

## WPŁYW ANTROPOPRESJI NA KSZTAŁTOWANIE SIĘ UKŁADÓW TERMICZNYCH W RYBNICKIM ZBIORNIKU ZAPOROWYM

MACIEJ KOSTECKI

Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk  
ul. M. Skłodowskiej-Curie 34, 41-819 Zabrze

Keywords: anthropomixion, anthropopression, dam-reservoir, infra-red tele-detection.

### ANTHROPOPRESSION IMPACT ON THE FORMATION OF THERMAL STRUCTURE ON THE RYBNIK DAM-RESERVOIR

Using the infra-red teledetection methods for measurement of water temperature it has been shown that hydrodynamic conditions which are a result of anthropopression, as the supplementary water mass movement, impose square differential temperature conditions of limnic ecosystem. The Rybnik dam reservoir shows, that effect of anthropopression expressed as the thermal pollutant and itrareservoir water movement is stronger than the natural limnological factors for the type and location of the reservoir. For such situation, when the mixion of the water mass caused by anthropopression is stronger than natural water movement, the author proposes the term "anthropomixion".

#### Streszczenie

Stosując do pomiaru temperatury wody metodę teledetekcji termowizyjnej wykazano, że warunki hydrodynamiczne będące skutkiem antropopresji, wyrażające się dodatkowymi ruchami mas wodnych, powodują przestrzenne zróżnicowanie ekosystemu limnicznego pod względem stosunków termicznych. Przykład Zbiornika Rybnickiego wskazuje, że wpływ antropopresji wyrażającej się wewnątrz zbiornikowym ruchem wody oraz skażeniem termicznym, będącymi skutkiem zrzutu wód podgrzanych z elektrowni, jest silniejszy niż czynniki naturalne wynikające z lokalizacji i typu zbiornika. W odniesieniu do zjawiska mieszania i przemieszczania mas wodnych zbiornika pod wpływem czynnika antropogenicznego, w sytuacji, kiedy czynnik ten jest silniejszy niż czynniki naturalne, autor proponuje stosowanie terminu „antropomiksja”.

#### WSTĘP

Od wielu lat ruch mas wodnych w jeziorach jest postrzegany jako czynnik decydujący o intensywności krążenia materii. Od intensywności mieszania zależy bilans tlenowy, od szybkości przepływu zasięg rozprzestrzeniania zawiesin i zanieczyszczeń.

Przez mieszanie (miksję) rozumie się z reguły ruchy pionowe mas wodnych, jednakże nie można pominąć w tym względzie roli ruchów poziomych, które nie zawsze są przepływem

wody. Mogą one jako ruch krążący wspomagać ruch pionowy, zwiększając w rezultacie hydrodynamikę mas wodnych w całej wysokości słupa wody.

Zauważono, że podatność na mieszanie jest zależna od wielkości powierzchni jeziora, a jego efektywność także od głębokości. W szczególności istotna jest długość osi zbiornika i jej położenie w stosunku do kierunku najczęściej wiejących wiatrów. Na zależność pomiędzy zasięgiem epilimnionu a wielkością jeziora zwracał uwagę Ruttner [24]. Yoshimura wykazał, że wraz ze wzrostem powierzchni jeziora wzrasta, w granicach wynikających z warunków klimatycznych, temperatura epilimnionu [28]. Zależność między maksymalną głębokością zasięgu mieszania pod wpływem wiatru a powierzchnią jeziora matematycznie badał Berger [3]. Dla jezior Polski północnej zależność tę badał Patalas [23], a także Olszewski i Paschalski [21, 22].

Badając podatność jezior na mieszanie pod wpływem wiatru Aberg i Rodhe wprowadzili podział na jeziora epilimnetyczne, stratyfikujące (metastabilne i stabilne) oraz meromiktyczne [1]. Olszewski analizując elementy ruchów mas wodnych w tym procesie ich cyrkulacji i mieszania zwracał uwagę na znaczenie czasu trwania cyrkulacji, czego konsekwencją jest pełne bądź niepełne mieszanie. Biorąc pod uwagę możliwość nasycenia tlenem mas wodnych wyróżnił on stan bradymiksji, któremu odpowiada cyrkulacja krótka, oraz tachymiksji charakteryzującej się cyrkulacją długą. Jako stadium pośrednie wskazuje się eumiksję [22].

Stosunki termiczno-tlenowe zbiornika Rybnickiego badali m.in. Jankowski, Rzętała, Kostecki [8, 11, 25]. Wpływ przemysłu, w szczególności wykorzystywanie wody do celów chłodniczych przez elektrownie, wprowadza dodatkowe ruchy mas wodnych, co stwarza nowe warunki środowiskowe wewnątrz ekosystemu. Uznano za celowe zwrócenie uwagi na to zjawisko.

W naturalnych ekosystemach limnicznych – jeziorach – ruchy mas wodnych spowodowane są przede wszystkim wpływem wiatru. Ponadto różnice temperatury powietrza i wody powodują ruchy konwekcyjne. Warunki termiczne mogą wpływać hamująco na cyrkulację i sprzyjać powstawaniu stratyfikacji [6, 15, 17, 22]. Wynika to ze zmian gęstości i lepkości wody. Rzętała [25] stwierdza, że w warunkach silnej antropopresji gęstościowe mieszanie nie ma znaczenia. Nie potwierdzają tego poglądu badania Kajaka [6], Kosteckiego [11–12], Lossowa [13–16] i Olszewskiego [22], jednak ich obserwacje dotyczą jezior naturalnych. Znaczenie temperatury wody w tym względzie, będącej konsekwencją insolacji i temperatury powietrza jako czynnika decydującego podkreśla większość badaczy.

