

# The Hydraulic Project Włocławek: Design, Studies, Construction and Operation

## Author

Wojciech Majewski

## Keywords

Włocławek project, Vistula river, Lower Vistula, hydro-energy, operation problems

## Abstract

The Hydraulic Project Włocławek was commissioned in 1970 as the first barrage of the Lower Vistula Cascade (LVC). The purpose of the LVC was to create an important source of hydro-energy and inland navigation route connecting central Poland with the port city of Gdańsk. Along the Lower Vistula (LV) important cities and industrial centres are located. The Włocławek project still remains the only barrage on the LV thus creating a number of problems. The paper presents the basic hydrological and hydraulic data for the Vistula river, and describes the Włocławek project, hydraulic model investigations conducted in the design phase, the construction of the project and the main problems, attendant on its use, including the winter flood of 1982 in the upper part of the Włocławek reservoir. The paper ends with conclusions on project construction and exploitation. The next barrage downstream from Włocławek is proposed.

**DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2015103**

## 1. Introduction

After the Second World War the severely destroyed country needed large amounts of water, electricity and means of transportation for its reconstruction. In this respect the Lower Vistula (LV), the down-stream section of the Vistula River offered great possibilities. Along the LV several important cities and industrial centres are located. It connects central Poland with the port cities Gdańsk, Gdynia and Elbląg forming a navigation route, that could play an important role in national and inter-national transportation. The LV represents approximately 50% of Poland's economic [5] hydro-energy potential. The Lower Vistula Cascade (LVC) was proposed in the 1960s. The LVC could provide water supply not only for domestic and industrial purposes but also for irrigation. The region has very fertile soils but very low precipitation. Thus there were numerous economic and social benefits to be gained from the management of the river. On the other hand however, there were also some negative aspects in the form of sediment transport and ice phenomena, which appeared every year. During design and construction of the project little attention was paid to environmental consequences. One should also bear in mind that during this time the river was severely polluted and the country's economy was centrally planned. In these circumstances the construction of the Lower Vistula Cascade was proposed and in 1970 the first of 8 hydraulic projects was commissioned.

The paper describes the Vistula river and the Lower Vistula, the concept of the Lower Vistula Cascade, the Włocławek project, hydraulic model investigations, carried out for this project, the

construction of the project, and problems encountered during 40 years of its operation. These problems include in particular, erosion downstream from the project, sedimentation in the upper part of the reservoir, ice phenomena along the LV, the ice-jam flood of 1982, other environmental consequences, and water quality problems. The plan for the next hydraulic project downstream from Włocławek is also presented.

## 2. The Vistula River

The Vistula, the largest Polish river flows from its source in the mountains in southern Poland, to the Baltic Sea in the north. It is 1047 km long, and its catchment covers 194 thousand km<sup>2</sup>, of which 169 thousand km<sup>2</sup>, represent 54% of Polish territory [3]. From the hydrographic point of view the Vistula can be divided into 3 distinctly different sections and sub-catchments: Upper Vistula, Middle Vistula, and Lower Vistula (Fig. 1). The Upper Vistula stretches from the river source 1 116 m above sea level to the tributary San river. The Middle Vistula runs from the tributary San to the tributary Narew, and the Lower Vistula from the tributary Narew to the mouth to the Gdańsk Bay. These sections of the Vistula River represent three parts of the river and its basins, differing significantly from the hydrological point of view.

Environmentalists argue that the Vistula is the only one wild, not regulated, natural river in Europe and should remain in this state preserving most of its environmental values. Water resources specialists, on the other hand, point out that it is the only river of this size in Europe, that does not bring economic and social



Fig. 1. Map of Poland with Vistula River catchment

benefits to the country. The Vistula is partly regulated, highly environmentally damaged and polluted, and there is no long term strategy for its management. The river was locally partly managed mainly for flood protection or navigation.

In the 17<sup>th</sup> century the Vistula was the most navigable river in Europe. Despite very primitive means of river transport, more than a quarter of a million tons of goods and commodities were transferred annually from the interior of the country to the port in Gdańsk, which at this time was "Poland's window to the world". After partitioning of Poland in the 18<sup>th</sup> century the Vistula lost its significance and gradually deteriorated, while other European rivers developed very dynamically in terms of inland navigation, as well as sources of hydro-energy and water for households, industry and agriculture.

