

Changes in the quality of water in the lower Vistula River in 1986–2009

Authors

Andrzej Kentzer

Andrzej Giziński

Keywords

quality of water, lower Vistula, Włocławek Reservoir, reduction of pollution

Abstract

The results of more than twenty years of own research and state environmental protection authority reports show that from 1986–2009 the quality of water in the lower Vistula, representative of the eastern (right bank) part of Poland, continuously and significantly improved. This improvement was the result of changes in water and sewage management in the Vistula basin. Earlier, in the 1970s, the Vistula was quite heavily polluted, but it has never been the dirtiest river in Europe. It has been shown that Włocławek Reservoir has improved the water quality in the Vistula, substantially reducing all the indicators examined (Tab. 2). The only exception is concentration of oxygen, lower in the reservoir than in the undammed Vistula, but not to such an extent that it would threaten the development of its biocoenosis, which is richer than in the undammed Vistula.

Reduction in the nitrogen (by 12.4%) and phosphorus (by 21.5%) load carried by the Vistula in the reservoir is particularly important for protection of the Baltic Sea against excessive eutrophication. This way, Włocławek Reservoir contributes to fulfilment of Poland's obligations under the Helsinki Convention ratified in 1999.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2013207

Introduction

Comprehensive chemical and biological research on the lower Vistula (dolna Wisła), mainly Włocławek Reservoir, began in the first half of the 1980s. The research was conducted by the Hydrobiology Department of the Institute of Environmental Protection at the NCU (Faculty of Biology and Environmental Protection since 2012) in collaboration with other research units, with only minor interruptions.

The research resulted in about 100 theses, including several dozen publications, nine PhD dissertations and one habilitation thesis. The results of research were also presented at many scientific and popular science conferences dedicated to necessary transformations of the lower Vistula (dolna Wisła). They were also the basis for the expertises prepared for the Sejm of the Republic of Poland [4] and the Marshal of Kujawsko-Pomorskie Voivodeship [5], which estimated the ecological effects of construction of the planned cascade below Włocławek.

All the above-mentioned sources and – what is particularly important – the reports of the Provincial Inspectorate for Environmental Protection in Bydgoszcz clearly refute the theses that the Vistula (Wisła) is the most polluted river in Europe and Włocławek Reservoir damages the natural environment

of the Vistula (Wisła), propagated by defenders of the Vistula (Wisła) – journalists, non-governmental organizations, and even some professionals – and harmful to the Polish economy and environment.

The aim of this study is to provide arguments for the absurdity of both of the mentioned theses for the community of power engineers and hydraulic engineers. We add a new argument to the ones already known and included in various publications – it concerns a substantial reduction in phytoplankton biomass, thus also of the concentration of chlorophyll “a” in Włocławek Reservoir.

In the third issue of the series the same team of authors will present the opportunity to broaden and clear the green corridor of the lower Vistula (dolna Wisła), provided by an eco-friendly construction of a cascade in Siarzewo.

Description of the area

The Vistula (Wisła) is the longest river in the Baltic Sea basin. Its length is 1047 km, of which 941 km are navigable. It is second after the Neva in terms of the volume of water flowing into the Baltic Sea (Neva – 2400 m³/s, Vistula (Wisła): 1050 m³/s).

There are three sections of the river, indicated by the mouths of the largest tributaries, i.e. San and Narew (Fig. 1).

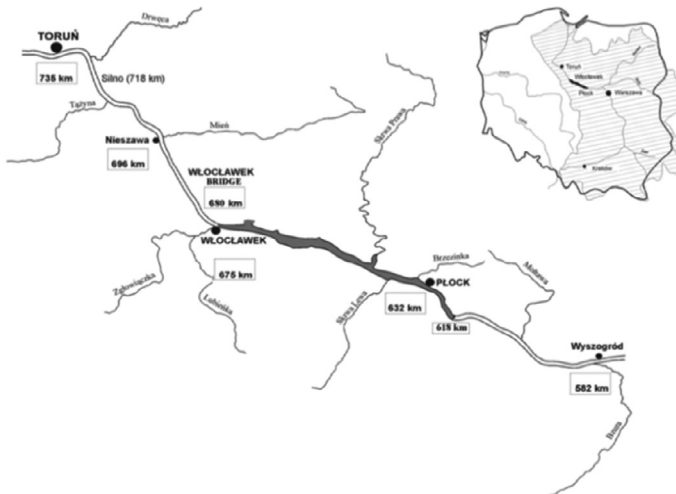


Fig. 1. Włocławek Reservoir

The subject of research, i.e. the lower Vistula (dolna Wisła), is the longest section (391 km), between the mouth of the Narew and the Baltic Sea, with an average flow rate of approx. 900–950 m³/s (including approx. 600 m³/s of tributary from the middle Vistula (środkowa Wisła) and approx. 300 m³/s of tributary from Narew). Even the largest tributaries, i.e. the Brda and Drwęca do not change the hydrological regime of the lower Vistula (dolna Wisła), as the flow rate at the mouth of those rivers is only 3% of the average flow rate of the river under examination. It should also be noted that, according to the results of our research, neither tributary changes the hydrochemistry of the lower Vistula (dolna Wisła) to any appreciable extent.

The lower Vistula (dolna Wisła) is a typical lowland river with a slight gradient (approx. 0.20‰) and a fairly low flow rate (0.3–0.9 m/s). Two sections with clearly different anthropogenic transformation can be distinguished in the river. Until construction of Włocławek Reservoir the river was maintained in a condition similar to its natural status from the mouth of the Narew to the Silna (718th km of the river course), which is the area of the former Russian Partition, whereas below Silna, in the area of the former Prussian Partition, the river is regulated, with solid flood banks constructed in the 19th century.

Włocławek Reservoir, which is the main subject of our research, was constructed in 1970 as a result of a dam built at the 675th km of the Vistula (Wisła). This reservoir is the largest in terms of area and the second in terms of capacity in Poland. At normal damming level the reservoir has the following morphological and hydrological features:

- Area: ca. 70 km²
- length: ca. 57 km
- average width: 1250 m (500–2500 m)
- maximum depth: 15 m
- average depth: 5.5 m

- initial capacity (1970): 408 million m³
- capacity after 30 years of use (2000): 370 million m³
- usable capacity: 55 million m³
- water level fluctuations: 0.8 m
- retention time (with $Q \approx 900 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$): approx. 5 days (!).

