

*Jolanta Dąbrowska, Krzysztof Lejcuś*

## **CHARAKTERYSTYKA OSADÓW DENNYCH ZBIORNIKA DOBROMIERZ**

### ***CHARACTERISTICS OF BOTTOM SEDIMENTS OF THE DOBROMIERZ RESERVOIR***

#### ***Streszczenie***

W pracy przedstawiono wyniki badań osadów dennych zbiornika Dobromierz. Zbiornik ten został oddany do eksploatacji w 1986 r., jest użytkowany jako zbiornik wody pitnej, pełni funkcję przeciwpowodziową. Zbiornik usytuowany jest w północnej części zlewni, w przełomowym odcinku rzeki Strzegomki, w 62 km jej biegu.

W próbach osadów dennych oznaczono: azotany, azotyny, azot amonowy, azot organiczny, fosforany, fosfor ogólny. Wykonano również analizy mikrobiologiczne pobranych osadów. Założono hodowle bakterii nitryfikacyjnych i denitryfikacyjnych. Przeprowadzono analizę osadów w mikroskopie elektronowym. Wykonano serię zdjęć osadów.

Na podstawie wyników badań można stwierdzić, że swoim uziarnieniem osady odpowiadają glinom pylastym i glinom pylastym zwięzłym. W składzie mineralogicznym dominują krzemiany i glinokrzemiany – osady denne zbiornika Dobromierz można zaliczyć do typu krzemianowego. W osadach zachodzi proces denitryfikacji. Stwierdzono wielokrotnie wyższe stężenie fosforanów w osadach dennych w porównaniu ze stężeniami w wodzie przydennej. Różnica stężeń powoduje przechodzenie fosforanów z osadów do wód naddennych. Proces w czasie, gdy prowadzono badania nie powodował przyspieszenia tempa eutrofizacji zbiornika.

**Słowa kluczowe:** eutrofizacja, osady denne

#### ***Summary***

*The study presents the results of tests on the bottom sediments of the Dobromierz Reservoir. The reservoir was put into operation in 1986; it is used as flood reservoir and drinkable water reservoir. It is located in the northern part of the catchment of Strzegomka river.*

*In the bottom sediment samples the following substances were determined: nitrates, nitrites, ammonium nitrogen, organic nitrogen, phosphates, and phosphorus. The authors also conducted microbiological analyses of the collected sediments. Cultures of nitrifying and denitrifying bacteria were started. The sediments were analyzed with use of electron microscope. A series of photographs documenting the composition of the sediments were taken.*

*The test results enable us to claim that the grain size distribution of the sediments is equivalent to that of silty loam and silty clay loam. The mineralogical composition is dominated by silicates and aluminosilicates – bottom sediments of the Dobromierz reservoir can be classified to the silicate category. The process of denitrification takes place in the sediments. Significantly higher content of phosphates was found in the bottom sediment than in the benthic waters. The difference in the content in benthic waters and in the sediments causes internal phosphorus loading. During the analyzed period, this process did not cause the acceleration of the eutrophication of the reservoir.*

**Key words:** eutrophication, bottom sediments

## WSTĘP

Osady dennie zwykle zawierają większość zgromadzonego w zbiorniku ładunku azotu i fosforu. Tylko w 10 cm warstwie osadów może znajdować się ponad 90% fosforu zawartego w zbiorniku. W przeważającej części przypadków związki biogenne są uwalniane z osadów do wód zbiornika bardzo powoli [Kajak 2001].

Główne mechanizmy przekazywania substancji z osadów dennych do wód powierzchniowych to:

- wydzielanie do wód powierzchniowych w warunkach beztlenowych oraz tlenowych,
- resuspensja [Kajak 2001].

