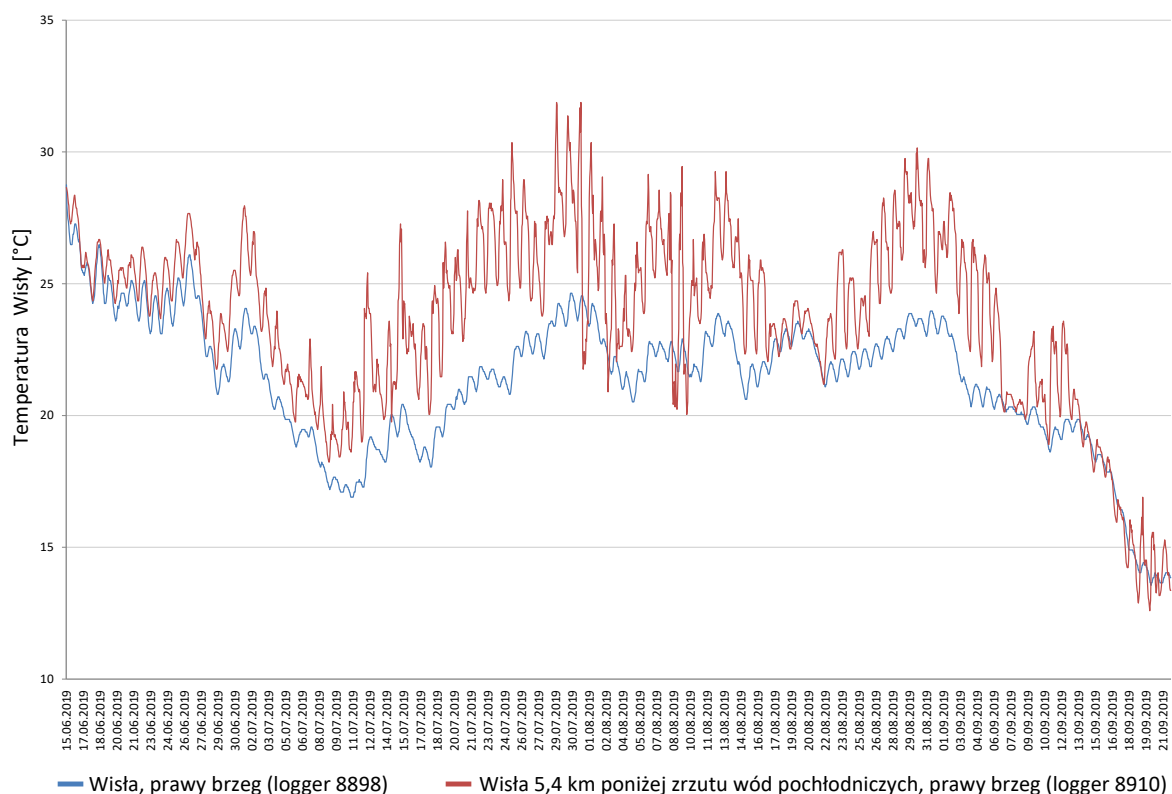
15 czerwca – 22 września 2019

Na ryc. 11 przedstawiono rozmieszczenie stacji rejestrujących temperaturę. Urządzenia pomiarowe zamontowano przy prawym brzegu w linii zrzutu ciepłej wody oraz 5,4 km poniżej punktu zrzutu wód pochłodniczych (3,4 km poniżej strefy mieszania na podstawie Dyrektywy 2008/105/WE obejmującej 2-kilometrowy odcinek rzeki od miejsca zrzutu). Z czterech zamontowanych urządzeń dwa znajdujące się na lewym brzegu rzeki Wisły zostały skradzione.

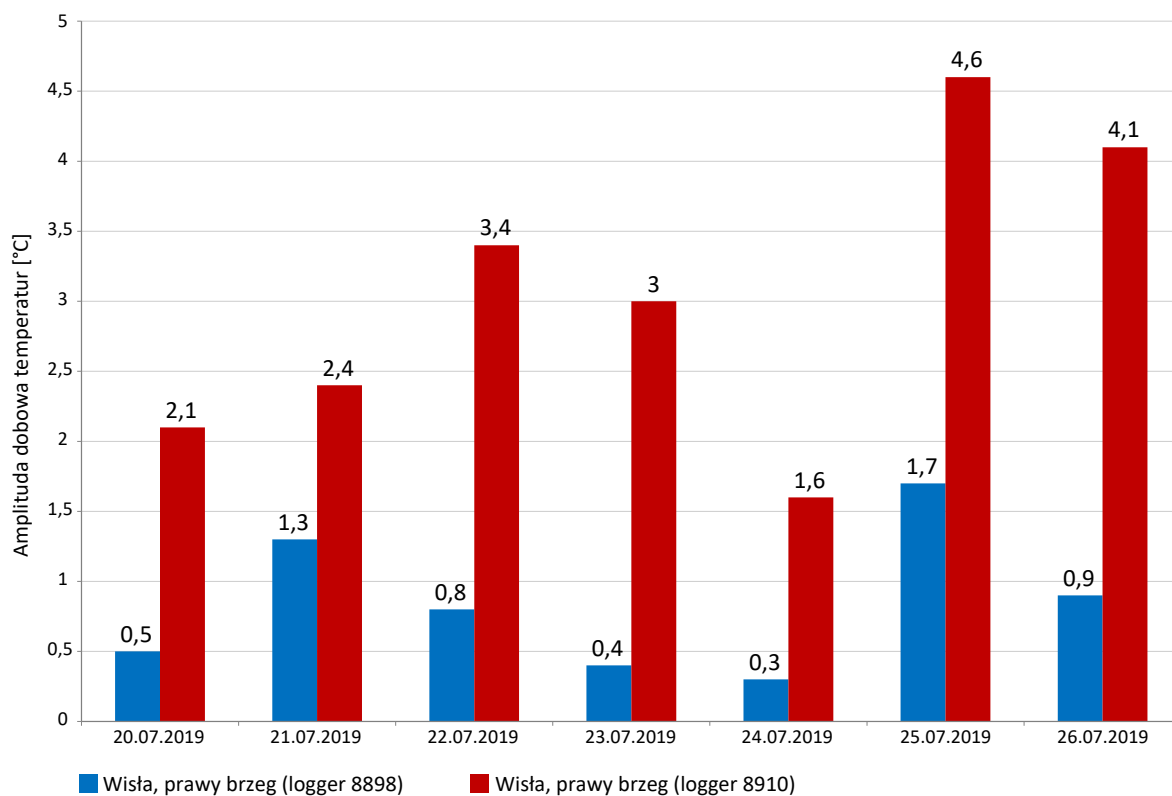


Ryc. 11. Lokalizacja mierników temperatury wzdłuż rzeki Wisły poniżej Elektrowni Kozienice. Kilometraż rzeki oznaczono czerwonymi punktami.

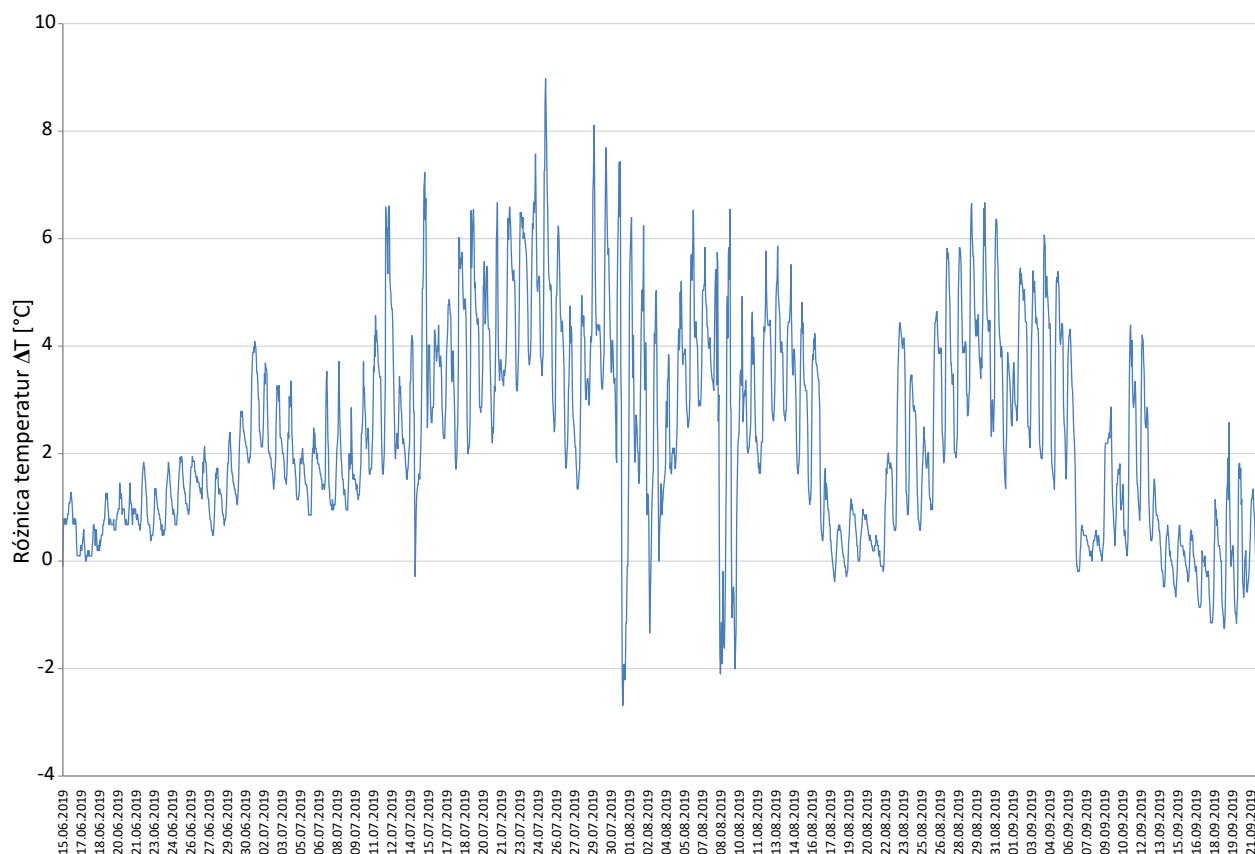
Pomiary temperatury Wisły pokazały, że wahania dobowe temperatur są stosunkowo niewielkie – zwykle poniżej 1°C (ryc. 12). W lecie dobową amplitudę zmian temperatury Wisły zmienia się w zakresie $0,4\text{--}1,7^{\circ}\text{C}$, jak w podanym przykładzie na ryc. 13. Po podgrzaniu rzeki, w jej ciepłej części amplituda zmian dobowych jest 2–3 krotnie większa. Najchłodniejsza woda płynie zwykle nad ranem w godzinach 6.00–8.00. Najcieplejsza woda płynie po południu w godz. 15.00–18.00. Szczególnie widać to w miesiącach letnich, w lipcu i sierpniu. Prawdopodobnym wytłumaczeniem zwiększonej amplitudy wahań temperatury jest dobowe dopasowywanie mocy elektrowni do zapotrzebowania. Gdy do chłodzenia jest pobierana chłodniejsza woda, np. we wrześniu lub w czerwcu, efekt podgrzania jest mniejszy, na poziomie około 2°C (ryc. 14).



Ryc. 12. Porównanie zmian temperatury wód Wisły w 2019 r. w strudze chłodnej (logger 8898) i ciepłej wody (logger 8910) poniżej Elektrowni Kozienice.

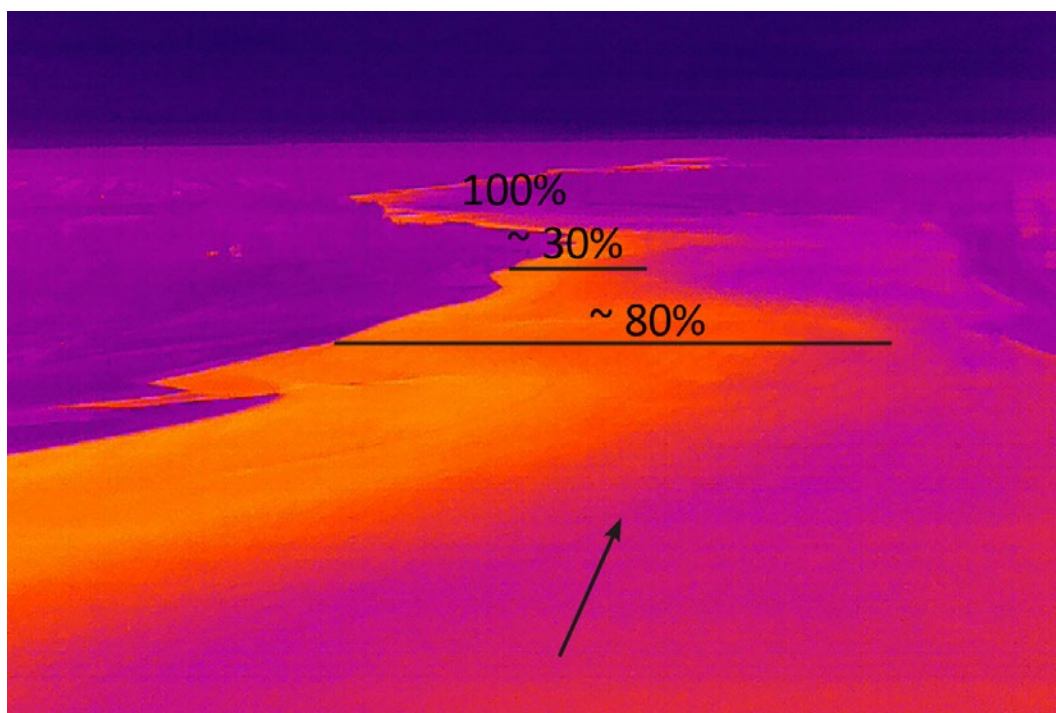


Ryc. 13. Amplitudy dobowych zmienności temperatury Wisły w lipcu 2019 roku pomiędzy chłodną (logger 8898) a podgrzaną wodą (logger 8910) poniżej Elektrowni Kozienice.



Ryc. 14. Różnice temperatur wody w Wiśle w 2019 roku pomiędzy strugą chłodnej (logger 8898) i ciepłej wody (logger 8910) 5,46 km poniżej Elektrowni Kozienice.

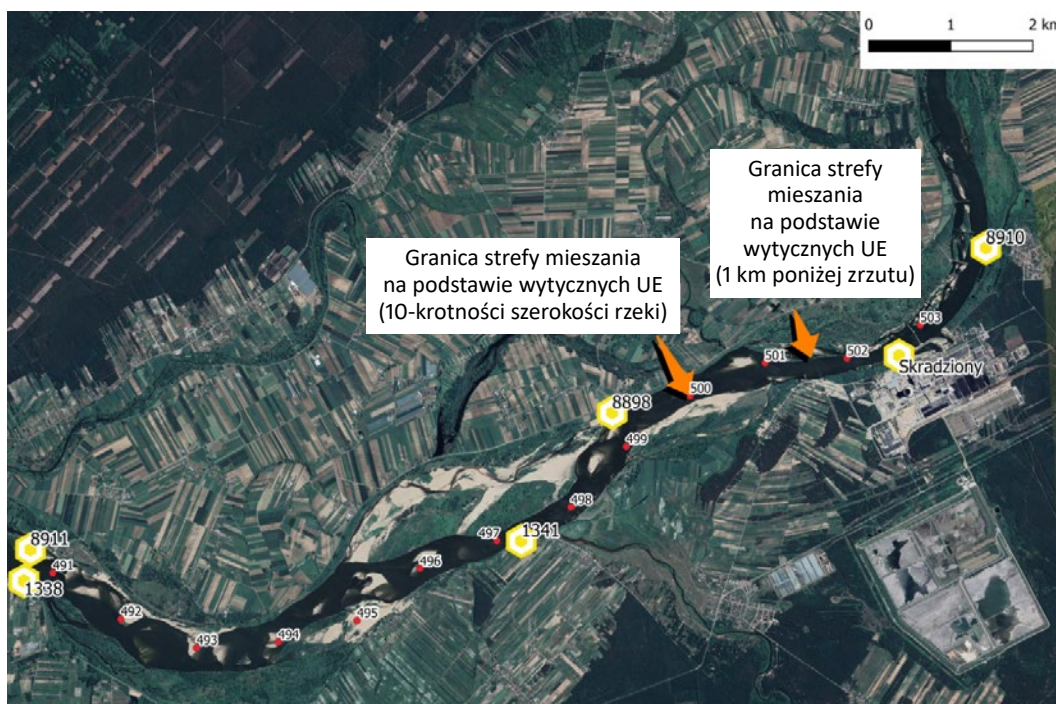
Uwagę zwraca fakt, że pomimo, iż jeden z mierników był zlokalizowany prawie 5,5 km poniżej zrzutu wód pochłodniczych, różnica temperatur między zimną i ciepłą wodą sięgała aż 9 °C. Pióropusz ciepłej wody jest zmienny w przekroju poprzecznym rzeki. Przykładowe zdjęcie (ryc. 15) w podczerwieni wykonane około 2 km poniżej elektrowni w Kozienicach potwierdza, że struga ciepłej wody migruje w poprzek rzeki zawężając pas zimnej wody pod prawym brzegiem, a kilkaset metrów niżej pióropusz zmniejsza się do 1/3 szerokości koryta. Proporcje podziału szerokości ciepłej i zimnej części wód silnie zależą od wielkości przepływu Wisły i rozkładu piaszczystych łach lub wysp. Przy niskich przepływach odsłaniają się piaszczyste wyspy, które znacząco zmieniają geometrię przepływu.



Ryc. 15. Zmienność szerokości strugi ciepłej wody wzdłuż rzeki Wisły około 2 km poniżej Elektrowni Kozienice. Kierunek przepływu Wisły pokazuje strzałka.

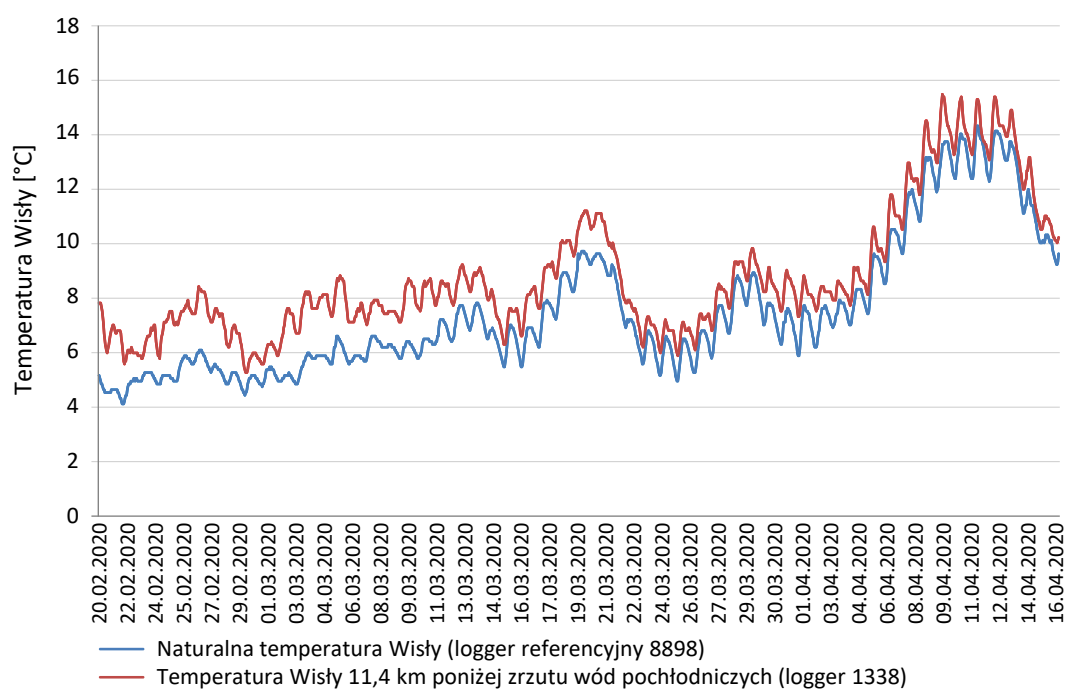
20 lutego – 16 kwietnia 2020

W 2020 roku badania prowadzono z wykorzystaniem 6 automatycznych stacji rejestrujących, których lokalizacje zobrazowano na ryc. 16.

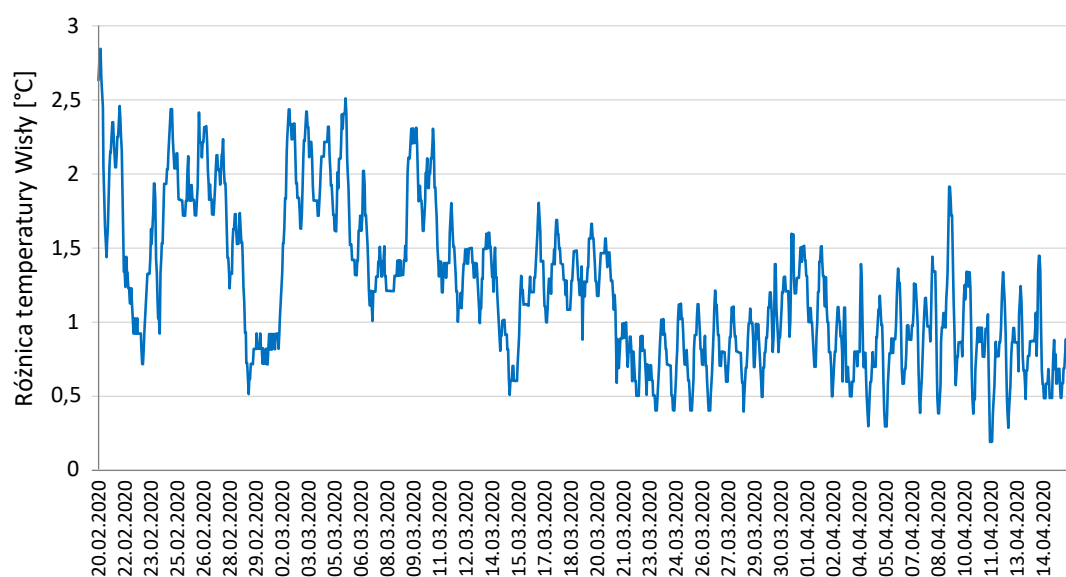


Ryc. 16. Lokalizacja mierników temperatury wzdłuż rzeki Wisły powyżej i poniżej Elektrowni Kozienice w 2020 roku. Kilometraż rzeki oznaczono czerwonymi punktami.

W ciągu całego cyklu badawczego znaczna część urządzeń została skradziona lub uległa uszkodzeniu. Część odzyskanych wyników zobrażowano na ryc. 17 i 18. W okresie od 20 lutego do 16 kwietnia 2020 roku różnica temperatury pomiędzy miernikiem referencyjnym a tym usytuowanym 11,4 km poniżej miejsca zrzutu ścieków termicznych wahała się w granicach 0,4 – 2,8 °C. W tym czasie maksymalna temperatura wód Wisły zmierzona przez czujnik 1338 (poniżej elektrowni) wystąpiła 9 kwietnia 2020 roku i osiągnęła 15 °C.



Ryc. 17. Porównanie zmian temperatury wód Wisły w 2020 r. w strudze chłodnej (logger 8898) i ciepłej wody (logger 1338) 11,4 km poniżej Elektrowni Kozienice.



