

# WPLYW BUDOWLI WODNYCH NA WARUNKI TLENOWE W RZECE

## INFLUENCE OF WATER STRUCTURES ON OXYGEN IN RIVER

*Sławomir Bajkowski*

Katedra Budownictwa Wodnego

Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska

SGGW w Warszawie

### Wstęp

Zawartość tlenu w wodzie cieków płynących swobodnie, zależy od wielu czynników, wśród których wyróżnia się: temperaturę wody i otoczenia, powierzchnię styku wody z otaczającym ją powietrzem, intensywność turbulencji przepływu wynikającą z zaburzeń pola przepływu oraz od intensywność procesów biologicznych i chemicznych zachodzących w obszarze przepływu strumienia. Ilość wolnego tlenu w wodzie decyduje o zdolności samooczyszczania się cieków.

Proces rozpuszczania się tlenu w wodzie można przyspieszyć powodując dodatkowe zaburzenia przepływu lub doprowadzając powietrze do wnętrza obszaru przepływu. Napowietrzaniu strumienia towarzyszy zmiana jego parametrów hydraulicznych. Przy znacznym napowietrzaniu obserwuje się wzrost napętnienia, przez co zmniejszeniu ulega prędkość przepływu. Zjawisko to wykorzystuje się celem zmniejszenia prędkości przepływu na odcinkach kanałów o dużym spadku, tzw. pochylniach lub bystrzach.

Na większości cieków nizinnych charakteryzujących się niewielkimi spadkami podłużnymi, nie ma odcinków o zwiększonych spadkach, na których mogłoby następować samoczynne napowietrzanie się strumienia. Proces ten zachodzi więc wyłącznie na powierzchni styku wody i mas powietrza, lub też na lokalnych przeszkodach przepływu: kamieniach, karpach, nicciągłościach przekroju poprzecznego strumienia. Duże możliwości w tym zakresie stwarzają budowle wodne. Artykuł zawiera opis badań, celem których było określenie zmian zawartości tlenu w wodzie po przejściu przez budowle piętrzące.

### Rola i źródła tlenu w środowisku wodnym

Tlen jest pierwiastkiem decydującym o rozwoju organizmów w wodach rzek i zbiorników. Wody powierzchniowe wzbogacane są w tlen z atmosfery oraz w procesie fotosyntezy roślin. Proces fotosyntezy ma charakter okresowy a jego

nasilenie zależy od czynników zewnętrznych, szczególnie od nasłonecznienia. Intensywność przenikania tlenu w głąb zbiornika wodnego w spokojnej wodzie jest niewielka. Zjawisko to zachodzi gdy nasycenie wody tlenem jest mniejsze od możliwego nasycenia przy danej temperaturze i ciśnieniu. Mieszanie się mas wody spowodowane falowaniem, turbulencją lub prądami konwekcyjnymi przyspiesza proces natleniania wody nawet na znacznych głębokościach. Dużą rolę w natlenianiu wód rzek spełniają budowle hydrotechniczne np. elektrownie, jazy i upusty zbiornikowe.

Tlen w wodach powierzchniowych zużywany jest w procesach trwających nieustannie, niezależnie od warunków zewnętrznych. Do procesów takich zalicza się: oddychanie organizmów, gnicie szczątków organicznych, fermentację, utlenianie substancji organicznej. Zmniejszanie się zawartości tlenu rozpuszczonego w wodzie może następować również w wyniku wydzielania się go do atmosfery przy gwałtownych spadkach ciśnienia, gdy natlenienie wody jest większe od możliwego przy danej temperaturze i ciśnieniu. Rozpuszczalność tlenu w wodzie zależy od jej temperatury i ciśnienia.

W zbiornikach wód powierzchniowych zawartość tlenu podlega zmianom czasowym (dobowym, sezonowym) oraz może zmieniać się na głębokości i szerokości zbiornika. Intensywność tych zmian zależy od nasilenia procesów wzbogacania i zmniejszania tlenu w wodzie, na co znaczący wpływ ma żywność zbiornika, jego głębokość i typ zbiornika (Szczerbowski i inni 1993).