There have been several plans for the development of the Vistula River. Unfortunately none of them has been implemented mainly because of the shortage of funds, lack of political will of governments as well as the protests of environmental organizations. At present there is no long-term strategy for the development of the Vistula and its catchment.

### 3. The Lower Vistula

Lower Vistula is the river section extending 391 km from the tributary Narew to the outflow to Baltic Sea (Gdańsk Bay). The average multiannual discharge of the Vistula at the mouth of the river is 1080 m<sup>3</sup>/s. The maximum recorded, after the Second World War was 7840 m<sup>3</sup>/s and the minimum discharge was 253 m<sup>3</sup>/s. The

average annual run-off to the sea is 34 km<sup>3</sup>, while the minimum and maximum are 20.5 and 50.8 km<sup>3</sup> respectively. The map of the LV is shown in Fig. 2.

Along the Lower Vistula there are several important cities and industrial centres, which use the river as a source of water. These include: Płock, Włocławek, Toruń, Bydgoszcz, Grudziądz, Tczew, Elbląg and Gdańsk. Owing to its high discharge the Lower Vistula has a large hydro-energy potential, which is estimated at 50% of the total hydro energy potential of Poland. Besides, this river section provides an excellent navigation connection to the European navigable network (E70 and E40). A very serious problem along the LV are ice phenomena such as ice cover formation, ice break-up, and ice-run, which considerably change flow conditions and very often cause high water stages resulting from various types of ice jams. Intensive sediment transport causes bed load deposition at the river mouth which results in deteriorating outflow conditions to the sea in the Gdańsk Bay.

### 4. Lower Vistula Cascade

After the Second World War the idea of constructing the Lower Vistula Cascade (LVC) was put forward. It was to consist of 8 barrages, run-of-river reservoirs and hydraulic power plants. The main purpose of the LVC was to produce energy and to create an inland navigable route connecting central Poland with the port city of Gdańsk. The idea of the LVC was advanced as early as the 1960s [2]. It is a very complex investment project influencing economic, social and environmental conditions in 3 voivodships

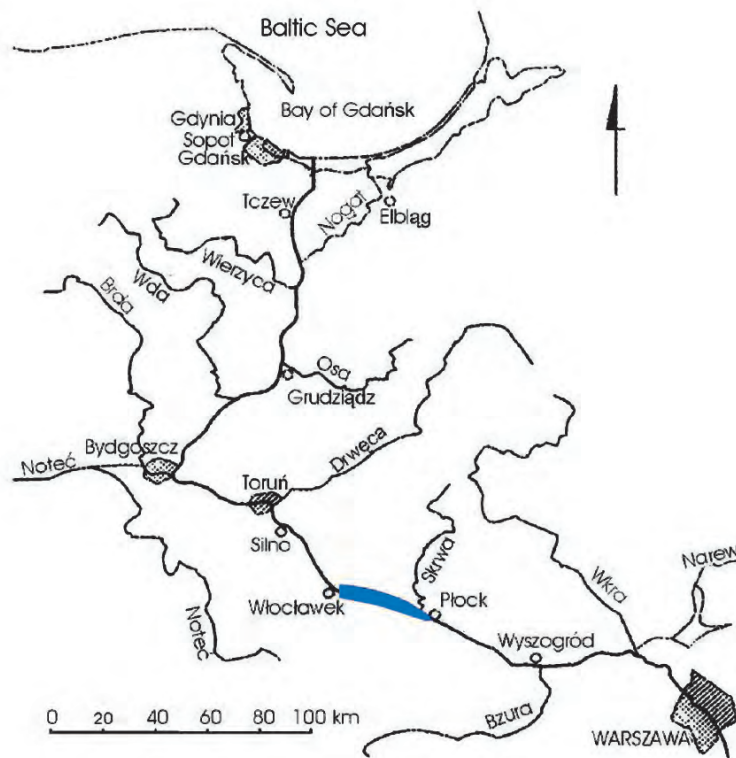


Fig. 2. Map of the Lower Vistula

situated along this river section. It would affect 12% of Poland's area and 14% of the population. The principal benefit from the LVC is the production of environmentally sound and renewable electricity. Initially the annual production of electricity by the LVC was estimated as 4200 GWh with a total power output of 1300 MW. Energy production is closely linked with the basic objectives of water resources management, i.e. water supply, stabilization of free surface and ground water levels, flood control, development of navigation, sport and recreation facilities. The project will stimulate the road network associated with new crossings over the Vistula River, and will make a significant contribution to economic growth, creating thousands of jobs for people and reducing unemployment in the area. Later plans which were subject to environmental restrictions, decreased the installed power to 640 MW and the energy production to 3400 GWh in an average hydrological year. Subsequent changes in the design of the LVC were closely linked to a comprehensive program for water quality improvement of the whole Vistula catchment, which would reduce the pollution load carried to the Baltic Sea. The need to limit the negative environmental impact required numerous interdisciplinary studies and close cooperation between experts from various fields. Similar problems have been successfully solved in other European countries. The plan of the LVC is shown in Fig. 3.