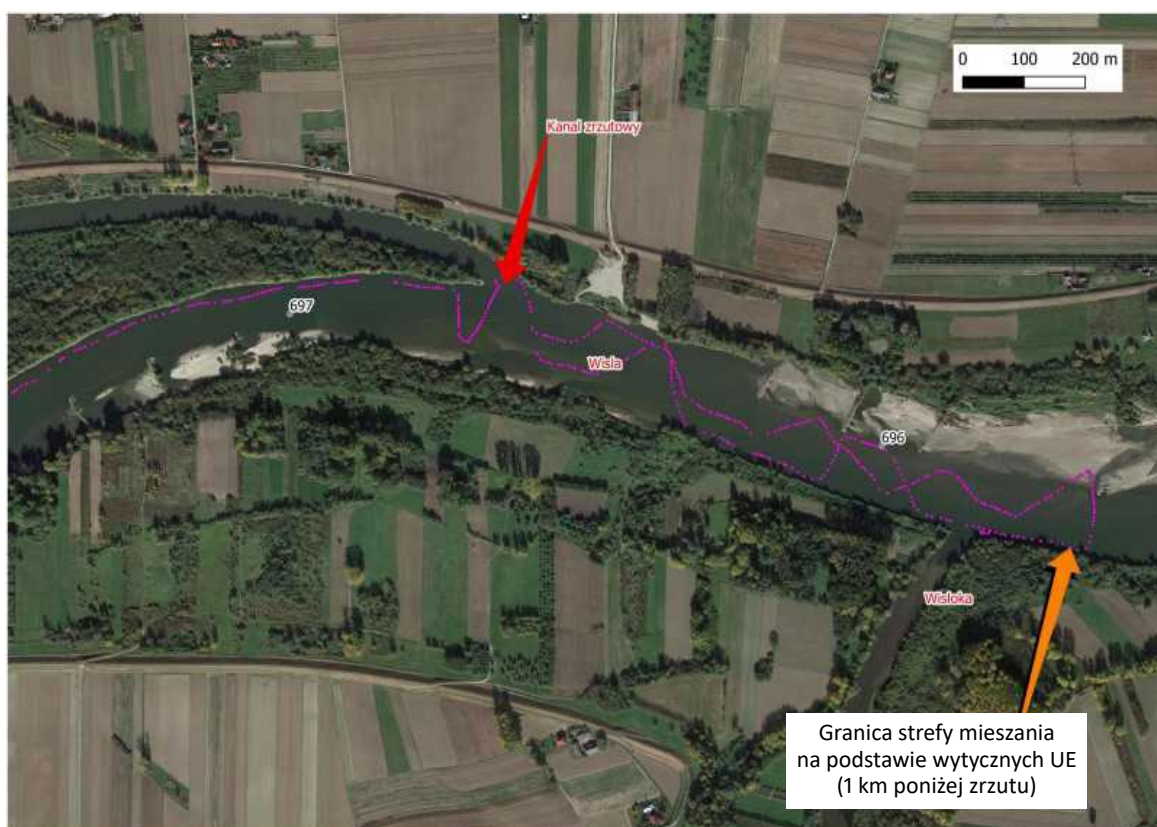
Ryc. 18. Różnice temperatur wody w Wiśle w 2020 roku pomiędzy strugą chłodnej (logger 8898) i ciepłej wody (logger 1338) 11,4 km poniżej Elektrowni Kozienice.

Elektrownia Połaniec

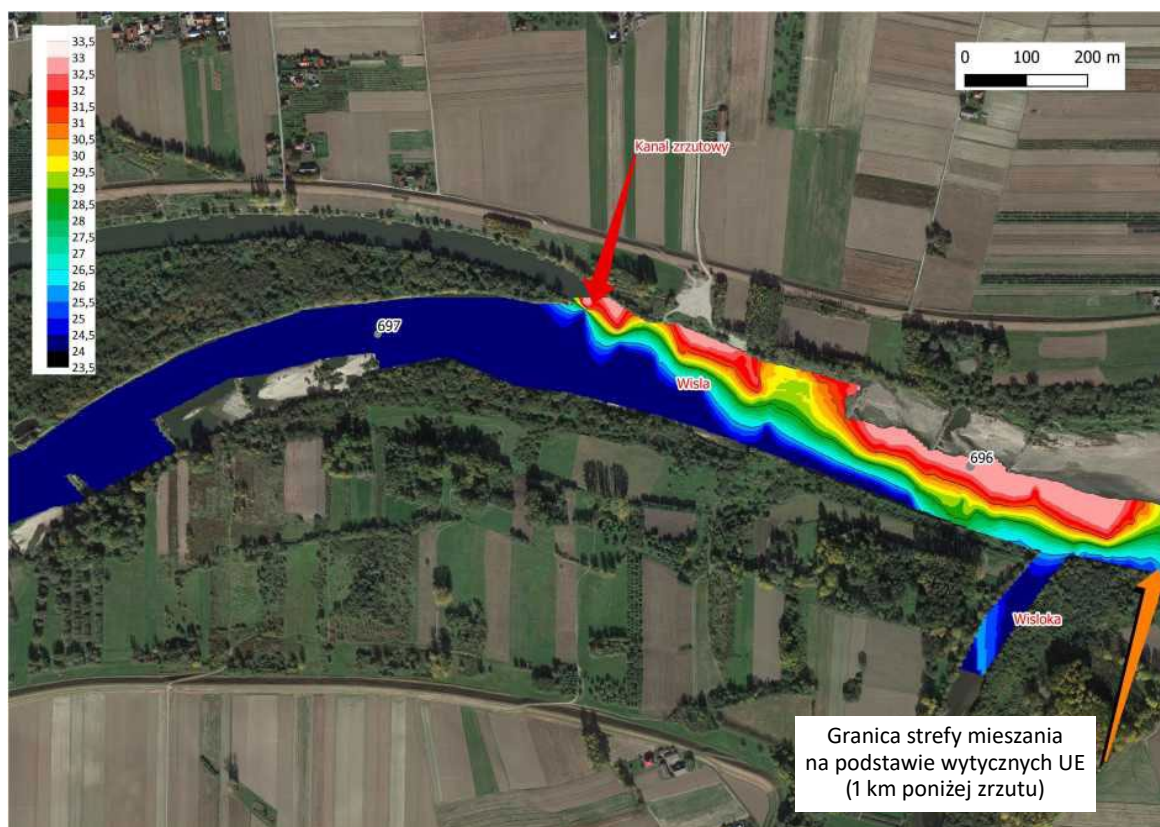
Wyniki pomiarów za pomocą termometru

6 sierpnia 2019

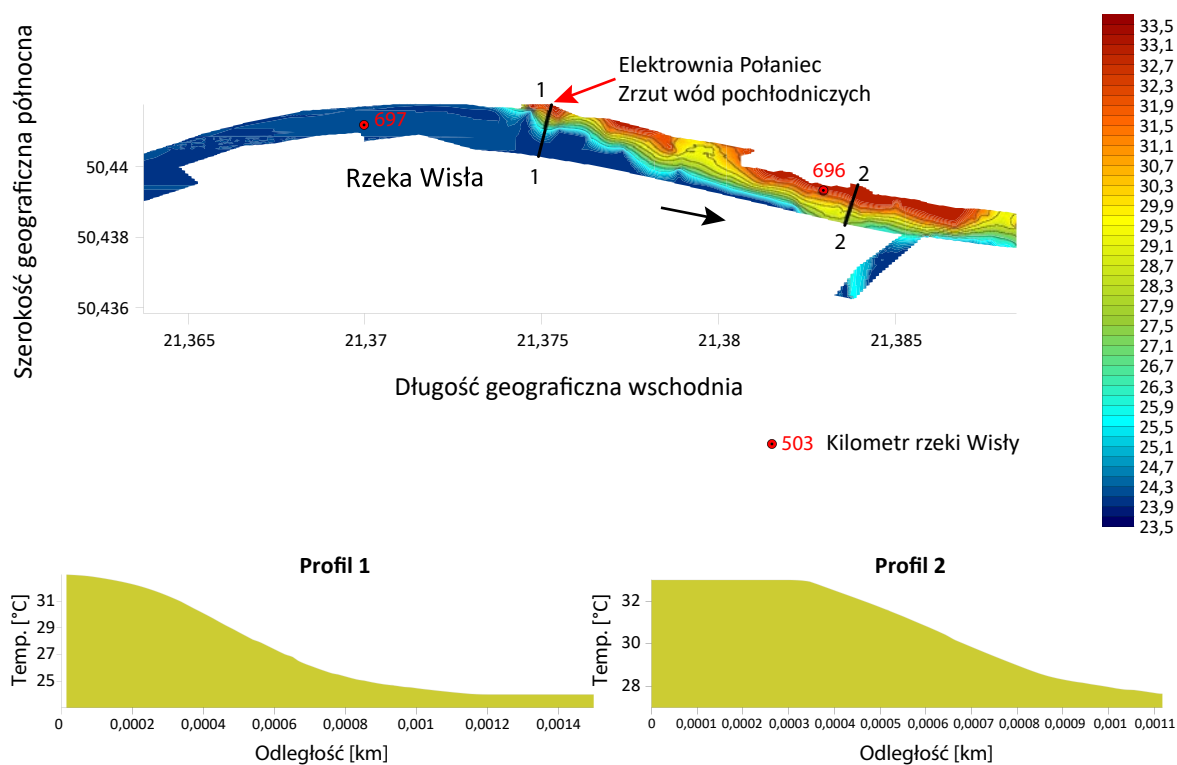
Podczas sesji pomiarowej w dniu 6 sierpnia 2019 roku dokonano mapowania rozkładu temperatury z wykorzystaniem lokalizatora GPS wraz z termometrem o dokładności pomiarowej do $0,1^{\circ}\text{C}$, poniżej zrzutu gorących ścieków do Wisły, odprowadzanych ok. 2-kilometrowym kanałem. Rozkład punktów pomiarowych przedstawiono na ryc. 19, a przebieg temperatur na ryc. 20 oraz 21. Na końcu teoretycznej strefy mieszania (1 km poniżej zrzutu) w miejscu wyznaczonym na podstawie dyrektywy UE (2008/105/WE) temperatura w sierpniu 2019 roku przy lewym brzegu Wisły w strudze ciepłej wody wynosiła $30,6\text{--}30,9^{\circ}\text{C}$, a więc nadal była o $6,5\text{--}6,8^{\circ}\text{C}$ wyższa od naturalnej temperatury rzeki ($24,1^{\circ}\text{C}$).



Ryc. 19. Rozkład punktów pomiarowych wzdłuż rzeki Wisły poniżej Elektrowni Połaniec, sierpień 2019.



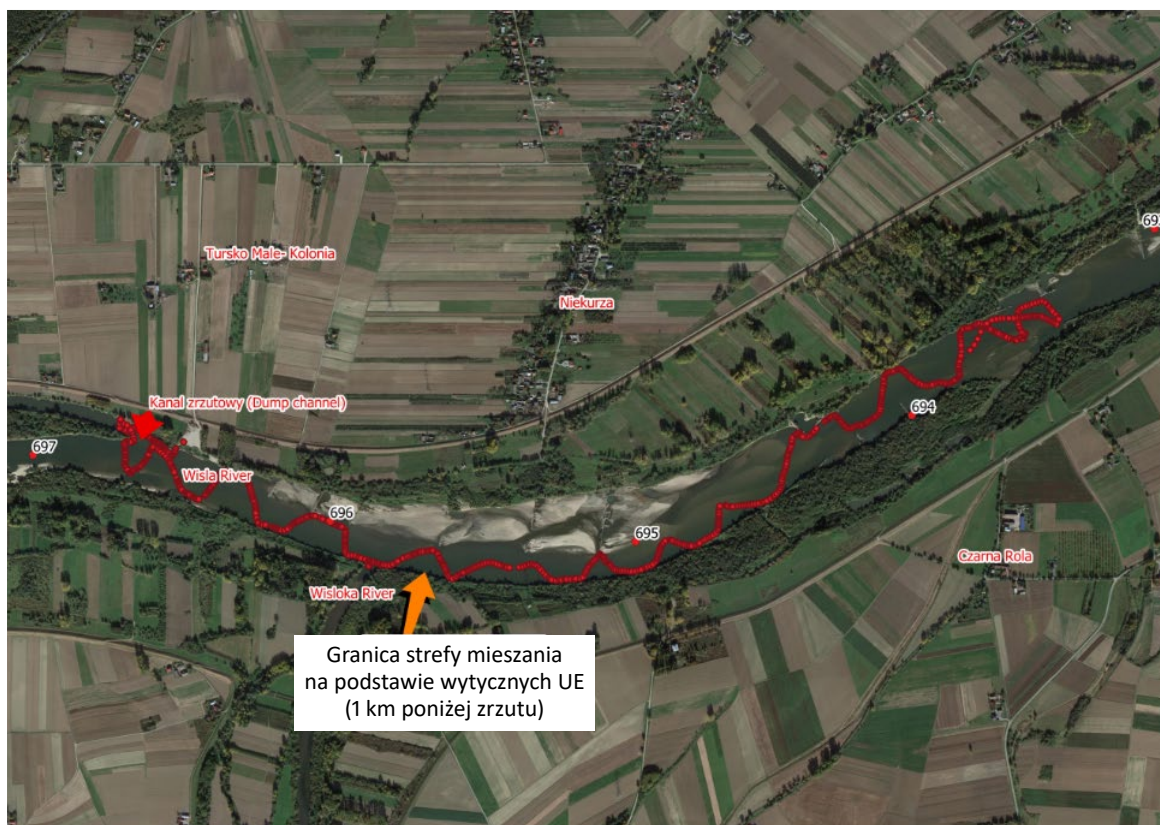
Ryc. 20. Rozkład temperatury wody wzdłuż rzeki Wisły poniżej Elektrowni Połaniec, sierpień 2019.



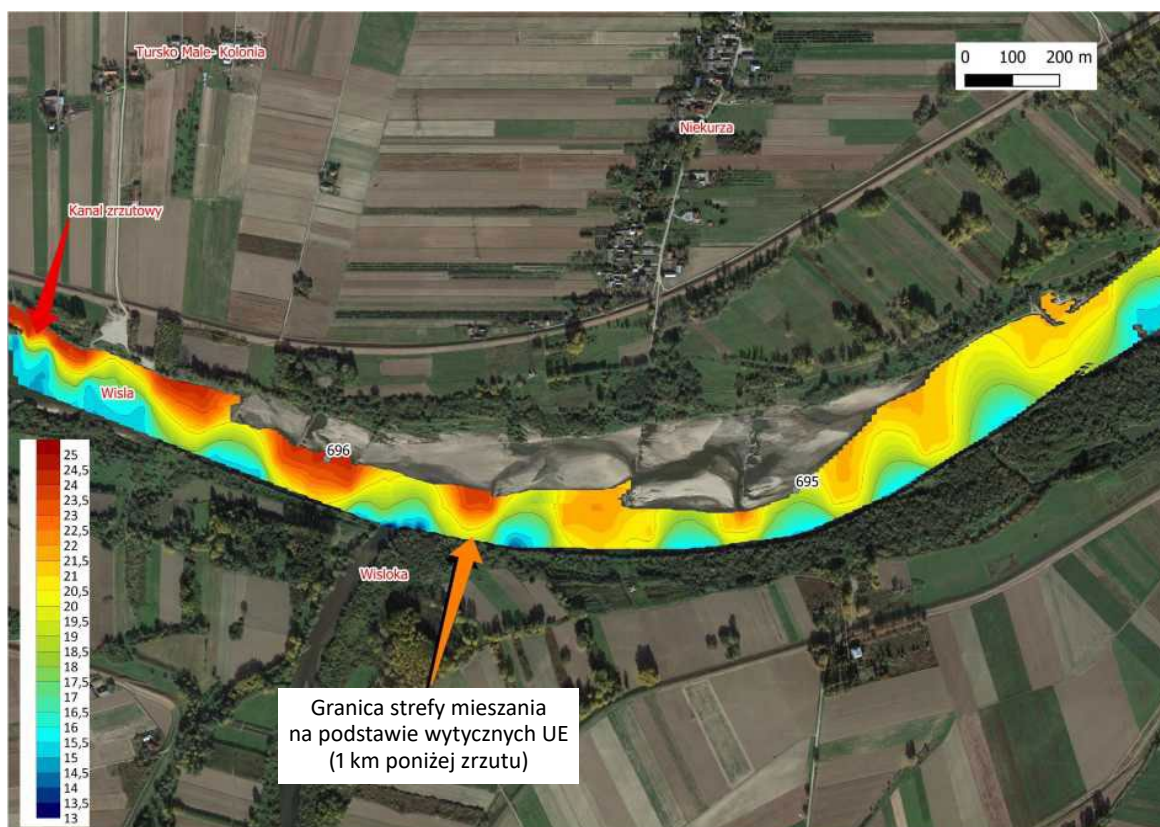
Ryc. 21. Rozkład temperatury w wybranych przekrojach poprzecznych Wisły poniżej Elektrowni Połaniec, sierpień 2019.

23 września 2019

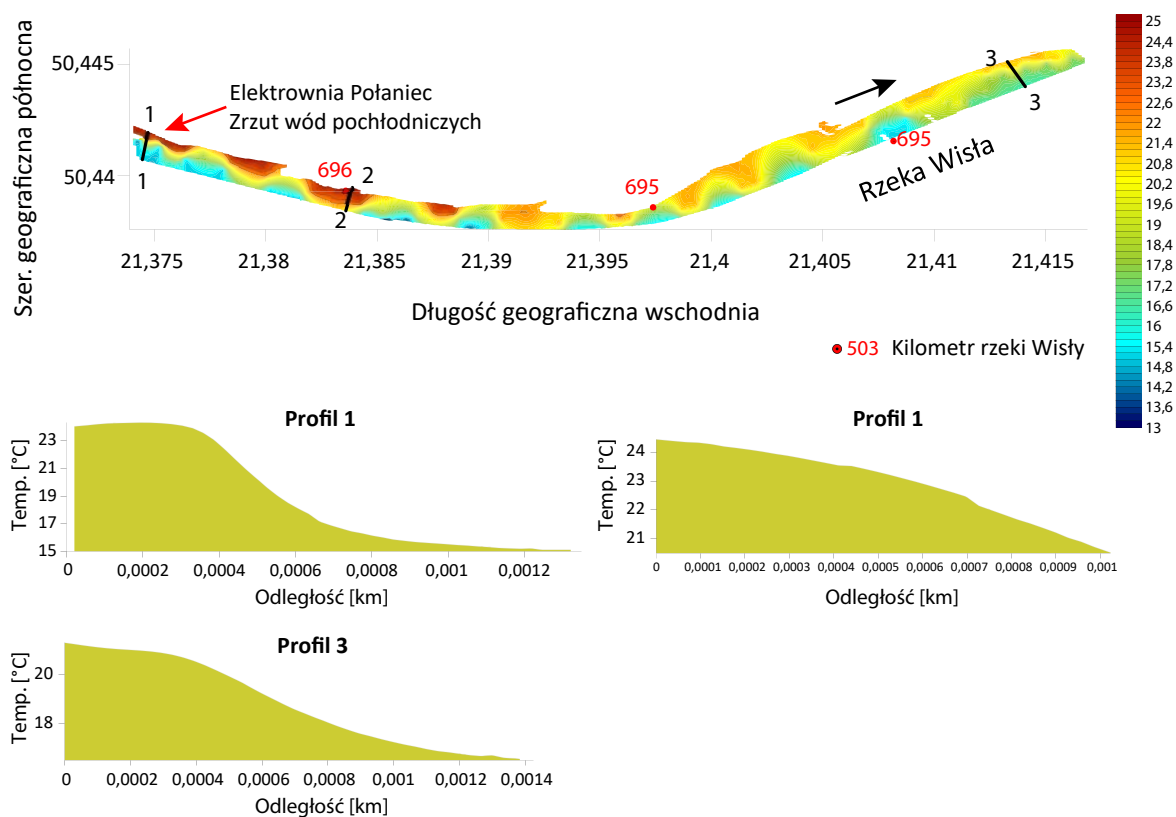
We wrześniu 2019 roku dokonano kolejnego mapowania rozkładu temperatury wody. Punkty pomiarowe pokazano na ryc. 22, a uzyskany przebieg temperatur na ryc. 23 i 24. Temperatura Wisły przed zrzutem była jednorodna i wynosiła $15,1^{\circ}\text{C}$, a temperatura wód zrzutowych na granicy strefy mieszania wynosiła $23,3\text{--}23,5^{\circ}\text{C}$, co oznacza różnicę temperatur $8,2\text{--}8,4^{\circ}\text{C}$. Temperatura Wisły 3 km poniżej miejsca zrzutu nadal wynosiła ponad $20,2^{\circ}\text{C}$, co oznacza różnicę na poziomie $5,1^{\circ}\text{C}$.



Ryc. 22. Układ punktów pomiarowych wzdłuż rzeki Wisły poniżej Elektrowni Połaniec, wrzesień 2019. Kilometraż rzeki oznaczono czerwonymi punktami.



Ryc. 23. Rozkład temperatury wody wzdłuż rzeki Wisły poniżej Elektrowni Połaniec, wrzesień 2019. Kilometraż rzeki oznaczono czerwonymi punktami.



Ryc. 24. Rozkład temperatury w wybranych przekrojach poprzecznych Wisły poniżej Elektrowni Połaniec, wrzesień 2019.

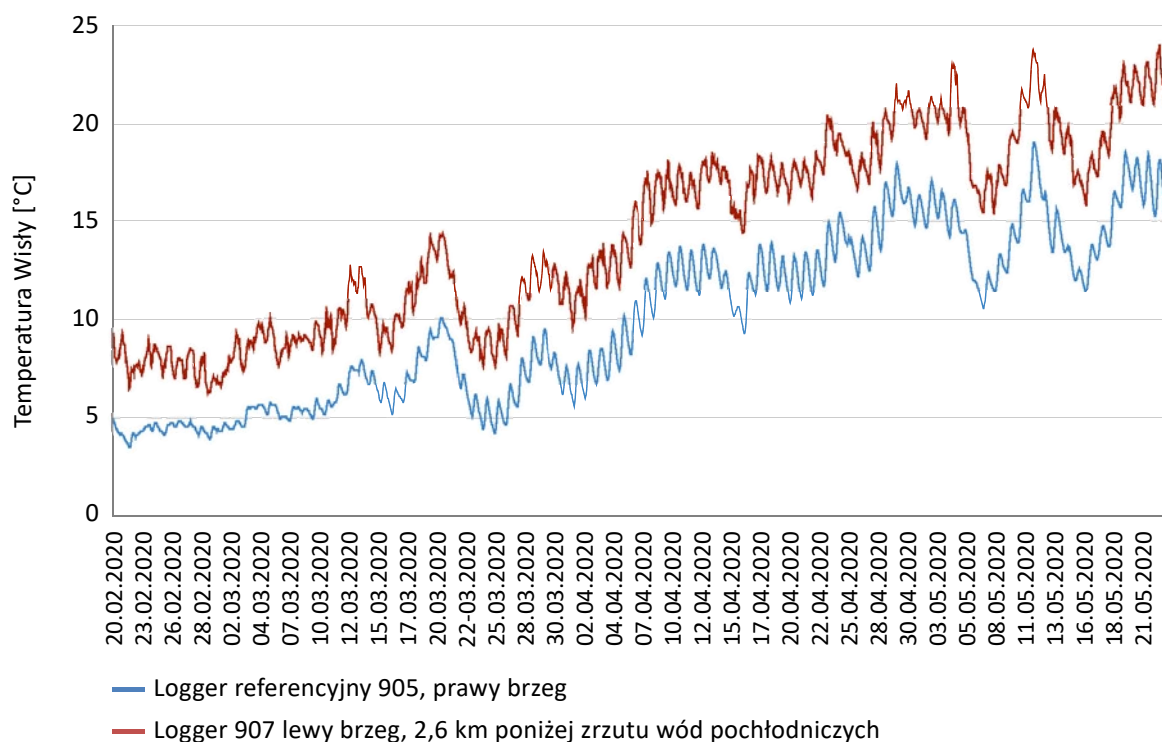
Wyniki z automatycznych mierników temperatury

20 lutego – 14 lipca 2020

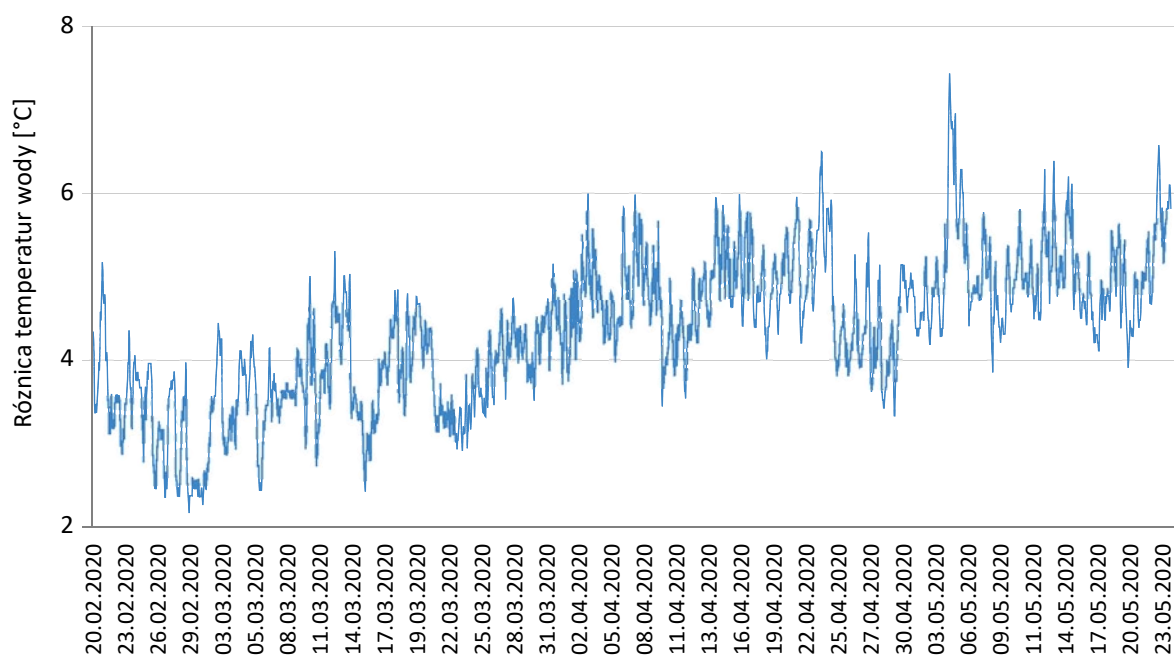
W 2020 roku badania prowadzono z wykorzystaniem automatycznych stacji rejestrujących, których lokalizacje pokazano na ryc. 25. Uzyskane wyniki przedstawiono na ryc. 26. Różnica temperatur pomiędzy miernikiem referencyjnym a tym zlokalizowanym przy lewym brzegu Wisły, 2,6 km poniżej zrzutu wód pochłodniczych, mieściła się w granicach 0,3 a 8,6 °C (ryc. 27). W tym czasie na analizowanym odcinku rzeki maksymalna temperatura wód wystąpiła 6 lipca 2020 roku osiągając wartość 26,2 °C.