W wodach powierzchniowych naturalnych zawartość rozpuszczonego tlenu wynosi od 0 do 14 mg/dm<sup>3</sup> i rzadko przewyższa tą wartość. Dla wód powierzchniowych czystych procent nasycenia tlenem wynosi prawie 100%, nieznacznie zanieczyszczonych 80-95%, wyraźnie zanieczyszczonych 40-50%. Przy nasyceniu poniżej 30% następuje śnięcie ryb i zaburzenie funkcjonowania biocenozy zbiornika wodnego. Przy nasyceniu tlenem poniżej 20% życie biologiczne w wodzie prawie całkowicie zamiera. Dalszemu spadkowi towarzyszy dominacja procesów beztlenowych. Wody podziemne niższych poziomów wodonośnych tlenu nie zawierają.

Zmiany dobowe dotyczą raczej wierzchnich warstw (epilimionu). Gwałtowny spadek tlenu zachodzi w nocy, kiedy to zahamowany jest proces fotosyntezy. Maksymalną zawartość tlenu obserwuje się w godzinach popołudniowych, minimalną wczesnym rankiem.

Najwyższą zawartość tlenu i najmniejsze zróżnicowanie w masie wody charakteryzuje się okres wiosenny. Latem stężenie tlenu w wodach jezior w górnej warstwie (epilimionie) mieści się w przedziale 8-10 mg/dm<sup>3</sup> (nasycenie 90-110%). W okresie dziennym może wzrastać do 200%. W metalimionie i hypolimionie zawartość tlenu obniża się tym intensywniej im żyźniejszy jest zbiornik. Wyróżnia się następujące podstawowe krzywe rozkładu tlenu na głębokości zbiorników wodnych: ortogradową, heterogradową dodatnią, heterogradową ujemną, klonogradową.

W głębszych zbiornikach wód stojących, zawartość tlenu jest niższa niż w wodach płynących i zależy od naturalnego uwarstwienia wody oraz stopnia ich

zanieczyszczenia. Rozkład tlenu w takich zbiornikach zmienia się z sezonowym przemieszaniem mas wodnych. Biorąc pod uwagę zawartość tlenu w różnych warstwach wody, wyróżnia się zbiorniki (jeziora): oligotroficzne - bogate w tlen w całej masie wody, eutroficzne - o zmniejszającej się z głębokością zawartością tlenu i dystroficzne - o niskim budżecie tlenowym na wszystkich poziomach (Szczerbowski i inni 1993).

Niewielkim zróżnicowaniem zawartości tlenu na głębokości charakteryzują się zbiorniki płytkie. Spadek jego ilości występuje w krótkim okresie lata, oraz zimy szczególnie gdy pokryte są one lodem i śniegiem. Niekorzystne jest zaleganie śniegu na pokrywie lodowej. Śnieg uniemożliwia nasłonecznienie wody; 12,5 cm warstwa śniegu pochłania 97-99% promieni słonecznych. Brak światła znacznie ogranicza proces fotosyntezy, jedyne w tych warunkach źródła tlenu.

Największe zróżnicowanie zawartości tlenu w zbiornikach występuje przy brzegach silnie porośniętych roślinnością; w strefie litoralu. W miarę oddalania się od brzegu amplituda dobowa wahań zawartości tlenu w wodzie maleje. Wzrasta zaś przeciętne dobowe stężenie tlenu.

Jedną z głównych przyczyn zmniejszania się zawartość tlenu w wodach zbiorników i jego dyslokacji w masie wody jest ich zanieczyszczenie. Zbiorniki wód powierzchniowych dążą do utrzymywania warunków środowiska w stanie naturalnym w procesie samooczyszczania. Jest to niezwykle skomplikowany proces pozbywania się zanieczyszczeń, zależny od wielu parametrów strumienia wody. Podstawowym warunkiem jego przebiegu jest odpowiednia zawartość tlenu w wodzie. Proces samooczyszczania zachodzi na dwóch płaszczyznach:

- sedymentacji cięższych od wody zawiesin oraz wymieszanie lżejszych zanieczyszczeń z wodą,
- biochemicznej mineralizacji związków organicznych.