W wyniku ruchu wody mogą następować zmiany jej jakości [2, 5–8, 11, 12, 15–17, 25–27]. Przemieszczanie się mas wodnych stanowi istotny element transportu zanieczyszczeń [2, 9–11, 26, 27]. W przypadku przepływu wody istotna jest zarówno szybkość liniowa przepływu, jak i ilość wprowadzanej do jeziora wody [4, 5]. Uregulowanie brzegów cieków zmniejsza opory przepływu i powoduje wzrost szybkości liniowej przepływu a przez to zwiększenie zasięgu transferu zanieczyszczeń [4, 27]. W zbiornikach antropogenicznych przepływ wody ułatwiają wybetonowane skarpy brzegów [10].

Ruch wody jest uważany za element decydujący w większości technologii rekultywacji jezior i zbiorników wodnych. Za najważniejszy czynnik w tym względzie uważa się zjawisko mieszania mas wodnych [1, 3, 22]. Lossow analizując poszczególne technologie wskazuje na ich wpływ, na specyficzne mieszanie i przemieszczanie mas wodnych [13, 14].

Zasadniczym rodzajem ruchu wody jest jej mieszanie podczas cyrkulacji wiosennej i jesiennej. Czas trwania oraz intensywności mieszania decyduje o bilansie tlenowym oraz temperaturze wody [6, 7, 12, 14–17]. Cyrkulacja jest procesem wpływającym na reaktywowanie

zapasów chemicznych substancji odżywczych [7, 23].

Olszewski wprowadzając podział na jeziora bradymiktyczne, eumiktyczne i tachymiktyczne podkreślił rolę mieszania w funkcjonowaniu ekosystemów limnicznych zwracając uwagę na zróżnicowanie warunków środowiskowych szczególnie w głębokich warstwach wody [22].

Polska znajduje się w strefie klimatycznej, w której większość to jeziora dimiktyczne podlegające mieszaniu dwukrotnie w ciągu roku, wiosną i jesienią. Z punktu widzenia bilansu tlenowego w korzystnej sytuacji znajdują się zbiorniki płytkie o dużej powierzchni, (typu stawowego), należące z reguły do typu polimiktycznego, czyli podlegające mieszaniu w ciągu całego roku.

Korzystną cechą zbiornika z punktu widzenia ruchów wody jest jego przepływowość. Jest to cecha wszystkich zbiorników zaporowych. Podkreśla się, że mieszanie mas wodnych zachodzącego pod wpływem czynnika termicznego i wiatru (cyrkulacji) oraz ruch wody wynikający z jej przepływu to elementy oddzielne, aczkolwiek ich oddziaływanie na jakość wody może mieć charakter synergiczny [4, 13, 14, 22].

Pomijając wpływ parowania, infiltracji i opadów, pojemność zbiornika jest funkcją zmian dopływu i odpływu. Jakkolwiek w praktyce to nie występuje, przyjmuje się, że dla dłuższego okresu czasu wielkość dopływu równoważy się z odpływem. Tak, więc najczęściej czas retencji zbiornika określa się jako stosunek jego objętości do wielkości średniego przepływu dobowego [4].

Starmach podzielił zbiorniki zaporowe pod tym względem na limniczne – podlegające maksymalnie czterem wymianom wody w ciągu roku, oraz reolimniczne, powyżej tej wartości [26]. Przykładem zbiornika limnicznego jest Zbiornik Pławniowicki (czas retencji wody 2,5 roku), zaś zbiornika reolimnicznego Zbiornik Tresna (do 12 wymian wody w ciągu roku). W tabeli 1 podano przykłady czasów retencji niektórych zbiorników zaporowych województwa śląskiego.

Tabela 1. Czasy retencji wody w wybranych zbiornikach zaporowych województwa śląskiego  
The retention time in dam-reservoir

Zbiornik Dam-reservoir	Czas retencji [dni] The retention time [days]		Ilość wymian w roku The number of changes per year
	zakres zmian the range of changes	średnia average	średnia average
Tresna	4–90	30	4–12
Pławniowice	900	900	0,4
Dzierżno Małe	80–120	100	3,6
Dzierżno Duże	80–340	200	1,8
Rybnik	108	108	3,6
Kozłowa Góra	420–518	440	0,8

Poza zbiornikiem Tresna pozostałe są to zbiorniki usytuowane na terenach nizinnych. Pod względem intensywności wymiany wody należy je sklasyfikować jako zbiorniki limniczne.

Wskazując na przepływowość zbiornika badacze podkreślają przede wszystkim rolę tego czynnika w procesie kształtowania jakości wód. W szczególności na czas, jaki zostaje dany na przebieg zachodzących w zbiorniku procesów [5, 6, 8–11]. Jak się okazuje, w niektórych przypadkach, stosowanie ww. klasyfikacji może nie odzwierciedlać do końca warunków hydrodynamicznych zbiornika.