Związki organiczne i nieorganiczne formy fosforu ulegają w osadach dennych przekształceniu w ortofosforany, a związki azotu w jon amonowy, azotynowy lub azotanowy. Ich wymiana z wodą zbiornika może zachodzić na drodze chemicznej lub mikrobiologicznej. W osadach istnieje cienka warstwa (od kilku milimetrów do kilku centymetrów), w której dominują procesy beztlenowe z udziałem bakterii. Rozkład materii organicznej przez bakterie jest zwykle podstawowym mechanizmem zasilania wewnętrznego zbiornika w substancje pokarmowe. Po przekroczeniu dopuszczalnego dla określonego zbiornika ładunku nutrientów uruchamiany jest tzw. proces zasilania albo importu wewnętrznego, polegający na uwalnianiu nutrientów, zwłaszcza fosforanów zgromadzonych w osadach dennych. W takiej sytuacji nawet radykalne ograniczenie dopływu nutrientów z terenu zlewni nie przynosi szybkich zmian w postaci likwidacji zakwitów glonów. Zbiornik jest „samowystarczalny”. Niezbędne ilości fosforu pochodzą bowiem z osadów [Wiśniewski 1995, O’Sullivan i Reynolds 2004].

Ilość fosforu kumulowanego trwale w osadach dennych, która jest różnicą między ilością tego pierwiastka docierającego do osadów i uwalnianego do toni wodnej, jest wyrazem sprawności „mechanizmów obronnych” zbiornika wodnego. Natomiast różnica między ilością fosforu docierającego do zbiornika, a jego ilością trwale skumulowaną w osadach dennych jest jedną z wielkości wyznaczających tempo eutrofizacji. Ocenia się, że od 10 do 80% fosforu dopływającego rocznie do zbiornika jest kumulowane w osadach dennych [Kentzer 2001].

### METODYKA I OPIS BADAŃ

Badania przeprowadzono na osadach dennych zbiornika Dobromierz. Zbiornik ten został oddany do eksploatacji w 1986 r., jest użytkowany jako zbiornik wody pitnej, pełni także funkcję przeciwpowodziową. Zbiornik usytuowany jest w północnej części zlewni, w przełomowym odcinku rzeki Strzegomki w 62 km jej biegu.

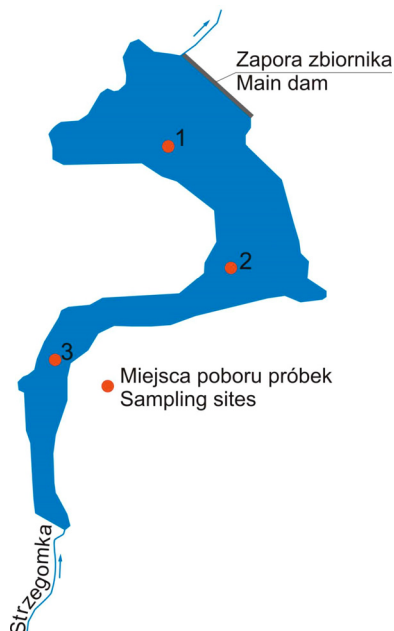
Podstawowe parametry zbiornika są następujące [Instrukcja... 2002, Zbiornik... 1982]:

- normalna wysokość piętrzenia NPP 25,50 m
- średnia głębokość zbiornika przy NPP 10,00 m
- powierzchnia zalewu przy NPP 103,00 ha
- pojemność zbiornika przy NPP 10,00 mln m<sup>3</sup>
- SSQ 0,781 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>
- przepływ nienaruszalny  $Q_n=0,150 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
- przepływ dyspozycyjny dla Zakładu Obsługi Komunalnej Urzędu Gminy w Dobromierzu  $Q_{gw}=0,030 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
- przepływ dyspozycyjny dla Zakładu Wodociągów i Kanalizacji w Świebodzicach  $Q_{gw}=0,140 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$

Próbki osadów pobrano w 3 przekrojach pomiarowych. Głębokości, z których pobrano osady wynosiły od 1,5 do 20 m poniżej zwierciadła wody. Probki pobierano do specjalnie w tym celu wykonanych próbników własnej konstrukcji, umożliwiających pobranie osadów o niemal nienaruszonej strukturze, zamykanych pod wodą. W osadach oznaczono: azotany, azotyny, azot amonowy, azot organiczny, fosforany, fosfor ogólny.