### **Metodyka badań**

W odniesieniu do małych budowli piętrzących można założyć, że na długości odcinka pomiarowego rozciągającego się od przekroju piętrzenia do przekroju poniżej budowli, decydujący wpływ na zawartość tlenu w wodzie ma sposób przepuszczenia wody przez budowle. Inne czynniki np. temperatura, ciśnienie atmosferyczne pozostają stałe lub ulegają tylko nieznacznym zmianom. Wpływ fauny i flory na zawartość rozpuszczonego tlenu w wodzie przy krótkim czasie trwania pomiarów przyjęto za mało znaczące. Nie uwzględniano również czynników biorących udział w procesie samooczyszczania się rzeki np. wpływu osadów dennych. Na obiektach badawczych poniżej, których występowały mało zasobne w tlen dopływy boczne np. z wylotów drenarskich, rowów przydrożnych, odcinek pomiarowy obejmował również te dopływy. Na długości odcinka pomiarowego wyróżniono dwa obszary charakteryzujące się różnymi warunkami przepływu:

- obszar wody górnej, powyżej przekroju piętrzenia charakteryzujący się znacznymi głębokościami wody, małymi prędkościami przepływu oraz niewielką turbulencją strumienia. W stanowisku górnym pomiary wykonywano w jednym pionie, położonym w środkowej części przekroju strumienia, na kilku poziomach zależnie od głębokości wody.
- obszar poniżej przekroju piętrzenia, na długości którego tuż poniżej przekroju piętrzenia zachodzi intensywne napowietrzanie się strumienia, w powstającym tam odskoku hydraulicznym. Z biegiem cieku zachodzi zjawisko rozpuszczania się w wodzie tlenu dostającego się w obszar przepływu w pęcherzykach powietrza. Jednocześnie pęcherzyki powietrza w miarę oddalania się od odskoku hydraulicznego wypływają ku górze i pękają na powierzchni zwierciadła wody. Procesy te, o ile nie ma poniżej niecki dodatkowych elementów zaburzających, z biegiem rzeki zanikają. W obszarze tym zachodzi zróżnicowanie zawartości tlenu, nie tylko na długości rzeki ale i w przekroju poprzecznym strumienia.

Rozkład zawartości tlenu w przekroju strumienia wynika ze zróżnicowania intensywności przepływu przez budowle, jak też z występowania dodatkowych przeszkód kierujących niesymetrycznie strumień w dolne stanowisko. Stopień zwiększania się zawartości tlenu poniżej budowli zależy od natężenia przepływu wody przez zamknięcia, które to wynika ze stopnia otwarcia poszczególnych zamknięć lub też szczelności tych zamknięć. Do innych czynników zaliczyć można: wysokość spadu, typ zamknięć oraz rodzaj urządzeń do rozpraszania energii. W starszych, częściowo uszkodzonych obiektach, woda przepływa często w sposób niekontrolowany, przez zniszczone zamknięcia. Do przeszkód powodujących niesymetryczny przepływ wody w dolnym stanowisku zalicza się powstające tam mielizny, wystające z dna elementy konstrukcji lub pozostawione w korycie rzeki elementy starych budowli. W większości badanych obiektów, występujące w dolnym stanowisku głębokości nie były duże, stąd też pomiar zawartości tlenu wykonywano wyłącznie w przypowierzchniowej warstwie wody na głębokości 0,15 m pod zwierciadłem wody. Pomiary wykonywano po obu stronach rzeki (przy prawym i lewym brzegu) na długości jazu i poniżej. W przypadku występowania w korycie rzeki dodatkowych miejsc napowietrzania lub dopływów bocznych, pomiary odpowiednio zagęszczano. W punkcie pomiarowym mierzono temperaturę wody i wykonywano pięciokrotnego pomiaru zawartości tlenu w  $\text{mg O}_2/\text{dm}^3$ . Na każdym jazie mierzono szerokości otworów przelewowych, określano rzędne zwierciadła wody górnej i dolnej oraz położenie zamknięć.