## 5. Hydraulic project Włocławek

The decision to develop the first hydraulic project of the LVC was made in the 1960s and the location selected was close to the city of Włocławek. This choice was justified by highly favourable hydro-energy conditions as well as the fact that there were plans

to construct a Central channel which would supply water to the southern industrial region of Poland beginning at Włocławek reservoir. This idea was later abandoned because of an economic crisis in Poland.

In terms of its magnitude and complexity the Włocławek project was a pioneering venture in Poland. Two consulting bureaus Hydroprojekt and Energoprojekt from Warsaw were commissioned to prepare a technical plan for the project. All necessary geodetic, geological and geotechnical measurements were performed together with the analysis of hydrological and meteorological data. Also hydraulic model investigations were carried out in a Polish hydraulics laboratory.

The project consists of an earth dam, a 10-bay weir with spillways for discharging water and ice, equipped in steel gates, a hydraulic power plant (160 MW) consisting of 6 units (vertical Kaplan turbines) producing 750 GWh in an average hydrological year, a navigation lock and a fish pass. The installed discharge of the power plant is 2190 m<sup>3</sup>/s. The turbines can operate in the range of the head from 5.2 to 12.7 m. The layout of the project is presented in Fig. 4.

The Włocławek project forms a run-of-river reservoir of an initial volume 400 hm<sup>3</sup>. In several places flood dykes were transformed into side dams. An important road connecting the banks of the Vistula runs on the crest of the project. The project was located at km 675 of the Vistula River. The normal water level is 57.30 m above sea level, whereas the maximum and minimum water levels in the reservoir are 58.50 and 56.50 m. The tail water level in case of the construction of the next hydraulic project was assumed as 46.00 m. This level guaranteed good performance