Szereg procesów wewnątrz zbiornika może wpływać na stosunki termiczno-tlenowe. Na przykład skutkiem eutrofizacji, a dokładniej skutkiem zmniejszenia przezroczystości wody jest ograniczenie podatności zbiornika wodnego na mieszanie. Zmniejszenie przezroczystości wody, sprzyja nagrzewaniu się powierzchniowej warstwy wody, tworzeniu się wysokich gradientów termokliny, a w konsekwencji mikrostratyfikacji [7, 11–13, 20].

W zbiornikach antropogenicznych, do których zalicza się zalane wyrobiska popiaskowe, zapadliska na terenach szkód górniczych oraz zbiorniki zaporowe występują te same prawidłowości, co w jeziorach naturalnych. Równocześnie pojawiają się elementy nowe, charakterystyczne dla rodzaju wywieranej na zbiornik antropopresji. Przykładem tego może być ograniczanie zasięgu mieszania wynikające z zanieczyszczenia wody, w szczególności jej zasolenia [11, 12, 24]. Chemoklina w przypadku wysokich gradientów może odgrywać taką samą rolę, jak skok tlenowy.

## CELPRACY

Celem pracy było wykazanie, że w warunkach silnej antropopresji, na naturalne ruchy wody, przez które należy rozumieć przepływy oraz ruchy spowodowane przez wiatry, mogą nakładać się ruchy antropomiktyczne. Ich wyodrębnienie i rozróżnienie wymaga dalszych badań uwzględniających warunki kształtujące się w konkretnym zbiorniku. W szczególnych sytuacjach ruchy te mogą decydować o warunkach mieszania, oddziałując na zbiornik z siłą większą aniżeli czynniki naturalne.

## OBIEKT BADAŃ

Podstawą niniejszej pracy są wyniki badań limnologicznych Rybnickiego zbiornika zaporowego. Stanowi on element ciągu technologicznego elektrowni „Rybnik” S.A. służąc do powierzchniowego schładzania podgrzanych wód zrzutowych. Zbiornik zasilany jest wodami rzeki Rudy. Istnieje także kontakt hydrologiczny ze zbiornikami obocznym Pniowiec, Gzel i Grabownia, lecz z punktu widzenia bilansu wodnego znaczenie tego kontaktu jest znikome [8, 19].

Morfologia i morfometria zbiornika przedstawia się następująco. Zaporę czołową zbiornika zbudowano przegradzając nieckowatą dolinę rzeki Rudy zaporą ziemną w pobliżu miejscowości Stodoły. Szerokość dna doliny rzeki w miejscu lokalizacji zapory wynosi około 500 m.

Długość zapory wynosi 975 m, maksymalna wysokość 12,0 m.

Pojemność zbiornika wynosi:

– całkowita

24 mln m<sup>3</sup>,

– użytkowa	4,3 mln m <sup>3</sup> ,
– martwa	18,2 mln m <sup>3</sup> ,
– forsowana rezerwa powodziowa	1,5 mln m <sup>3</sup> .
Oś wielka zbiornika ma długość około	4,5 km.
Powierzchnia całkowita	
– łącznie z zalewaniami bocznymi	555 ha,
– powierzchnia dla celów chłodzenia	444 ha.
Średnia głębokość zbiornika (V/A)	5,4 m.

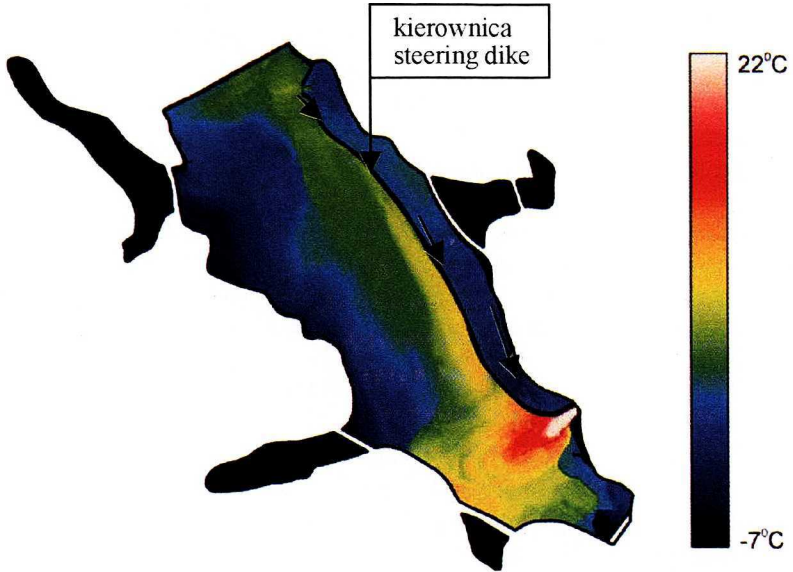
Woda ze zbiornika odprowadzana jest do rzeki Rudy przelewem powierzchniowym – 2 otwory jazu o świetle 5,0 m każdy. Maksymalny wydatek przelewu wynosi 60 m<sup>3</sup>/s. Ponadto zbiornik posiada upusty denne tj. 3 przewody galerii spustowej o wymiarach w świetle 180 x 1,80 m każdy. Wydatek maksymalny odpływu wynosi 39 m<sup>3</sup>/s. Ponadto odprowadzana jest również ze zbiornika woda denną rurociągiem  $\varnothing$  400 mm w ilości 1,3 m<sup>3</sup>/s, w celu zapewnienia tzw. odpływu nienaruszalnego.