### **Analiza wyników badań**

Do badań terenowych wybrano budowle wodne posiadające typowe urządzenia piętrzące. W wyborze budowli do badań kierowano się typem zamknięć i wysokością piętrzenia. W efekcie wybrano 6 jazów piętrzących:

- na rzece Jeziorce w miejscowościach: Konstancin-Jeziorna (obiekt I), Jazgarzew (obiekt II), Zawodne (obiekt III), Lesznowola (obiekt IV),



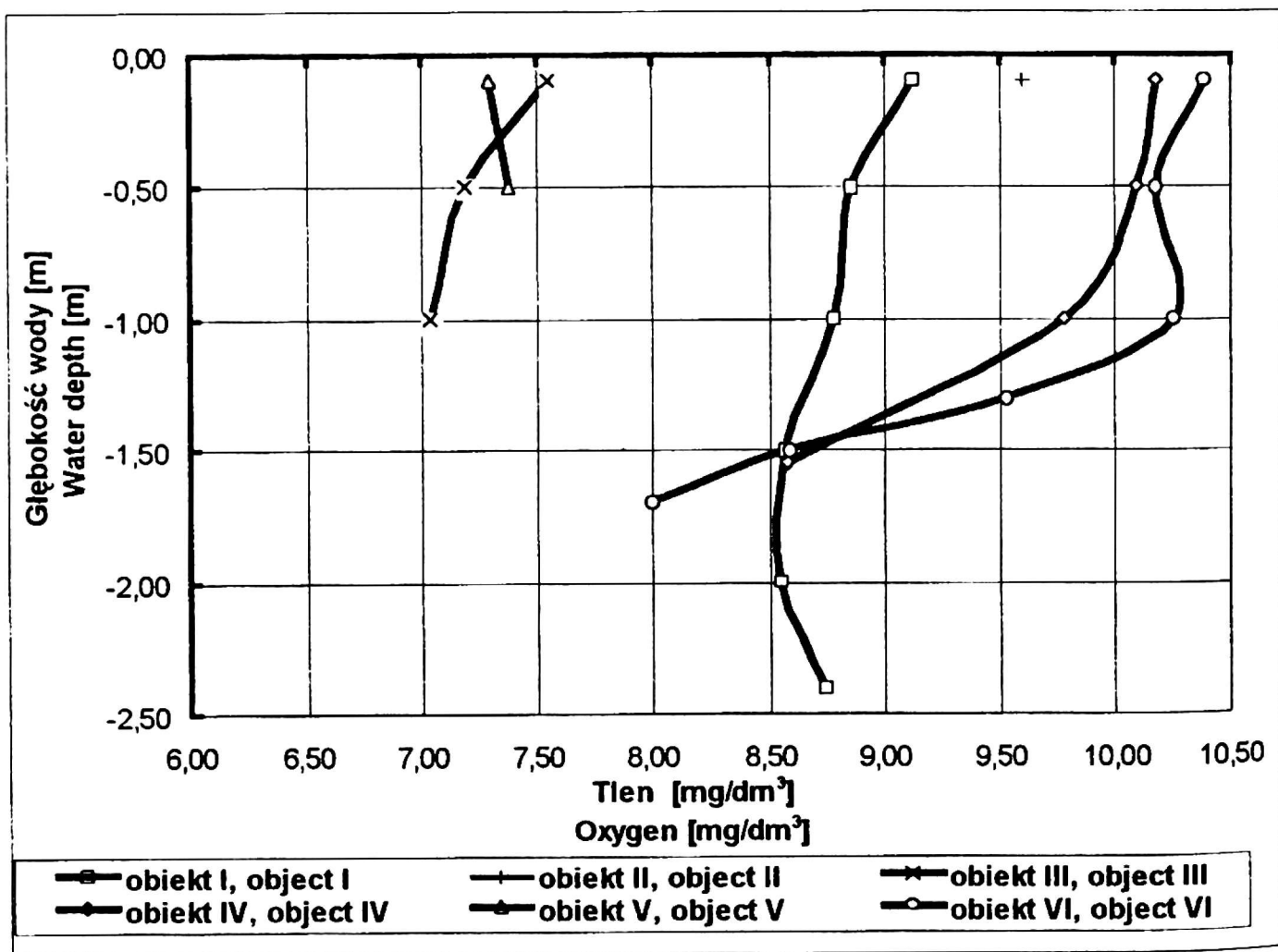
- na Kanale Łasica w miejscowości Elżbietów (obiekt V),
- na rzece Wildze w miejscowości Wilga (obiekt VI),

Wartości natężeń przepływu i spadki na badanych jazach wynosiły:

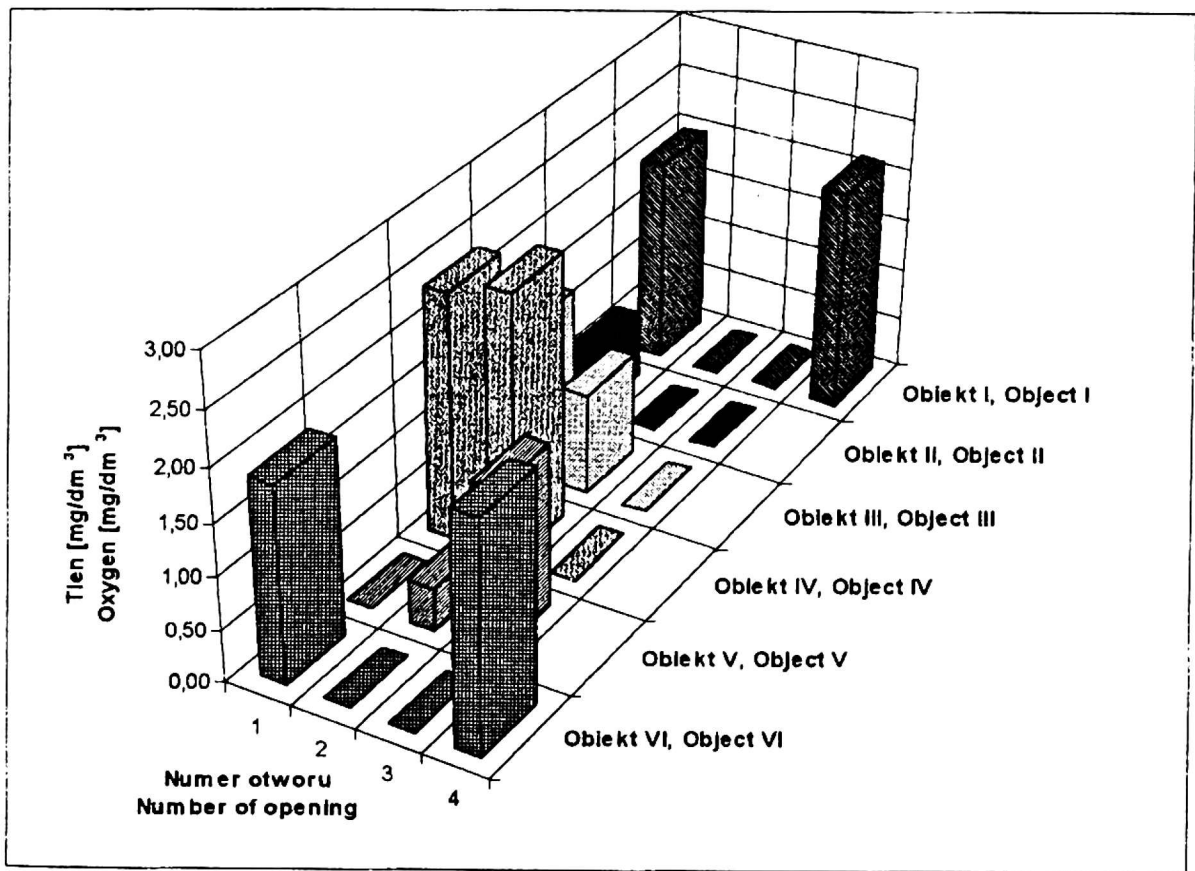
- Konstancin-Jeziorna - 1 otwór 0,75 m<sup>3</sup>/s, 4 otwór 0,63 m<sup>3</sup>/s, spadek 2,55 m.
- Jazgarzew - 1 otwór 0,68 m<sup>3</sup>/s, spadek 0,66 m.
- Zawodne - 1 otwór 0,71 m<sup>3</sup>/s, 2 otwór 0,28 m<sup>3</sup>/s, spadek 0,67 m.
- Lesznówola - 1 otwór 0,09 m<sup>3</sup>/s, 2 otwór 0,05 m<sup>3</sup>/s, spadek 1,70 m.
- Elżbietów - 2 otwór 0,02 m<sup>3</sup>/s, 3 otwór 0,45 m<sup>3</sup>/s, spadek 0,65 m.
- Wilga - 1 otwór 0,09 m<sup>3</sup>/s, 4 otwór 0,48 m<sup>3</sup>/s, spadek 2,0 m.