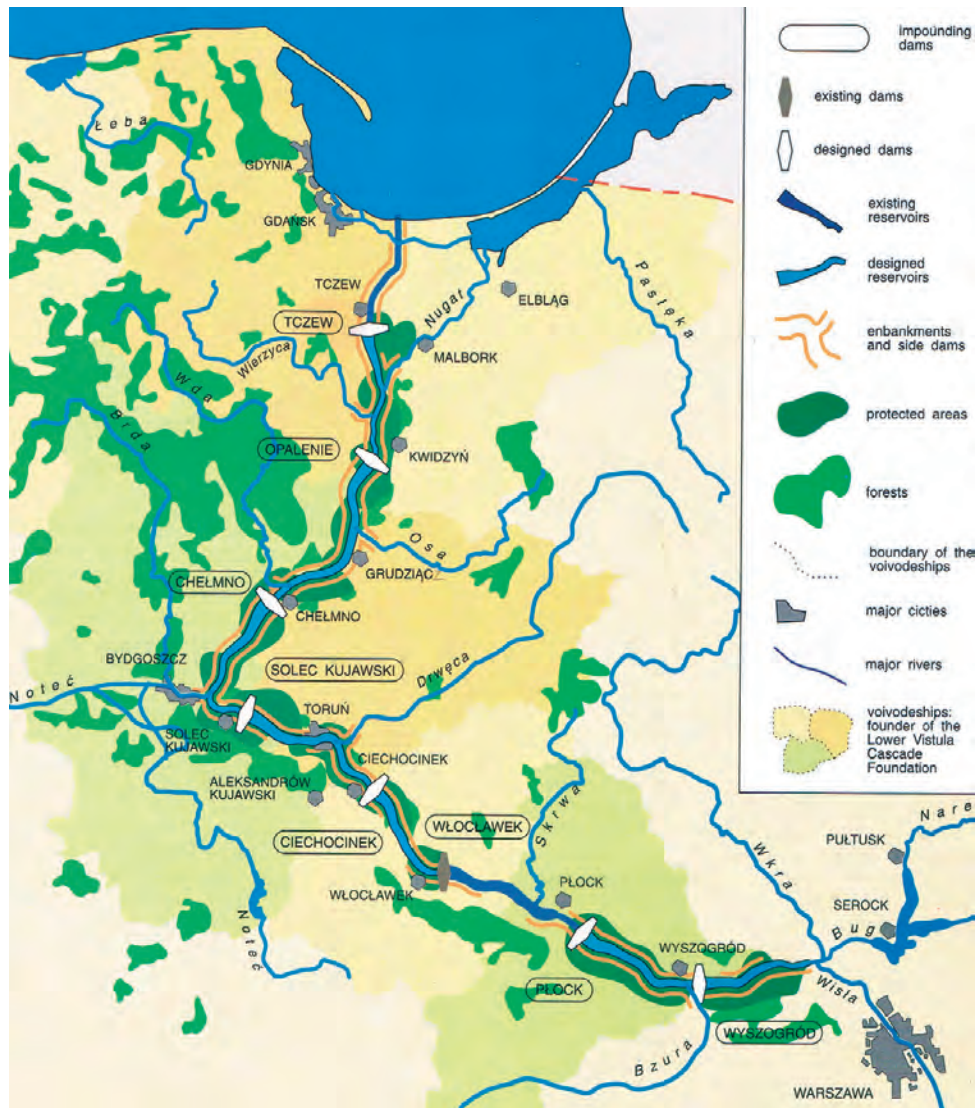


Fig. 3. Plan of the Lower Vistula Cascade

of the weir and hydraulic power plant as well as stability of the whole project. The average discharge in the cross-section of the project is  $890 \text{ m}^3/\text{s}$ , the flow of the 1% annual exceedance probability was calculated as  $8700 \text{ m}^3/\text{s}$ , and the control flow of the probability 0.3% was  $10\,280 \text{ m}^3/\text{s}$ . The biological flow through the project was initially assumed as  $350 \text{ m}^3/\text{s}$  and later increased to  $450 \text{ m}^3/\text{s}$ . The maximum discharge at maximum water level (58.50 m) was estimated at  $11\,150 \text{ m}^3/\text{s}$ . According to the later revised conveyance calculations this discharge is  $9500 \text{ m}^3/\text{s}$ , which is less than initially planned and less than the control flow. During exploitation of the project to date maximum discharge through the project has not exceeded  $6000 \text{ m}^3/\text{s}$ .

The weir consists of 10 bays of a length of 20 m each. The bays are closed by means of steel gates which can be lowered to discharge water and ice floes over their crest or raised completely in the case of high discharge. The navigation lock has the dimensions  $12 \times 115 \text{ m}$  and was designed for an annual conveyance of 6 million tons. The bottom of the lock chamber is at a level of 41.80 m. The upper gate is of the segment type whereas the

lower gate is of the wicket type. A complex system was designed for the filling and emptying of the lock chamber.

The Włocławek project generates numerous benefits, but it still operates as a single standalone facility, which has drawbacks and negative consequences. An important problem resulting from the operation of the Włocławek project is the erosion downstream from the project and the deposition of sediment in the upper part of the reservoir. Other serious problems are caused by ice phenomena and the possibilities resulting in ice jams. The formation of the run-of-river reservoir on the previously free flowing river considerably changed the winter ice regime. In 1982 an severe winter flood occurred on the upper part of the Włocławek reservoir. It was caused by a coincidence of highly unfavourable hydrological and meteorological conditions, which had not been foreseen in the initial design.

Because of the decreasing tail water level and the absence of the next hydraulic project an underwater sill was constructed downstream from hydraulic power plant and the weir to stabilize the tail water level (Fig. 4). It was only a partial solution, because it did not solve the problems related to the navigation lock and