Ryc. 25. Lokalizacja mierników temperatury wzdłuż rzeki Wisły powyżej i poniżej Elektrowni Polaniec w 2020 roku. Kilometraż rzeki oznaczono czerwonymi punktami.



Ryc. 26. Porównanie zmian temperatury wód Wisły w 2020 r. w strudze chłodnej (logger 905) i ciepłej wody (logger 907) 2,6 km poniżej zrzutu wód pochłódniczych Elektrowni Połaniec.



Ryc. 27. Różnice temperatur wody w Wiśle w 2020 roku pomiędzy strugą chłodnej (logger 905) i ciepłej wody (logger 907) 2,6 km poniżej zrzutu wód pochłódniczych Elektrowni Połaniec.

Dynamika zmian temperatury Wisły

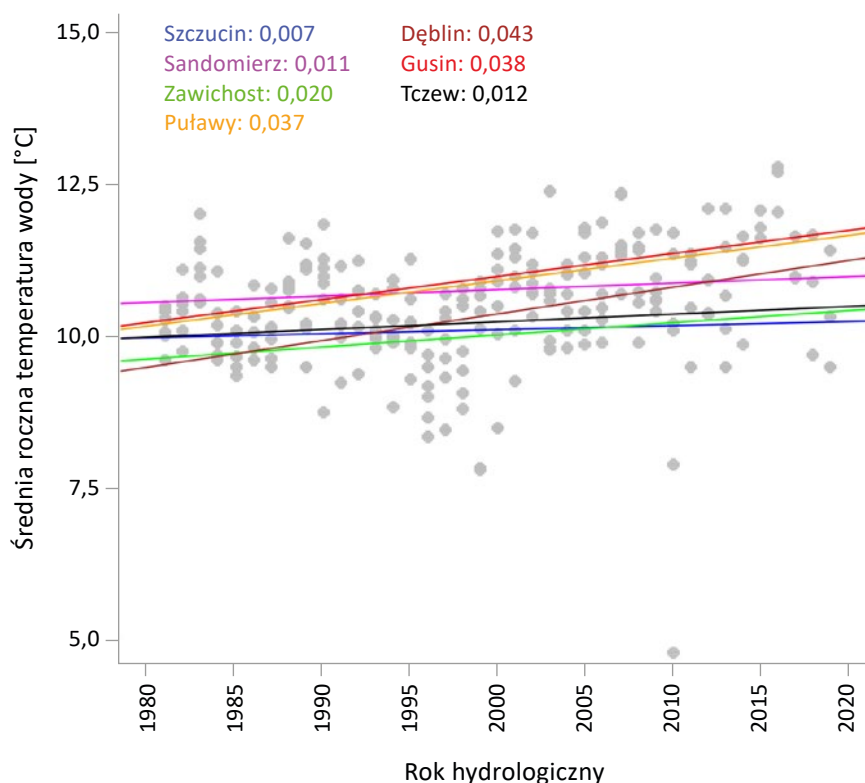


Zmiany temperatury Wisły w latach 1981–2019

Wzrost temperatury wód Wisły na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat jest niezaprzeczalnym faktem (ryc. 28). Tempo tych zmian jest różne na poszczególnych odcinkach rzeki i można je oszacować na poziomie od ok. 0,01 do ponad 0,04 °C na rok. Oznacza to (średni) wzrost temperatury wody od ok. 0,5 do niemal 1,7 °C w ostatnich czterech dekadach (serie danych dla poszczególnych wodowskazów są różne i obejmują okres od 1981–2010 w Gusinie i Tczewie, 1981–2015 w Szczucinie oraz 1981–2019 w Sandomierzu, Zawichoście, Puławach i Dęblinie). Koresponduje to z publikowanymi danymi dotyczącymi zmian temperatury powietrza spowodowanych globalnym ociepleniem. Wójcik i Miętus (2014) ocenili, że w pierwszej dekadzie XXI wieku średnia temperatura powietrza wzrosła o 1 °C w stosunku do pierwszej połowy XX wieku. Podobne tempo wzrostu temperatury wody w rzekach wynikające ze zmian klimatu obserwowane jest na całym świecie. W strefie tropikalnej i międzyzwrotnikowej tempo to osiąga wartość ok. 0,05 °C na rok, a w strefie umiarkowanej jest niższe – zwykle w granicach 0,00–0,02 °C na rok (Liu i wsp., 2020). Tym samym serie pomiarów temperatury Wisły wpisują się w obserwowane na całym świecie skutki ocieplenia klimatu.

Porównując przebiegi średnich rocznych temperatur na parach wodowskazów zlokalizowanych w pobliżu elektrowni Połaniec i Kozienice zaobserwowano, że w obu przypadkach przez większość lat (dla których dostępne były dane IMGW) na wodowskazach poniżej elektrowni notowano wyższe wartości niż powyżej niej (ryc. 29 i 30). W okresie 1981–2015 w Sandomierzu (42 km poniżej Elektrowni Połaniec) średnia roczna temperatura wody była średnio o 0,37 °C ($\pm$ S.D. = 0,81 °C) wyższa niż w Szczucinie (32 km przed nią). Średnia roczna temperatura w Sandomierzu była wyższa niż w Szczucinie 26 razy w 35-letniej historii pomiarów. Oznacza to, że prawdopodobnie w czasie 9 lat odprowadzono mniej podgrzanych wód pochłódniczych, co mogło być spowodowane awariami bloków/bloku i okresowym ich wyłączeniem. Różnice pomiędzy wodowskazami były wysoce istotne (test Wilcoxa dla par obserwacji, $P < 0,01$). W przypadku Elektrowni Kozienice na wodowskazie Gusin znajdującym się 35,5 km poniżej, w latach 1981–2010, notowano średnio 0,71 °C ($\pm$ 0,35 °C) wyższą temperaturę, niż na wodowskazie Dęblin zlokalizowanym prawie 33 km przed nią. Średnia roczna temperatura w Gusinie była wyższa, niż w Dęblinie 29 razy w ciągu 30 lat

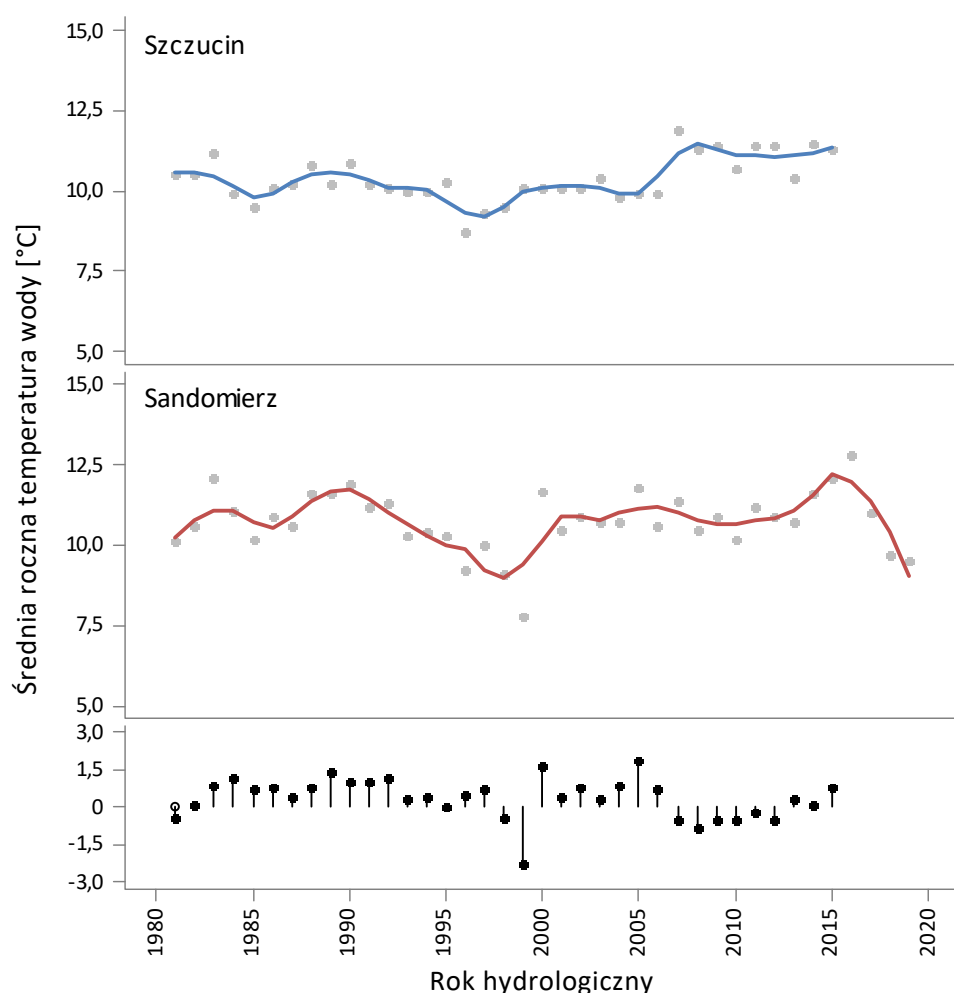
przewodzenia pomiarów. Również i w tym przypadku różnice były wysoce istotne statystycznie (test Wilcoxona dla par obserwacji, $P < 0,001$).



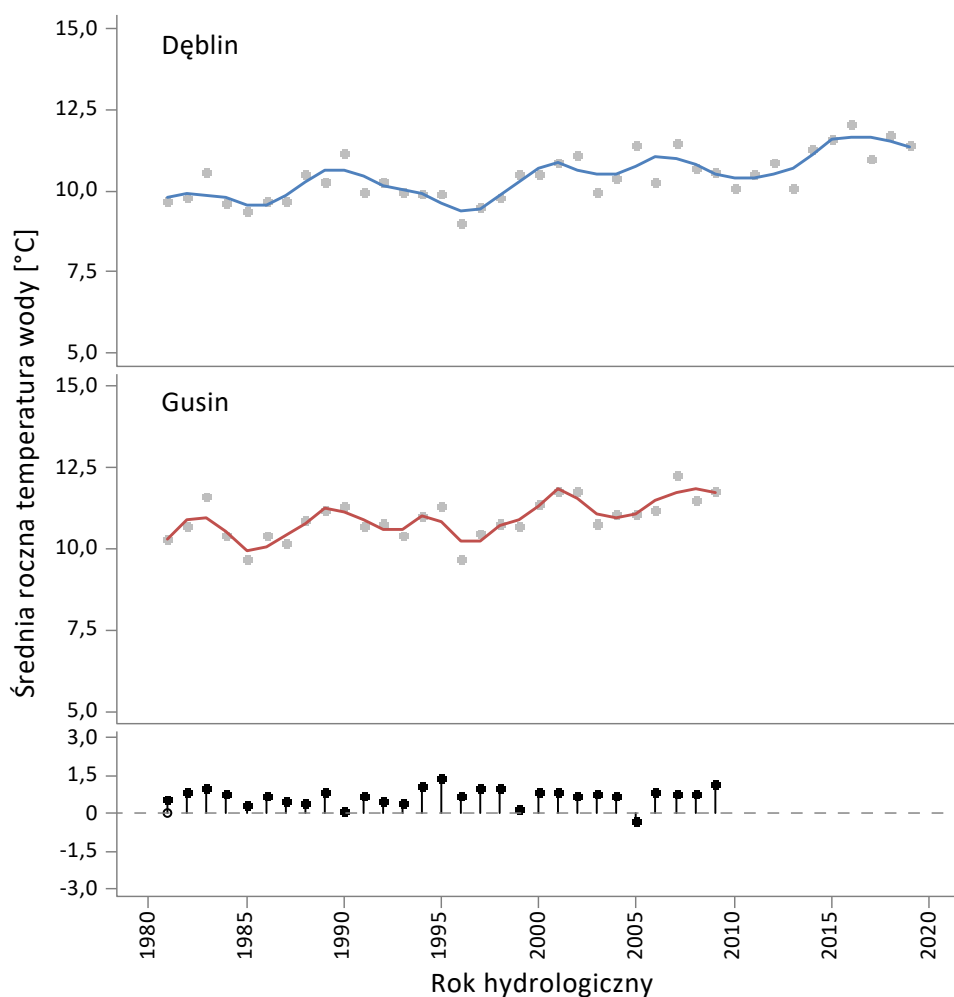
Ryc. 28. Średnie roczne temperatury (szare punkty) oraz nieparametryczne linie trendu (odpowiednie kolory) zarejestrowane na siedmiu wiślanych wodowskazach w okresie 1981–2019. Dla każdego wodowskazu podano współczynnik kierunkowy nieparametrycznej regresji Kendalla-Theila. Na podstawie danych IMGW.

Jakkolwiek bardzo sugestywne, zaprezentowane dane nie stanowią jednoznacznego dowodu na to, że wpływ zanieczyszczenia termicznego generowanego przez elektrownie Połaniec i Kozienice sięga aż do znajdujących się poniżej wodowskazów w przekrojach wodowskazowych Sandomierz i Gusin. Niemniej tak znaczny zasięg oddziaływania obu elektrowni jest bardzo prawdopodobny. Zembaty (1993) oszacował, że wody pochłonicze ulegają pełnemu wymieszaniu z wodami rzeczными dopiero po ok. 8–15 km, a wynikowa temperatura jest wówczas o 2–3 °C wyższa od temperatury wody powyżej elektrowni. Według tego autora wyrównanie temperatury wody do wartości wyjściowej może nastąpić dopiero po kilkudziesięciu, a nawet kilkuset kilometrach. Z kolei Jaworski i Krupa (1985), badając profil podłużny Wisły ocenili, że temperatura wody w przekroju Wisły w Sandomierzu przewyższała temperaturę naturalną od 0,7 do 3,1 °C. Rzeka osiągała ją z powrotem dopiero w oddalonym o 74 km Annopolu (gdzie wciąż była wyższa o 0,1 °C). Liu i wsp. (2020) oszacowali, że od 1981 roku średnia temperatura wody podniosła się na skutek zanieczyszczenia termicznego o ok. 0,16 °C w rzekach Europy, Rosji, Chin i Indii, o ok. 0,5–0,8 °C w pozostałych rzekach

azjatyckich oraz o ok. $0,4\text{--}2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ w rzekach wschodniej części USA. Rozpatrując to zagadnienie w bardziej lokalnej skali, Raptis i wsp. (2016) ocenili, że ponad 33% całkowitego przepływu Renu zostaje podgrzane o ponad $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (*sic!*), a zaledwie 14% przepływu tej rzeki pozostaje niezanieczyszczone termicznie. Dla porównania Mississippa, uchodząca za najbardziej obciążoną zanieczyszczeniem termicznym rzekę na świecie, doświadcza lokalnego wzrostu temperatury o ponad $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ w zakresie zaledwie 9% jej całkowitego przepływu (Raptis i wsp., 2016). W świetle tych aktualnych danych literaturowych, opartych na zaawansowanych modelach obliczeniowych, przytoczone różnice w średniorocznej temperaturze wody sięgające maksymalnie $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Gusin vs Dęblin) czy nawet $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Sandomierz vs Szczucin) można z dość dużym prawdopodobieństwem przypisać wpływowi zanieczyszczenia termicznego powodowanego przez pracę elektrowni Kozienice i Połaniec.



Ryc. 29. Średnie roczne temperatury wody (szare punkty) wraz z liniami regresji lokalnej (LOESS) oraz różnice średnich rocznych temperatur pomiędzy wodowskazem Sandomierz a Szczucin w okresie 1981–2019. Na podstawie danych IMGW.



Ryc. 30. Średnie roczne temperatury wody (szare punkty) wraz z liniami regresji lokalnej (LOESS) oraz różnice średnich rocznych temperatur pomiędzy wodowskazem Gusin a Dęblin w okresie 1981–2019. Na podstawie danych IMGW.

Zmiany temperatury wód Wisły poniżej zrzutu wód pochłodniczych elektrowni Kozienice oraz Połaniec oszacowane na bazie danych operatora elektrowni udostępnionych przez WIOŚ i Urząd Marszałkowski

Przedstawiona powyżej analiza została przeprowadzona w oparciu o dane z kilku wodowskazów na Wiśle, które jednocześnie notują temperaturę wody (raz dziennie o godz. 6:00 UTC). Ze względu na wagę problemu przeprowadzono dodatkowo obliczenia wielkości wzrostu temperatury wody Wisły poniżej elektrowni Kozienice oraz Połaniec bazując na raportowanych przez nie szczegółowych danych udostępnionych przez Urząd Marszałkowski oraz WIOŚ, a w przypadku tej drugiej jednostki, dodatkowo na danych wodowskazowych IMGW.

Elektrownia Kozienice

Pierwszą metodą użytą do zbadania wzrostu temperatury Wisły poniżej Elektrowni Kozienice było przeprowadzenie bilansu termicznego (cieplnego) Wisły po zmieszaniu się dwóch strug wody: zimnej (główny nurt Wisły) i gorącej (wody pochłódnicze). Do analizy wykorzystano szczegółowe dane zebrane pomiędzy 01.01.2015 a 31.12.2019 (1826 dni pomiarowych) dotyczące:

- przepływu Wisły w rejonie Elektrowni Kozienice;
- temperatury wody pobieranej z Wisły na potrzeby Elektrowni Kozienice;
- ilości wody pobranej i zrzucanej do Wisły przez Elektrownię Kozienice;
- temperatury wody pochłódniczej;
- osiągniętej mocy Elektrowni Kozienice.

Uzyskane wyniki przedstawiono w formie uśrednionej w tab. 3.

Tab. 3. Uśrednione dane na temat podgrzania wód Wisły obliczone na podstawie danych dotyczących przepływów i temperatur wody w rejonie Elektrowni Kozienice. Szczegółowe dane znajdują się w Archiwum TNZ.

Średni przepływ Wisły w Świerżach Górnych ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \pm \text{SD}$)	Średnia temperatura Wisły w Świerżach Górnych ($^{\circ}\text{C} \pm \text{SD}$)	Średni pobór wody przez Elektrownię Kozienice ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \pm \text{SD}$)	Średnia temperatura wody zrzutowej ($^{\circ}\text{C} \pm \text{SD}$)	Średnia temperatura Wisły po zmieszaniu się z wodą zrzutową ($^{\circ}\text{C} \pm \text{SD}$)	Średnia różnica temperatur między Wisłą powyżej i poniżej Elektrowni Kozienice ($^{\circ}\text{C} \pm \text{SD}$)
405 $\pm$ 255,3	12,1 $\pm$ 8,4	52 $\pm$ 14,9	22,2 $\pm$ 7,0	13,8 $\pm$ 8,0	1,7 $\pm$ 1,0

Z dokonanych analiz i obliczeń wynika, że w momencie zmieszania się wód Wisły z wodami pochłódniczymi Elektrowni Kozienice jej średnia temperatura podnosi się o 1,7 $^{\circ}\text{C}$ w stosunku do temperatury odcinka rzeki przed nią. Jak widać jest to wynik **bardzo zbliżony** do wartości wykazanych przy zastosowaniu metod modelowania matematycznego.

Drugą metodą służącą weryfikacji zaprezentowanych wyżej wyników była metoda wzorowana na czysto fizycznych obliczeniach zastosowanych przez badaczy amerykańskich, a zaprezentowanych w niniejszym Raporcie (tab. 1., Wright i wsp. 1999, Logan i Stillwell 2018), bazujących na parametrach technicznych elektrowni (moc, sprawność oraz ilości zużytej wody). Podstawowym parametrem wykorzystanym do obliczeń jest sprawność bloków energetycznych Elektrowni Kozienice, która oficjalnie jest na poziomie 38%. Oznacza to, że zaledwie 38% energii uzyskanej ze spalania węgla zamienia się w energię elektryczną, a pozostała

część (62%) oddawana jest do środowiska, głównie w postaci podgrzanej wody chłodniczej.

Obliczeń stopnia podgrzania wód Wisły energią zgromadzoną w wodach pochłoniczych dokonano posługując się British Thermal Units (BTU) (wzorem badaczy amerykańskich) jak również po przeliczeniu BTU na megawaty służące podgrzaniu wody (1 MW podgrzewa 0,269 m³ na sekundę o 1 °C). Wyniki analizy przedstawiono w tab. 4. Wynika z niej jednoznacznie, że tak prowadzone obliczenia dają niemal identyczne wyniki (wzrost temperatury Wisły o 1,8 °C) jak analizy przedstawione we wcześniejszych akapitach, a uzyskane odmiennymi metodami. Nie wielkie rozbieżności między wynikami analiz rzędu 0,1 °C mogą wynikać z nieuwzględnienia w obliczeniach strat energii spowodowanych pracą innych systemów elektrowni (odsiarczanie spalin, chłodzenie innych maszyn i urządzeń etc.).

Tab. 4. Obliczenie stopnia podgrzania Wisły przez Elektrownię Kozienice na bazie informacji odnośnie wyprodukowanej przez nią ilości energii i tej oddanej do środowiska z wodami pochłoniczymi w zależności od sprawności bloków 1–10.

Średnia moc Elektrowni Kozienice w latach 2015–2019 (MW)	Sprawność bloków energetycznych	Ilość energii oddanej do środowiska (MW)	Ilość ciepła oddanego do środowiska (10 ⁶ x BTU*/h)	Średni przepływ Wisły w Świerżach Górnych (m ³ *s ⁻¹)	Wzrost temperatury Wisły poniżej El. Kozienice (°C)
1509	38%	2462	8401	405	1,8

Wyniki analiz przedstawione w powyższym rozdziale pozwalają stwierdzić, iż wszystkie obliczenia wskazują jednoznacznie, że Elektrownia Kozienice na przestrzeni kilku dekad swojej działalności przyczyniła się do podgrzania wód Wisły od 1,7 do 1,8 °C (w zależności od metody analitycznej), co niewątpliwie miało i ma wpływ na funkcjonowanie całego jej ekosystemu.

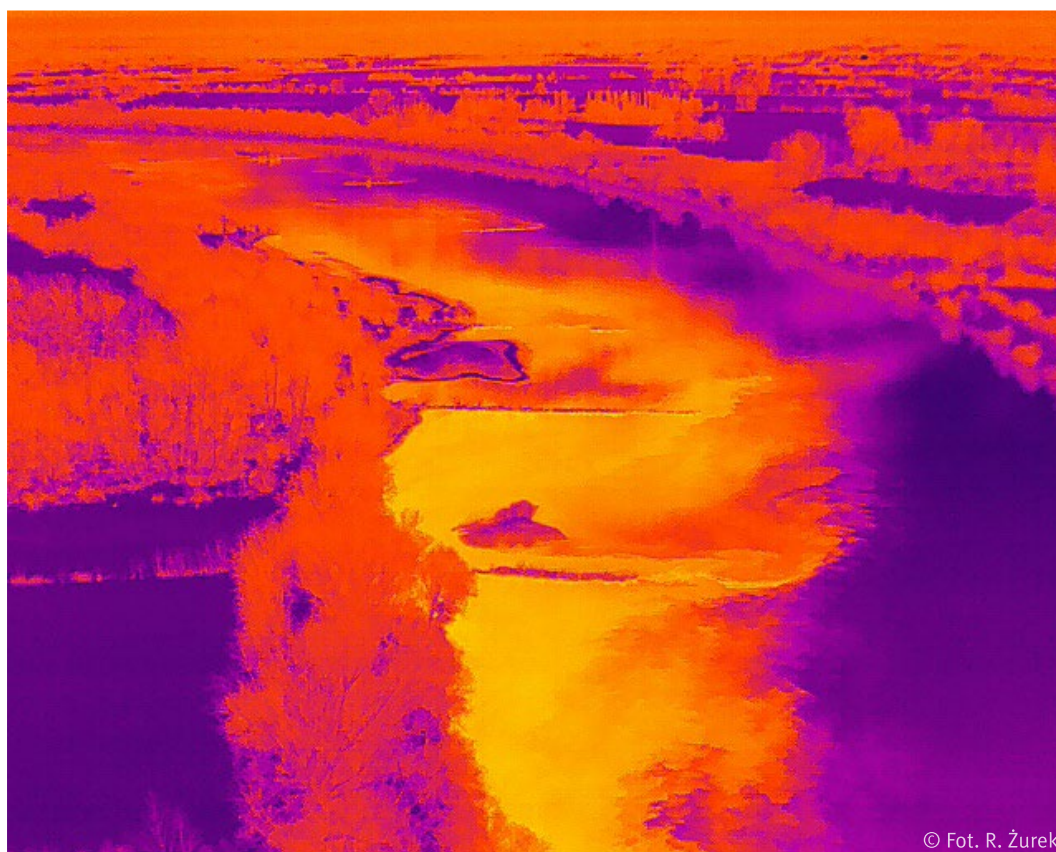
Elektrownia Połaniec

Podobną skalę podgrzania Wisły uzyskujemy w przypadku Elektrowni Połaniec, dla której analizę przeprowadzono posługując się wyłącznie British Thermal Units (BTU). Zrezygnowano w tym przypadku z bilansu cieplnego, gdyż operator nie dysponuje informacjami dotyczącymi temperatury Wisły w rejonie Elektrowni Połaniec. Dla uproszczenia przyjęto przepływy odnotowane w przekroju wodowskazowym Szczucin. Dane o ilości wyprodukowanej energii na przestrzeni lat 2015–2019 uzyskano z Transparency Platform Entsoe. Wyniki zamieszczono w tabeli 5.