The reservoir is of a typical bed and river nature. Approx. 70% of the current bed is a former river bed. Only 14% of the area of the reservoir consists of shallow flood waters, located mainly along the left bank, whereas the remaining 16% of the reservoir consists of areas which varied between low and high water levels in the Vistula (Wisła) before the dam was built. M. Grześ¹ distinguishes two parts of the reservoir: the upper fluvial part, with a flow rate (in the main stream) of approx. 1 m · s⁻¹ and the lower, more limnetic part, in which the flow rate is 0.1–0.4 m · s⁻¹.

Both the morphometry and the very short retention time prove that Włocławek Reservoir is not a dam reservoir in the standard, textbook sense. It is a typical cascade or, alternatively, a super-rheolimnic reservoir with a strong predominance of river features over reservoir and, particularly, lake features [6].

The only typical reservoir feature that distinguishes Włocławek Reservoir from a river is the collection of sediments similar to lake sediments in its lower and middle part. The reservoir stops almost the entire bed load and 30–65% of the suspension carried by the river. It has been calculated that during the first 30 years of its existence, ca. 40 million m³ of sediment was deposited in the reservoir (ca. 1.8 million m³ per year, i.e. 0.5% of the total reservoir capacity). Researchers [7] claim that the rate of shallowing of the Włocławek Reservoir is being reduced over the years, as its flow rate is increasing while it becomes shallower and its capacity decreases, therefore the sedimentation rate is also dropping. Ongoing dredging works aimed at protection against floods are also important. 15 million m³ of rock material was removed from the reservoir from 1973 to 1987. According to various calculations, the total loss of the existing technical features of the Włocławskę Reservoir as a result of excessive shallowing with sediments may occur 300–500 years from now.

Methods

The results of physicochemical tests of water presented in this study concern samples collected from 1986/1987 to 2009 near Płock (632nd km of the river course) and below the dam in Włocławek (675th km of the river course). Although the reservoir begins at the 618th km of the river's course, after tests the station in Płock was considered representative of a free-flowing river. Samples were always collected from the mainstream every month at a depth of approx. 1 m. Only in the seasons 1998/1999 and 1999/2000 were the samples collected every 10 days. Standard methods were applied to hydro-chemical and biological analyses. The results were used to determine the phosphorus and nitrogen balance. The data on the volume of water flow recorded at the dam, necessary for balance calculations, were obtained from the Regional Directorate of Water Management (ODGW).

¹ M. Grześ, Zatory i powódzie zatorowe na dolnej Wiśle [Jamming and jam floods on the lower Vistula], Warsaw 1991.

	Season 1986/1987	Season 1992/1993	Season 1994/1995	Season 1998/1999	Season 1999/2000	Season 2000/2001	Season 2001/2002	Season 2007	Season 2009
P _{TOT}	0.50 (III)	0.38 (II)	0.27 (II)	0.23 (II)	0.23 (II)	0.21 (III)	0.17 (I)	0.22 (II)	0.17 (I)
P-PO ₄	0.17 (II)	0.13 (II)	0.09 (II)	0.08 (II)	0.06 (I)	0.07 (II)	0.085 (II)	0.06 (I)	0.03 (I)
N _{TOT}	7.60 (III)	6.80 (III)	3.40 (I)	3.12 (I)	2.58 (I)	2.10 (I)	2.80 (II)	2.40 (I)	1.80 (I)
N-NH ₄	0.80 (III)	0.49 (II)	0.47 (II)	0.46 (II)	0.23 (I)	0.44 (II)	0.45 (II)	0.32 (I)	0.14 (I)
N-NO ₂	0.02 (II)	0.02 (II)	0.02 (II)	0.02 (II)	0.02 (II)	0.017 (II)	0.018 (II)	0.02 (II)	0.02 (II)
N-NO ₃	0.57 (I)	1.09 (I)	1.35 (II)	1.15 (II)	0.52 (I)	1.01 (I)	1.8 (II)	0.54 (I)	0.17 (I)
O ₂	9.8 (I)	11.4 (I)	11.2 (I)	9.9 (I)	9.7 (I)	11.7 (I)	10.9 (I)	8.11 (I)	7.4 (I)

Tab. 1. Concentration (mg/dm³) of the selected chemical parameters of water in the Vistula at the station in Płock in successive seasons of tests. Quality classes according to the standards in force since 16 March 2004 (five-degree scale) are provided in brackets

Results and discussion

Changes in the quality of water in the lower Vistula above Włocławek Reservoir

Tab. 1 contains selected chemical parameters to illustrate the chemical composition of water in the Vistula (Wisła) in nine successive seasons of tests at the station in Płock, i.e. in the upper part of Włocławek Reservoir. The data presented show that water in the Vistula (Wisła) near Płock was polluted in the season 1986/1987. The average concentration of compounds such as total nitrogen, phosphorus and ammonium ion was within quality class III. A gradual improvement in water quality was recorded in subsequent seasons of tests. In seasons 2007 and 2009 most of the physicochemical parameters of the water flowing into the reservoir were within quality class I. The only exception was nitrites, whose average concentration was within quality class II and chlorophyll "a", which was in quality class IV. A gradual improvement in the quality of water in the Vistula (Wisła) is also proven in the research carried out by the Provincial Inspectorate for Environmental Protection in Bydgoszcz. The report published in 2001 showed that the lower Vistula (dolna Wisła) was classified as a river with impaired water only because of the coliform count.

Further significant improvement in the quality of water in the Vistula (Wisła) is also indicated in the "Report on the condition of the environment in Kujawsko-Pomorskie Voivodeship" published in 2012 by the Provincial Inspectorate for Environmental Protection in Bydgoszcz, which showed the good ecological potential of waters in the Vistula (Wisła) on the section located in Kujawsko-Pomorskie Voivodeship. In addition, none of the analysed physicochemical parameters of the water in the Vistula (Wisła) exceeded the requirements of quality class II.

There are two reasons for the striking difference between the actual quality of water in the Vistula (Wisła), confirmed by the results presented in Tab. 1 and in the aforementioned report, and the claims of "most polluted river in Europe". The first is the fact that defenders of the Vistula (Wisła) usually use information from the 1970s and '80s, when the Vistula (Wisła) was indeed quite heavily polluted. The second reason for the extremely negative assessments of Polish surface waters was the three-degree system of evaluation and classification of waters applied until

2004, which was the worst system in Europe, characterised by such strict and unrealistic standards that waters in quality class III, II or even I according to Western European standards were considered "impaired" waters in our country (n.o.n.).