Zawartość tlenu wyrażona w mg/dm<sup>3</sup> w górnych stanowiskach badanych budowli jest zróżnicowana (rys. 1). Zauważa się ogólną tendencję zmniejszania się zawartości tlenu z głębokością. Zdecydowana zależność głębokości na zawartość tlenu występuje na obiektach VI (Wilga) i IV (Lesznówola). Na pozostałych jazach ilość tlenu w wodzie nie ulegała tak dużym zmianom na głębokości. W czasie trwania pomiarów temperatura wody zmieniała się niewiele.

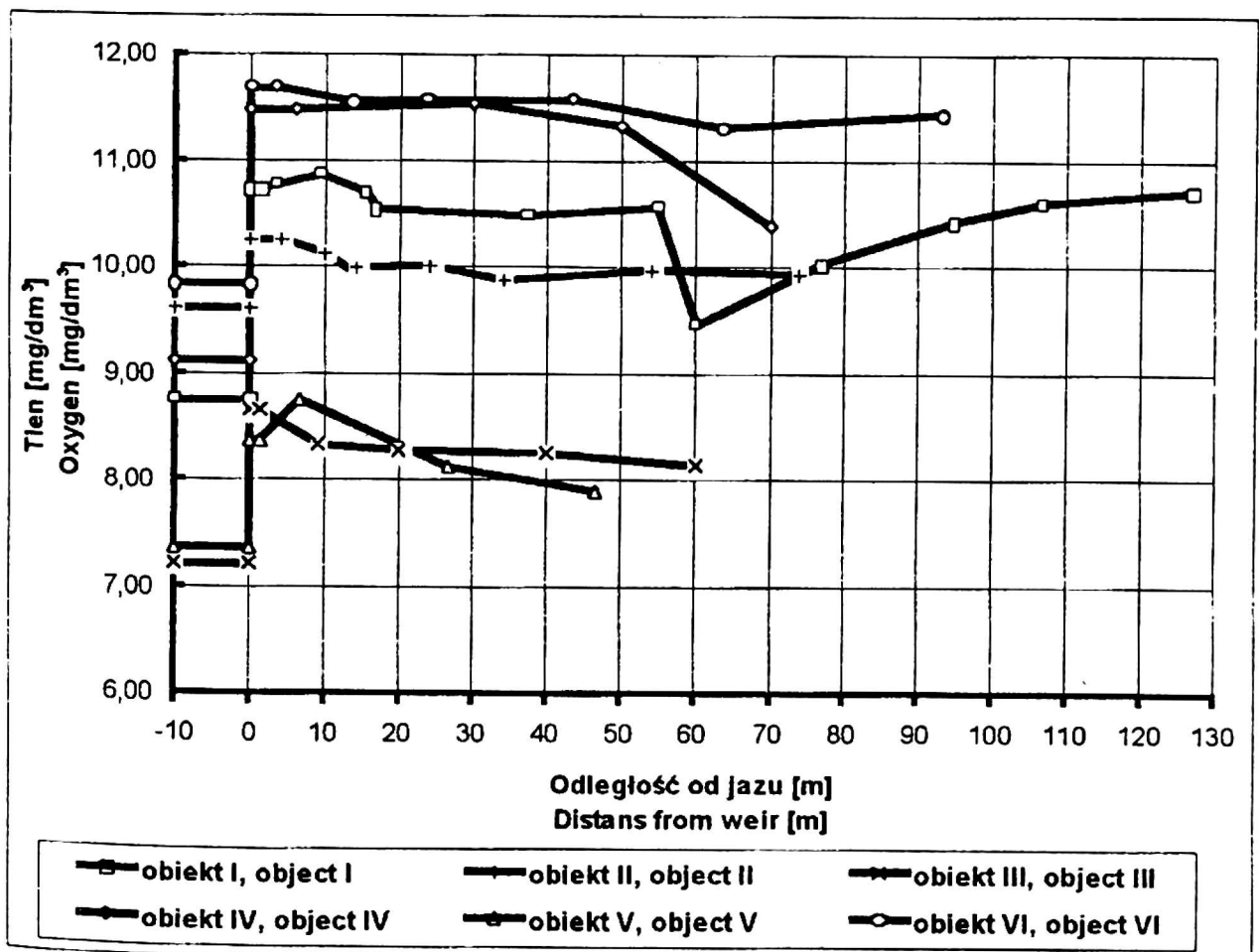
Po przelaniu się wody przez urządzenia piętrzące nastąpił wzrost zawartości tlenu. Wpływ na wielkość tego wzrostu miały: różnica poziomów wody, natężenie i warunki przepływu oraz formy strumienia powstające poniżej zamknięć. Na rys. 2 pokazano wzrost zawartości tlenu na poszczególnych zamknięciach badanych jazów; jako różnicę wartości pomierzonych w wodzie dolnej i górnej, wyrażoną w mg/dm<sup>3</sup>. Otwory jazowe dla których podano zerowe przyrosty zawartości tlenu w czasie pomiaru były zamknięte i nie przepływała przez nie woda. Zmienność zawartości tlenu na długości odcinka pomiarowego pokazano na rys. 3. Są to wyniki pomiarów wykonanych na głębokości 0,15 m wzdłuż lewego brzegu rzeki. Zawartość rozpuszczonego tlenu w wodzie dolnej zmniejsza się w miarę oddalania się od budowli. Ilość rozpuszczonego tlenu w wodzie dolnej na długości odcinków pomiarowych była na wszystkich jazach większa niż w wodzie górnej. Znaczący spadek zawartości tlenu wystąpił na obiekcie I (Konstancin) w okolicach ujścia do rzeki wód z terenów zawala. Zaobserwowano nieznaczny wpływ nierównomierności przepływu na rozkład zawartości tlenu poniżej jazów. Zależność ta przy wykonaniu tylko badań brzegowych nie jest jednak wyraźna.