Aniony oznaczono na chromatografie jonowym HPLC. Kation amonowy oznaczono metodą kolorymetryczną na fotometrze Photolab S12. Azot organiczny oznaczono metodą kolorymetryczną na autoanalizerze II, po uprzedniej mineralizacji na bloku mineralizacyjnym Kjeldatherm KB20.

Wykonano również analizy mikrobiologiczne pobranych osadów. Założono hodowle bakterii nityfikacyjnych i denityfikacyjnych. Oznaczeń dokonano metodą rozcieńczeń McCrad'ego [Paluch 1973]. Analizy zostały wykonane w Katedrze Mikrobiologii Rolniczej UP we Wrocławiu.



**Rysunek 1.** Zbiornik wodny Dobromierz  
**Figure 1.** Dobromierz water reservoir

Analizy uziarnienia metodą areometryczną Casagrande’a w modyfikacji Prószyńskiego wykonano w Laboratorium Geotechnicznym Instytutu Inżynierii Środowiska UP we Wrocławiu zgodnie z PN B 04481:1988.

W ostatnim etapie badań przeprowadzono analizy osadów w Pracowni Mikroskopii Elektronowej Wydziału Biologii i Hodowli Zwierząt UP we Wrocławiu. Wykonano serię zdjęć dokumentujących skład gatunkowy okrzemek oraz struktur tworzących osady.

### WYNIKI BADAŃ Z DYSKUSJĄ

Badane osady były mocno uwodnione. Miąższość osadów w części środkowej zbiornika i przy zaporze nie przekraczała 30 cm, w punkcie poboru próbek nr 3, najbliżej ujścia Strzegomki wynosiła około 100 cm. Analiza uziarnienia wykazała, iż są to osady o uziarnieniu odpowiadającym glinom pylastym i glinom pylastym zwięzłym.

Wyniki wybranych oznaczeń prób osadów dennych przedstawiono w tabeli 1, w której podano wartości średnie dla każdej próby. Zbliżone wartości azotu organicznego dowodzą, iż materia organiczna deponowana jest na całej długości zbiornika. Wysokie stężenia jonu amonowego są wynikiem intensywnego

nie zachodzących procesów denitryfikacji i amonifikacji. Niskie stężenia azotanów oraz istotna obecność azotynów potwierdzają, iż proces denitryfikacji zachodzi w osadach intensywnie. Zawartość azotu w badanych osadach mieści się pomiędzy wartościami 1,30-1,50 g·kg<sup>-1</sup> uzyskanymi dla zbiornika Besko a 2,06-2,44 g·kg<sup>-1</sup> dla zbiornika Dobczyce, jest znacznie mniejsza od wartości uzyskanych dla osadów jezior Dołgie Wielkie 2,2-14,4 g·kg<sup>-1</sup> i Gardno 12,4 g·kg<sup>-1</sup> [Trojanowski i Antonowicz 2005, Baran i in. 2011].

**Tabela 1.** Wyniki oznaczeń chemicznych osadów dennych zbiornika Dobromierz  
**Table 1.** Results of chemical analysis of the bottom sediments in Dobromierz reservoir

| Miejsce pobrania próbki<br>Sampling site | P<br>[g·kg <sup>-1</sup> s.m.]<br>[g·kg <sup>-1</sup> d.m.] | N <sub>org</sub><br>[g·kg <sup>-1</sup> s.m.]<br>[g·kg <sup>-1</sup> d.m.] | NH <sub>4</sub><br>[mg·kg <sup>-1</sup> s.m.]<br>[mg·kg <sup>-1</sup> d.m.] | PO <sub>4</sub><br>[mg·kg <sup>-1</sup> s.m.]<br>[mg·kg <sup>-1</sup> d.m.] | NO <sub>3</sub><br>[mg·kg <sup>-1</sup> s.m.]<br>[mg·kg <sup>-1</sup> d.m.] | NO <sub>2</sub><br>[mg·kg <sup>-1</sup> s.m.]<br>[mg·kg <sup>-1</sup> d.m.] |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 1                                        | 0,84                                                        | 1,60                                                                       | 10,54                                                                       | 2,30                                                                        | 3,41                                                                        | 0,14                                                                        |
| 2                                        | 0,91                                                        | 1,92                                                                       | 15,83                                                                       | 2,17                                                                        | 4,75                                                                        | 0,11                                                                        |
| 3                                        | 0,65                                                        | 1,81                                                                       | 17,73                                                                       | 1,60                                                                        | 4,51                                                                        | 0,05                                                                        |