W celu uzyskania maksymalnych efektów chłodzenia zbiornik wyposażony jest w budowle kierujące, których zadaniem jest wytworzenie właściwego obiegu wody chłodzącej na powierzchni zbiornika. Są to następujące urządzenia: kierownica zrzutowa (ścianka ażurowa), kierownica ziemna – nasyp wzdłuż prawego brzegu zbiornika oraz ujęcie głębokie w pobliżu zapory czołowej (ściana żelbetowa w kierownicy z otworami wlotowymi w części dennej).

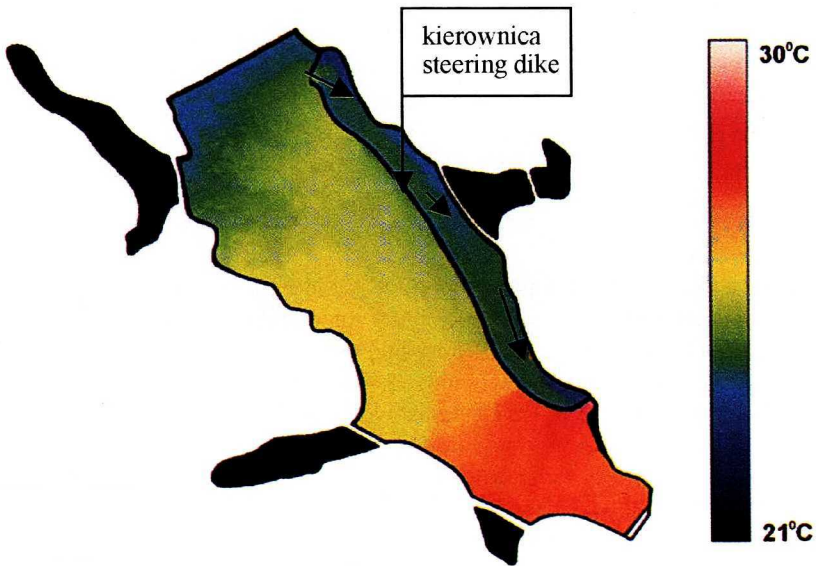
Do celów technologicznych woda jest pobierana a następnie zrzucana na powrót do zbiornika w ilości około 40 m<sup>3</sup>/s. Wody podgrzane odprowadzane są do zbiornika w jego górnej części, na prawym brzegu (w stosunku do kierunku przepływu). Na drodze strumienia została ustawiona żelbetowa kierownica ażurowa. Powoduje ona, że strumień wód zrzutowych ulega rozproszeniu po powierzchni zbiornika. W miarę powolnego przemieszczania się wód zbiornika w kierunku zapory, w wyniku pracy pomp wody chłodzącej i pod wpływem napływających wód rzeki Rudy, następuje jej chłodzenie. Z kolei kierownica ziemna oddziela wąski pas wody tworząc kanał recyrkulacyjny, którym woda ujmowana w ujęciu naddennym wraca do ujęcia przy elektrowni.

## WYNIKI

Istotą wykonanych badań są pomiary temperatury wody wykonane metodą termowizyjną tj. w podczerwieni. Z inicjatywy autora, przy aprobacie Wydziału Kontroli Eksploatacji i Ochrony Środowiska Elektrowni „Rybnik” S.A. przeprowadzono dwukrotne w zimie (styczeń 2003 r.) oraz latem (w lipcu 2003 r.) naloty śmigłowcem. Podczas nalotu wykonywano z wysokości 1000 m każdorazowo po około 50 zdjęć kamerą termowizyjną. Następnie zdjęcia te scalano w programie Therma-cam, uzyskując w rezultacie dwie mapy termiczne powierzchniowej warstwy wody. Wyniki pomiarów temperatury wody zbiornika wykonane kamerą termowizyjną w podczerwieni (w styczniu i czerwcu) wykazały, że w obu tych charakterystycznych okresach masy wody w zbiorniku dzielą się w sposób bardzo widoczny na obszary silnie zróżnicowane termicznie. Jest to widoczne na załączonych mapkach termicznych (Rys. 1 i 2). Potwierdza to i uzupełnia spostrzeżenia poczynione przez Jankowskiego i Kuczerę [8].



Rys. 1. Temperatura powierzchniowej warstwy wody zbiornika Rybnickiego, styczeń 2003  
The surface layer water temperature of Rybnik dam-reservoir, January 2003



Rys. 2. Temperatura powierzchniowej warstwy wody zbiornika Rybnickiego, lipiec 2003  
The surface layer water temperature of Rybnik dam-reservoir, July 2003

W okresie zimowym strumień wód zrzutowych z elektrowni, podgrzanych do 16°C, wypływając z upustów układu chłodzenia, uderza w przeciwległy brzeg zbiornika. Strumień ten jest wyraźnie hamowany przez masy zimnej wody (5,5–8°C) w południowo-zachodniej części zbiornika. Część cieplej strugi odbija się w stronę cofki zbiornika, gdzie widoczny jest wpływ zimnych wód rzeki Rudy. Struga zimnej wody rzeki wpływając do zbiornika jest kierowana na prawo, gdzie po napotkaniu strumienia ciepłych wód zrzutowych zmienia kierunek o 90° w lewo.