Rys. 1. Zmienność zawartości tlenu na głębokości wody górnej.  
 Figure 1. Distribution of oxygen in depth of headwater.



Rys. 2. Wzrost zawartości tlenu poniżej zamknięć badanych jazów.  
 Figure 2. Increase of oxygen in downstream water below weirs.



Rys. 3. Rozkład zawartości tlenu w stanowiskach dolnych badanych jazów.  
 Figure 3. Oxygen distribution profile along downstream water.

## Podsumowanie

Budowle wodne stwarzają dogodne warunki sprzyjające wzrostowi zawartości tlenu w wodzie rzek. Przyrost zawartości tlenu na budowli piętrzącej zależy od stopnia nasycenia wody tlenem, jej temperatury i ciśnienia, rodzaju zamknięć i warunków przepływu oraz parametrów hydraulicznych strumienia (natężenia przepływu, spadu). Wzrost zawartości tlenu w wodzie poniżej budowli piętrzących występuje na znacznym odcinku stanowiska dolnego. W celu dokładnego określenia rozkładu zawartości tlenu w przekroju poprzecznym rzeki należały wykonać pomiary w przekrojach poprzecznych rzeki na różnych głębokościach. Istnieje wyraźny wpływ na zawartość tlenu w przypowierzchniowej warstwie, bocznych dopływów charakteryzujących się niewielką zawartością tlenu.

## Literatura

- [1] GOMÓŁKOWIE B., E. 1992. *Ćwiczenia laboratoryjne z chemii wody*. Politechnika Wroclawska, Wrocław.
- [2] KRZEKOWSKA M., KRZYSZTOFIK B. 1993. *Ćwiczenia laboratoryjne z podstaw chemii ogólnej i środowiska przyrodniczego*. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- [3] RÖSCH T., TÖNSMANN F. 1997. *Sauerstoffanreicherung in Wasserkraftanlagen unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten Verfahrensweisen und Empfehlungen*. Materialien Band 6/1997. Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft Universität Gh Kassel, 91 ss.
- [4] SZCZERBOWSKI J., A. i inni 1993. *Rybactwo śródlądowe*. Instytut Rybactwa Śródlądowego im. Stanisława Sakowicza, Olsztyn, 568 ss.

## Summary

**Influence of Water Structures on Oxygen in River.** The oxygen distributions in upstream and downstream water is presented. Several parameters can influence oxygen uptake at drop structures. Drop height, shape of the gate, water flow rate, headspace ventilation rate, and tailwater depth are the most important parameters. The capacity dissolved oxygen decreased on depth of headwater. In tailwater the capacity dissolved oxygen increased on all weirs.

Sławomir Bajkowski  
Katedra Budownictwa Wodnego  
Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska  
SGGW w Warszawie  
02-787 Warszawa  
ul. Nowoursynowska 166