Impact of Włocławek Reservoir on the quality of water in the Vistula

A significant improvement in the quality of water after short-term retention in Włocławek Reservoir was observed in all the test periods (Tab. 2). As expected, there was a very significant reduction in concentration of suspension. Improvement was also noticeable in relation to the concentration of suspension, phosphorus and total nitrogen, BOD₅, chlorophyll "a" and phytoplankton biomass. The average reductions in water parameters in the Vistula (Wisła) after flowing through the Włocławek Reservoir were as follows: 56% – suspension, 20.05% – phosphorus, 8.2% – nitrogen, 42.6% – BOD₅, 46.7% – chlorophyll "a", and 42% – phytoplankton biomass. Reduction in total phosphorous (P-TOT) is particularly important in view of the fact that it is a major factor determining excessive eutrophication of surface water [13].

The passage of water through Włocławek Reservoir results not only in changes in the concentration of phosphorus and nitrogen, but also in modification of the proportions of individual forms in which those elements occur in the water [9]. In all seasons of tests the ratio of mineral phosphorus to total phosphorous was 1:3 in the upper part of the reservoir, and 1:2 in the water flowing out from the reservoir. The amount of mineral forms of nitrogen in total nitrogen increased in the same way. The average ratio of mineral nitrogen to total nitrogen was 1:3 in the water flowing in to the reservoir (for all the periods of tests) and 1:2 in the water flowing out from the reservoir. The increase in mineral concentrations of forms of nitrogen and phosphorus in the water flowing out from the reservoir proves the intensification of mineralisation processes occurring in the body of water and sediments. This is undoubtedly associated with the good oxygen conditions prevailing in the reservoir.

The only negative impact on the quality of water was the reduction in the amount of oxygen. The decrease in its concentration in the period of tests was 18.1% on average. Oxygen shortages occurred mainly in flood waters. It should be noted, however, that no oxygen shortages which would restrict the development

of an extremely rich fauna have been found during more than 20 years of research in the mainstream part (over 70% of the reservoir area).

Parameters	Station in Plock	Station in Włocławek	Reduction in concentration
Suspension (mg · dm ⁻³)	28.9	12.7	56%
P _{TOT} (mg · dm ⁻³)	0.264	0.21	20.5%
N _{TOT} (mg · dm ⁻³)	3.62	3.32	8.3%
O ₂ (mg · dm ⁻³)	8.10	6.64	18.0%
BOD ₅ (mg O ₂ · dm ⁻³)	5.4	3.1	42.6%
Chlorophyll "a" (µg · dm ⁻³)	76.14	35.56	53.3%
Phytoplankton biomass (mg · dm ⁻³)	39.3	22.8	42.0%

Tab. 2. Annual average concentration of total phosphorus, total nitrogen, oxygen, BOD₅, chlorophyll "a", and phytoplankton biomass in the Vistula at the tributary to the reservoir (station in Plock) and the outflow (station in Włocławek). The average values of phosphorous, nitrogen and oxygen are presented for 1986/1987 to 2009, suspension for 1992 to 2001, BOD₅ for 1998 to 2002, and chlorophyll "a" and phytoplankton biomass for 1998 to 2006

Improvement in the quality of water after it passes through the reservoir is the result of the accumulation of large amounts of suspension or chemical compounds contained in it, in bottom sediment. It has been found (Tab. 3) that over 17 years of research (1992 to 2009) 23,300 tonnes of phosphorus and 125,000 tonnes of nitrogen were accumulated in sediments inside the reservoir. This means that in that period the reservoir reduced the load of phosphorus and nitrogen carried in the Vistula (Wisła) by 21.5% and 12.4%, respectively. The results of the research indicate the role of Włocławek Reservoir in reducing the pollutant load entering Gdańsk Bay and the Baltic Sea.

Parameters	Load flowing in (thousand tonnes)	Load flowing out (thousand tonnes)	Accumulation (thousand tonnes, %)
P _{TOT}	108.3	85	23.3 (21.5%)
N _{TOT}	1007	882	125 (12.4%)

Tab. 3. The total amount of phosphorus and nitrogen accumulated in Włocławek Reservoir (1992 to 2009)

The character of sediment collected in the reservoir is typical for lowland dam reservoirs. Muddy sediments cover the bottom of the reservoir in its lower and middle part, in the mainstream zone and in deeper sections of flood water areas. At some points, the thickness of sediments reaches several metres. It has been calculated that more than 6,000 tonnes of phosphorus and approx. 18,000 tonnes of nitrogen are accumulated in a mere 10-centimetre surface layer of muddy sediments in the reservoir. If this amount of nutrients entered the Baltic Sea, it would substantially

accelerate the rate of eutrophication of Gdańsk Bay. So the collection of significant quantities of suspension with nutrients in the reservoir is a beneficial process from the point of view of the purity of water in the Vistula (Wisła) and the Baltic Sea. Like most dam reservoirs, Włocławek Reservoir is a kind of sedimentary trap. Therefore, it functions as a natural treatment plant. Accumulation of suspension and gathering of large quantities of muddy sediments in the reservoir significantly changes the character of chemical processes occurring in water and bottom sediments. Anaerobic conditions occur in the deeper layers of bottom sediments, sometimes also in the bottom water. This promotes the denitrification process, which is considered [1] to be the main mechanism reducing the amount of nitrogen in the aquatic environment. The amount of nitrogen that may be released into the atmosphere as a result of this process may be 11 to 60% per year [12]. It should be assumed that similar self-purification of water in the Vistula (Wisła) would occur in each of the next dam reservoirs. It should be borne in mind, however, that the rate of sediment accumulation in those reservoirs would definitely be lower than in Włocławek Reservoir.