Najwyraźniej strumień ciepłej wody o temperaturze od 9 do 12°C wody napotyka najmniejszy opór wzdłuż kierownicy, gdzie na masy wody oddziałuje siła ssąca pomp elektrowni pobierających wodę powodując ich przemieszczanie się wzdłuż kierownicy. Strumień wody płynąc w kierunku północno-zachodnim dopływa do zaporę a następnie odbija się od niej i płynie w kierunku zachodnim. Powstaje w ten sposób jakby zawirowanie powodujące cofanie się części mas wodnych po brzegu wschodnim zbiornika.

Tak więc w okresie zimowym najcieplejszą częścią zbiornika jest pas wody wzdłuż kierownicy, sięgający powyżej środkowej osi zbiornika w kierunku zachodnim. Strefę tą określa izolinia 8,0°C.

Część zachodnia zbiornika w okresie zimowym jest zdecydowanie najzimniejszą strefą zbiornika. Widoczny jest stosunkowo wyraźny gradient termiczny między izolinią określającą temperaturę 5,5°C a izolinią 8,0°C.

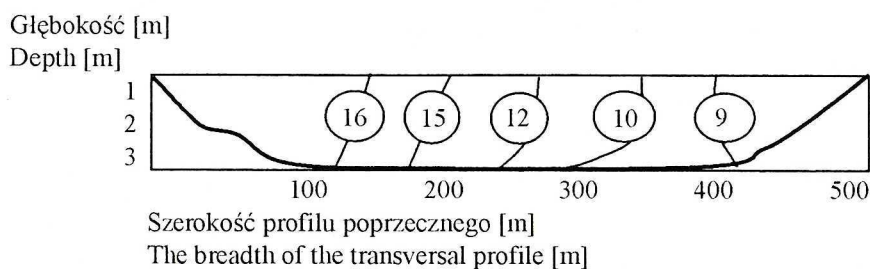
W okresie lata (lipiec), przestrzenny rozkład temperatur powierzchniowej warstwy wody jest odmienny, aniżeli zimą (Rys. 2). Strumień wód zrzutowych podgrzanych do temperatury 36°C nie napotykając oporu hydrotermicznego bardziej intensywnie sięga przeciwległego (południowo-zachodniego) brzegu. Nie jest także widoczny wpływ rzeki Rudy na termikę wody w strefie jej ujścia do zbiornika.

Masy wody przemieszczają się strefowo, jakby pasami, przy czym wyższe wartości temperatury wody obserwuje się wzdłuż zachodniego brzegu zbiornika. Po przemieszczeniu się w dół zbiornika na ponad 1/3 długości jego osi masy wody dostają się w zasięg oddziaływania siły ssącej przepustów w kierownicy, kierującej wodę do pomp elektrowni. W rezultacie zmienia się kierunek przepływu wody z północno-zachodniego na północny. Podobne ruchy wody opisał wcześniej Jankowski i Kuczera [8]. W obu przypadkach północno-zachodnia strefa zbiornika wyróżnia się jako część najspokojniejsza, najmniej podlegająca ruchom transferowym wody.

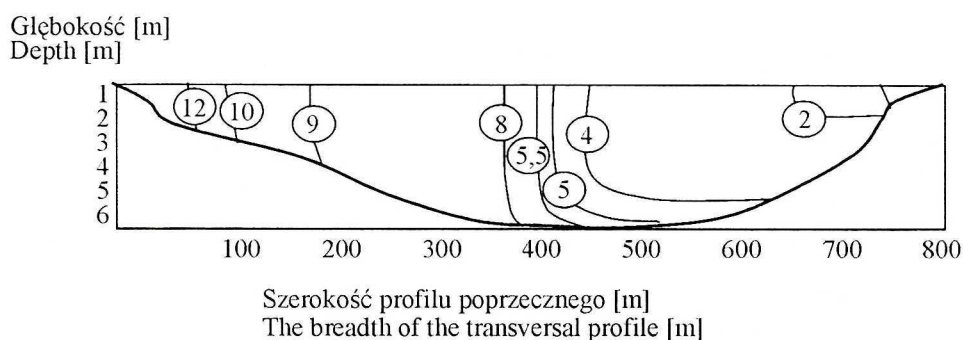
Należy podkreślić, że zdjęcia termowizyjne pozwalają na śledzenie temperatur warstwy powierzchniowej. Dlatego w tym samym czasie, co wykonywane zdjęcia termowizyjne prowadzono pomiary temperatury wody w profilach poprzecznych zbiornika: w części górnej, środkowej i zaporowej. Celem tych pomiarów było określenie pionowego rozkładu temperatur na tle temperatury powierzchniowej warstwy wody.

W okresie zimowym, kiedy mimo powierzchniowego zróżnicowania temperatur stwierdza się homotermię dla każdej ze stref termicznych, można zakładać, że fotografia termowizyjna ilustruje ruchy także głębszych warstw wody. W okresie letnim należy zakładać, że tak nie jest, i że mapa termowizyjna odzwierciedla ruch powierzchniowy. Potwierdzają to także pomiary profilowe, wykazujące szczególnie w strefie oddziaływania wód zrzutowych, pionowe zróżnicowanie temperatur sugerujące możliwość ślizgania się bardzo ciepłej warstwy powierzchniowej po chłodniejszych warstwach głębszych.