Stwierdzono występowanie zasadniczej różnicy pomiędzy stężeniami fosforanów w osadach dennych i wodzie przydennej. W okresie badań stężenia fosforanów w wodzie przydennej wahały się w zakresie 0,20-0,37 mg PO<sub>4</sub>·dm<sup>-3</sup> [Lejcuś 2003]. Stężenia w osadach były wielokrotnie wyższe. Różnica stężeń pomiędzy wodą przydenną i osadami powoduje przechodzenie fosforanów z osadów do wód naddennych. Ilości fosforanów uwalnianych w wyniku tego procesu są jednak bardzo zróżnicowane i zależą od warunków chemicznych, fizycznych i biologicznych [Kajak 2001]. Wartości stężeń fosforanów w wodzie przydennej dowodzą, iż fosfor występuje w osadach głównie w postaci związków immobilnych, prawdopodobnie w połączeniu z jonami żelaza, glinu i manganu. Podobne wartości stężeń fosforanów uzyskał Wiśniewski [1995] badając osady hipertroficznego jeziora Gutowo koło Brodnicy. Zawartość fosforu jest nieco niższa od wartości uzyskanych dla jeziora Dołgie Wielkie – średnio 1,0 g·kg<sup>-1</sup> [Trojanowski i Antonowicz 2005].

Kompleksowe badania jakości wód przeprowadzone dla zbiornika Dobromierz [Lejcuś 2003], dowodzą, że proces zasilania wewnętrznego nie powodował przyspieszenia tempa eutrofizacji zbiornika. Intensywność eutrofizacji zbiornika Dobromierz jest mniejsza niż wskazuje na to zawartość w nim związków biogennych. Jest to efektem występowania wysokich stężeń azotynów, przedostawania się wraz z erodowaną glebą związków próchnicznych, stałego zarybiania zbiornika, dopływu do zbiornika zimnych wód roztopowych oraz jego specyficznego kształtu.

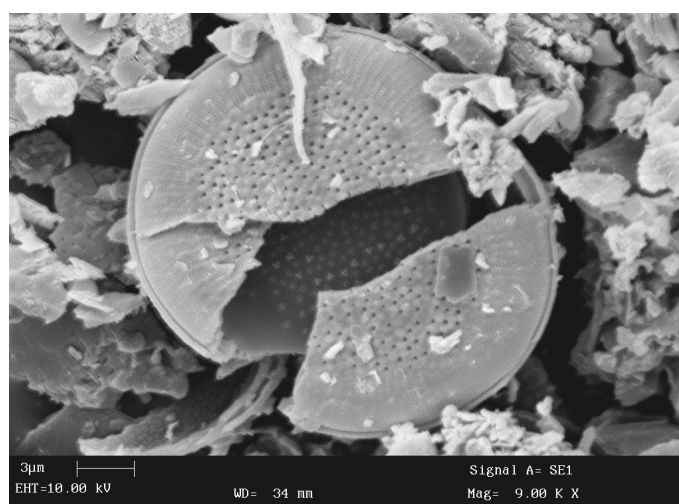
Badania bakteriologiczne wykazały obecność dużych ilości bakterii denitryfikacyjnych i tylko śladową obecność bakterii nitryfikacyjnych w osadach

zbiornika Dobromierz. Świadczy to o tym, że w zbiorniku zachodzi proces denitryfikacji. Wyniki przedstawiono w tabeli 2.