REFERENCES

1. Faafeng B., Roseth R., Retention of nitrogen in small streams artificially polluted with nitrate. *Hydrobiologia*, pp. 113–122.
2. Giziński A. et al., Raport wstępny z wyników badań przeprowadzonych w celu ustalenia przyczyn masowego śnięcia ryb i innych organizmów w Zbiorniku Włocławskim [Preliminary report on the results of tests carried out to determine the causes of mass deaths of fish and other organisms in the Włocławek Reservoir], Toruń 1986, pp. 1–3.
3. Giziński A. et al., Hydrobiological characteristic of the lowland, rheolimnic Włocławek Reservoir on the Vistula (Wisła) River, *Ekologia Polska* 1989, pp. 359–403.
4. Giziński A., Wpływ zapory we Włocławku i stopnia wodnego w Nieszawie na środowisko, Ekspertyza wykonana na zlecenie Komisji Ochrony Środowiska Sejmu RP [Environmental impact of the dam in Włocławek and cascade in Nieszawa, Expertise prepared for the Environmental Protection Committee at the Sejm of the Republic of Poland], 2000.
5. Giziński A., Głogowska B., Kentzer A., Wpływ stopnia wodnego "Włocławek" i planowanego stopnia wodnego "Nieszawa" na środowisko, ekspertyza wykonana na zlecenie Urzędu Marszałkowskiego w Toruniu [Environmental impact of the "Włocławek" cascade and the planned "Nieszawa" cascade, Expertise prepared for the Marshal's Office in Toruń], 2001.
6. Giziński A., Falkowska E., *Hydrobiologia stosowana: ochrona wód powierzchniowych*, Wyższa Szkoła Humanistyczno-Ekonomiczna we Włocławku [Applied hydrobiology: protection of surface waters, University of Humanities and Economics in Włocławek], Włocławek 2003.
7. Kentzer A., Giziński A., Bilans i dynamika nutrientów w zbiorniku włocławskim [Balance and dynamics of nutrients in the Włocławek Reservoir] [in:] *Procesy biologiczne w ochronie i rekultywacji nizinnych zbiorników zaporowych* [Biological processes in the protection

- and restoration of lowland dam reservoirs], ed. M. Zalewski, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Łódź 1995, pp. 85–90.
8. Kentzer A., Hydrochemistry of the Vistula (Wisła) between Płock and Toruń. AUNC, Limnol, 2000, pp. 33–42.
 9. Kentzer A., Giziński A., Głogowska B., Wpływ zbiornika włocławskiego na jakość wody Wisły w latach 1986–2002 [Impact of Włocławek Reservoir on the quality of water in the Vistula (Wisła) from 1986 to 2002], Biblioteka Monitoringu Środowiska, Toruń 2004, pp. 209–218.
 10. Grześ M., 1991. Zatory i powódzie zatorowe na dolnej Wiśle, mechanizmy i warunki [Jamming and jam floods on the lower Vistula (dolna Wisła), mechanisms and conditions]. IGI PZ PAN, Warsaw.
 11. Raport o stanie środowiska województwa kujawsko-pomorskiego w 2000 roku [Report on the condition of the environment in Kujawsko-Pomorskie Voivodeship in 2000], Biblioteka Monitoringu Środowiska, Bydgoszcz 2001.
 12. Raport o stanie środowiska województwa kujawsko-pomorskiego w 2012 roku [Report on the condition of the environment in Kujawsko-Pomorskie Voivodeship in 2000], Biblioteka Monitoringu Środowiska, Bydgoszcz 2011.
 13. Tomaszek J., Czerwiec E., Znaczenie procesów denitryfikacji dla bilansu azotu w ekosystemach wodnych [Significance of denitrification process for nitrogen balance in aquatic ecosystems] [in:] Procesy biologiczne w ochronie i rekultywacji nizinnych zbiorników zaporowych [Biological processes in the protection and restoration of lowland dam reservoirs], ed. M. Zalewski, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Łódź 1995, pp. 91–99.
 14. Vollenweider R.A., Scientific fundamentals of the eutrophication of lake and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication, OECD, Directorate for Sci. Affairs, Paris, DAS (CSI) 68, 1968, pp. 1–182.

Andrzej Kentzer

Nicolaus Copernicus University in Toruń

e-mail: akentzer@umk.pl

Ecologist – hydrobiologist and hydrochemist. Head of the department of Hydrology at the Faculty of Biology and Environmental Protection of the Nicolaus Copernicus University in Toruń. Obtained his master's, doctoral and postdoctoral degrees while working at the department of Hydrology at the Institute of Ecology and Environmental Protection. He is the author and co-author of several dozen publications, unpublished master's theses and studies related to the chemistry and biology of the Włocławek Reservoir. Andrzej Kentzer specialises in researching the effects lakes and dammed reservoirs have on water quality and, in addition, he is an expert in assessing the role of phosphorus compounds on the protection and recultivation of inland waters.

Andrzej Giziński

Pens. prof. of University of Nicolaus Copernicus in Toruń

e-mail: agizinski@op.pl

Ecologist – hydrobiologist. Until September 2003 he was the Head of the Department of Hydrobiology of the Institute at Nicolaus Copernicus University in Toruń, where for almost 30 years he had conducted comprehensive research on the lower Vistula (dolna Wisła), especially Włocławek Reservoir. The results of that research are approx. 100 published and unpublished studies (including nine Ph.D. dissertations) on the ecology of the reservoir. In 2000 he became a member of the team of experts appointed by the Economic Committee of the Council of Ministers “on the construction of Nieszawa-Ciechocinek cascade”, which prepared expertises on this subject for the Sejm of the Republic of Poland.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 97–101. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Zmiany jakości wód dolnej Wisły w latach 1986–2009

Autorzy

Andrzej Kentzer
Andrzej Giziński

Słowa kluczowe

jakość wód, dolna Wisła, zbiornik włocławski, redukcja zanieczyszczeń

Streszczenie

Na podstawie wyników ponad dwudziestoletnich badań własnych i raportów państwowych służb ochrony środowiska stwierdzono, że w latach 1986–2009 jakość wody dolnej Wisły, reprezentatywna dla wschodniej (prawobrzeżnej) połowy terytorium Polski, podlegała stałej, znaczącej poprawie. Poprawa ta była efektem porządkowania gospodarki wodno-ściekowej w dorzeczu Wisły. Wcześniej, w latach 70. XX wieku, Wisła była dość silnie zanieczyszczona, ale nigdy nie była najbrudniejszą rzeką Europy. Wykazano, że zbiornik włocławski poprawia jakość wody Wisły, redukując znacząco wszystkie badane wskaźniki (tab. 2). Wyjątkiem jest stężenie tlenu, które w zbiorniku jest niższe niż w niepodpiętrzonej Wiśle, ale w stopniu niezagrażającym rozwojowi jego biocenozy, bogatszej niż w niepodpiętrzonej Wiśle.