Obliczenia potwierdziły, że w całym okresie swojego funkcjonowania Elektrownia Połaniec podgrzała wody Wisły o 1,9 °C.

Tab. 5. Obliczenie stopnia podgrzania Wisły przez Elektrownię Połaniec na bazie informacji odnośnie ilości wyprodukowanej przez nią energii i tej oddanej do środowiska z wodami pochłodziącymi w zależności od sprawności bloków.

Średnia moc Elektrowni Połaniec w latach 2015–2019 (MW)	Sprawność bloków energetycznych	Ilość energii oddanej do środowiska (MW)	Ilość ciepła oddanego do środowiska (10 ⁶ x BTU*/h)	Średni przepływ Wisły w Połańcu (m ³ *s ⁻¹)	Wzrost temperatury Wisły poniżej El. Połaniec (°C)
922	38%	1504	5132	256	1,9



© Fot. R. Żurek

Fot. 1. Pióropusz termiczny Wisły poniżej Elektrowni Połaniec.

Wyniki wstępnych badań ichtiofauny rzeki Wisły w rejonie Elektrowni Kozienice w aspekcie zróżnicowanej temperatury wody



Metodyka badań

Obszar badań

Badania obejmowały odcinek Wisły ok. 8 km powyżej i poniżej Elektrowni Kozienice. Na poniższych mapach wskazano miejsca wodowania i wyciągnięcia łodzi (ryc. 31 i 32).



Ryc. 31. Lokalizacja rejonu badań ichtiofauny powyżej Elektrowni Kozienice. Żółte strzałki wskazują punkt początkowy (N51.636777, E21.561491) i końcowy (N51.666359, E21.476090) spływu łodzią i odłowów.



Ryc. 32. Lokalizacja rejonu badań ichtiofauny poniżej Elektrowni Kozienice. Żółte strzałki wskazują punkt początkowy (N51.672960, E.21.465447) i końcowy (N51.742815, E21.411039) spływu łodzi i odłowów.

Metody połowu ryb

Badania ichtiofauny Wisły przeprowadzono przy pomocy dwóch metod połowowych:

- a) elektropołowu z łodzi w trakcie swobodnego dryfu,
- b) połowów sieciowych włoczkiem drobnicowym.

Badania przeprowadzono dwukrotnie w terminie: 7–8 sierpnia oraz 19–20 listopada 2020 roku. Elektropołowy i połowy włoczkiem drobnicowym miały na celu określenie składu gatunkowego ichtiofauny oraz określenie jej struktury ilościowej.

Elektropół z łodzi został przeprowadzony przy pomocy stacjonarnego elektrycznego agregatu połowowego DEKA 5000 (DEKA Geratebau, Niemcy) zgodnie z procedurą pobierania próbek ryb przy pomocy elektryczności, zawartą w PN-EN 14011. Odłowów ryb dokonywano podczas swobodnego dryfu łodzi przy obu brzegach Wisły. Anodę stanowił kasarek o średnicy 50 cm, a katodę – stalowa blacha o powierzchni ok. 3 m² zamontowana w dnie łodzi. Z uwagi na bardzo wysoką przewodność wody (od 1000 do 2000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) zastosowano prąd impulsowy o napięciu 250 V, osiągając średnie natężenie 8–10 A (moc w szczycie impulsu do 7 kW). Połowu dokonywano anodą oraz dodatkowym kasarkiem asekuracyjnym. Punkt początkowy odłowu dla odcinka powyżej Elektrowni Kozienice znajdował się w rejonie wsi Holendry Kuźmińskie ok. 8 km powyżej Elektrowni Kozienice. Punkt końcowy znajdował

się ok. 500 m powyżej ujęcia wody do urządzeń chłodzących Elektrowni Kozienice w okolicy przeprawy promowej w Świerżach Wielkich (ryc. 31). W przypadku odcinka poniżej elektrowni badany fragment zaczynał się ok. 300 m poniżej ujścia kanału ciepłowniczego do Wisły, a jego koniec znajdował się ok. 8 km poniżej, w rejonie przeprawy promowej w Latkowie (ryc. 32). W przypadku obu metod po zakończeniu połowu i identyfikacji gatunku oraz zmierzeniu długości całkowitej (*longitudototalis*, TL) z dokładnością do 1 mm, ryby były wypuszczane w stanie nienaruszonym, w miejscu złowienia. Dodatkowo mierzono temperaturę wody i powietrza, notowano pozycję GPS oraz wykonywano dokumentację fotograficzną. Wyniki odłowów i pomiarów w terenie nanoszono na standardowe protokoły terenowe. Badania przeprowadzono dwukrotnie zawsze na tym samym odcinku rzeki. W trakcie badań prowadzonych w sierpniu odłowiono po 11 stanowisk powyżej i poniżej elektrowni pokrywając wszystkie rodzaje siedlisk korytowych. W trakcie badań prowadzonych w listopadzie odłowów dokonano na 32 stanowiskach powyżej elektrowni i 34 stanowiskach poniżej niej. Na potrzeby niniejszego opracowania „stanowisko badawcze (odłowe)” zostaje zdefiniowane jako jednolita strefa rzeki obłowiona podczas swobodnego, powolnego dryfu łodzi, podczas którego 12-krotnie aktywowano anodę, każdorazowo na czas 5 sekund, co łącznie odpowiada 60 s ciągłego elektropołowu. Minimalna odległość między kolejnymi stanowiskami wynosiła 100 m.



Fot. 2. Elektropołowy z łodzi w okolicy przeprawy promowej w Świerżach Wielkich.

Odłowy sieciowe przeprowadzono za pomocą włoczka drobnicowego o długości 9 m, wykonanego z bezwęzłowej nylonowej tkaniny sieciowej o boku oczka równym 6 mm. Ryby odławiano wykonując zaciąg włoczka zgodnie z nurtem płynącej wody, na granicy nurtu i stojącej wody na piaszczystym odsypisku utworzonym pomiędzy ostrogami rzecznyymi lub przy płaskim brzegu. Średnia głębokość wody w miejscu łowienia wynosiła ok. 60 cm. Włók prowadzono w przybliżeniu równolegle do brzegu, na odcinku ok. 50 m, pobierając próbę z powierzchni w przybliżeniu 300 m². Powierzchnię tę nazwano w niniejszym opracowaniu „stanowiskiem” (analogicznie do stanowiska odławianego za pomocą narzędzi elektrycznych). Na końcu transektu sieć wraz z odłowionymi rybami wyciągano na piaszczysty brzeg. Po identyfikacji gatunku i zmierzeniu ich długości całkowitej (TL), ryby w stanie nienaruszonym wypuszczano na wolność w miejscu złowienia. Połowy włokiem przeprowadzano tylko jednokrotnie – w sierpniu, gdyż tylko w tym terminie poziom wody w Wiśle był na tyle niski, że takie odłowy były możliwe. W listopadzie poziom wody był na tyle wysoki, że uniemożliwiał skuteczne, a co najważniejsze bezpieczne odłowy sieciowe. W trakcie badań w sierpniu dokonano po 11 zaciągów włoczkiem poniżej i powyżej Elektrowni Kozienice. Podobnie jak w przypadku elektropołówów, przypadkowo odłowione ryby należące do gatunków chronionych, na badanie których nie posiadano zezwolenia, wypuszczano na wolność w pierwszej kolejności bez dokonywania zbędnych manipulacji notując jedynie ich liczbę. Szczegółowe informacje na temat metodyki przeprowadzonych badań przedstawiono syntetycznie w tab. 6 i 7.



Fot. 3. Wisła w okolicy ostatniego stanowiska odłowowego ok. 8 km poniżej Elektrowni Kozienice.

Tab. 6. Podstawowe informacje dotyczące metodyki porównawczych badań ichtiofauny poniżej i powyżej Elektrowni Kozienice w dniach **7–8 sierpnia 2020.**

Odcinek	Długość odcinka rzeki (m)	Temperatura wody (°C)	Liczba stanowisk elektropołowu (12 × 5 s)	Liczba stanowisk sieciowych (300 m ²)	Przepływ Wisły (wodowsk. Dęblin) (m ³ s ⁻¹)
Powyżej elektrowni	8200	21,1	11	11	266
Poniżej elektrowni	9500	27,4 → 25,0	11	11	266

Tab. 7. Podstawowe informacje dotyczące metodyki porównawczych badań ichtiofauny poniżej i powyżej Elektrowni Kozienice w dniach **19–20 listopada 2020.**

Odcinek	Długość odcinka rzeki (m)	Temperatura wody (°C)	Liczba stanowisk elektropołowu (12 × 5 s)	Liczba stanowisk sieciowych (300 m ²)	Przepływ Wisły (wodowsk. Dęblin) (m ³ s ⁻¹)
Powyżej elektrowni	8200	6,8	32	0	349
Poniżej elektrowni	9500	14,5 → 10,1	34	0	349



Fot. 4. Elektropołów na łasze piaszczystej powyżej Elektrowni Kozienice.

Analiza danych

Uzyskane w toku odłowów liczby osobników (CPUE) stanowiły podstawę do wnioskowania o rozmieszczeniu poszczególnych gatunków na badanych odcinkach Wisły. Hipotezę zerową mówiącą o braku istotności różnic w średniej liczbie ryb oraz bogactwie gatunkowym (liczbie

stwierdzonych gatunków) na pojedynczym stanowisku powyżej i poniżej elektrowni zweryfikowano nieparametrycznym testem Wilcoxona. Różnice uznawano za istotne przy $P < 0,05$. W związku z dużą rozbieżnością liczby ryb odłowionych w sierpniu i listopadzie obliczenia prowadzono oddzielnie dla obu tych terminów.

Dla najliczniejszych gatunków ($N_i \geq 50$ osobników) zweryfikowano hipotezę o istotności wpływu elektrowni w ciepłej i zimnej porze roku na rozkłady liczebności poszczególnych gatunków oraz zróżnicowanie ich długości całkowitej (TL) na badanych odcinkach rzeki. W związku z niewielkim oddalaniem od siebie poszczególnych stanowisk połowu zachodziła obawa o ich autokorelację przestrzenną i obecność w analizie pseudoreplikacji. W celu wyeliminowania tej trudności zastosowano uogólnione liniowe modele mieszane (ang. *Generalized linear mixed-effects models*, GLMM). W analizie rozkładów liczebności uwzględniono dwa efekty stałe: „odcinek” (powyżej vs poniżej elektrowni) oraz „miesiąc” (sierpień vs listopad) oraz wprowadzono dodatkowo efekt losowy („stanowisko”). W modelach tych błąd losowy miał rozkład Poissona. Analiza zróżnicowania długości całkowitej uwzględniała tylko jeden efekt stały („odcinek”), a czynnik „miesiąc” wprowadzono do modelu jako efekt losowy. W tym wypadku błąd miał rozkład Gaussa. Modele oceniano na podstawie kryterium informacyjnego Akaikego (AIC) oraz bayesowskiego kryterium informacyjnego (BIC). W razie wątpliwości wybierano model prostszy (tj. z mniejszą liczbą efektów stałych). Zdając sobie sprawę z trudności metodycznych związanych z przestrzennym i czasowym reżimem pobierania prób oraz z relatywnie niewielką liczbą powtórzeń, w opinii autorów GLMM w opisanej postaci są najlepszą metodą nadającą się do zastosowania w tych warunkach (Zuur i in. 2009, Crawley 2013). Obliczenia przeprowadzono w środowisku R (ver. 3.6.0) (R Core Team 2019) z zastosowaniem pakietów: *lme4* (Bates et al. 2015), *ggeffects* (Lüdtke 2018), *ggplot2* (Wickham 2016) oraz *rocmpanion* (Mangiafico 2020).

Wyniki

Dane ogólne

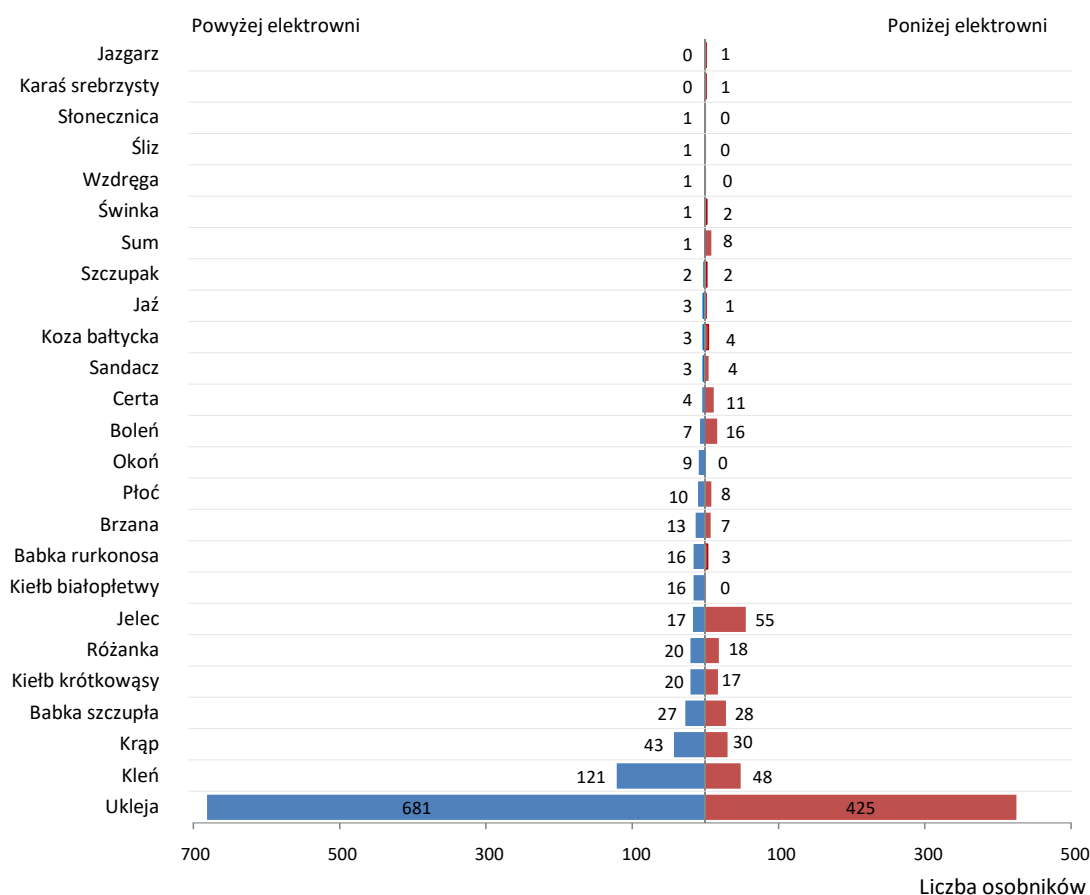
Badania prowadzone 7–8 sierpnia 2020

W trakcie badań w sierpniu 2020 r. odłowiono i zidentyfikowano ogółem **1709** osobników ryb należących do **25** gatunków (tab. 8). Spośród odłowionych osobników aż 1020 odłowiono powyżej elektrowni, a poniżej tylko 689. Powyżej elektrowni stwierdzono obecność 23 gatunków, zaś poniżej niej – 20 gatunków ryb. Na uwagę zasługuje brak w składzie

ichtiofauny poniżej elektrowni kielbia białopłetwego i okonia, które stosunkowo licznie występowały powyżej niej. Szczegóły odnośnie liczby odłowionych ryb na poszczególnych odcinkach Wisły przedstawiono w tabeli 8 i 9 oraz na ryc. 33.

Tab. 8. Skład gatunkowy ichtiofauny i jego rozmieszczenie względem odcinków badawczych oraz status ochrony poszczególnych gatunków (DS – Dyrektywa siedliskowa, OG ochrona gatunkowa, IUCN – Czerwona lista). Badania przeprowadzone w sierpniu 2020 r. na Wiśle przy Elektrowni Kozienice. Suma z elektropołów i odłowów sieciowych.

l.p.	Gatunek	Powyżej elektrowni (n)	Poniżej elektrowni (n)	DS	IUCN	OG
1	Kleń (<i>Squalius cephalus</i>)	121	48	–	LC	Nie
2	Kiełb krótkowąsy (<i>Gobio gobio</i>)	20	17	–	LC	Nie
3	Kiełb białopłetwy (<i>Romanogobio biobelingi</i>)	16	0	Zał. II	VU	Tak
4	Brzana (<i>Barbus barbus</i>)	13	7	Zał. V	NT	Nie
5	Sandacz (<i>Sander lucioperca</i>)	3	4	–	LC	Nie
6	Krąp (<i>Blicca bjoerkna</i>)	43	30	–	LC	Nie
7	Ukleja (<i>Alburnus alburnus</i>)	681	425	–	LC	Nie
8	Różanka (<i>Rhodeus amarus</i>)	20	18	Zał. II	VU	Tak
9	Płoc (<i>Rutilus rutilus</i>)	10	8	–	LC	Nie
10	Karaś srebrzysty (<i>Carassius gibelio</i>)	0	1	–	OBCY	Nie
11	Certa (<i>Vimba vimba</i>)	4	11	–	CR	Nie
12	Babka rurkonosa (<i>Proterorhinus semilunaris</i>)	16	3	–	OBCY	Nie
13	Szczupak (<i>Esox lucius</i>)	2	2	–	LC	Nie
14	Okoń (<i>Perca fluviatilis</i>)	9	0	–	LC	Nie
15	Boleń (<i>Leuciscus aspius</i>)	7	16	Zał. V	NT	Nie
16	Babka szczupła (<i>Neogobius fluviatilis</i>)	27	28	–	OBCY	Nie
17	Sum (<i>Silurus glanis</i>)	1	8	–	LC	Nie
18	Jelec (<i>Leuciscus leuciscus</i>)	17	55	–	NT	Nie
19	Świnka (<i>Chondrostoma nasus</i>)	1	2	–	EN	Nie
20	Koza bałtycka (złotawa) (<i>Sabanejewia baltica</i>)	3	4	–	VU	Tak
21	Wzdręga (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>)	1	0	–	LC	Nie
22	Jaź (<i>Leuciscus idus</i>)	3	1	–	LC	Nie
23	Śliz (<i>Barbatula barbatula</i>)	1	0	–	LC	Nie
24	Słonecznica (<i>Leucaspis delineatus</i>)	1	0	–	LC	Nie
25	Jazgarz (<i>Gymnocephalus cernua</i>)	0	1	–	LC	Nie
RAZEM		1020	689			

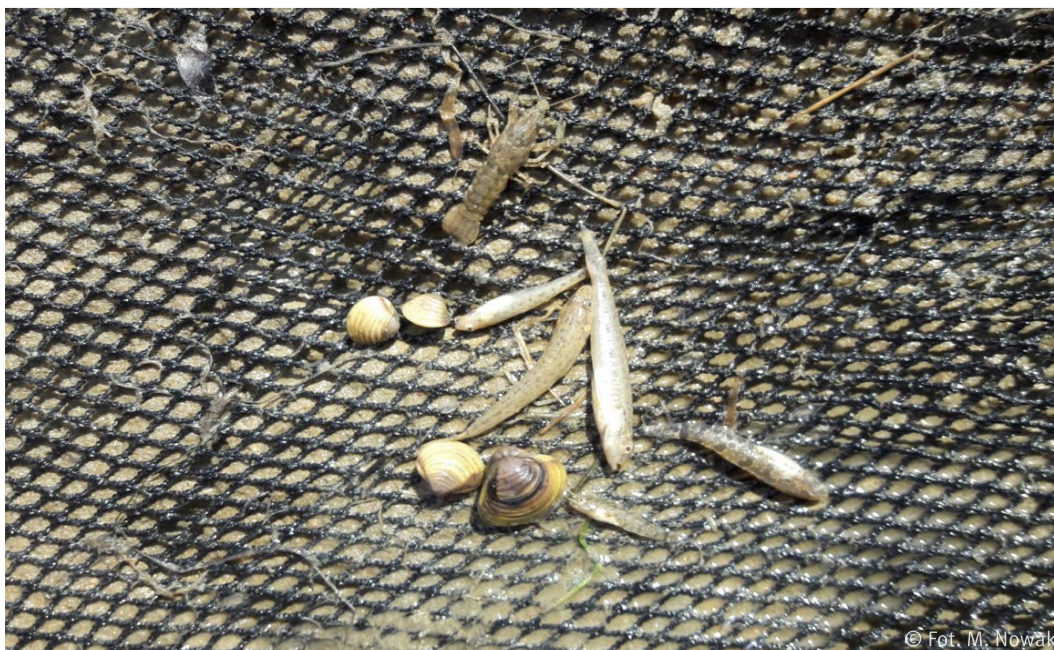


Ryc. 33. Porównanie liczby osobników poszczególnych gatunków ryb występujących powyżej i poniżej punktu zrzutu wód chłodniczych z Elektrowni Kozienice w sierpniu 2020 roku.

Średnia liczebność osobników na stanowisku nie różniła się istotnie pomiędzy oboma badanymi odcinkami (test Wilcoxona, $P = 0,217$). Podobnie nie wykazano różnic w średnim bogactwie gatunkowym powyżej i poniżej elektrowni (test Wilcoxona, $P = 0,197$).

Tab. 9. Ogólne dane odnośnie ryb odłowionych w trakcie badań na Wiśle w rejonie przy Elektrowni Kozienice w sierpniu 2020 roku.

Odcinek Wisły	Ogólna liczba odłowionych ryb	Liczba odłowionych ryb – elektropołów	Liczba odłowionych ryb – włok	Średnia liczba osobników na stanowisko – elektropołów	Średnia liczba osobników na stanowisko – włok	Liczba stwierdzonych gatunków
Powyżej elektrowni	1020	460	575	41,82	52,28	23
Poniżej elektrowni	689	343	331	31,19	31,46	20
Suma	1709	803	906			



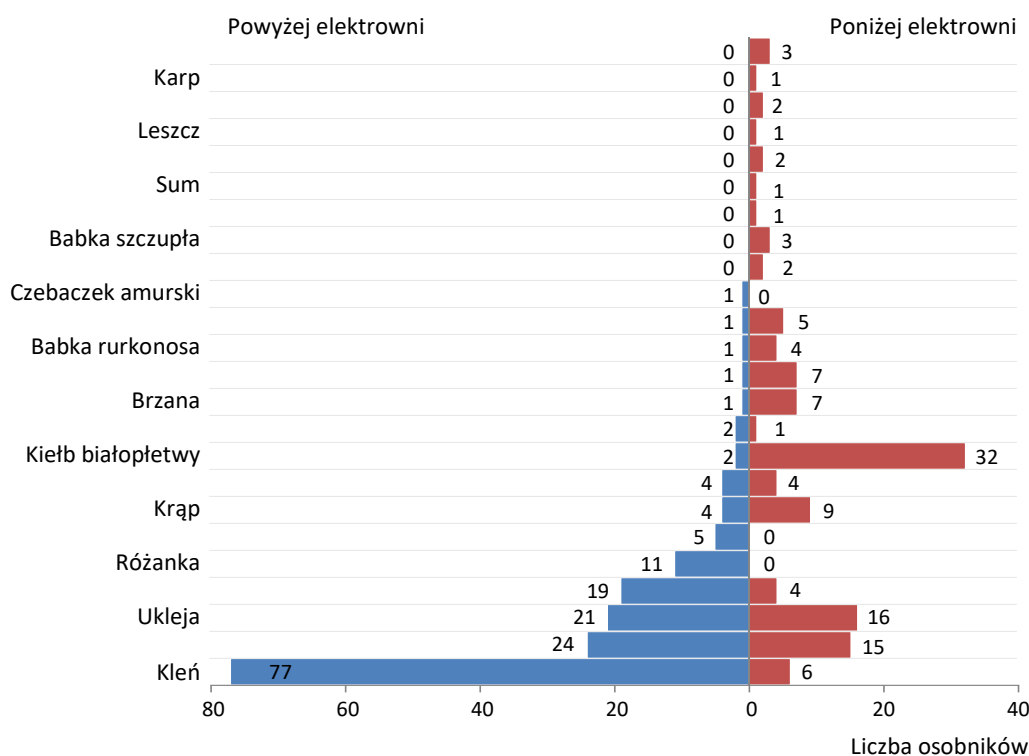
Fot. 5. Osobniki gatunków obcych odłowionych włoczkiem poniżej Elektrowni Kozienice w sierpniu 2020 r.: babki rurkonose, babki szczupłe, rak pręgowany oraz inwazyjne małże *Corbicula fluminea*.