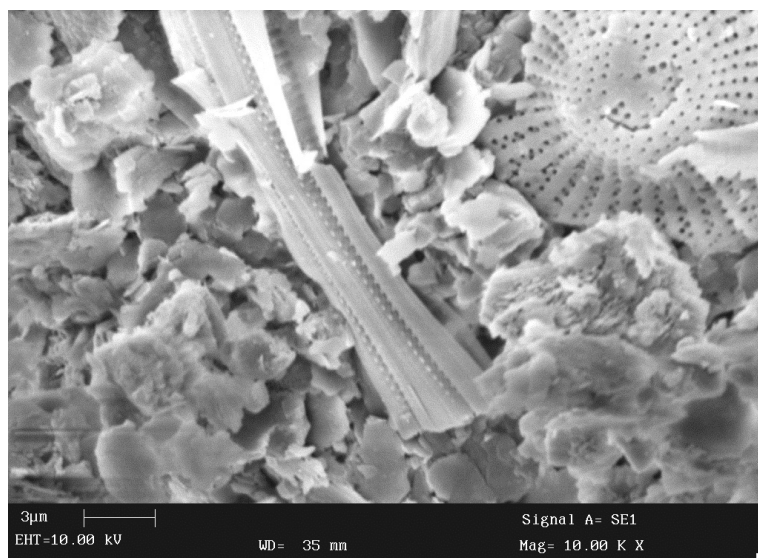
**Tabela 2.** Wyniki badania bakteriologicznego osadów dennych zbiornika  
**Table 2.** Results of microbiological analysis of the bottom sediments  
in Dobromierz reservoir

| Proces<br>Process                 | Próbka 1<br>[bakterii·g <sup>-1</sup> ]<br>[bacteria·g <sup>-1</sup> ] | Próbka 2<br>[bakterii·g <sup>-1</sup> ]<br>[bacteria·g <sup>-1</sup> ] |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Denitryfikacja<br>Denitrification | 95 100                                                                 | 75 000                                                                 |
| Nitryfikacja<br>Nitrification     | ślady<br>trace amount                                                  | ślady<br>trace amount                                                  |

Podczas analizy osadów dennych wykonanej pod mikroskopem elektronowym stwierdzono występowanie licznych szczątków okrzemek występujących w zbiorniku Dobromierz. Najwięcej skorupek należało do gatunku *Cyclotella meneghiniana* (rys. 2). Według badań WIOŚ [Raport 2002] *Cyclotella* dominuje w wodach zbiornika wczesną wiosną. Okazy gatunków: *Melosira* sp., *Stephanodiscus* sp. (rys. 3) i *Fragillaria crotonensis*. *Fragillaria crotonensis* i *Melosira* sp. występują licznie w wodach zbiornika latem. Są to przedstawiciele gatunków zamieszkujących wody mezotroficzne i eutroficzne, są tolerancyjne lub odporne na zanieczyszczenia [Rakowska 2001].

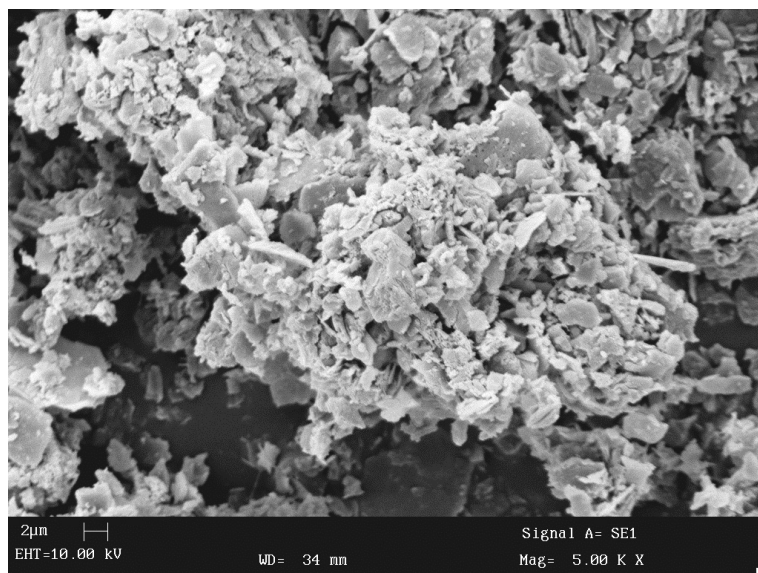


**Rysunek 2.** *Cyclotella meneghiniana* w próbkach osadów dennych zbiornika Dobromierz  
**Figure 2.** *Cyclotella meneghiniana* in samples of bottom sediments from  
Dobromierz reservoir