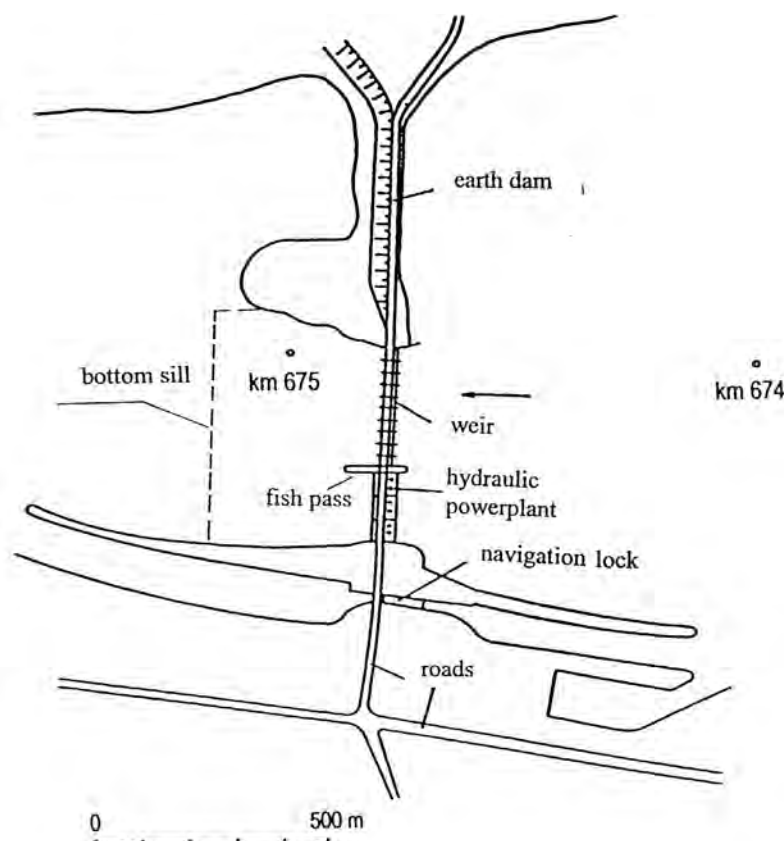


Fig. 4. The layout of the hydraulic project Włocławek

stability of the dam. An effective solution to these problems would be the construction of the next barrage.

## 6. Hydraulic model investigations

This important project required detailed hydraulic model investigations. There were several problems which had to be investigated in separate models.

- A hydraulic model built at an undistorted scale of 1:100 represented the inflow part to the weir and the hydraulic power plant. The aim of this study was to determine flow pattern especially at high discharges with fully or partly opened bays of the weir. Special guiding structures were proposed to ensure a uniform inflow into all bays of the weir. It was checked whether the maximum permissible water levels in the reservoir would not be exceeded during high discharges. This requirement was fulfilled. The inflow of ice floes to the weir was also studied.
- A 1:80 scale hydraulic model simulated flow conditions in the river cross-section of the project narrowed by a cofferdam. A navigation lock, hydraulic powerplant and weir were constructed within the cofferdam.
- A sectional model of the weir including 2 bays with piers was constructed at a scale of 1:50 in a hydraulic flume. The aim of this model was to determine flow conditions for various positions of the gate and different discharges of water and ice floes. The efficiency of the stilling basin was also investigated.

Several corrections to the proposed shape of the structure were introduced. Discharge coefficients of the weir were determined.

- A 1:20 scale model of the navigation lock. The aim of this model was to study the filling and emptying of the lock chamber and to measure forces acting on the barge.
- A model study in a scale of 1:80 was carried out including the closing of the remaining river channel after the completion of the weir, navigation lock and hydraulic powerplant and dismantling of the cofferdam. This study was very important because the operation of closing the river channel, if failed, could not be quickly repeated, because of the necessity to collect new material for the closure. Two options of closing the river channel were investigated: from a floating bridge or from two banks simultaneously. The latter option was chosen and successfully implemented.

In addition to the hydraulic model studies calculations were carried out to determine backwater profiles for different values of ice cover thickness and discharges. For this purpose a relatively smooth ice cover was assumed. The calculations indicated some increase in the water level in the upstream part of the reservoir, due to the presence of ice cover, but it was not dangerous. During the ice-jam flood in 1982, it was discovered that 100 million cubic metres of ice were deposited in the reservoir, causing a considerable decrease of flow cross-sections and an increase in flow

resistance, which considerably increased the water level in the upper part of the reservoir.

## 7. Construction of the Włocławek barrage

The project was implemented by two Polish enterprises Hydrobudowa and Energobudowa. The first stage was the construction of the cofferdam within which part of the hydraulic project was developed (weir, power plant, navigation lock). Then the cofferdam was dismantled and river discharge was directed through the weir without gates. The crucial stage was the closing of the remaining river channel. This operation was carried out simultaneously from two banks, as recommended by the hydraulic model study. This operation was carried out during a low water discharge and was successful. The closed river section was then developed into an earth dam, which completed the construction of the project.