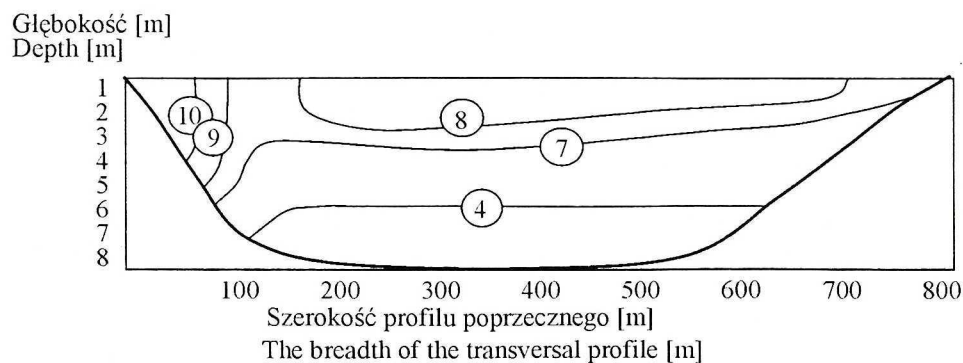
A – Strefa zrzutu wód podgrzanych – the hot waters zone



B – Strefa pelagiczna zbiornika – the pelagial zone



C – Strefa przyzaporowa zbiornika – the dam-zone

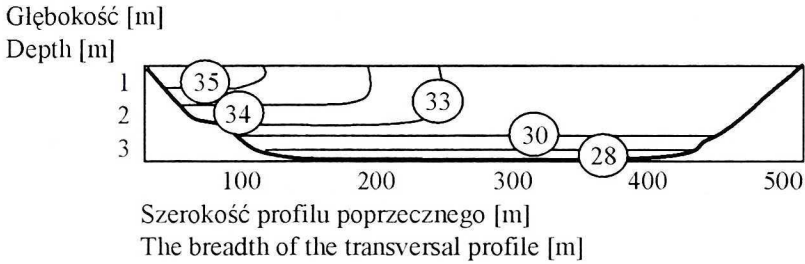


Rys. 3. Układy izoterm w profilach poprzecznych zbiornika Rybnickiego, styczeń 2003 r.  
The isotherms in transversal profiles on Rybnik dam reservoir, January 2003

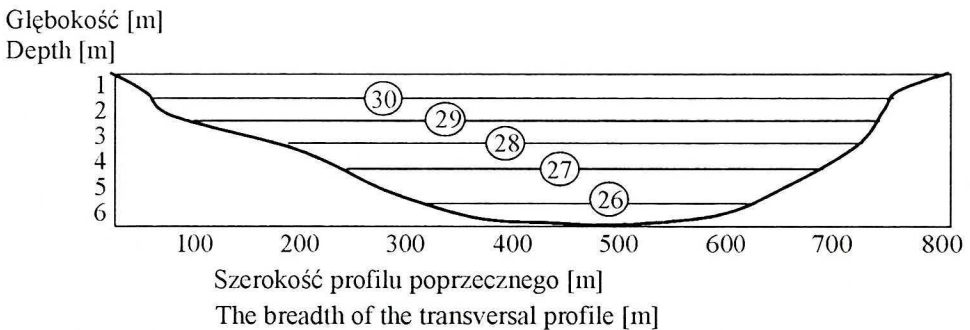
W pelagicznej i przyzaporowej strefie zbiornika w miesiącach letnich widoczna jest skłonność do stratyfikacji termicznej. Nie jest to tendencja silna, nie mniej można zakładać, że może ona mieć wpływ na wglębne ruchy mas wodnych.



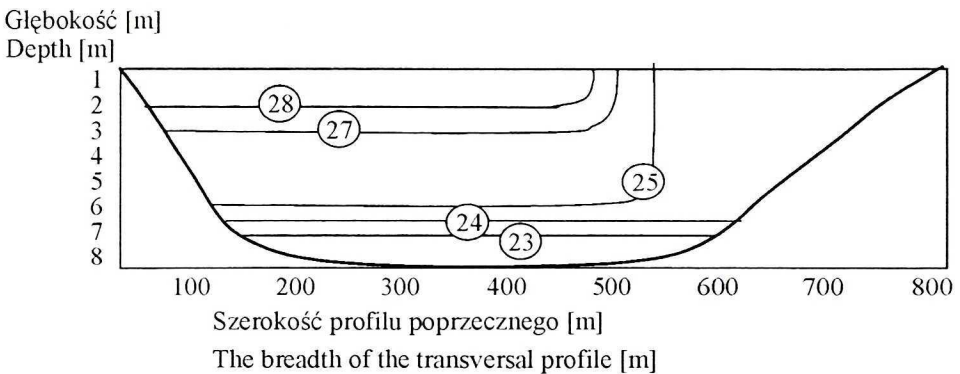
A – Strefa zrzutu wód podgrzanych – the hot waters zone



B – Strefa pelagiczna zbiornika – the pelagial zone



C – Strefa przyzaporowa zbiornika – the dam-zone



Rys. 4. Układy izoterm w profilach poprzecznych zbiornika Rybnickiego, lipiec 2003 r.  
The isotherms in the transversal profile on Rybnik dam-reservoir, July 2003

Jak wynika z wykresów (Rys. 3 i 4) w określonych partiach zbiornika oraz w pewnych okresach cyklu rocznego izotermi mają przebieg pionowy, w partiach sąsiednich poziomy. Uwidacznia to w pewnym stopniu cechę zbiorników zaporowych, jaką jest występowanie

w nich elementów ekosystemu potamicznego i limnicznego (rzeki i jeziora). Jednakże w badanym zbiorniku efekt ten spowodowany jest wyłącznie antropomiksją, czyli ruchem wód spowodowanych antropopresją.