**Rysunek 3.** Fragmenty skoruppek *Melosira sp.* (po lewej) i *Stephanodiscus sp.* (po prawej) w próbkach osadów dennych zbiornika Dobromierz

**Figure 3.** Fragments of shells of *Melosira sp.* and *Stephanodiscus sp.* (on the right) in samples of bottom sediments from Dobromierz reservoir



**Rysunek 4.** Struktura próbek osadów dennych zbiornika Dobromierz

**Figure 4.** Structure of samples of bottom sediments from Dobromierz reservoir

Na zdjęciach z mikroskopu elektronowego widoczne są też struktury minerałów ilastych, które są głównym składnikiem analizowanych osadów (rys. 4). Minerale dominujące to krzemiany i glinokrzemiany. Osady dennego zbiornika Dobromierz można zaliczyć do typu krzemianowego. Badane osady zawierają więcej Ca, Fe i Al niż osady jeziora Dołgie Wielkie. Uzyskano tam 1,67 % Ca, 1,97% Fe i 2,9% Al [Trojanowski i Antonowicz 2005]. Skład chemiczny wybranych próbek osadów przedstawiono w tabeli 3.

**Tabela 3.** Zawartość głównych pierwiastków w osadach dennych zbiornika Dobromierz  
**Table 3.** Content of main elements in bottom sediments from Dobromierz reservoir

| Pierwiastek<br>Chemical element | Próbka 1<br>Sample 1<br>[%] | Próbka 2<br>Sample 2<br>[%] | Próbka 3<br>Sample 3<br>[%] |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| O                               | 21,64                       | 55,89                       | 57,61                       |
| Si                              | 14,74                       | 17,99                       | 11,76                       |
| Al                              | 5,87                        | 6,69                        | 4,22                        |
| Fe                              | 33,89                       | 4,35                        | 2,45                        |
| C                               | 3,40                        | 6,25                        | 18,68                       |
| Ti                              | 7,40                        | 0,36                        | 0,12                        |
| Ca                              | 5,30                        | 1,58                        | 2,02                        |
| K                               | 4,39                        | 1,51                        | 0,89                        |
| Na                              | 1,89                        | 1,87                        | 1,18                        |
| Mg                              | 0,65                        | 1,03                        | 0,43                        |
| P                               | 0,36                        | 1,39                        | 0,63                        |
| Suma<br>Total                   | 99,53                       | 98,90                       | 99,99                       |

## WNIOSKI

Właściwości fizyczne i chemiczne osadów dennych oraz zachodzące w nich procesy biologiczne są cennym źródłem informacji, które można wykorzystać między innymi do oceny stanu trofii zbiornika lub koncepcji ewentualnych działań rekultywacyjnych. Kierunek i tempo przemian substancji w osadach dennych mają znaczący wpływ na cały ekosystem zbiornika wodnego.

1. Wyniki badań osadów dennych zbiornika Dobromierz wykazały, że są to osady o uziarnieniu glin pylastych i glin pylastych zwięzłych, ich miąższość waha się od kilkunastu centymetrów przy zaporze do metra w okolicy ujścia Strzegomki. W składzie mineralogicznym dominują krzemiany i glinokrzemiany.

2. Podczas analizy osadów dennych pod mikroskopem elektronowym stwierdzono występowanie licznych szczątków okrzemek występujących w zbiorniku Dobromierz, które dominują w składzie gatunkowym fitoplanktonu.