Szczególnie ważna dla ochrony Bałtyku przed nadmierną eutrofizacją jest redukcja w zbiorniku niesionego Wisłą ładunku azotu (o 12,4%) i fosforu (o 21,5%). W ten sposób zbiornik włocławski przyczynia się do realizacji zobowiązań Polski, wynikających z ratyfikowanej w 1999 roku konwencji helsińskiej.

Wstęp

Kompleksowe, chemiczne i biologiczne badania dolnej Wisły, głównie zbiornika włocławskiego, rozpoczęto w pierwszej połowie lat 80. XX wieku. Badania prowadził i prowadzi, we współpracy z innymi jednostkami badawczymi, Zakład Hydrobiologii Instytutu Ochrony Środowiska UMK (od 2012 roku: Wydział Biologii i Ochrony Środowiska), z niewielkimi przerwami, do dziś.

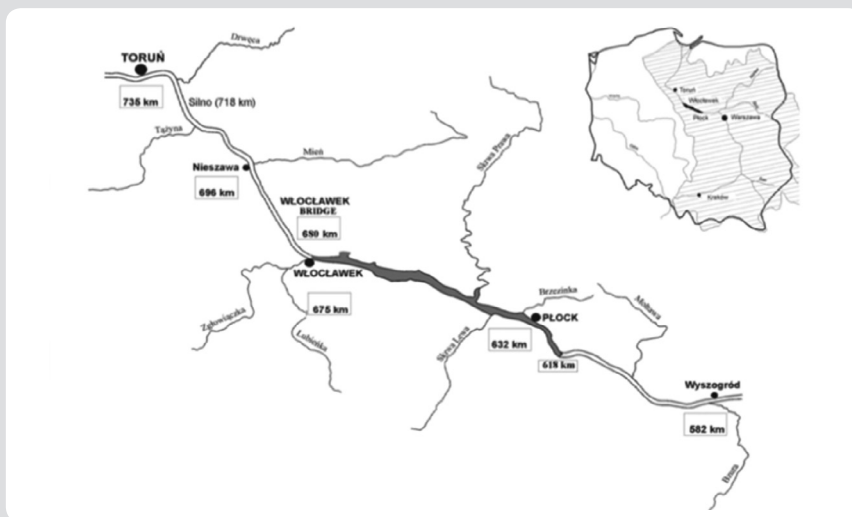
Efektom tych badań jest ok. 100 prac magisterskich, w tym kilkadziesiąt publikowanych, dziewięć rozpraw doktorskich i jedna rozprawa habilitacyjna. Wyniki badań prezentowano także na wielu konferencjach naukowych i popularnonaukowych, poświęconych problematyce konieczności przekształceń dolnej Wisły. Były również podstawą ekspertyz wykonanych na zlecenie Sejmu RP [4] i marszałka województwa kujawsko-pomorskiego [5], które prognozowały ekologiczne skutki budowy planowanego stopnia wodnego poniżej Włocławka.

Wszystkie wymienione powyżej źródła, a także – co szczególnie ważne – raporty Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Bydgoszczy, jednoznacznie obalają głoszone przez obrońców Wisły – dziennikarzy, organizacje pozarządowe, a nawet niektórych profesjonalistów – szkodliwe dla polskiej gospodarki i przyrody tezy, że Wisła jest najbrudniejszą rzeką Europy i że zbiornik włocławski psuje przyrodę Wisły.

Celem niniejszej pracy jest dostarczenie środowisku energetyków i hydrotechników argumentów świadczących o niedorzeczności obu wymienionych tez. Do argumentów znanych, już publikowanych w różnych wydawnictwach, dołączamy jeden nowy – dotyczący znacznego ograniczenia biomasy fitoplanktonu, a tym samym stężenia chlorofilu „a” w zbiorniku włocławskim.

Opis terenu

Wisła jest najdłuższą rzeką zlewiska Morza Bałtyckiego. Mierzy 1047 km, w tym 941



Rys. 1. Zbiornik włocławski

km tzw. biegu żeglownego. Pod względem wielkości dopływu do Bałtyku jest drugą po Newie (Newa – 2400 m³/s, Wisła: 1050 m³/s).

Wyróżnia się trzy odcinki omawianej rzeki, wyznaczone ujściami największych dopływów, tj. Sanem i Narwią (rys. 1).

Obiekt badań, tj. dolna Wisła, to najdłuższy odcinek (391 km), pomiędzy ujściem Narwi i Bałtykiem, o średnim przepływie ok. 900–950 m³/s (w tym ok. 600 m³/s to dopływ z Wisły środkowej i ok. 300 m³/s dopływ z Narwi). Nawet największe dopływy, tj. Brda i Drwęca, nie zmieniają reżimu hydrologicznego dolnej Wisły, gdyż przepływ przy ujściu tych rzek wynosi zaledwie 3% średniego przepływu badanej rzeki. Dodajmy, że według wyników naszych badań oba wymienione dopływy nie zmieniają także w zauważalnym stopniu hydrochemii dolnej Wisły.

Dolna Wisła to typowa rzeka nizinna, o niewielkim spadku (ok. 0,20 ‰) i o dość niskiej prędkości przepływu (0,3–0,9 m/s).

Można w niej wyróżnić 2 odcinki o wyraźnie odmiennym przekształceniu antropogenicznym. Od ujścia Narwi do Silna (718 km biegu rzeki), czyli na terenie byłego zaboru rosyjskiego, do czasu wybudowania zbiornika włocławskiego rzeka zachowała stan zbliżony do naturalnego, natomiast poniżej Silna, na terenie byłego zaboru pruskiego, jest rzeką uregulowaną, z wybudowanymi w XIX w. solidnymi wałami przeciwpowodziowymi.

Zbiornik włocławski, będący głównym obiektem naszych badań, powstał w 1970 roku w efekcie przegrodzenia Wisły zaporą zbudowaną na 675 kilometrze biegu rzeki. Jest to największy pod względem powierzchni i drugi pod względem pojemności zbiornik w Polsce. Przy normalnym poziomie piętrzenia zbiornik ma następujące cechy morfologiczne i hydrologiczne:

- powierzchnia: *ca* 70 km²
- długość: *ca* 57 km
- szerokość średnia: 1250 m (500–2500 m)

- głębokość maksymalna: 15 m
- głębokość średnia: 5,5 m
- pojemność początkowa (1970): 408 mln m³
- pojemność po 30 latach użytkowania (2000): 370 mln m³
- pojemność użytkowa: 55 mln m³
- wahania poziomu wody: 0,8 m
- czas retencji (przy $Q \approx 900 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$): ok. 5 dni (!).