## DYSKUSJA

Na zróżnicowanie przestrzenne czynników hydrodynamicznych w ekosystemach wodnych zwraca uwagę wielu autorów [4–11, 25, 27]. W warunkach silnej antropopresji ma ono charakter szczególny. Istotne jest, że wewnętrzny podział ekosystemu utrzymuje się przez znaczący okres czasu. Należy jednak dostrzegać także skutki ekologiczne tych zróżnicowań, w szczególności ich wpływ na alokację zanieczyszczeń wewnątrz ekosystemu [6].

Na specyfikę stosunków termiczno-tlenowych zbiornika Rybnickiego wskazywali Jankowski i Kuczera [8] i Kostecki [9–10]. Zwrócili oni uwagę m.in. na warstwowy przepływ mas wodnych, w tym wyższe temperatury warstwy powierzchniowej oraz na wślizgiwanie się wody zimnej pod warstwę wody podgrzanej. Wykonane w podczerwieni zdjęcia uwidaczniają rejonu zbiornika mogące, poza temperaturą, różnić się także szybkością przepływu wody. Na znaczenie wiedzy na temat prędkości liniowej przepływu, zarówno jako elementu transportu wewnętrznego, jak i ładunków zanieczyszczeń transferowanych z wody do osadów dennych, zwraca uwagę Szturc [27].

W przypadku zbiornika Rybnickiego pobór wody do celów technologicznych przez Elektrownię „Rybnik” oraz zrzut wód podgrzanych powoduje prądy wodne skutkiem czego masy wody przemieszczają się wewnątrz zbiornika. Należy przy tym podkreślić, że o ile przepływ wody określany jako obliczeniowy stosunek objętości zbiornika do wielkości dopływu (tj. jako czas retencji) wynosi około 100 dni, o tyle na przemieszczenie całej masy wody wewnątrz zbiornika pod wpływem procesu technologicznego elektrowni potrzeba zaledwie 6 dni. Porównanie to wskazuje, że czynniki antropopresji zdecydowanie dominują nad czynnikami naturalnymi.

Wpływ wód zrzutowych na przemieszczanie się mas wodnych obejmuje prawą (wschodnią) część masy zbiornika usytuowaną wzdłuż kierownicy. Krażenie wody wewnątrz zbiornika powoduje, że jego część lewa (zachodnia) stała się miejscem zwiększonej kumulacji metali ciężkich w osadach dennych. Potwierdził to Kostecki [9] badając ich przestrzenne rozmieszczenie.

Poziome (przepływ) oraz pionowe (miksja) ruchy mas wodnych pod wpływem czynników wynikających z antropopresji mogą ulegać specyficznej modyfikacji. Stosując metodę fotografii termowizyjnej można precyzyjnie wskazać obszary zróżnicowane termicznie. Co prawda pomiary w podczerwieni dostarczają informacji o temperaturze powierzchniowej warstwy wody, nie mniej tworzą one podstawę do dalszych badań.

## WNIOSKI

Na podstawie wyników badań sformułowano następujące wnioski:

1. Warunki hydrodynamiczne będące rezultatem antropopresji mogą powodować, że ekosystem limniczny staje się niejednorodny i przestrzennie zróżnicowany pod względem warunków hydrodynamicznych oraz, co za tym idzie, poszczególne partie

- zbiornika mogą różnić się znacznie pod względem stosunków termiczno-tlenowych.
2. W wyniku antropopresji w ekosystemie limnicznym powstają dodatkowe ruchy mas wodnych. Przykład Zbiornika Rybnickiego wskazuje, że wpływ antropopresji wyrażającej się wewnątrz zbiornikowym ruchem wody oraz skażeniem termicznym, wynikającymi z procesu technologicznego elektrowni jest silniejszy niż czynniki naturalne wynikające z lokalizacji i typu zbiornika.
  3. W odniesieniu do zjawiska mieszania mas wodnych zbiornika pod wpływem czynnika antropogenicznego w sytuacji, kiedy czynnik ten jest silniejszy niż czynniki naturalne wynikające z lokalizacji i typu zbiornika, autor proponuje stosowanie terminu „antropomiksja”.