Badania prowadzone 19–20 listopada 2020

Ogółem w trakcie badań (tylko z użyciem elektropoławu) odłowiono **300** osobników ryb należących do **24** gatunków (tab. 10). Większość ryb (174 osobniki) odłowiono powyżej elektrowni, mimo mniejszej ilości stanowisk (o dwa) niż poniżej niej, gdzie odłowiono 126 osobników ryb. Średnia liczba osobników odławianych na pojedynczym stanowisku wyniosła odpowiednio 5,65 oraz 3,91, jednak różnice te nie były istotne statystycznie (test Wilcoxona, $P = 0,180$). Na dolnym, ciepłym odcinku Wisły poniżej elektrowni stwierdzono znacznie wyższą liczbę gatunków (21) w stosunku do odcinka referencyjnego (15), jednak średnie bogactwo gatunkowe na stanowisku było zbliżone (2,28 vs 2,32) i nie różniło się istotnie pomiędzy oboma odcinkami (test Wilcoxona, $P = 0,499$). Szczegóły odnośnie liczby odłowionych ryb na poszczególnych odcinkach Wisły przedstawiono w tab. 10 i 11 oraz na ryc. 34.

Tab. 10. Skład gatunkowy ichtiofauny i jej rozmieszczenie względem odcinków badawczych oraz status ochrony poszczególnych gatunków (DS – Dyrektywa siedliskowa, OG ochrona gatunkowa, IUCN – Czerwona lista). Badania prowadzone 19–20 listopada 2020 r. na Wiśle przy Elektrowni Kozienice.

l.p.	Gatunek	Powyżej elektrowni (n)	Poniżej elektrowni (n)	DS	IUCN	OG
1	Kleń (<i>Squalius cephalus</i>)	77	6	–	LC	Nie
2	Kiełb krótkowąsy (<i>Gobio gobio</i>)	24	15	–	LC	Nie
3	Kiełb białopłetwy (<i>Romanogobio belingi</i>)	2	32	Zał. II	VU	Tak
4	Brzana (<i>Barbus barbus</i>)	1	7	Zał. V	NT	Nie
5	Sandacz (<i>Sander lucioperca</i>)	1	7	–	LC	Nie
6	Krąp (<i>Blicca bjoerkna</i>)	4	9	–	LC	Nie
7	Ukleja (<i>Alburnus alburnus</i>)	21	16	–	LC	Nie
8	Różanka (<i>Rhodeus amarus</i>)	11	0	Zał. II	VU	Tak
9	Płoć (<i>Rutilus rutilus</i>)	19	4	–	LC	Nie
10	Karaś srebrzysty (<i>Carassius gibelio</i>)	2	1	–	OBCY	Nie
11	Certa (<i>Vimba vimba</i>)	5	0	–	CR	Nie
12	Babka rurkonosa (<i>Proterorhinus semilunaris</i>)	1	4	–	OBCY	Nie
13	Szczupak (<i>Esox lucius</i>)	4	4	–	LC	Nie
14	Okoń (<i>Perca fluviatilis</i>)	1	5	–	LC	Nie
15	Czebaczek amurski (<i>Pseudorasbora parva</i>)	1	0	–	OBCY	Nie
16	Boleń (<i>Leuciscus aspius</i>)	0	2	Zał. V	NT	Nie
17	Babka szczupła (<i>Neogobius fluviatilis</i>)	0	3	–	OBCY	Nie
18	Węgorz (<i>Anquila anquila</i>)	0	1	–	CR	Nie
19	Sum (<i>Silurus glanis</i>)	0	1	–	LC	Nie
20	Jelec (<i>Leuciscus leuciscus</i>)	0	2	–	LC	Nie
21	Leszcz (<i>Abramis brama</i>)	0	1	–	LC	Nie
22	Koza bałtycka (<i>Sabanejewia baltica</i>)	0	2	–	VU	Tak
23	Karp (<i>Cyprinu scarpio</i>)	0	1	–	OBCY	Nie
24	Jaź (<i>Leuciscus idus</i>)	0	3	–	LC	Nie
	Razem	174	126			



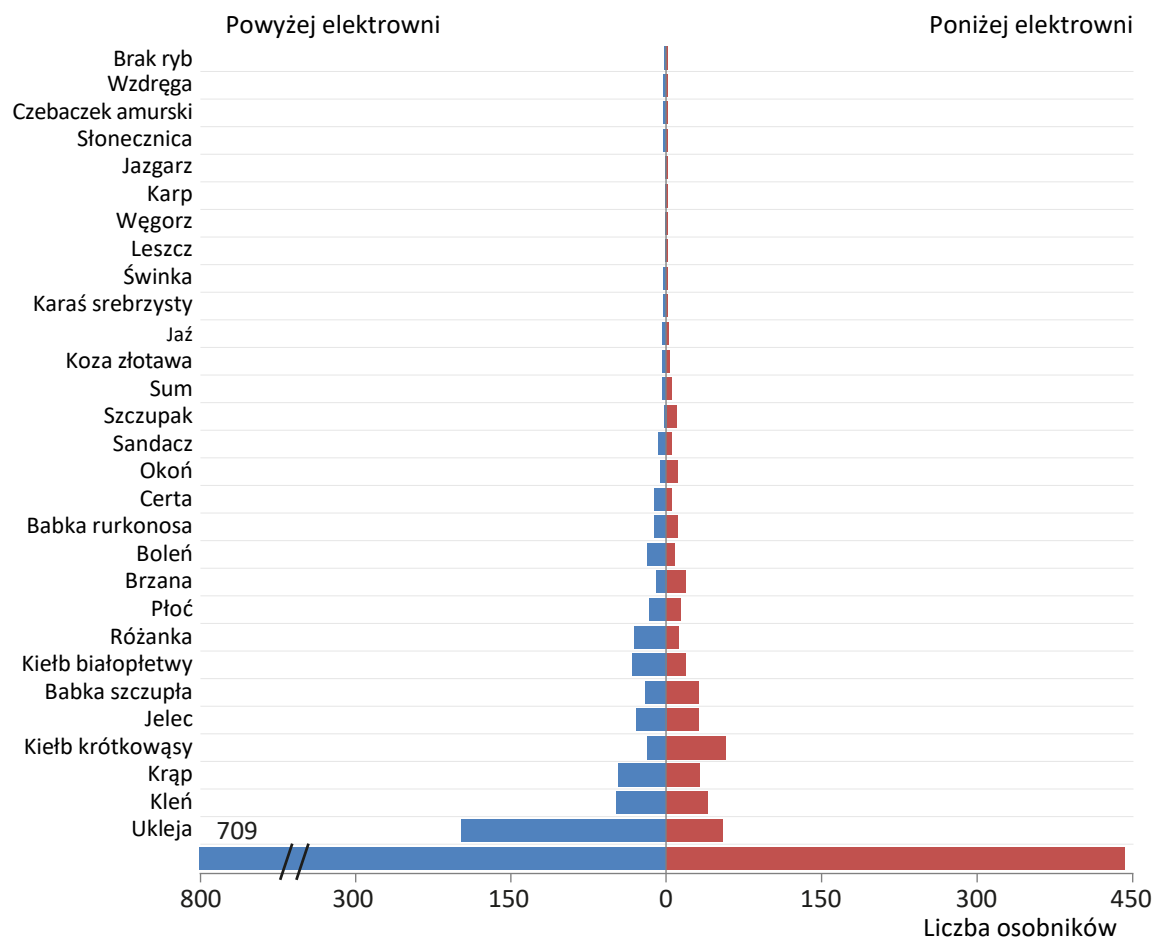
Ryc. 34. Porównanie liczby osobników poszczególnych gatunków ryb występujących powyżej i poniżej punktu zrzutu wód z Elektrowni Koźnice w listopadzie 2020 roku.

Tab. 11. Ogólne dane odnośnie ryb odłowionych z Wisły w rejonie Elektrowni Koźnice w trakcie badań w listopadzie 2020 r.

Odcinek Wisły	Ogólna liczba odłowionych ryb – elektropotów	Średnia liczba osobników na stanowisko – elektropotów	Liczba stwierdzonych gatunków
Powyżej elektrowni	174	5,44	15
Poniżej elektrowni	126	3,71	21
Suma	300		

Ogółem w trakcie badań powyżej Elektrowni Koźnice stwierdzono 24, a poniżej niej – 25 gatunków ryb (ryc. 35). Powyżej elektrowni nie odłowiono leszcza, węgorza, karpia i jazgarza, natomiast poniżej niej – słonecznicy, czebaczka amurskiego i wzdreği. Należy zaznaczyć, że każdy z tych gatunków w toku badań stwierdzano w postaci zaledwie pojedynczego osobnika. Na odcinku referencyjnym bogactwo gatunkowe na pojedynczym stanowisku wahało się od 0 do 15 gatunków, średnio ($\pm$ S.D.) było to, odpowiednio: 4,12 ($\pm$ 3,98) oraz 3,60 ($\pm$ 3,70) gatunku na stanowisko. Wartości modalne (powtarzające się najczęściej) to 2 gatunki na stanowisko na odcinku referencyjnym oraz 1 gatunek na stanowisko na odcinku poniżej elektrowni. Różnice w bogactwie gatunkowym pomiędzy odcinkami nie były istotne statystycznie (test Wilcoxona, $P = 0,503$).

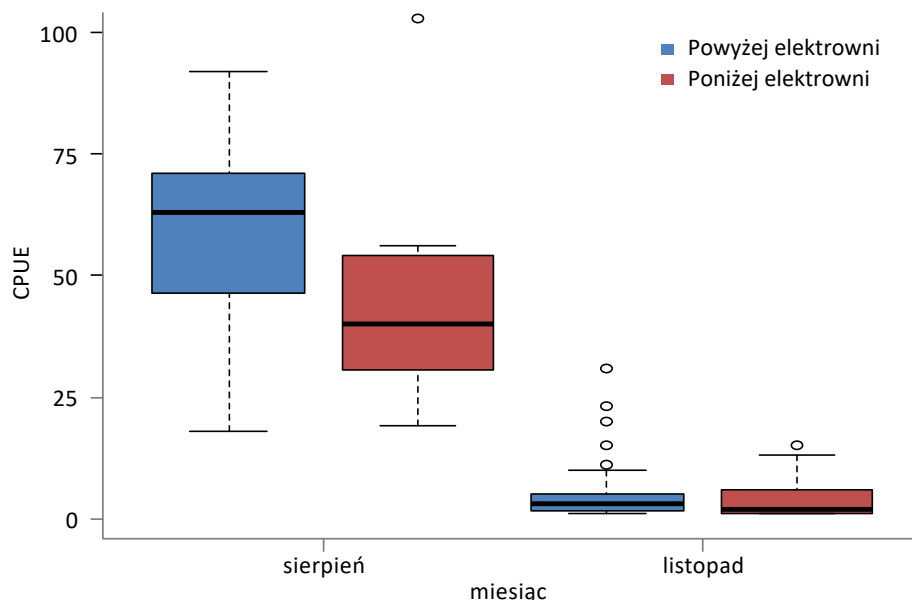
Łącznie w trakcie obu serii badań odłowiono 2009 ryb, w tym 1194 powyżej elektrowni oraz 805 poniżej niej. Na pojedynczym stanowisku odławiano od 0 do 466 osobników na odcinku referencyjnym oraz od 0 do 247 osobników na odcinku poniżej zrzutu ciepłej wody. Średnio ($\pm$ S.D.) było to, odpowiednio: 28,00 ($\pm$ 72,66) oraz 18,27 ($\pm$ 40,42) osobnika na stanowisko. Wartości modalne w obu wypadkach wyniosły po jednym osobniku na stanowisko. Różnice w liczbie osobników łowionych na pojedynczym stanowisku nie różniły się istotnie statystycznie pomiędzy badanymi odcinkami (test Wilcoxona, $P = 0,241$). Stosunkowo niewielka liczba ryb odłowionych w listopadzie w porównaniu z okresem letnim wynika ze specyfiki zachowań ryb w okresie zimowym. Koniec listopada i niskie temperatury wody to okres gdy większość ryb przemieściła się na tzw. zimowiska, usytuowane najczęściej w głębokich, trudnodostępnych partiach rzeki. Z tego powodu efektywność elektropołowu jesienno-zimowego jest znacząco mniejsza niż w okresie wysokich temperatur wody.



Ryc. 35. Ogólna liczba ryb odłowionych w Wiśle powyżej i poniżej Elektrowni Koźnica w sierpniu i listopadzie 2020 roku łącznie (Uwaga: długość słupka odpowiadającego liczbie uklei odłowionych powyżej elektrowni jest przedstawiona w zmienionej skali).

Wizualna analiza wykresu na rycinie 36 potwierdza bardzo duży rozrzut (zarówno zakres, jak i odchylenie standardowe) omawianych

wyników, tak w aspekcie sezonowym (rząd wielkości różnic pomiędzy sierpniem a listopadem), jak i w ramach każdego z sezonów. Z tego powodu w dalszej kolejności wyniki analizowano za pomocą modelowania, uwzględniając jednocześnie możliwy wpływ zarówno zróżnicowania pomiędzy odcinkami, jak i na przestrzeni sezonów.



Ryc. 36. Zakres (wąsy), górny i dolny kwartyl (ramka) i mediana (pogrubiona pozioma linia) liczby ryb odłowionych na stanowiskach w Wiśle powyżej i poniżej Elektrowni Kozienice w 2020 roku; kółkami oznaczono obserwacje odstające.

Analiza rozkładów liczebności najliczniejszych gatunków

Analiza rozkładów najliczniejszych gatunków (o łącznej liczbie odłowionych osobników ≥ 50) wskazała, że rozmieszczenie poszczególnych ryb nie było jednolite na obu badanych odcinkach. W przypadku uklei, klenia, kielbia krótkowąsego, jelca i kielbia białopłetwego odcinek rzeki miał istotny wpływ na różnice w liczebności. We wszystkich tych wypadkach model (GLMM) uwzględniający czynnik „odcinek” (powyżej vs poniżej elektrowni) okazywał się lepiej dopasowany do obserwowanych różnic niż modele niezawierające tego czynnika. Dodatkowo modele zawierające drugi czynnik „miesiąc” (sierpień vs listopad) funkcjonowały lepiej niż modele bez tego czynnika. Wskazuje to na wyraźną sezonowość zmian w liczebności poszczególnych gatunków na obu odcinkach rzeki. Jedynym wyjątkiem był kiełb białopłetwy, którego liczebność na stanowiskach była nieznacznie lepiej opisywana przez prostszy model uwzględniający tylko jeden efekt stały – „odcinek”. W przypadku dwóch gatunków (babki szczupłej i krąpia) obserwowane

różnice w liczebności były najlepiej tłumaczone przez zmiany sezonowe (czynniki „miesiąc”). Ocenę poszczególnych modeli dla najliczniejszych gatunków ryb zestawiono w tabeli 12.

Tabela 12. Ocena modeli GLMM dla najliczniejszych gatunków ryb odłowionych na stanowiskach w Wiśle powyżej i poniżej Elektrowni Kozienice w 2020 roku: *df* – liczba stopni swobody, *AIC* – kryterium informacyjne Akaikego, *BIC* – bayesowskie kryterium informacyjne; model wybrany do analizy oznaczono gwiazdką (*).

Czynniki stałe	d.f.	AIC	BIC
Ukleja			
model zerowy	0	2615,4	2620,4
odcinek	3	2554,0	2561,4
miesiąc	3	1123,4	1130,8
odcinek + miesiąc *	4	1062,1	1072,0
Kleń			
model zerowy	NA	NA	NA
odcinek	NA	NA	NA
miesiąc	3	476,6	484,1
odcinek + miesiąc *	4	392,5	402,4
Krąp			
model zerowy	2	285,7	290,6
odcinek	3	286,8	294,2
miesiąc *	3	201,4	208,8
odcinek + miesiąc	4	202,6	212,5
Kiełb krótkowąsy			
model zerowy	2	251,8	256,8
odcinek	3	251,4	258,8
miesiąc	3	236,1	243,6
odcinek + miesiąc *	4	235,8	245,7
Jelec			
model zerowy	NA	NA	NA
odcinek	NA	NA	NA
miesiąc	3	168,6	176,0
odcinek + miesiąc *	4	147,8	157,7
Babka szczupła			
model zerowy	2	226,8	231,8
odcinek	3	228,6	236,0
miesiąc *	3	141,3	148,7
odcinek + miesiąc	4	143,0	153,0
Kiełb białopłetwy			
model zerowy	2	207,9	212,9
odcinek *	3	206,2	213,6
miesiąc	3	207,6	215,1
odcinek + miesiąc	4	205,9	215,8

Analiza danych dotycząca długości (longitudotalis, TL) odłowionych osobników

Analiza rozkładów długości całkowitej (TL) wszystkich odłowionych ryb łącznie nie wykazała istotności wpływu odcinka rzeki. Co prawda model z efektem stałym „odcinek” tłumaczył obserwowane zróżnicowanie danych nieznacznie lepiej niż model zerowy, jednak różnica w kryterium AIC oraz BIC była tak mała, że jako właściwy model wybrano prostszy – zerowy (tab. 13). Szczegółowa analiza poszczególnych gatunków wykazała przewagę modelu zerowego w czterech przypadkach (ukleja, krąp, kiełb krótkowąsy i babka szczupła). Tym samym można uznać, że zróżnicowanie ich długości całkowitej na badanym fragmencie Wisły jest niezależne od obecności elektrowni. **U trzech gatunków (kleń, jelec i kiełb białopłetwy) model z czynnikiem „odcinek” okazał się lepiej dopasowany od modelu zerowego** (tab. 13). W przypadku kleńa poniżej elektrowni łowiono osobniki mniejsze niż na odcinku referencyjnym, natomiast jelec i kiełb białopłetwy wykazywały odwrotną zależność – osobniki łowione poniżej elektrowni były większe niż te łowione na odcinku referencyjnym.

Tabela 13. Ocena modeli GLMM opisujących zróżnicowanie długości całkowitej najliczniejszych gatunków ryb odłowiona na stanowiskach w Wiśle powyżej i poniżej Elektrowni Kozienice w 2020 roku: *df* – liczba stopni swobody, *AIC* – kryterium informacyjne Akaikego, *BIC* – bayesowskie kryterium informacyjne; model wybrany do analizy oznaczono gwiazdką (*).

Czynniki stałe	d.f.	AIC	BIC
Ukleja			
model zerowy *	3	9890,2	9905,3
odcinek	4	9891,3	9911,5
Kleń			
model zerowy	3	2602,1	2612,6
odcinek *	4	2597,4	2611,5
Krąp			
model zerowy *	3	854,3	861,7
odcinek	4	855,6	865,4
Kiełb krótkowąsy			
model zerowy *	3	714,0	721,0
odcinek	4	715,9	725,3
Jelec			
model zerowy	3	650,1	657,0
odcinek *	4	644,6	653,8
Babka szczupła			
model zerowy *	3	550,8	557,0
odcinek	4	552,8	561,0
Kiełb białopłetwy			
model zerowy	3	401,3	407,0
odcinek *	4	398,6	406,3

Analiza najlepiej dopasowanych modeli GLMM, niezależnie czy dotyczących liczby odłowionych osobników (CPUE) czy ich długości całkowitej (TL), wskazuje na złożony charakter badanego zjawiska. We wskazanych powyżej przypadkach modele sugerują istotny wpływ lokalizacji badanego odcinka względem elektrowni (tj. powyżej albo poniżej niej), jednak najczęściej efekt ten nakłada się na różnice sezonowe. Można przypuszczać, że wpływ czynnika antropogenicznego jest w tych wypadkach „maskowany” przez naturalne zmiany liczebności poszczególnych gatunków związane z okresowymi migracjami. Jednocześnie racjonalne wydaje się przypuszczenie, że rozciągnięcie badań na dłuższą perspektywę czasową (choćby objęcie odłowami wszystkich pór roku) mogłoby pomóc w oddzieleniu różnic wynikających z naturalnych procesów od tych spowodowanych obecnością elektrowni (lub ewentualnie innych presji, których aktualnie nie wzięto jeszcze pod uwagę).

Dyskusja

Procesy życiowe zmiennocieplnych organizmów wodnych zależą głównie od temperatury wody, w której te organizmy bytują. Problem zachowania się ryb podczas adaptacji do zmian temperatury wody był obserwowany i badany od wieków (Davy 1862, Day 1885, Cameron 1930). Dużą uwagę zwracano zwłaszcza na ryby łososiowate, ze względu na ich dużą wrażliwość na wysokie temperatury wody, których źródłem w tamtym czasie były anomalie pogodowe (Embry 1922, Huntsman 1942, Huntsman 1946). Zainteresowanie zmianami w ichtiofaunie i ekosystemach rzek spowodowanych podwyższaniem się temperatury wód powierzchniowych zwiększyło się znacznie w drugiej połowie XX w. ze względu na wzrost liczby ludności zamieszkującej Ziemię, industrializację i zwiększone zapotrzebowanie na energię elektryczną. Aby sprostać zapotrzebowaniu na energię, powstawały tysiące elektrowni, z których zdecydowana większość funkcjonowała (i funkcjonuje nadal) na bazie paliw kopalnych (węgiel, ropa, gaz) lub na bazie reakcji jądrowych. Bez względu na rodzaj paliwa wszystkie te elektrownie muszą wykorzystywać wodę do chłodzenia swoich instalacji. Podgrzana woda z systemów chłodzenia wraca do rzek cieplejsza o kilka lub kilkanaście stopni Celsjusza.

Podnoszenie się temperatury wody rzek spowodowane przez dopływ gorących wód pochłodniczych z elektrowni i innych źródeł przynosi zmiany w populacjach bytujących ryb, zwłaszcza w rejonie bezpośredniego ich oddziaływania (Sylvester 1972, Majewski i Miller 1979, Langford 1990). Obserwowane w ostatnich dekadach drastyczne zmiany w ichtiofaunie rzek na świecie są wypadkową działania kilku negatywnych, antropogenicznych czynników, takich jak przełowienie, regulacja rzek,

budowa zapór wodnych oraz zanieczyszczenia termiczne (Bernthouse 2000, Lohner i Dixon 2013).

Podgrzane ściekami termicznymi rzeki lub ich fragmenty charakteryzują się zwiększoną biomasą i liczebnością ryb, przy jednoczesnym drastycznym obniżeniu bioróżnorodności (Gammon 1983) lub zachowując jednocześnie zbliżony do wyjściowego poziom bioróżnorodności, jednakże z „wymianą gatunków” na bardziej ciepłolubne (Epler i Biegniarz 1973, Sadler 1980, Yadrenkina 2010, Zinoviev i wsp. 2016). Pociąga to za sobą lokalny zanik niektórych najbardziej zimnolubnych gatunków (Walther 2021). Bush i wsp. (1974) przedstawili symulację (modelowanie) postępujących zmian w ichtiofaunie sześciu najważniejszych rzek w USA w zależności od długotrwałego wpływu elektrowni powodujących ogrzewanie wody w rzekach. Symulacja ta przedstawiła w jakim tempie i jakie gatunki będą zanikać wraz ze wzrostem temperatury o kolejne 1–2 °C. Zaprezentowano w niej również listę gatunków zmuszonych do egzystencji powyżej zakresu optymalnej dla nich temperatury. Tak zmienione warunki wywołują zmiany w tempie wzrostu, dojrzewania płciowego i terminów tarła ryb (Lukšienė i wsp. 2000). Dla Rzeki Columbia (najbardziej zbliżonej pod względem klimatu do Wisły) wymieranie gatunków (2%) zaczyna się od osiągnięcia temperatury 18 °C. Wyższa o 2 °C spowoduje wyginiecie 5% gatunków. Wzrost temperatury do 24 °C oznacza stratę rzędu 26% gatunków, a przy 26 °C aż 42% gatunków nie przeżyje takiego, nowego reżimu termicznego. Warto zaznaczyć że w wodzie o temperaturze 36 °C wyginie 93% gatunków, lecz dla żadnego z pozostałych 7% nie będzie to temperatura optymalna. Prawie identyczne wyniki dała symulacja dla rzeki Sacramento. Oczywiście dla Mississippi czy Tennessee, leżących bardziej na południe, wartości tolerowanych temperatur są wyższe, ze względu na całkowicie inny skład gatunkowy ichtiofauny. Te prognozy odnośnie wymierania i wymiany gatunków w rzekach USA z powodu wzrastającej temperatury wody opublikowane w 1974 (Bush i wsp.) znalazły swoje odbicie i potwierdzenie w publikacji Wright i wsp. (1999), gdzie przedstawiono realny i prognozowany wzrost temperatury wody rzeki Missouri będący wynikiem funkcjonowania kilku siłowni termicznych usytuowanych na jej brzegach. Można z dużą dozą pewności przyjąć, że podobne założenia odnośnie wymierania poszczególnych gatunków sprawdziłyby się we fragmencie Wisły narażonym na dopływ ścieków termicznych i/lub na większym odcinku narażonym na działanie kilku elektrowni i elektrociepłowni (Skawina, Połaniec, Kozienice, Stalowa Wola, Siekierki, Żerań oraz Ostrołęka B).