Zbiornik ma typowo korytowy, rzeczny charakter. Ok. 70% obecnego dna stanowi dawne koryto rzeki. Tylko 14% powierzchni zbiornika to płytkie rozlewiska, zlokalizowane głównie wzdłuż lewego brzegu, a pozostałe 16% dna zbiornika stanowią obszary, które przed wybudowaniem zapory rozciągały się pomiędzy poziomami niskich i wysokich stanów wody w Wiśle. M. Grześ¹ wyróżnił dwie części zbiornika: górną, rzeczną, o prędkości przepływu (w nurcie) ok. $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ oraz dolną, bardziej limniczną, w której prędkość przepływu wynosi 0,1–0,4 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Zarówno morfometria, jak bardzo krótki czas retencji świadczą, że zbiornik włocławski nie jest zbiornikiem zaporowym w potocznym, podręcznikowym rozumieniu. Jest to typowy stopień wodny lub – jak kto woli – zbiornik superreolimiczny ze zdecydowaną przewagą cech rzecznych nad zbiornikowymi, a tym bardziej jeziornymi [6].

Jedyną cechą typowo zbiornikową, różniącą zbiornik włocławski od rzeki, jest gromadzenie w jego dolnej i środkowej części osadów przypominających osady jeziorne. Zbiornik zatrzymuje niemal całe rumowisko wleczone i 30–65% niesionej przez rzekę zawiesiny. Obliczono, że w ciągu pierwszych 30 lat istnienia w zbiorniku zaległo ca 40 mln m³ osadów (ca 1,8 mln · m³ na rok, czyli 0,5% ogólnej pojemności zbiornika). Badacze [7] podają, że tempo wypłycania się zbiornika włocławskiego z upływem lat maleje, gdyż w miarę wypłycania i zmniejszania jego objętości rośnie prędkość przepływu, a zatem spada tempo sedimentacji. Nie bez znaczenia są też stale prowadzone prace bagrownicze, których celem jest zabezpieczenie przed powodzią. W latach 1973–1987 usunięto ze zbiornika ok. 15 milionów m³ materiału skalnego. Całkowita utrata dotychczasowych funkcji technicznych zbiornika włocławskiego, na skutek nadmiernego wypłycenia osadami, może nastąpić, według różnych obliczeń, za 300–500 lat.

Metody

Wyniki badań fizykochemicznych wody, przedstawione w niniejszej pracy, dotyczą prób pobieranych w latach 1986/1987–2009 na wysokości Płocka (632. km biegu rzeki) i poniżej tamy we Włocławku (675. km biegu rzeki). Wprawdzie początek zbiornika to 618. km biegu rzeki, ale stanowisko w Płocku po przeprowadzeniu badań uznano za reprezentatywne dla swobodnie płynącej rzeki. Próby pobierano zawsze z nurtu, w odstępach miesięcznych, z głębokości ok. 1 m. Tylko w sezonach 1998/1999 i 1999/2000 próby pobierano co 10 dni. Do analiz hydrochemicznych i biologicznych stosowano standardowe metody. Wyniki posłużyły do dokonania bilansu fosforu i azotu. Niezbędne do wyliczenia bilansowych dane dotyczące wielkości przepływu

	Sezon 1986/1987	Sezon 1992/1993	Sezon 1994/1995	Sezon 1998/1999	Sezon 1999/2000	Sezon 2000/2001	Sezon 2001/2002	Sezon 2007	Sezon 2009
P _{TOT}	0,50 (III)	0,38 (II)	0,27 (II)	0,23 (II)	0,23 (II)	0,21 (III)	0,17 (I)	0,22 (II)	0,17 (I)
P-PO ₄	0,17 (II)	0,13 (II)	0,09 (II)	0,08 (II)	0,06 (I)	0,07 (II)	0,085 (II)	0,06 (I)	0,03 (I)
N _{TOT}	7,60 (III)	6,80 (III)	3,40 (I)	3,12 (I)	2,58 (I)	2,10 (I)	2,80 (II)	2,40 (I)	1,80 (I)
N-NH ₄	0,80 (III)	0,49 (II)	0,47 (II)	0,46 (II)	0,23 (I)	0,44 (II)	0,45 (II)	0,32 (I)	0,14 (I)
N-NO ₂	0,02 (II)	0,02 (II)	0,02 (II)	0,02 (II)	0,02 (II)	0,017 (II)	0,018 (II)	0,02 (II)	0,02 (II)
N-NO ₃	0,57 (I)	1,09 (I)	1,35 (II)	1,15 (II)	0,52 (I)	1,01 (I)	1,8 (II)	0,54 (I)	0,17 (I)
O ₂	9,8 (I)	11,4 (I)	11,2 (I)	9,9 (I)	9,7 (I)	11,7 (I)	10,9 (I)	8,11 (I)	7,4 (I)

Tab. 1. Stężenie (mg/dm³) wybranych parametrów chemicznych wody Wisły na stanowisku Płock w kolejnych sezonach badawczych. W nawiasach podano klasy czystości wg norm obowiązujących po 16 marca 2004 roku (skala pięciostopniowa)

wody, notowane na zaporze, otrzymywano od Okręgowej Dyrekcji Gospodarki Wodnej (ODGW).

Wyniki i ich omówienie

Zmiany jakości wody w dolnej Wiśle powyżej zbiornika włocławskiego

Tab. 1. zawiera wybrane parametry chemiczne ilustrujące skład chemiczny wody Wisły w kolejnych, dziewięciu sezonach badań na stanowisku Płock, tj. w górnej części zbiornika włocławskiego. Z prezentowanych danych wynika, że woda Wisły na wysokości Płocka w sezonie 1986/1987 była zanieczyszczona. Średnie stężenie takich związków jak fosfor i azot całkowity oraz jon amonowy mieściło się w III klasie czystości. W następnych sezonach badawczych notowano stopniową poprawę jakości wody. W sezonach 2007 i 2009 większość badanych parametrów fizykochemicznych wody dopływającej do zbiornika mieściła się w granicach I klasy czystości. Wyjątkiem były azotyny, których średnie stężenie mieściło się w II klasie czystości i chlorofil „a” – IV klasa czystości.