#### LITERATURA

- [1] Aberg B., W. Rodhe: *Über die Milieufaktoren in einigen sudschwedischen Seen*, Symb. Bot. Upsal, V 3 (1942).
- [2] Allan J. D.: *Ekologia wód płynących*, (pod red. A. Prejsa), PWN, Warszawa 1998.
- [3] Berger F.: *Die Dichte natürlicher Wasser und die Konzentrationsstabilität in Seen*, Arch. f. Hydrobiol., Suppl. B, 22 (1955).
- [4] Boczar J.: *Model rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w zbiorniku wodnym na przykładzie jeziora Miedwie*, Archiwum Ochrony Środowiska, 3-4, 125–155 (1983).
- [5] Bujok R., R. Janikowski: *Wymiana wód w zbiornikach na przykładzie Dzierżna Dużego i Tresnej*, Archiwum Ochrony Środowiska, 3-4, 89–93 (1980).
- [6] Kajak Z.: *Hydrobiologia – Limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych*, PWN, Warszawa 1998.
- [7] Kajak Z.: *Eutrofizacja jezior*, PWN, Warszawa 1979.
- [8] Jankowski A.T., A. Kuczera: *Wpływ zrzutu wód podgrzanych na warunki termiczne, tlenowe i przezroczystość wody w Zbiorniku Rybnickim*, Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, nr 1300, 1–80 (1992).
- [9] Kostecki M., M. Major: *Termowizyjna fotografia jako metoda śledzenia wewnątrz zbiornikowych ruchów mas wodnych*, [w:] Materiały Konferencji Naukowej „Postęp w inżynierii środowiska”, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów – Polańczyk, 25–27 września 2003.
- [10] Kostecki M.: *Alokacja metali ciężkich w osadach dennych zbiornika Rybnickiego*, Archiwum Ochrony Środowiska, 2, 89–93 (2004).
- [11] Kostecki M.: *Alokacja i przemiany wybranych zanieczyszczeń w zbiornikach zaporowych Hydrowęzła rzeki Klodnicy i Kanale Gliwickim*, Prace i Studia IPIŚ PAN, 57, 1–125 (2003).
- [12] Kostecki M.: *Stosunki termiczno-tlenowe zbiornika zaporowego w Pławniowicach (województwo śląskie) po 23 latach eksploatacji*, Archiwum Ochrony Środowiska, 2, 97–124 (2001).
- [13] Lossow K.: *Jeziora – rekultywacja, przegląd metod*, Przegląd Komunalny, 9, 91–106 (2000).
- [14] Lossow K.: *Metody rekultywacji ekosystemów wodnych*, [w:] Materiały Konferencji Naukowej „Problemy zagospodarowania, ochrony i rekultywacji antropogenicznych zbiorników wodnych”, Zabrze, październik 1995.
- [15] Lossow K.: *Wpływ sztucznej destratyfikacji na układy fizyczno-chemiczne wód jeziora Starodworskiego*, Zesz. Nauk. ART Olsztyn, 11, 3–66 (1980).
- [16] Lossow K., H. Drozd, Cz. Mientki: *Termika i układy tlenowe w Jeziorze Długim, w Olsztynie*, Zesz. Nauk. ART Olsztyn, 9, 3–15 (1979).
- [17] Mientki Cz.: *Chemical properties of Kortowskie Lake waters after 18 years experiment on its restoration, Part I. Temperature and oxygen content of water*, Pol. Arch. Hydrobiol., 24 (1), 1–12 (1977).
- [18] Mientki C.: *Wpływ usuwania wód hypolimnionu na układy termiczne i tlenowe oraz zawartość związków azotu i fosforu w wodzie Jeziora Kortowskiego*, Acta Acad. Agricult. Techn. Olst., Suppl. A, 14, 1–55 (1986).
- [19] *Monografia zbiornika wodnego „Rybnik”*, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Zespół autorów: W. Kozłowski, M. Karaś, K. Fiedler, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1981.
- [20] Okulanis E.: *Intensywność mieszania się i wymiana wód w zespole Jezior Raduńsko-Ostrzyckich*, Zesz. Nauk. Wydz. Biol. i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Gdańskiego, 57, 57–71 (1976).

- [21] Olszewski P., J. Paschalski: *Wstępna charakterystyka limnologiczna niektórych jezior Pojezierza Mazurskiego*, Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Rolniczej w Olsztynie, 4, 1–110, (1959).
- [22] Olszewski P.: *Stopnie nasilenia wpływu wiatru na jeziora*, Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Rolniczej w Olsztynie, 4, 111–132 (1959).
- [23] Patalas K.: *Mieszanie wody jako czynnik określający intensywność krążenia materii w różnych morfologicznie jeziorach okolic Węgorzewa*, Roczniki Nauk Rolniczych, T-77, 1, 223–242 (1960).
- [24] Ruttner F.: *Untersuchungen über die biochemische Schichtung in einigen Ostalpseen*, Geogr. Jahresb. aus Osterreich, 16, Wien 1933.
- [25] Rzętała M.: *Bilans wodny oraz dynamika zmian wybranych zanieczyszczeń zbiornika Dzierżno Duże w warunkach silnej antropopresji*, Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, 1913, 1–175 (2000).
- [26] Starmach K., S. Wróbel, K. Pasternak: *Hydrobiologia – Limnologia*, PWN, Warszawa 1976.
- [27] Szturc J., G. Beblot: *Model rozchodzenia się zanieczyszczeń w rzekach rejonów uprzemysłowionych*, Archiwum Ochrony Środowiska, 1-2, 139–153 (1990).
- [28] Yoshimura S.: *A contribution to the knowledge of deep water temperatures of Japanese Lakes*, P.I.P. II. Japanese Journal of Astronomy and Geophysics, 13, 1–2 (1936).

Wpłynęło: 5 kwietnia 2004, zaakceptowano do druku: 30 lipca 2004.