Badacze wskazują często na fakt, że zmiany w ichtiofaunie rzek wywołane działalnością elektrowni termicznych zależą ściśle od pory roku w jakiej prowadzono badania (Sadler 1980, Jones 1996, Yadrenkina 2010). Generalnie, w okresie letnim, w trakcie występowania wysokich

temperatur wody w rzekach dodatkowo podgrzany fragment rzeki stwarza bardzo niekorzystne warunki bytowania dla ryb, głównie ze względu na ograniczoną dostępność tlenu oraz znacznie przekroczone optima temperaturowe dla wielu gatunków ryb (Opuszyński 1980, Pauly 2021). Z odmienną sytuacją mamy do czynienia w okresie zimowo-wiosennym, kiedy ciepła struga wody z elektrowni stwarza optymalne warunki do bytowania wielu gatunków ryb, w odróżnieniu od sytuacji przebywania w lodowato zimnej wodzie rzeki. Wyniki przedstawione w niniejszej pracy zdają się w pełni potwierdzać te obserwacje. Liczebności ryb poszczególnych gatunków, jak i rozkłady ich długości ciała wykazywały znaczące różnice pomiędzy stanowiskami (poniżej i powyżej elektrowni) oraz na przestrzeni roku. Podobne wnioski odnośnie obecności i zachowania się ryb wysnuł Nabiałek (1984) na podstawie wieloletnich badań Wisły w rejonie Kozienic.

Badania przedstawione w niniejszym raporcie są drugą w historii funkcjonowania Elektrowni Kozienice próbą oceny, czy zrzut dużej ilości podgrzanej wody z systemów chłodzenia elektrowni termicznej do Wisły ma znaczący wpływ na jej ichtiofaunę na odcinku narażonym na oddziaływanie gorących ścieków. Pierwsze badania, które sugerowały taki wpływ przeprowadzono w latach 1972–1977 w początkowym okresie działalności elektrowni, kiedy pracowały tylko bloki energetyczne o mocy 200 MW każdy (Nabiałek 1984a, 1984b). W tym samym okresie przeprowadzono również podobne badania w rejonie Elektrowni Skawina (Epler i Bieniarz 1973), która pobierając wodę z Wisły, swoje wody pochłonicze zrzucała do rzeki Skawinka (pierwszorzędowy dopływ Wisły). Wszystkie wymienione wyżej publikacje z terenu Polski sugerowały wprost, że struga podgrzanej wody zaburza rozmieszczenie zespołów ryb w rzece oraz powoduje zmiany dominacji gatunkowych.

Głównym wnioskiem, jaki można wysnuć z analizy danych uzyskanych w 2020 roku jest fakt, że struktura zespołu ryb i ich liczebność powyżej elektrowni (odcinek referencyjny) różni się od tej stwierdzonej poniżej elektrowni (odcinek podgrzany). Różnice te wykazano przy zastosowaniu metod modelowania matematycznego, mając do dyspozycji dane uzyskane na obu badanych odcinkach rzeki, zebrane w identyczny sposób i w tych samych warunkach hydrologicznych. Na ich podstawie można skonstatować, że znaczenie zrzutu podgrzanej wody dla funkcjonowania poszczególnych gatunków jest różne: od zanedbywalnego po na tyle istotne, że objawiające się różnicami w strukturze wiekowej czy liczebności, co jest jednoznaczne ze stwierdzeniem, że podgrzanie wód Wisły poniżej Elektrowni Kozienice ma istotny wpływ na ichtiofaunę rzeki (co najmniej na odcinku narażonym na podniesione temperatury wody, co w przypadku Elektrowni Kozienice wynosi co najmniej 10 km). Z przyrodniczego punktu widzenia, przyjmując za stan naturalny (referencyjny) sytuację stwierdzoną na górnym (niepodgrzanym) odcinku

rzeki, każdą zmianę wynikającą z działalności człowieka należy uznać za negatywną.

W przypadku niektórych gatunków (lub grup gatunków) ryb obserwowano istotne różnice w wielkości ciała (długość TL) ryb odłowionych na odcinku referencyjnym w porównaniu z tymi odłowionymi na odcinku podgrzanym. Wykazano, że w okresie letnim, przy wysokich temperaturach wody (21,1 °C) ryby odłowione poniżej elektrowni (w wodzie dodatkowo podgrzanej do ponad 27 °C) były znacząco mniejsze od tych odłowionych powyżej niej (kleń). W okresie późnojesiennym, gdy temperatura wody Wisły na odcinku referencyjnym wynosiła zaledwie 6,8 °C, sytuacja była odwrotna. W tym okresie długość ciała niektórych gatunków lub grup ryb była istotnie większa na odcinku podgrzanym (14,5 °C) w stosunku do odcinka referencyjnego (dotyczyło to jelca i prawnie chronionego kielbia białopłetwego). Prawdopodobnie może to być wynikiem ograniczeń natury fizjologicznej: większe ryby mają mniej korzystny stosunek powierzchni skrzeli do masy/objętości ciała niż ryby mniejsze, co ogranicza ilość realnie dostępnego tlenu dla procesów metabolicznych. U ryb jako organizmów zmiennocieplnych intensywność tych procesów wzrasta wraz ze wzrostem temperatury. Na dodatek ilość samego tlenu w podgrzanej wodzie w tym samym czasie spada (tzw. prawo Henry'ego), co dodatkowo zmniejsza jego dostępność dla ryb (Pauly 2021). W związku z tym podgrzany odcinek staje się nieatrakcyjny dla ryb większych, podczas gdy mniejsze mogą w nim bytować. Przeciwnie rzecz się ma w chłodniejszej porze roku, gdy ilość dostępnego (zarówno fizycznie, jak i fizjologicznie) w wodzie tlenu jest większa – podgrzana przez zrzut z elektrowni woda stanowić może atrakcyjne miejsce żerowiskowe dla ryb. Nienaturalnie wydłużony okres wegetacyjny zapewnia rybom obfitą bazę pokarmową. Przedstawiona interpretacja, choć wewnętrznie spójna i zgodna z wiedzą fizjologiczną i ekologiczną, wymaga weryfikacji poprzez bardziej szczegółowe, a przede wszystkim długookresowe badania.

Zmiany w strukturze ichtiofauny spowodowane podgrzaniem wód rzek przez elektrownie termiczne z otwartym systemem chłodzenia to bezsporny fakt, szeroko przedstawiany i dyskutowany w literaturze naukowej (Bush i wsp. 1974, Majewski i Miller 1979, Sadler 1980, Langford 1990, Webb i Walsh 2004, Caissie 2006). Zdecydowana większość doniesień naukowych opisujących ten problem powstała w oparciu o wieloletnie i zakrojone na szeroką skalę badania. Badania podjęte w 2020 r. w rejonie Elektrowni Kozienice pozwoliły zebrać pierwsze od ponad 40 lat dane na ten temat i przeprowadzić pilotażowe analizy naukowe i interpretacje danych nowoczesnymi metodami statystycznymi. Co ważne, uzyskane wyniki wskazują kierunki kolejnych badań. Uzyskane w 2020 r. dane, jakkolwiek wyraźnie wskazujące na istniejące różnice pomiędzy referencyjnym a podgrzanym odcinkiem Wisły w okolicach

Elektrowni Kozienice, nie pozwalają jeszcze w jednoznaczny sposób oszacować pełnej skali i dotkliwości oddziaływania podgrzania wód Wisły na populacje ryb ją zamieszkujących. Charakterystycznym tego przykładem jest sytuacja grupy gatunków ryb, które w tym opracowaniu określono jako „gatunki chronione”. Przeprowadzone analizy nie wykazały aby lokalizacja powyżej lub poniżej elektrowni miała istotny wpływ na ich rozmieszczenie rozumiane jako różnice w ogólnym bogactwie gatunkowym (łącznie dwa sezony badań) choć obserwowano pewne różnice w poszczególnych okresach badań w odniesieniu do niektórych gatunków (np. chronionych: kiełbia białopłetwego czy różanki). Wśród wszystkich gatunków objętych jakimikolwiek formami ochrony prawnej (mając na uwadze, że jest to grupa stworzona sztucznie i składająca się z gatunków ryb o całkowicie odmiennej biologii) jedynie różnica w średniej długość ciała kiełbia białopłetwego (większa u osobników poniżej elektrowni) może być tłumaczona wpływem zrzutu podgrzanej wody. Niemniej jednak te pojedyncze wykryte zmiany wskazują na oddziaływanie zanieczyszczenia termicznego powodowanego przez elektrownię na proces kształtowania się zespołów ryb na badanym odcinku Wisły. Warto podkreślić jest to, że te dyskretne różnice wykryto mimo niezaprzeczalnych ograniczeń przeprowadzonych badań. Czynnikiem negatywnie wpływającym na skuteczność badań, czego miernikiem byłyby bardziej jednoznaczne i spójne wyniki, są:

- zbyt krótki okres czasu i za mała liczba powtórzeń; wykonano zaledwie dwie serie odłowów badawczych – w sierpniu i listopadzie 2020 r.;
- znaczna wielkość rzeki; w połączeniu z niewielką liczbą powtórzeń oraz niemożliwymi do usunięcia ograniczeniami każdej z metod połowu wielkość rzeki powoduje, że uzyskane wyniki (ich ilość) nie są w stanie w pełni odzwierciedlić realnego zróżnicowania sytuacji w obrębie mikro-, mezo- i makrosiedlisk;
- znaczący wpływ pory roku; znaczna amplituda temperatury wody w zimie i w lecie oraz wahania poziomu wody (wezbrania i niżówki) mają duży wpływ na zachowania ryb, co w połączeniu z niewielką liczbą powtórzeń i sezonów powoduje, że uzyskane wyniki są trudne do analizy i interpretacji;
- zbyt mała liczba parametrów biologicznych branych pod uwagę w badaniach; ze względu na przemożny wpływ temperatury wody na fizjologię ryb należałoby w przyszłości, poza liczebnością i długością ryb, brać pod uwagę także wskaźniki związane z dojrzałością płciową i rozrodem, tempem wzrostu czy odżywianiem się.

Prawnośrodowiskowe i ekonomiczne kwestie odprowadzania wód pochłodniczych z elektrowni termicznych



Na podstawie obowiązujących pozwoleń zintegrowanych 12 krajowych elektrowni z otwartym systemem chłodzenia (każda o mocy powyżej 100 MW), informacji udostępnionych przez Urzędy Marszałkowskie oraz WIOŚ, a także odpowiedzi udzielonych przez Wody Polskie, zidentyfikowano następujące główne problemy prawne związane z wodami wykorzystywanymi do celów chłodzenia bloków energetycznych, wymagające pilnego rozwiązania w przepisach krajowych:

- brak bezpiecznych, z punktu widzenia funkcjonowania organizmów i ekosystemów wodnych, kryteriów dotyczących odprowadzanych wód pochłodniczych;
- nadanie priorytetu interesom wytwórców energii oraz bezpieczeństwa energetycznemu, kosztem bezpieczeństwa środowiskowego, poprzez zezwolenie w pewnych sytuacjach na niedotrzymanie warunków korzystania z wód określonych w pozwoleniach;
- brak obowiązku prowadzenia monitoringu w zakresie temperatury pobieranej wody oraz temperatury odprowadzanych wód pochłodniczych;
- brak obowiązku prowadzenia monitoringu środowiska w rejonie narażonym na wpływ podgrzanych ścieków;
- niekorzystny i niezgodny z wymogami Unii Europejskiej system opłat za odprowadzanie podgrzanych wód pochłodniczych do odbiornika;
- ograniczenia organów przy egzekucji prawa ochrony środowiska.

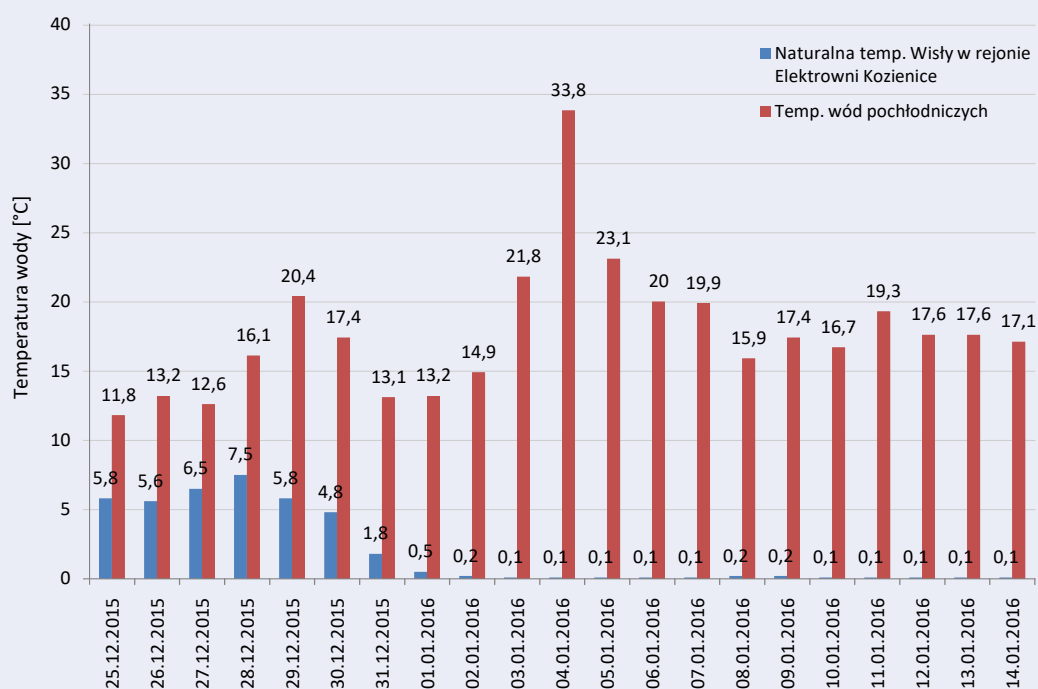
Temperatura odprowadzanych wód chłodniczych

Wody pochłodnicze mogą być wprowadzane do wód śródlądowych pod warunkiem, że ich temperatura nie jest wyższa niż 35 °C¹. Aktualnie jest to jedyny wymóg co do temperatury zrzucanych ścieków termicznych, który w wielu sytuacjach nie zapewnia ochrony przed przegrzaniem wód odbiornika (rzeki), a także nie chroni ichtiofauny i innych zwierząt wodnych przed niekorzystnymi zmianami środowiska. Dopuszczenie maksymalnego poziomu temperatury bez uwzględnienia maksymalnej różnicy pomiędzy temperaturą wody pobieranej a odprowadzanej

¹ Zgodnie z § 13 rozporządzenia Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dn. 12.07.2019 r. w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego oraz warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu do wód lub do ziemi ścieków, a także przy odprowadzaniu wód opadowych lub roztopowych do wód lub do urządzeń wodnych (Dz.U. z 2019 r. poz. 1311).

(pochłodniczej) może w praktyce przyczynić się do śmierci organizmów wodnych w wyniku zjawiska szoku termicznego. Taki przypadek wystąpił w styczniu 2016 roku w efekcie doprowadzając do śmierci 1880 kg ryb w kanale zrzutowym Elektrowni Kozienice (Wziętek 2016).

W dniu 4 stycznia 2016 roku temperatura wody w Wiśle była bliska 0 °C. Jednakże w związku z tym, że poziom wody w Wiśle obniżył się do krytycznej wartości 100,28 cm zdecydowano o podjęciu działań, które nie dopuściły do zamarznięcia ujęcia wody dla elektrowni². W tym przypadku procedury wewnętrzne nakazywały skierowanie części wody zrzutowej (po chłodzeniu pary wylotowej) w miejsce ujęcia wody. Oznacza to, że wykorzystano wcześniej już podgrzaną wodę pochłodniczą i wprowadzono ją повторно do systemów chłodzenia, gdzie uległa ona kolejno raz podgrzaniu na tyle, że zamiast ok. 18 °C jej temperatura w kanale zrzutowym osiągnęła ostatecznie wartość 33,8 °C (ryc. 37). Dla porównania wartość temperatury wód pochłodniczych w kanale w dniu 13.01.2016 roku, przy podobnej mocy produkcyjnej jak w dniu 4 stycznia, wyniosła 17,6 °C. W efekcie szoku termicznego doszło do śnięcia 1880 kg ryb. Szok termiczny może wystąpić, gdy organizmy wodne są szybko poddawane zmianom temperatury przekraczającym 10 °C temperatury aklimatyzacji (Coutant 1977; Donaldson et al. 2008). Tymczasem 4 stycznia różnica temperatur pomiędzy wodą повторно użytą do celów chłodzenia a wodą w kanale zrzutowym wyniosła 16 °C.

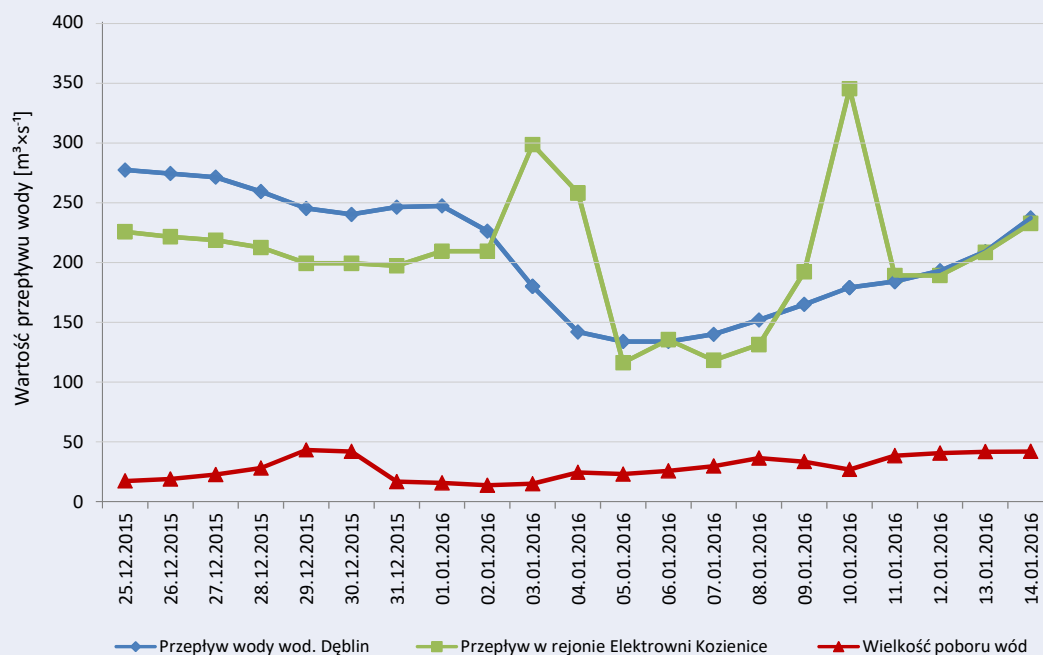


Ryc. 37. Wartości temperatury Wisły i wód pochłodniczych w okresie wystąpienia zjawiska szoku termicznego w 2016 roku. Na podstawie danych raportowanych przez Elektrownię Kozienice.

Niewykluczone, że operator elektrowni nie zdecydowałby o ponownym wykorzystaniu wody chłodniczej, gdyby dysponował poprawnymi danymi dotyczącymi przepływu wody w Wiśle. Decyzję o zrzucie ciepłej wody podjęto bowiem w oparciu o znacznie większe od rzeczywistych przepływy wody na co wskazują wartości obserwowane na wodowskazie Dęblin zlokalizowanym ok. 30 km powyżej elektrowni. Fakt ten sugeruje prawdopodobne problemy techniczne przepływomierza Elektrowni Kozienice. Hipotezę o zawodności przepływomierza potwierdzają głównie widoczne na ryc. 38 dwa nagłe skoki przepływów w ciągu doby: pierwszy z 2 na 3 stycznia 2016 roku o ok. $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

² <https://echodnia.eu/radomskie/gmina-kozienice-setki-martwych-ryb-w-kanale-spustowym-elektrowni-w-swierzach-gornych/ar/9263316>

i kolejny pomiędzy 9 a 11 lutego 2016 roku o ok. $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Wydaje się bardzo mało prawdopodobne, aby takie skoki przepływów wystąpiły w sposób naturalny.



Ryc. 38. Wartości przepływu Wisły w okresie wystąpienia zjawiska szoku termicznego w 2016 roku. Na podstawie danych IMGW oraz raportowanych przez Elektrownię Kozienice.

Aspekt zmian temperatury wód został zauważony przez Unię Europejską, która już w 1978 roku przygotowała specjalną dyrektywę w sprawie jakości słodkich wód wymagających ochrony lub poprawy w celu zachowania życia ryb³. Przepisy te znalazły swoje odzwierciedlenie w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 4.10.2002 roku w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody śródlądowe będące środowiskiem życia ryb w warunkach naturalnych⁴. Przepisy te, choć już nieobowiązujące, należy uznać za najbardziej właściwe z punktu widzenia zabezpieczenia środowiska wodnego.

Zgodnie z powyższymi aktami maksymalną dopuszczalną temperaturę wody w odbiorniku poniżej punktu zrzutu (na granicy strefy mieszania) ustalono na następujących poziomach:

- 21,5 °C – dla ryb łososiowatych,
- 28 °C – dla ryb karpiowatych.

Równocześnie ustalono dopuszczalne, maksymalne różnice temperatur między wodą w odbiorniku poniżej wprowadzenia zanieczyszczenia

³ Dyrektywa Rady z dnia 18 lipca 1978 r. w sprawie jakości słodkich wód wymagających ochrony lub poprawy w celu zachowania życia ryb (78/659/EWG); następnie zastąpiona przez Dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2006/44/WE z dn. 6 września 2006 w sprawie w sprawie jakości słodkich wód wymagających ochrony lub poprawy w celu zachowania życia ryb Dz.Urz. UE L 264 z 25.09.2006, s. 20; dyrektywa 2006/44/WE utraciła moc dn. 21.12.2013 r.

⁴ Dz.U. z 2002 r. nr 176, poz. 1455; rozporządzenie obowiązywało do dn. 31.12.2017 r.

ciepłego (na granicy strefy mieszania), a wodą niezależną od tego zanieczyszczenia (powyżej punktu zrzutu), które wyniosły:

- 1,5 °C – dla ryb łososiowatych,
- 3 °C – dla ryb karpiowatych.

Przyjęto także, że maksymalna dopuszczalna temperatura wody w odbiorniku poniżej punktu zrzutu (na granicy strefy mieszania) w okresie tarła ryb, które wymagają zimnej wody do rozmnażania i występują w danej wodzie, nie może być wyższa niż 10 °C. Wśród określonych w rozporządzeniu norm brakowało jedynie takiej, która przewidywałaby maksymalną dopuszczalną różnicę pomiędzy temperaturą wody ujmowanej i zrzucanej do odbiornika.

Powyższe rozwiązania pozwalały na bezpieczne dla ichtiofauny odprowadzanie ścieków termicznych, ponieważ uwzględniały nie tylko temperaturę samych ścieków, ale także ich wpływ na temperaturę wody w odbiorniku. Niestety dyrektywa unijna utraciła moc w 2013 roku, zaś rozporządzenie Ministra Środowiska obowiązywało tylko do końca 2017 roku. **Aktualnie nie obowiązują więc żadne normy odnoszące się do temperatury wody w odbiorniku, a jedynym wskaźnikiem wymaganym przy odprowadzaniu wód chłodniczych jest nieprzekraczanie ich temperatury powyżej poziomu 35 °C.** Istnieje jednakże pilna potrzeba ponownego wprowadzenia do polskiego porządku prawnego norm odnoszących się do temperatury wody w odbiorniku po zmieszaniu z wodami termicznymi, bowiem sam wskaźnik temperatury ścieków nie jest w stanie uchronić ekosystemu odbiornika przed dalece niekorzystnymi zmianami dla wielu gatunków organizmów wodnych.