Na stopniową poprawę czystości wód Wisły wskazują także badania prowadzone przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Bydgoszczy. Z raportu opublikowanego w 2001 roku wynika, że tylko miano coli powodowało, że dolna Wisła była zaliczana do rzek o wodzie pozaklasowej.

Na dalszą znaczącą poprawę jakości wody Wisły wskazują także opublikowane w 2012 roku przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Bydgoszczy „Raport o stanie środowiska województwa kujawsko-pomorskiego”, który wykazał dobry potencjał ekologiczny wód Wisły na odcinku województwa kujawsko-pomorskiego. Także wszystkie analizowane parametry fizykochemiczne wody Wisły nie przekraczały wymogów II klasy czystości.

Rażąca różnica pomiędzy rzeczywistą jakością wody w Wiśle, potwierdzona wynikami prezentowanymi w tab. 1 i w cytowanym raporcie, a twierdzeniami o „najbrudniejszej rzece w Europie” wynika z dwóch przyczyn. Pierwsza to fakt, że obrońcy Wisły z reguły opierają się na informacjach pochodzących z lat 70. i 80. ubiegłego stulecia, kiedy Wisła była rzeczywiście dość silnie zanieczyszczona. Drugą przyczyną skrajnie negatywnych ocen jakości polskich wód powierzchniowych był obowiązujący do 2004 roku

trzystopniowy, najgorszy w Europie system oceny i klasyfikacji wód z tak wyśrubowanymi, nierzeczywistymi normami, że wody według norm zachodnioeuropejskich zaliczane do III, II, a niekiedy nawet do I klasy czystości, u nas nazywano „pozaklasowymi” (n.o.n.).

Wpływ zbiornika włocławskiego na jakość wody Wisły

We wszystkich okresach badań notowano wyraźną poprawę jakości wody po krótkotrwałej retencji w zbiorniku włocławskim (tab. 2). Zgodnie z oczekiwaniami bardzo znacząca była redukcja stężenia zawiesiny. Poprawa była także widoczna w odniesieniu do stężenia zawiesiny, fosforu i azotu całkowitego, BZT5 oraz chlorofilu „a” i biomasy fitoplanktonu. Średnia redukcja zawiesiny w wodzie Wisły po przepłynięciu przez zbiornik włocławski wyniosła 56%, fosforu 20,05%, azotu 8,2%, BZT5 42,6%, chlorofilu „a” 46,7%, a biomasy fitoplanktonu 42%. Redukcja fosforu całkowitego (P-TOT.) jest szczególnie ważna ze względu na to, że jest on głównym czynnikiem decydującym o nadmiernej eutrofizacji wód powierzchniowych [13].

Po przejściu wody przez zbiornik włocławski zmienia się nie tylko stężenie fosforu i azotu, ale także zmieniają się proporcje poszczególnych form, w jakich te pierwiastki występują w wodzie [9]. We wszystkich sezonach badawczych stosunek fosforu mineralnego do fosforu całkowitego w górnej części zbiornika wynosił 1:3, a w wodzie wypływającej ze zbiornika – 1:2. Tak samo wzrastał udział mineralnych form azotu w azocie całkowitym. W wodzie dopływającej do zbiornika średni (dla wszystkich okresów badań) stosunek azotu mineralnego do całkowitego wynosił 1:3, a w wodzie wypływającej 1:2. Wzrost stężeń mineralnych form azotu i fosforu w wodzie wypływającej ze zbiornika świadczy o intensyfikacji procesów mineralizacji zachodzących w toni wodnej i w osadach. Jest to niewątpliwie związane z dobrymi warunkami tlenowymi panującymi w zbiorniku.

Jedynym negatywnym dla jakości wody skutkiem była redukcja ilości tlenu. Spadek jego stężenia w okresie badań wyniósł średnio 18,1%. Niedobory tlenu zdarzały się głównie na rozlewiskach. Warto podkreślić, że w części nurtowej (ponad 70% powierzchni zbiornika) przez ponad 20 lat badań nie stwierdzono deficytów tlenowych

¹ M. Grześ, Zatory i powódzie zatorowe na dolnej Wiśle, Warszawa 1991.

Parametry	Stanowisko Płock	Stanowisko Włocławek	Redukcja stężenia
Zawiesina (mg · dm ⁻³)	28,9	12,7	56%
P _{TOT} (mg · dm ⁻³)	0,264	0,21	20,5%
N _{TOT} (mg · dm ⁻³)	3,62	3,32	8,3%
O ₂ (mg · dm ⁻³)	8,10	6,64	18,0%
BZT ₅ (mg O ₂ · dm ⁻³)	5,4	3,1	42,6%
Chlorofil „a” (µg · dm ⁻³)	76,14	35,56	53,3%
Biomasa fitoplanktonu (mg · dm ⁻³)	39,3	22,8	42,0%

Tab. 2. Średnie roczne stężenia fosforu całkowitego, azotu całkowitego, tlenu, BZT₅, chlorofilu „a” i biomasy fitoplanktonu w wodzie Wisły na dopływie do zbiornika (stacja Płock) i wypływie (stacja Włocławek). Przedstawione wartości średnie fosforu, azotu i tlenu dotyczą lat 1986/1987–2009, zawiesiny lat 1992–2001, BZT₅ lat 1998–2002, a chlorofilu „a” i biomasy fitoplanktonu lat 1998–2006

ograniczających rozwój niezwykle bogatej fauny pelofilnej.

Poprawa jakości wody po przejściu przez zbiornik jest efektem kumulacji w osadach dennych znacznych ilości zawiesiny i zawartych w niej związków chemicznych. Stwierdzono (tab. 3), że na przestrzeni 17 lat badań (1992–2009) w osadach zbiornika zostało skumulowane 23,3 tys. ton fosforu i 125 tys. ton azotu. Oznacza to, że zbiornik zredukował w tym okresie ładunek fosforu niesionego Wisłą o 21,5%, a azotu o 12,4%. Wyniki tych badań wskazują na rolę, jaką pełni zbiornik włocławski w redukcji ładunku zanieczyszczeń docierających do Zatoki Gdańskiej i Bałtyku.