3. Na podstawie wyników analiz osadów dennych zbiornika Dobromierz można stwierdzić, iż materia organiczna deponowana jest na całej długości zbiornika. W osadach zachodzi proces denitryfikacji z udziałem bakterii denitryfikacyjnych.

4. Stwierdzono wielokrotnie wyższe stężenie fosforanów w osadach dennych w porównaniu ze stężeniami w warstwie przydennej. Różnica stężeń pomiędzy wodą przydenną i osadami powoduje przechodzenie fosforanów z osadów do wód naddennych. Proces w czasie, gdy prowadzono badania nie powodował przyśpieszenia tempa eutrofizacji zbiornika.

## BIBLIOGRAFIA

- Baran A., Tarnawski M., Kaczmarek M. Assessment of agricultural utilization of bottom sediments from the Besko reservoir. *Czasopismo Techniczne* z. 8. Chemia z. 1-Ch, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2011, [http://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i4/i5/i4/i2/r4542/BaranA\\_AssessmentAgricultural.pdf](http://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i4/i5/i4/i2/r4542/BaranA_AssessmentAgricultural.pdf) (strona dostępna 09.05.2012)
- Instrukcja eksploatacji i gospodarki wodnej dla zbiornika Dobromierz na rzece Strzegomce. Hydroprojekt Wrocław, Wrocław 2002, maszynopis.
- Lejcuś K. Wpływ zbiornika retencyjnego Dobromierz na występowanie substancji biogenych w wodach rzeki Strzegomki, Akademia Rolnicza we Wrocławiu, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji. Rozprawa doktorska. Wrocław 2003, maszynopis.
- Kajak Z. *Hydrobiologia-Limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001, 360 ss.
- Kentzer A. *Fosfor i jego biologicznie dostępne frakcje w osadach jezior różnej trofii*. Rozprawy habilitacyjne. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2001, 111 ss.
- O'Sullivan P.E., Reynolds C.S. (red.). *The Lakes Handbook, Volume 1: Limnology and Limnetic Ecology*. Blackwell Science, Ltd. Oxford, UK 2004, 699 ss.
- Paluch J. (red). *Mikrobiologia wód*. Państwowe Wydawnictwa Naukowe. Warszawa 1973, 394 ss. PN B 04481:1988 *Grunty budowlane. Badania próbek gruntów*.
- Rakowska B. *Studium różnorodności krzemek ekosystemów wodnych Polski niżowej*. Rozprawy habilitacyjne Uniwersytetu Łódzkiego. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2001, 75 ss.
- Raport o stanie środowiska w województwie dolnośląskim w 2001 roku. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska we Wrocławiu. Wrocław 2002, <http://www.wroclaw.pios.gov.pl/index.php?id=publikacje&sub=raporty> (strona dostępna dnia 07.05.2012)
- Trojanowski J., Antonowicz J. *Właściwości chemiczne osadów dennych jeziora Dołgie Wielkie*. Akademia Pomorska. Słupskie Prace Biologiczne 2, Słupsk 2005, s. 123-133, [http://apsl.edu.pl/spb/pliki/nr2/002\\_Trojanowski\\_Antonowicz.pdf](http://apsl.edu.pl/spb/pliki/nr2/002_Trojanowski_Antonowicz.pdf) (strona dostępna dnia 07.05.2012)
- Wiśniewski R. *Inaktywacja fosforanów w osadach dennych jako metoda redukcji symptomów eutrofizacji. Procesy biologiczne w ochronie i rekultywacji nizinnych zbiorników zaporowych*; Praca pod redakcją M. Zalewskiego. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Łódź 1995, s. 189-201.
- Zbiornik wodny Dobromierz na rzece Strzegomce. Operat hydrologiczny, gospodarka wodna*. Hydroprojekt Wrocław. Wrocław 1982, maszynopis.

Dr inż. Jolanta Dąbrowska  
Dr Krzysztof Lejcuś

Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
pl. Grunwaldzki 24, 50-363

Wrocław  
jolanta.dabrowska@up.wroc.pl  
krzysztof.lejcus@up.wroc.pl