W ostatnich latach oprócz uchylenia wspomnianego rozporządzenia Ministra Środowiska z dn. 4.10.2002 roku **wprowadzono także wyjątek od konieczności przestrzegania warunków korzystania z wód określonych w pozwoleniu wodnoprawnym (lub zintegrowanym), w tym od zakazu zrzutu do wód śródlądowych ścieków o temperaturze przekraczającej 35 °C.** Zgodnie z art. 9j ust. 1 i 2 Prawa energetycznego⁵ w celu zapewnienia bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej operator systemu przesyłowego elektroenergetycznego lub systemu połączonego elektroenergetycznego wydaje polecenia dyspozytorskie wytwórcy energii, zaś przedsiębiorstwo energetyczne jest zobowiązane te polecenia wykonać. Polecenia te w szczególności mogą dotyczyć zwiększenia wytwarzania energii elektrycznej w sytuacji, gdy nie jest możliwe jej wytworzenie bez naruszenia warunków korzystania z wód (pobranych do celów chłodniczych) zawartych w pozwoleniu wodnoprawnym lub zintegrowanym. W konsekwencji operator elektrowni, aby wykonać polecenie i zwiększyć produkcję prądu, gdy nie ma ku temu warunków,

⁵ Ustawa z dn. 10.04.1997 r. Prawo energetyczne (tj. Dz.U. z 2020 r. poz. 833).

powinien naruszyć nałożone na niego zasady korzystania z wód np. zwiększyć pobór wody ponad określony limit, naruszyć poziom przepływu nienaruszalnego lub przekroczyć parametry odprowadzanej wody chłodniczej – w szczególności poprzez zrzut ścieków termicznych o temperaturze powyżej 35 °C. Od 2018 roku przepisy Prawa wodnego⁶ umożliwiają takie sytuacje, bowiem zgodnie z art. 476 ust. 3 Prawa wodnego nie popełnia wykroczenia, polegającego na korzystaniu z wody bez wymaganego pozwolenia lub z przekroczeniem jego warunków, kto wykorzystuje wody na potrzeby wytwarzania energii elektrycznej na polecenie operatora systemu przesyłowego elektroenergetycznego lub operatora systemu połączonego elektroenergetycznego w celu usunięcia zagrożenia bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej, jeżeli wykorzystanie tej wody nastąpiło w rozmiarze i w czasie niezbędnym do usunięcia tego zagrożenia. Pozwalając na, w zasadzie dowolne, korzystanie z wody w sytuacji gdy operator sieci energetycznej wyda stosowne polecenie, przepis ten rodzi poważne niebezpieczeństwo wyrządzenia znacznych strat w ekosystemach rzecznych. Już woda o temperaturze granicznej 35 °C jest niebezpieczna dla wielu gatunków ryb, a dalsze przekroczenia mogą w skrajnych wypadkach doprowadzić do masowych śnięć organizmów wodnych. Problem ten powinien zostać rozwiązany poprzez uchylenie art. 476 ust. 3 Prawa wodnego, co uniemożliwi realizację poleceń operatora sieci w sposób naruszający przepisy Prawa wodnego i stwarzający bardzo poważne zagrożenie dla ekosystemów wodnych, w tym dla osiągnięcia celów środowiskowych dla wód.

Monitoring temperatury wód chłodniczych

Kolejny problem związany z termiką zrzucanych wód chłodniczych dotyczy monitoringu temperatury tych wód. Aby skutecznie egzekwować normy dotyczące temperatury wód chłodniczych konieczne jest zobowiązanie zakładów w pozwoleniach wodnoprawnych/zintegrowanych do ciągłego pomiaru temperatury zrzucanych wód chłodniczych. Ponadto, aby prawidłowo naliczać opłaty za wprowadzanie tych wód do środowiska, należy zobowiązać zakłady do ciągłego pomiaru temperatury wód odbiornika w miejscu poboru wód. Opłaty są bowiem uzależnione między innymi od temperatury wód odbiornika. **Aktualnie w Polsce tylko niektóre pozwolenia zintegrowane dla elektrowni zrzucających wody chłodnicze zobowiązują do ciągłych pomiarów temperatury tych wód.** Jeszcze rzadsze są przypadki zobowiązania zakładów do pomiaru temperatury wody pobieranej czy temperatury wody w rzece poniżej zrzutu. Tymczasem również ze środowiskowego punktu

⁶ Ustawa z dn. 20.07.2017 r. Prawo wodne (tj. Dz.U. z 2020 r. poz. 310).

widzenia niezbędne jest ciągłe monitorowanie temperatury wód cieką wykorzystywanego na potrzeby elektrowni, zwłaszcza w kontekście wyrażonego powyżej postulatu przywrócenia norm dotyczących wpływu wód chłodniczych na temperaturę wód odbiornika.

Z pozwoleń zintegrowanych (tab. 14) wynika, że **na 7 elektrowni termicznych zlokalizowanych w dorzeczu Wisły z otwartym systemem chłodzenia, ciągły lub dobowy monitoring temperatur pobieranych i odprowadzanych wód chłodniczych prowadzą wyłącznie dwie: Kozienice oraz Skawina**. Trzy inne (Połaniec, Siekierki, Żerań) wykonują tylko ciągły pomiar temperatury wód pochłodniczych. Z kolei, Ostrołęka B oraz Stalowa Wola prowadzą go tylko dla wód zrzutowych i tylko okresowo (np. Ostrołęka B 12 razy w miesiącu). Fakty te udało się dodatkowo potwierdzić w oparciu o raportowane dane operatorów.

Jednocześnie **z analizy pozwoleń zintegrowanych wydanych dla 5 elektrowni z dorzecza Odry wynika, że do prowadzenia pełnego monitoringu zobowiązano tylko Elektrownię Pątnów-Konin**. Cztery pozostałe (Dolna Odra, Rybnik, Pomorzany oraz Wrocław) muszą prowadzić ciągły pomiar temperatury wyłącznie w odniesieniu do wód pochłodniczych.

Tab. 14. Zakres monitoringu określonego w pozwoleniach zintegrowanych dla elektrowni ciepłych z otwartym obiegiem chłodzenia z dorzeczy Wisły oraz Odry.

Elektrownia	Ciągły lub dobowy monitoring temperatury pobieranych wód na cele chłodzenia	Ciągły lub dobowy monitoring temperatury odprowadzanych wód pochłodniczych
Kozienice (bloki 1–10)	tak	tak
Połaniec	nie	tak
Ostrołęka B	nie	nie
EC Skawina	tak	tak
Stalowa Wola II i III	nie	nie
EC Siekierki	nie	tak
EC Żerań	nie	tak
Pątnów I, Pątnów II, Konin	tak	tak
Dolna Odra	nie	tak
Rybnik	nie	tak
EC Pomorzany	nie	tak
EC Wrocław	nie	tak

Powodem powyższej sytuacji jest brak jednoznacznego przepisu nakładającego obowiązek pomiarów ciągłych temperatury, więc organy wydające lub aktualizujące pozwolenia na różny sposób oceniają tę kwestię. Taka sytuacja uniemożliwia realną kontrolę przestrzegania

przez elektrownie norm dotyczących temperatury wody. Ciągłe pomiary temperatury są także bardzo istotne dla prawidłowego naliczania opłat za zrzut ścieków termicznych przez elektrownie. Niestety aktualnie opłaty za zrzut wód chłodniczych w części przypadków opierają się na oświadczeniach zakładów, zamiast na dokładnych i ciągłych pomiarach. Przykładem jest tu **Elektrownia Połaniec, która za okres 2018–2020 zamiast przedstawienia wyników prowadzonego monitoringu, który byłby podstawą do zwolnienia z opłat za odprowadzanie wód pochłodniczych, złożyła wyłącznie oświadczenia.** W efekcie za wymienione 3 lata nie wniosła żadnej opłaty.

Do końca grudnia 2026 roku na taki tryb ustalania opłat (w oparciu o oświadczenia zamiast rzeczywistych pomiarów) pozwala art. 552 ust. 2. Prawa wodnego. W okresie tym, zgodnie z art. 303 ust. 1 pkt 3 Prawa wodnego, Wody Polskie mają wyposażyć zakłady w urządzenia do pomiaru temperatury. Tak odległy termin realizacji tego obowiązku nie ma żadnego racjonalnego uzasadnienia poza ochroną interesów spółek energetycznych.



Fot. 6. Widok na ujęcie wód oraz kanał odprowadzający wody pochłodnicze Elektrowni Kozienice.

Opłaty za pobór i zrzut wód chłodniczych

Pobór wód oraz zrzut ścieków (w tym wód chłodniczych) do wód podlega opłatom przewidzianym w Prawie wodnym. Zarówno pobór jak i zrzut wymaga uiszczenia dwóch typów opłat: stałych i zmiennych. Opłaty stałe są powiązane z limitami poboru wody lub zrzutu ścieków możliwymi do wykorzystania na podstawie pozwolenia wodnoprawnego, zaś opłaty zmienne wynikają z ilości wody/ścieków rzeczywiście pobranych/zrzuconych w danym okresie. W przypadku elektrowni cieplnych Prawo wodne przewiduje szereg zwolnień z opłat przy poborze i odprowadzaniu wód chłodniczych.

W przypadku opłat za pobór wody zwolnienie dotyczy opłaty zmiennej. Zgodnie z art. 270 ust. 5 opłatę zmienną za pobór wód do celów zapewnienia funkcjonowania systemów chłodzenia elektrowni lub elektrociepłowni ponosi się wyłącznie za różnicę między ilością wód pobranych do tych celów a ilością wód z obiegów chłodzących elektrowni lub elektrociepłowni wprowadzanych do wód lub do ziemi. W przeciwieństwie więc do innych zakładów, od elektrowni i elektrociepłowni nie pobiera się opłaty za całość pobranej wody, a jedynie za różnicę pomiędzy ilością wody pobranej, a odprowadzonym ściekiem. Dzieje się tak pomimo, że w przypadku otwartych systemów chłodzenia ilości pobieranej wody są bardzo duże, a zrzucana woda chłodnicza ma zmienione parametry termiczne i jest pozbawiona życia biologicznego.

W przypadku opłat za odprowadzanie do wód ścieków termicznych z obiegów chłodzących elektrowni lub elektrociepłowni derogacja jest znacznie dalej idąca. Zwolnienie dotyczy:

- a) opłaty stałej w całości (art. 270 ust. 12 Prawa wodnego),
- b) opłaty zmiennej jeżeli temperatura zrzucanych wód chłodniczych nie przekracza $+26^{\circ}\text{C}$, albo różnica między temperaturą wód pobranych i wprowadzanych do wód pochodzących z obiegów chłodzących elektrowni lub elektrociepłowni jest mniejsza niż 11°C (art. 279 pkt 2 Prawa wodnego).

W praktyce więc tylko nieznaczne ilości zrzucanych wód chłodniczych będą podlegać jakimkolwiek opłatom. **Przykładowo Elektrownia Kozienice (bloki 1–10) w latach 2018–2020 miała tylko 21 sytuacji kwalifikujących ją do wniesienia opłat, z czego, aż 18 przypadków na rok 2018.** Zwolnienia z opłat, w kontekście opisanej wyżej szkodliwości ścieków termicznych, są nieuzasadnione. W szczególności nieakceptowalna jest sytuacja, w której elektrownia nie płaci za ścieki termiczne z uwagi na wskazane progi temperatury. Przykładowo zrzut wody o temperaturze 35°C , gdy woda pobrana ma $24,1^{\circ}\text{C}$ powoduje zwolnienie z opłaty za zrzut ścieków chłodniczych, gdyż różnica temperatur jest mniejsza niż 11°C . Skutki tego typu przepisów prawnych w połączeniu z systemem

możliwości składania oświadczeń, nieweryfikowalnych w przypadku braku monitoringu, prowadzą do całkowitego unikania opłat lub ich uiszczania na poziomie nieadekwatnym do ponoszonych strat w środowisku. W efekcie 12 polskich elektrowni z otwartym systemem chłodzenia, w latach 2018–2020 za odprowadzanie wód pochłodniczych zostało obciążonych łączną kwotą 95 362,95 PLN (tab. 15). Pięć spośród nich nie zapłaciło nawet złotówki, w tym Elektrownia Połaniec. Z kolei wysokość opłat największej polskiej elektrowni z otwartym systemem chłodzenia, Elektrowni Kozienice, w ciągu trzech lat wyniosła tylko 26 130,97 PLN.

Tab. 15. Wielkości opłat naliczonych za odprowadzenie wód pochłodniczych do odbiorników przez elektrownie ciepłowne z otwartym obiegiem chłodzenia w okresie 2018–2020. Na podstawie informacji przekazanych przez Wody Polskie.

Elektrownia	Wysokość opłaty [PLN]
Kozienice (bloki 1–10)	26 130,97
Połaniec	0
Ostrołęka B	45
EC Skawina	0
Stalowa Wola II i III	1382
EC Siekierki	257,2
EC Żerań	0,26
Pątnów I, Pątnów II, Konin	0
Dolna Odra	112
Rybnik	0
EC Pomorzany	33 898,96
EC Wrocław	33 536,56

Zastosowane zwolnienie narusza zasadę „zanieczyszczający płaci”, proklamowaną zarówno na poziomie prawa wspólnotowego (art. 191 ust. 2 Traktatu o funkcjonowaniu Unii Europejskiej⁷ oraz art. 9 Ramowej Dyrektywy Wodnej⁸), jak i prawa polskiego (art. 7 Prawa ochrony środowiska⁹). W ten sposób koszty środowiskowe zrzutu zanieczyszczeń zostają przerzucone na całe społeczeństwo. Zwolnienie demotywuje również wytwórców energii do zastąpienia wysoce szkodliwych otwartych układów chłodzenia systemami zamkniętymi, które choć niepozbawione wad, wykorzystują nieporównywalnie mniej zasobów wodnych. W tym kontekście zwolnienia z opłat za pobór wód i zrzut wód chłodniczych powinny być uchylone.

⁷ Dz.Urz. UE. C 2012 Nr 326, s. 47.

⁸ Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (Dz.Urz. UE. L 2000 Nr 327, s. 1).

⁹ Ustawa z dn. 27.04.2001 r. Prawo ochrony środowiska (tj. Dz.U. z 2020 r. poz. 1219).

Podsumowanie i wnioski

- Temperatura wód powierzchniowych to jeden z podstawowych parametrów wpływających na możliwość przetrwania organizmów wodnych, jednakże ani krajowe ani unijne przepisy (w tym Rammowa Dyrektywa Wodna czy Dyrektywa Siedliskowa) nie wprowadzają kryteriów termicznych pozwalających na ich bezpieczne funkcjonowanie w środowisku. Wprost przeciwnie, przepisy polskie stanowią iluzoryczną ochronę organizmów wodnych. Ustalenie maksymalnych temperatur dla odprowadzanych wód pochlodniczych na poziomie 35 °C bez uwzględnienia dopuszczalnej różnicy wartości temperatur między wodą ujmowaną a zrzucaną jest dobrym przykładem jak przestrzegając przepisów prawa można doprowadzić do masowego śnięcia organizmów wodnych.
- Elektrownia Kozienice na przestrzeni kilku dekad swojej działalności przyczyniła się do podgrzania wód Wisły od 1,6 do 1,8 °C (w zależności od zastosowanej metody analitycznej), co niewątpliwie miało i ma wpływ na funkcjonowanie całego jej ekosystemu. Z kolei Elektrownia Połaniec spowodowała podgrzanie wód o ok. 1,9 °C.
- W okresie 1981–2015 w Sandomierzu (42 km poniżej Elektrowni Połaniec) średnia roczna temperatura wody była średnio o 0,37 °C wyższa niż w Szczucinie (32 km przed nią). W przypadku Elektrowni Kozienice, na wodowskazie Gusin znajdującym się 35,5 km poniżej, w okresie 1981–2010 notowano temperaturę wyższą średnio o 0,71 °C niż na wodowskazie Dęblin zlokalizowanym prawie 33 km przed nią. W obu przypadkach różnice były wysoce istotne statystycznie. Różnice w średniorocznej temperaturze wody sięgające maksymalnie do 1,4 °C (Gusin vs Dęblin) oraz 1,9 °C (Sandomierz

vs Szczucin) można z dużym prawdopodobieństwem przypisać wpływowi zanieczyszczenia termicznego powodowanego pracą elektrowni Kozienice i Połaniec. Zmiany reżimu termicznego Wisły potęgowane są globalnym ociepleniem. Ich tempo jest różne na poszczególnych odcinkach rzeki Wisły i na przestrzeni ostatnich czterech dekad szacuje się je na poziomie 0,01 do ponad 0,04 °C na rok.

- Synergia wzrostu temperatury wód Wisły spowodowana globalnym ociepleniem oraz innymi czynnikami pochodzenia antropogenicznego może z biegiem czasu eliminować wrażliwe gatunki ryb. Te kwestie powinny być brane pod uwagę przy każdej planowanej inwestycji mającej wpływ na zmiany reżimu termicznego wód powierzchniowych.
- Istniejące normy prawne w zakresie temperatury odprowadzanych wód pochłódniczych nie zabezpieczają we właściwy sposób życia biologicznego ekosystemów wodnych. Określenie w prawie polskim wyłącznie górnej dopuszczalnej temperatury ścieków termicznych na poziomie 35 °C, bez uwzględnienia maksymalnej różnicy temperatur wody ujmowanej i odprowadzanej, może w praktyce doprowadzić do śmierci organizmów wodnych.
- Brak prowadzenia przez elektrownie pełnego monitoringu wód z jednej strony uniemożliwia podejmowanie właściwych działań operacyjnych w zakresie odprowadzania wód pochłódniczych przez właścicieli elektrowni w sposób bezpieczny dla ekosystemów wodnych, a z drugiej prowadzenie efektywnej kontroli nadzorczej ze strony uprawnionych do tego organów.
- Polskie przepisy zwalniają elektrownie termiczne z obowiązku ponoszenia opłat, jeżeli temperatura zrzucanych wód pochłódniczych nie przekracza +26 °C, albo różnica między temperaturą wód pobranych i wprowadzanych do wód pochodzących z obiegów chłodzących elektrowni lub elektrociepłowni jest mniejsza niż 11 °C. Skutki tego typu przepisów prawnych w połączeniu z możliwością składania oświadczeń dotyczących wartości temperatury wód pobieranych i zrzutowych, nieweryfikowalnych w przypadku braku monitoringu, prowadzą do całkowitego unikania opłat lub ich uiszczania na poziomie nieadekwatnym do ponoszonych strat w środowisku. W efekcie 12 elektrowni ciepłych z otwartym systemem chłodzenia, w latach 2018–2020 za odprowadzanie kilkunastu miliardów metrów sześciennych wód pochłódniczych zostało obciążonych łączną kwotą 95362,95 PLN. Pięć spośród nich

nie zapłaciło nawet złotych, w tym Elektrownia Połaniec. Zastosowane zwolnienie z opłat narusza zasadę „zanieczyszczający płaci”, proklamowaną na poziomie prawa wspólnotowego jak i polskiego.

- Struktura zespołu ryb i ich liczebność powyżej Elektrowni Kozienice (odcinek referencyjny) różni się od tej stwierdzonej poniżej elektrowni (odcinek podgrzany). Znaczenie zrzutu podgrzanej wody dla funkcjonowania poszczególnych gatunków jest różne: od zanedbywalnego po na tyle istotne, że objawiające się różnicami w strukturze wiekowej czy liczebności populacji. Jest to jednoznaczne ze stwierdzeniem, że podgrzanie wód Wisły poniżej Elektrowni Kozienice ma istotny wpływ na ichtiofaunę rzeki (przynajmniej na odcinku narażonym na podniesione temperatury wody, co w przypadku Elektrowni Kozienice wynosi co najmniej 10 km). Z przyrodniczego punktu widzenia, przyjmując za stan naturalny (referencyjny) sytuację stwierdzoną na górnym (niepodgrzanym) odcinku rzeki, każdą zmianę wynikającą z działalności człowieka należy uznać za negatywną.
- Należy przypuszczać, że podgrzanie wód Wisły przez zrzut wód pochłódniczych z elektrowni na znacznych odcinkach jej biegu miało dalekosiężne negatywne skutki dla całego ekosystemu Wisły. Ich skala i zakres są niezwykle trudne do oszacowania ze względu na to, że autorzy Raportu nie dysponowali żadnymi danymi z okresu przed istnieniem elektrowni Kozienice i Połaniec jako punktu odniesienia.

Rekomendacje

- Należy przywrócić normy wyznaczające maksymalne temperatury wody w odbiorniku po zmieszaniu z wodami pochłodniczymi, a także wyznaczające maksymalne różnice temperatur między wodą w odbiorniku poniżej wprowadzenia zanieczyszczenia cieplnego (na granicy strefy mieszania), a wodą niezależną od tego zanieczyszczenia (powyżej punktu zrzutu), które zapobiegałyby przegrzewaniu wody w odbiorniku na skutek zrzutu nazbyt pogrzanych wód chłodniczych. Punktem wyjścia powinny być normy określone w załączniku do rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 4.10.2002 roku w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody śródlądowe będące środowiskiem życia ryb w warunkach naturalnych (Dz.U. z 2002 r. nr 176, poz. 1455), które obowiązywało do dnia 31.12.2017 roku.
- W uzupełnieniu powyższej rekomendacji dla wód chłodniczych należy wprowadzić normę ustalającą maksymalną dopuszczalną różnicę pomiędzy temperaturą wody ujmowanej i zrzucanej do odbiornika.
- Należy uchylić przepisy zezwalające na korzystanie z wody z naruszeniem warunków określonych w pozwoleniu wodnoprawnym lub zintegrowanym na potrzeby produkcji energii elektrycznej w razie wydania stosownego polecenia przez operatora sieci elektroenergetycznej.
- W celu realnego monitorowania przestrzegania norm temperatury wód chłodzących należy wprowadzić przepisy zobowiązujące zakłady do ciągłego pomiaru temperatury zrzucanych wód

pochłódniczych, a także do ciągłego pomiaru temperatury wód odbiornika: w miejscu poboru wód, oraz poniżej zrzutu ścieków termicznych na granicy strefy mieszania. Dane te (w układzie pomiaru ciągłego) powinny być raportowane właściwym organom ochrony środowiska i podobnie jak dane IMGW być dostępne online. Zmianom przepisów powinno towarzyszyć wprowadzenie odpowiednich zmian w pozwoleniach zintegrowanych oraz wodnoprawnych.

- Należy zlikwidować zwolnienia dla elektrowni i elektrociepłowni z opłat za pobór wód do celów chłodniczych oraz za zrzut wód chłodniczych do wód otwartych.
- Należy zlikwidować możliwość rozliczania opłat za odprowadzanie ścieków termicznych w oparciu o oświadczenia. Podstawą opłat powinny być wyłącznie dane z monitoringu temperatury. W okresie przejściowym należy zezwolić na stosowanie prostych zestawów czujników temperatury.
- Należy w trybie pilnym uruchomić automatyczny, ciągły system monitoringu temperatury wód powierzchniowych we wszystkich posterunkach wodowskazowych IMGW. W okresie przejściowym pomiary mogłyby być dokonywane jak dotychczas przez obserwatorów na wybranych istniejących posterunkach. Niestety w ostatnich latach IMGW znacząco ograniczyło liczbę punktów, w których prowadzi się pomiary temperatury. Dotychczasowy system nie był idealny, gdyż ograniczał się głównie do jednego pomiaru w ciągu dnia, jednak pozwalał na określenie trendów zmian temperatury polskich rzek.
- Z punktu widzenia ochrony ekosystemów wodnych najlepszym rozwiązaniem jest odejście od wodochłonnych technologii produkcji energii. W okresie przejściowym ograniczenie ilości zrzucanych wód pochłódniczych można osiągnąć poprzez przebudowę otwartych systemów chłodzenia wód na obiegi zamknięte. Podejmowanie działań technicznych polegających wyłącznie na zmniejszaniu temperatury odprowadzanych wód pochłódniczych bez ograniczenia ilości pobieranej wody na cele chłodnicze nie wyeliminuje całkowicie zagrożeń dla środowiska wodnego.