Charakter gromadzonych w zbiorniku osadów jest typowy dla niżowych zbiorników zaporowych. Osady muliste pokrywają dno zbiornika w jego dolnej i środkowej części, w strefie nurtowej i w głębszych partiach stref rozlewiskowych. Miąższość osadów sięga miejscami kilku metrów. Wyliczono, że w zaledwie 10-centymetrowej, powierzchniowej warstwie mulistych osadów zbiornika, skumulowane jest ponad 6 tys. ton fosforu i ok. 18 tys. ton azotu. Gdyby ta ilość biogenów dostała się do Bałtyku, przyspieszyłaby w sposób istotny tempo eutrofizacji Zatoki Gdańskiej. Tak więc gromadzenie się w Zbiorniku znacznych ilości zawiesiny wraz z zawartymi w nim biogenami jest z punktu widzenia czystości wody Wisły i wód Bałtyku procesem korzystnym.

Zbiornik włocławski, podobnie jak większość zbiorników zaporowych, jest swoistą pułapką sedimentacyjną. Pełni więc funkcję naturalnej oczyszczalni. Kumulacja zawiesiny i gromadzenie się dużych ilości mulistych osadów w zbiorniku zmienia w istotny sposób charakter procesów chemicznych zachodzących w wodzie i w osadach

Parametr	Ładunek dopływający (tys. ton)	Ładunek wypływający (tys. ton)	Kumulacja (tys. ton%)
P _{TOT}	108,3	85	23,3 (21,5%)
N _{TOT}	1007	882	125 (12,4%)

Tab. 3. Łączna ilość fosforu i azotu skumulowana w zbiorniku włocławskim (1992–2009)

dennych. W głębszych warstwach osadów dennych, a niekiedy także w wodzie przydennej, są warunki beztlenowe. Sprzyja to procesowi denitryfikacji, który [1] uważają za główny mechanizm zmniejszający ilość azotu w środowisku wodnym. Ilość azotu, która może być uwolniona w wyniku tego procesu do atmosfery, może wynosić w skali roku od 11 do 60% [12]. Należy domniemywać, że podobne procesy samooczyszczania się wody Wisły zachodziłyby w każdym z następnych zbiorników zaporowych. Należy jednak pamiętać, że tempo gromadzenia się osadów w tych zbiornikach będzie wyraźnie mniejsze niż w zbiorniku włocławskim.

Bibliografia

1. Faafeng B., Roseth R., Retention of nitrogen in small streams artificially polluted with nitrate. *Hydrobiologia*, s. 113–122.
2. Giziński A. i in., Raport wstępny z wyników badań przeprowadzonych w celu ustalenia przyczyn masowego śnięcia ryb i innych organizmów w Zbiorniku Włocławskim, Toruń 1986, s. 1–3.

3. Giziński A. i in., Hydrobiological characteristic of the lowland, rheolimnic Włocławek Reservoir on the Vistula River, *Ekologia Polska* 1989, s. 359–403.
4. Giziński A., Wpływ zaporę we Włocławku i stopnia wodnego w Nieszawie na środowisko, Ekspertyza wykonana na zlecenie Komisji Ochrony Środowiska Sejmiku RP, 2000.
5. Giziński A., Głogowska B., Kentzer A., Wpływ stopnia wodnego „Włocławek” i planowanego stopnia wodnego „Nieszawa” na środowisko, Ekspertyza wykonana na zlecenie Urzędu Marszałkowskiego w Toruniu, 2001.
6. Giziński A., Falkowska E., *Hydrobiologia stosowana: ochrona wód powierzchniowych*, Wyższa Szkoła Humanistyczno-Ekonomiczna we Włocławku, Włocławek 2003.
7. Kentzer A., Giziński A., Bilans i dynamika nutrientów w zbiorniku włocławskim [w:] *Procesy biologiczne w ochronie i rekultywacji nizinnych zbiorników zaporowych*, red. M. Zalewski, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Łódź 1995, s. 85–90.
8. Kentzer A., *Hydrochemistry of the Vistula between Płock and Toruń*. AUNC, Limnol, 2000, s. 33–42.
9. Kentzer A., Giziński A., Głogowska B., Wpływ zbiornika włocławskiego na jakość wody Wisły w latach 1986–2002, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Toruń 2004, s. 209–218.
10. Grześ M., 1991. Zatory i powódzie zatorowe na dolnej Wiśle, mechanizmy i warunki. IGI PAN, Warszawa.
11. Raport o stanie środowiska województwa kujawsko-pomorskiego w 2000 roku, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Bydgoszcz 2001.
12. Raport o stanie środowiska województwa kujawsko-pomorskiego w 2012 roku, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Bydgoszcz 2011.
13. Tomaszek J., Czerwiec E., Znaczenie procesów denitryfikacji dla bilansu azotu w ekosystemach wodnych [w:] *Procesy biologiczne w ochronie i rekultywacji nizinnych zbiorników zaporowych*, red. M. Zalewski, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Łódź 1995, s. 91–99.
14. Vollenweider R.A., *Scientific fundamentals of the eutrophication of lake and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication*, OECD, Directorate for Sci.Affairs, Paris, DAS (CSI) 68, 1968, s. 1–182.

Andrzej Kentzer

dr hab., prof. UMK

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

e-mail: akentzer@umk.pl

Ekolog – hydrobiolog i hydrochemik. Sprawuje funkcję kierownika Instytutu Zakładu Hydrologii na Wydziale Biologii i Ochrony Środowiska UMK w Toruniu. Magisterium, doktorat i habilitację uzyskał, pracując w Zakładzie Hydrologii Instytutu Ekologii i Ochrony Środowiska. Jest autorem lub współautorem kilkudziesięciu publikacji oraz niepublikowanych prac magisterskich i ekspertyz dotyczących chemii i biologii zbiornika wrocławskiego. Specjalizuje się w badaniach wpływu jezior i zbiorników zaporowych na jakość wody oraz w ocenie roli związków fosforu w ochronie i rekultywacji wód śródlądowych.

Andrzej Giziński

emerytowany prof. zw.

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

e-mail: agizinski@op.pl

Ekolog – hydrobiolog. Do września 2003 roku był kierownikiem Zakładu Hydrobiologii Instytutu UMK w Toruniu, niemal od 30 lat prowadził tam kompleksowe badania dolnej Wisły, a zwłaszcza zbiornika wrocławskiego. Efektem tych badań jest ok. 100 publikowanych i niepublikowanych opracowań (w tym dziewięć doktoratów) na temat ekologii zbiornika. W 2000 roku wszedł w skład zespołu ekspertów, powołanego przez KERM „w sprawie budowy stopnia wodnego Nieszawa-Ciechocinek”, który wykonał na zlecenie Sejmu RP ekspertyzę na ten temat.