Literatura

- Bacalbasa-Dobrovici N., 1989. The Danube River and its fisheries. In D.P. Dodge (ed.), *Proceedings of the International Large River Symposium*. Fish. and Aquat. Sci. 106, 455–468.
- Barnthouse L.W. 2000. Impacts of power-plant cooling system on estuarine fish populations: the Hudson River after 25 years, *Environ. Sci. Pol.* 3, 341–348.
- Bates D., Maechler M., Bolker B., Walker S. 2015. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *J Stat Soft* 67: 1–48.
- Beschta R.L., Bilby R.E., Brown G.W., Holyby L.B., Hofstra T.D. 1987. Stream temperature and aquatic habitat: fisheries and forestry interactions. In *Stream-side management: Forestry and fishery Interactions* (Eds E.O. Salo & T.W. Cundy), pp 191–232. Institute of Forest Resources, Contribution No. 57. University of Washington, Seattle, Washington.
- Brown G.W. 1970. Predicting the effect of clearcutting on stream temperature. *J. soil & water Cons.* Jan–Feb, 11–13.
- Bush R.M., Welch E.B., Mar B.W. 1974. Potential effects of thermal discharges on aquatic systems. *Environ. Sci. Technol.* 8(6), 561–568.
- Coutant C. 2011. Compilation of Temperature Preference Data. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 34. 739–745. 10.1139/f77–115.
- Caissie D. 2006. The thermal regime of rivers: a review. *Freshwater Biol.* 51, 1389–1406.
- Cameron A.T. 1930. Temperature and life and death. *Trans. Roy. Soc. Can.*, 24, Sect. 5, 53–93.
- Crawley M. J. 2013. *The R book*. John Wiley and Sons, The Athrium.
- Cooke S.J., Schreer J.F. 2001. Additive effects of chlorinated biocides and water temperature on fish in thermal effluents with emphasis on the Great Lakes. *Rev. Fish. Sci.* 9, 69–113.
- Craddock D.R. 1976. Impact of cooling waters on the aquatic resources of the Pacific Northwest. *Mar. Fish. Rev.*, 1220, 27–33.
- Davy J. 1862. Some observations on the vitality of fishes as tested by increase in temperature. *Rep. Brit. Ass. Adv. Sci.*, 32, 125.
- Day F. 1885. Effects of an elevated temperature on fishes. *Bull. U.S. Fish Comm.*, 5, 142–144.
- Donaldson M.R., Cooke S.J., Patterson D.A. and MacDonald J. S. 2008. Review paper. Cold shock and fish. *Journal of Fish Biology*. 73, 1491–1530 doi:10.1111/j.1095–8649.2008.02061.

- Embody G.C. 1921. Concerning high water temperatures and trout. Trans. Amer. Fish. Soc. 51, 58–61.
- Emde S., Kochmann J., Kuhn T., Dorge D.D., Plath M., Miesen W., Klimpel S. 2016. Cooling water of power plants creates “hot spots” for tropical fishes and parasites. Parasitol. Res. 115, 85–98.
- Epler P., Bieniarz K. 1973. Wpływ podgrzania wód zrzutowych z Elektrowni Skawina na ichtiofaunę rzeki Skawinki i Wisły. Act. Hydrobiol. 15, str. 331–339.
- European Environmental Agency. 2021. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/efficiency-of-conventional-thermal-electricity-generation-4/assessment-2>.
- Gammon J.R. 1983. Changes in the Fish Community of the Wabash River following power plant strat-up: projected and observed. Aquatic Toxicology and hazard assessment. 6th Symposium, ASTM STP 802. W.E. Bishop, R.D. Cardwell and Heidolph B.B. Eds. Am. Soc. Test. and Mat, Philadelphia. Pp 350–366.
- Gashkina N.A., Moiseenko T.I. 2020. Adaptation of fish metabolism to thermal pollution of subarctic lake Imandra. Geochem. Int. 58, 1110–1122.
- Gomoiu M-T., Sacrieru D., Zaharia D. 2005. Environmental effects of the thermal effluent discharged from NPP Cernavoda Unit 1 into the Danube River – partial results. Geo-Eco_Marina, Coastal zones and Rivers. 11, 101–106.
- Gray R.H., 1983. Behavioural response of fish to altered water quality: a review of selected examples with emphasis on salmonids. Environ. Impact Assess. Rev. 4, 84–96.
- Hoglund J., Thomas K. 1992. The black goby *Gobius niger* as a potential paratenic host for the parasitic nematode *Anguillicolacrasus* in a thermal effluent of the Baltic. Dis. Aquat. Org. 13, 175.
- Huntsman A.G. 1942. Death of salmon and trout with high temperature. J. Fish. Res. Bd. Can. 5, 485–501.
- Huntsman A. G. 1946. Heat Stroke in Canadian Maritime Stream Fishes. J. Fish. Res. Bd. Can. 5, 476–482.
- Jaworski J., Krupa J. 1985. Ocena zanieczyszczenia termicznego Wisły w okresie letnim przez wody pochłonicze Elektrowni Połaniec 8x200 MW. IMG, Zakład Fizyki Wody.
- John J.E.A. 1971. Thermal pollution: A potential threat to our Aquatic Environment. Boston College Environmental Affairs Law Review 287, 287 – 298.
- Jones G.K., Baker J.L., Edyvane K., Wright G.J. 1996. Nearshore fish community of the Port River-Baker inlet estuary, south Australia. I. Effects of thermal effluent on the fish community structure, and distribution and growth of economically important fish species. Mar. Freshwater Res. 47, 785–799.
- Johnson S.L. & Jones J.A. 2000. Stream temperature response to forest and debris flows in western Cascades, Oregon. Can. J. Fish. Aqua. Sci. 57. 30–39.
- Kapusta A., Bogacka-Kapusta E. 2015. Non-native fish species in heated lakes: Origins and present status. Arch. Pol. Fish. 23, 121–129.
- Kapusta A., Czarnecki B., Duda A., Morzuch J. 2017. Przemieszczanie się azjatyckich ryb roślinożernych w jeziorach konińskich. Kom. Ryb. 4, 13–40.
- Langford T.E. 1990. Ecological Effect of Thermal Discharges. Elsevier Applied Sciences Publishers LTD. Essex, England. Langford T.E.L. 1990. Ecological effects of thermal discharges. Elsevier Applied Science Publishers LTD. London and New York. ISBN 1-85166-451-3.
- Langford, T. E. 2001. Thermal discharges and pollution. In *Encyclopedia of oceanic sciences* (pp. 2933–2940). New York: Academic Press.
- Liepolt R. 1972. Uses of the Danube River. In R.T. Oglesby, C.A. Carson & J.A. McCann (eds), *River Ecology and Man*. Academic Press, New York, 233–249.

- Liu S., Xie Z., Liu B., Wang Y., Gao J., Zeng Y., Xie J., Xie Z., Jia B., Qui P., Li R., Wang L., Chen S. 2020. Global river warming due to climate change and anthropogenic heat emission. *Global and Planetary Change*, 193: 103289.
- Logan L.H., Stillwell A.S. 2018. Probabilistic assessment of aquatic species risk from thermoelectric power plant effluent: Incorporating biology into the energy-water nexus. *Appl. Energy*. 210. 434–450.
- Lohner T.W., Dixon D.A. 2013. The value of long-term environmental monitoring programs: an Ohio River case study. *Environ. Monit. Assess.* 185, 9385–9396.
- Luksiene D., Sandstrom O., Lounasheimo L., Andersson J., 2000. The effects of thermal effluent exposure on the gametogenesis of female fish. *J. Fish Biol.* 56, 37–50.
- Lüdtke D. 2018. ggeffects: Tidy data frames of marginal effects from regression models. *J. Open Source Software* 3: 772.
- Madden N., Lewis A., Davis M. 2013. Thermal effluent from the power sector: an analysis of once-through cooling system impacts on surface water temperature. *Environ. Res. Lett.* 8, 1–8.
- Majewski W., Miller D.C. 1979. Predicting effects of power plant once-through cooling on aquatic systems. *Technical papers in hydrology*. UNESCO.
- Mangiafico S. 2020. Rcompanion: Functions to support extensive education program evaluation. <https://CRAN.R-project.org/package=rcompanion>
- Maupin M.A., Kenny J.F., Hutson S.S., Lovelace J.K., Barber N.L., Linsey K.S. 2014. Estimated use of water in the United States of America in 2010. *Tech. rep.* US Geological Survey.
- Mikołajczyk T., Nawrocki P., 2019. Gospodarka leśna a występowanie zawiesin w wodach rzek i potoków i ich oddziaływanie na ichtiofaunę i ekosystemy rzeczne. *Leśne Prace Badawcze* 80., 269–276.
- Najberek K., Solarz W. 2011. Jeziora Konińskie jako ognisko inwazji gatunków obcych w Polsce. W: Z. Głowaciński, H. Okarma, J. Pawłowski, W. Solarz (red.). *Gatunki obce w faunie Polski. Tom II: Zagadnienia problemowe i syntezy*: 614–623.
- Opuszyński K. 1983. *Podstawy biologii Ryb*. PWRiL, Warszawa 1983.
- Nabiałek J. 1984. Wpływ ciepłych wód zrzutowych z Elektrowni Kozienice na ichtiofaunę przybrzeżnej strefy Wisły. *Rocz. N. Rol. Seria H*, tom 100, str. 83–109.
- Nabiałek J. 1984. Przemieszczanie się ryb w rejonie zrzutu wód podgrzanych z elektrowni Kozienice. *Rocz. N. Rol. Seria H*, tom 100, str. 71–82.
- Quinn J.M., Williamson R.B., Smith R.K., Vickers M.L. 1992. Effect of riparian grazing and channelization on streams in Southland, New Zealand. 2. Benthic invertebrates. *N.Z.J. Mar. Freshwat. Res.* 26: 259–273.
- Pauly D. 2021. Gill-oxygen limitation theory (GOLT) and its critics. *Science Advances* 7(2): eabc6050.
- Peredo-Alvarez V.M., Bellas A.S., Trainor-Guitton W.J., Lange I. 2016. Mandate a Man to Fish?: Technological advance in cooling systems at U.S. thermal electric plants. *Wat. Res., Res.*, 52, 1418–1426.
- R Development Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Raptis C.E., van Vliet M.T.H., Pfister S. 2016. Global thermal pollution of rivers from thermoelectric power plants. *Environmental Research Letters*, 11: 104011.
- Reutter J.M., Herdendorf C.E. 1976. Thermal discharge from nuclear power plant: predicted effect on lake Erie fish. *Ohio Journal of Science* 76, 39–45.
- Rolbiecki J., Rokicki J. 2005. *Anguicicolacrassus* – alien species of nematode from gas bladder of eels *Anguilla Anguilla* in polish area of southern Baltic Sea and in waters of northern Poland. *Oceanol. Hydrobiol. Stud.* 34, 121.

- Sadler K. 1980. Effect of the warm water discharge from a power station on fish populations in the river trent. *J. Appl. Ecol.* 17, 349–357.
- Sierra Club. 2011. Giant Fish Blenders: How power plants kill fish & damage our waterways. <http://www.sierraclub.org/pressroom/media/2011/2011-08-fish-blenders.pdf>.
- Sylvester J.R. 1972. *Possible effects of thermal effluents on fish: A review*. „Environmental Pollution”. 3 (3), s. 205–215, Elsevier.
- Tereshchenko V.G., Kapusta A., Wilkońska H., Strelnikowa A.P. 2007. Long-term changes in 0+ fish assemblages in the litoral zone of heated lakes. I. Diversity, evenness and dynamic phase portrait of species structure. *Arch. Pol. Fish.* 5., 415–430.
- Teixeira T.P., Neves L.M., Araujo F.G. 2009. Effects of a nuclear power plant thermal discharge on habitat complexity and fish community structure in Ilha Grande Bay, Brazil. *Mar. Environ. Res.* 68., 188–195.
- Teixeira T.P., Neves L.M., Araujo F.G. 2012. Thermal impact of a nuclear power plant in a costal area in Southeastern Brazil: effects of heating and physical structure on benthic cover and fish communities. *Hydrobiologia.* 684., 161–175.
- Union of Concerned Scientists. 2011. www.ucsusa.org/electricity-water-use.
- Van der Kraak G., Pankhurst N.W. 1996. Temperature effects of the reproductive performance of fish. In *Global Warming: Implications for freshwater and Marine Fish*. (McDonald G. & Wood C.M. eds.) pp. 159–176. Cambridge University Press.
- Wałkuska G., Wilczek A. 2010. Influence of Discharge heated water on Aquatic Ecosystem Fauna. *Pol. J. Environ Stud.* 19, 547–552.
- Watts A. 2012. River water temperature “crisis”. <http://wattsupwiththat.com/2012/06/03/river-water-temperature-crisis/>.
- Webb B.W., Nobilis F. 1994. Water temperature behaviour in the River Danube during the twentieth century. *Hydrobiologia* 291, 105–113.
- Webb B.W., Walsh A. J. 2004. Changing UK river temperatures and their impact on fish populations. *Hydrology: Sciences & practice for the 21st Century*. Vol. II. Pp. 177–191.
- Wickham H. 2016. *Ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag, New York. ISBN 978-3-319-24277-4.
- Wilkońska H. 1994. Changes in the efficiency of natural reproduction and survival of fish larvae in heated Konin lakes. *Arch. Pol. Fish.* 2, 285–299.
- Wiśniewski J. 2000. Power plants & aquatic resources; Issues and assessment. *Environ. Sci. Policy* 3, S1–S212.
- Wright S.A., Holly Jr. F.M., Bradley A.A., Krajewski W. 1999. Long-term stimulation of thermal regime of Missouri River. *J. Hydraul. Eng.* 125, 242–252.
- Wather K. 2021. Rising water temperatures could result in the death penalty for Pacific salmon. *State of the Planet*. Columbia University. <https://blogs.ei.columbia.edu/2021/02/10/rising-temperatures-pacific-salmon/>.
- Wziątek B. 2016. Opinia. w sprawie przyczyny śnięcia różnych gatunków ryb o łącznej masie szacunkowej ok. 5000 kg, zaistniałego w okresie od 3 stycznia do 4 stycznia 2016 r. w kanale zrzutowym wód pochłodniczych przy elektrowni spółki Enea Wytwarzanie w Świerżach Górnych, wchodzącym w skład Obwodu Rybackiego Rzeki Wisły nr 2 którego Użytkownikiem Rybackim jest Okrąg Polskiego Związku Wędkarskiego w Radomiu. Okrąg PZW w Radomiu. DZ-30/150/16.
- Yadrenkina E.N. 2010. Ichthyofauna of the upper Tom affected by thermal pollution (West Siberia). *Contemporary Problems of Ecology* 3, 541–546.
- Zinoviev E.A., Kitaev A.B., Noskov V.M. 2016. The influence of thermal pollution on hydrobiology of Kama water basin. *Europ. J. Nat. Hist.* 4, 1–6.
- Zuur A.F., Ieno E.N., Walker N.J., Savaliev A.A., Smith G. M. 2009. *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer, New York.

Streszczenie

Niniejszy Raport to efekt prawie dwóch lat badań terenowych i analizy dostępnych archiwalnych danych środowiskowych zbieranych przez różne instytucje: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW), Główny Urząd Statystyczny (GUS), Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska (WIOŚ), Urzędy Marszałkowskie (UM) oraz operatorów Elektrowni Kozienice i Połaniec. Zebrane w ten sposób bardzo obszerne dane dotyczące przebiegu temperatur wody Wisły w ostatnich kilku dekadach (aż do chwili obecnej) oraz pomiary temperatury wody i badania ichtiofaunistyczne przeprowadzone w terenie przez zespół autorski umożliwiły dokonanie analiz opartych na nowoczesnych metodach statystyczno-matematycznych, których celem było wykazanie czy i w jakim stopniu dwie największe polskie elektrownie termiczne z otwartym systemem chłodzenia zlokalizowane na brzegach Wisły (Elektrownia Kozienice i Elektrownia Połaniec) wpływają na wzrost temperatury wody rzeki oraz jaki ma to wpływ na organizmy wodne, w szczególności na ichtiofaunę. Obie elektrownie w latach 2015–2019 każdego roku pobierały z Wisły i odprowadziły w postaci silnie podgrzanych ścieków średnio 2,9 mld m³ wody. Łączne wykorzystanie wód przez obie elektrownie stanowiło 29% całkowitego poboru wód na potrzeby całej gospodarki krajowej oraz ludności i 47% wód wykorzystanych w całym sektorze energetycznym.

Trzon opracowania stanowią analizy zmian temperatury wody Wisły w rejonie obu wspomnianych wyżej elektrowni. Dokonywano ich wielotorowo, bazując na danych udostępnionych przez różne instytucje oraz dokonując pomiarów w terenie. Do obliczeń i analiz wykorzystano:

1. Dane IMGW z lat 1981–2019 z wodowskazów wiślanych wyposażonych w mierniki temperatury zlokalizowanych w Szczucinie

i Sandomierzu (powyżej i poniżej Elektrowni Połaniec) oraz w Dęblinie i Gusinie (powyżej i poniżej Elektrowni Kozienice).

2. Dane elektrowni Połaniec i Kozienice, UM i WIOŚ i IMGW dotyczących temperatury i objętości wód pobieranych i zrzucanych z elektrowni, aktualnych i średnich przepływów Wisły oraz dane odnośnie sprawności elektrowni. Dane zebrano dla kolejnych 1826 dni pomiarowych pomiędzy 01.01.2015 a 31.12.2019.
3. Dane o zmianach temperatury Wisły zebrane podczas dwóch lat pomiarów własnych dokonywanych w trybie automatycznym (ciągłym) za pomocą stacjonarnych czujników temperatury jak i podczas spływu łodzią w rejonie elektrowni.

Wszystkie zebrane dane i analizy są wyjątkowo zgodne i wskazują jednoznacznie, że zrzut dużej ilości podgrzanych wód pochodniczych z elektrowni Połaniec i Kozienice do Wisły istotnie i na dużym odcinku podnosi temperaturę wód Wisły. Wzrost temperatury jest zróżnicowany w zależności od odległości od punktu zrzutu gorących ścieków i od stopnia (miejsca) ich zmieszania się z wodami Wisły. Różnica ta może wynosić od kilkunastu stopni różnicy pomiędzy strugami ciepłej i zimnej wody tuż poniżej elektrowni do ok. 1,7–1,9 °C w odległości kilkunastu – kilkudziesięciu kilometrów poniżej elektrowni, już po całkowitym wymieszaniu się obu strug.

Dostępne dane z wodowskazów IMGW odnośnie temperatury wody Wisły (pkt. 1) wykazały statystycznie wysoko istotną różnicę w temperaturze wody Wisły poniżej obu elektrowni w stosunku do temperatury Wisły przed elektrownią. Różnice w średniorocznej temperaturze wody sięgające maksymalnie do 1,4 °C (Gusin vs Dęblin) oraz 1,9 °C (Sandomierz vs Szczucin) można z dużym prawdopodobieństwem przypisać wpływowi zanieczyszczenia termicznego powodowanego pracą elektrowni Kozienice i Połaniec. Dodatkowo oszacowano wzrost temperatury Wisły na wybranych wodowskazach Wisły znajdujących się poza zasięgiem oddziaływania obu elektrowni. Uzyskane wyniki korespondują z publikowanymi danymi dotyczącymi zmian temperatury powietrza spowodowanych globalnym ociepleniem.

Dane uzyskane od operatora Elektrowni Kozienice oraz instytucji związanych z ochroną środowiska pozwoliły na obliczenie bilansu cieplnego Wisły (pkt. 2). Obliczenia wykazały, że w ostatnich pięciu latach w punkcie wymieszania się strugi gorących ścieków z wodami Wisły (ok. 10 km poniżej elektrowni) jej średnia temperatura na całym przekroju podniosła się o 1,7 °C w porównaniu do wody na odcinku przed elektrownią. Podobne obliczenia dokonane na bazie danych sprawności obu elektrowni oraz ilości ciepła oddawanego (traconego)

do środowiska z wodami chłodniczymi doprowadziły do bardzo podobnych wyników. Z obliczeń wynika, że ilość energii oddanej do środowiska przez Elektrownię Kozienice jest w stanie podgrzać Wisłę o 1,8 °C, natomiast Elektrownia Połaniec podgrzewa Wisłę średnio o 1,9 °C.

Wyniki pomiarów temperatury dokonanych w latach 2019 i 2020 za pomocą kilku metod (pkt. 3) wykazały drastyczną różnicę w temperaturze między wodą w Wiśle a ściekami termicznymi. Przede wszystkim pozwoliły określić rozkład pióropusza termicznego. W przypadkach obu elektrowni wskazano rejon mieszania się obu strug oraz zasięg zanieczyszczenia termicznego Wisły. Wyniki odczytane z automatycznych stacji pomiarowych wykazały stałą, istotną różnicę temperatury wody Wisły powyżej elektrowni i poniżej nich, nawet na dystansie większym niż 10 km poniżej elektrowni.

Oprócz zagadnień związanych ze zmianą reżimu termicznego Wisły pod wpływem elektrowni Kozienice i Połaniec przeprowadzono wstępne badania ichtiofaunistyczne mające na celu porównanie struktury zespołów ryb na odcinku Wisły powyżej Elektrowni Kozienice z tymi poniżej elektrowni, bytującymi na odcinku podgrzanym. Analiza rozkładów liczebności najliczniejszych gatunków wskazała, że rozmieszczenie poszczególnych gatunków ryb nie było jednolite na obu badanych odcinkach. W przypadku uklei, klenia, kiełbia krótkowąsego, jelca i kiełbia białopłetwego odcinek rzeki miał istotny wpływ na różnice w liczebności. Wykazano również, że przynajmniej w przypadku niektórych gatunków (kleń, jelec i kiełb białopłetwy) występowały istotne różnice w długości całkowitej (TL) powyżej i poniżej elektrowni. W przypadku klenia poniżej elektrowni łwiono osobniki mniejsze niż na odcinku referencyjnym (powyżej elektrowni), natomiast jelec i kiełb białopłetwy wykazywały odwrotną zależność – osobniki łwione poniżej elektrowni były istotnie większe niż na odcinku referencyjnym. Wykazane różnice w liczebności i strukturze populacji niektórych ryb związane są najprawdopodobniej z różnicami temperatury wody występującymi na badanym odcinku Wisły.

Uzyskane, przeanalizowane i przedstawione w Raporcie wyniki jednoznacznie wskazują, że elektrownie Kozienice i Połaniec wyposażone w otwarty system chłodzenia skraplaczy pary mają istotny i dalekosiężny wpływ na reżim termiczny Wisły na odcinku co najmniej kilkudziesięciu kilometrów poniżej każdej z nich. Skala podgrzania Wisły zależy od wielu czynników takich jak aktualny przepływ Wisły, aktualna moc elektrowni i ilość wody pobranej do chłodzenia czy odległość od elektrowni. Mając na uwadze fakt tak znacznego podgrzania wód Wisły oraz to, że działalność taka rozpoczęła się w latach 70. (Elektrownia Kozienice) i 80. (Elektrownia Połaniec) ubiegłego wieku należy stwierdzić, że miało to i nadal ma znaczący wpływ na wszystkie zmiennocieplne organizmy wodne bytujące w Wiśle w rejonie oddziaływania elektrowni.

Istotność oraz skala tego oddziaływania jest trudna do oszacowania biorąc pod uwagę złożoność i wzajemne powiązania w ekosystemach rzecznych oraz fakt, że podobne dane z okresu sprzed budowy obu elektrowni nie są dostępne. Istotne różnice w liczebności niektórych ważnych gatunków ryb oraz ich długości zaobserwowane we wstępnych badaniach w ocenie autorów Raportu potwierdzają, że podgrzanie wód Wisły ma istotny, negatywny wpływ na jej cały ekosystem na olbrzymim obszarze. Fakt ten wpisuje się w ciąg licznych publikacji naukowych z całego świata, w których naukowcy donoszą o bardzo poważnych problemach środowiskowych związanych z zanieczyszczeniem termicznym rzek przez przemysł energetyczny.

Raport porusza także kwestie prawne dotyczące funkcjonowania przemysłu energetycznego w kontekście problemów z ochroną środowiska wodnego, a zwłaszcza w odniesieniu do wzrostu temperatury rzek i jezior. W opinii autorów obecne przepisy nie chronią w sposób skuteczny ekosystemów wodnych i zezwalają operatorom elektrowni na dość swobodne (korzystne dla nich) interpretowanie zapisów prawa. W Raporcie przedstawiono obecnie istniejące rozwiązania i regulacje, ich wady i konsekwencje dla środowiska. Zwrócono również uwagę na wadliwy system opłat za odprowadzanie ścieków termicznych do wód powierzchniowych, który z jednej strony narusza zasadę „zanieczyszczający płaci” (proklamowaną na poziomie prawa wspólnotowego), a z drugiej pozwala rozliczać się z nich w oparciu o nieweryfikowalne oświadczenia, a nie wyniki szczegółowego monitoringu wód. W części końcowej opracowania przedstawiono propozycje zmian prawnych mogących wydatnie przyczynić się do poprawy stanu środowiska wodnego rzek narażonych na negatywne oddziaływanie elektrowni termicznych.



TNZ