## 8. Operation of hydraulic project

When the Włocławek project had been completed it was assumed that next hydraulic project would be put into operation within a few years [1]. This would have solved the tail water level problem. No alternative solution was taken into account. When for various reasons the next project could not be developed numerous problems arose, making it impossible for the project to operate safely according to the design. This situation should have been provided for in the design of the project.

The hydraulic project Włocławek was commissioned in 1970, and since that time for over 40 years it has not been operating according to the design. It has been one of the most controversial hydraulic projects in Poland. The fundamental problem is the decreased water level downstream from the project. This causes accelerated erosion, which results in a decreasing tail water level and consequently deteriorating the exploitation conditions for the whole project. The main problems are the deterioration of the exploitation conditions of the power plant, performance of the stilling basin of the weir and operation of the navigation lock. In order to improve this situation an underwater bottom sill was constructed downstream from the power plant and the spillway section (Fig. 4). This structure, however, did not improve the stability of the dam and the operation of the navigation lock. At present especially during low discharges, the passage through the navigation lock is practically impossible.

The operation of the Włocławek project has also caused the change in ice regime not only on the reservoir itself but, also downstream from the project. Serious problems are created by the river section upstream from the reservoir, which is in an almost natural state. Here large amounts of frazil ice are formed. This ice is transferred to the reservoir, where solid ice cover has already developed. In consequence frazil ice forms hanging dams, which deteriorate flow conditions and increase the water level in the upper part of the reservoir. In order to remedy this problem after the flood in 1982 ice booms were designed, and they are installed every year in the upper part of the reservoir to prevent the inflow of ice and also to accelerate ice cover formation upstream from the reservoir.

The whole Vistula River and especially the upstream section from the reservoir was severely polluted and a considerable amount of pollutants settled in the reservoir, forming dangerous deposits. This situation was blamed on the project, although it seems a preferable alternative to these pollutants being carried downstream to sandy beaches in the Gdańsk Bay, which are popular tourist destinations during summer months.

The operation of a fish pass was not very successful, impeding the movement of migrating fish. It should be pointed out, however, that the decrease in the numbers of migrating fish was due not only to the construction of the project, but also to severe water pollutions.

Advantages of the hydraulic project Włocławek included.

- Production of electric energy at an average annual rate 740 GWh per year, which nearly covers the total demand for electricity in the two cities Włocławek and Płock, situated at the ends of the reservoir. Production of this amount of electric energy in a conventional thermal power plant would require nearly 900 tons of coal to be burned every day, which would result in considerable air pollution.
- Formation of an additional crossing over the Vistula for the city Włocławek.
- Possibilities for the abstraction of water for industrial, household and agricultural purposes.
- New possibilities for recreation, and water sports.

The project and the reservoir have always been highly controversial and have been blamed especially by the environmentalists, for all inconveniences that occurred during the operation of the project. There have been numerous conferences, meetings and studies concerning its future. The basic solution, suggested by the specialists in water resources management is the construction of the next hydraulic project downstream. This would not only stabilize the tail water level, thus solving the undesirable consequences of downstream erosion, but also improve operation of the hydraulic power plant, the stilling basin of the weir, as well as facilitate the use of the navigation lock. This solution is strongly supported by the local community and authorities.

The environmentalists, mainly from the WWF, on the other hand, advance the idea of dismantling the whole project and returning the Vistula to its previous natural state. Both solutions are very costly. The government therefore prefers to maintain the status quo, invoking the arguments of environmentalists, who claim that another project would only cause problems, such as those mentioned earlier in connection with the Włocławek project.

The Włocławek project was originally not designed for flood protection, because of the small volume of the reservoir in relation to the volume of the flood wave. Recently, however, initial attempts have been made to use it for such purposes. These consisted in emptying a certain volume of the reservoir according to flood wave forecast. This results in attenuation of a flood wave as it moves downstream, which was demonstrated during the flood on the Vistula in 2010.



## 9. Erosion and sedimentation

The process of erosion downstream from the hydraulic project and sedimentation in the upper part of the reservoir started immediately after the commissioning of the project. Sedimentation of the bed load is a natural phenomenon caused by the higher depth and thus smaller flow velocities. Most of suspended sediment passes through the reservoir. Downstream erosion was caused predominantly by the peak operation of the power plant, which resulted in a highly unsteady flow and consequently accelerated erosion. High discharges were also responsible for accelerated erosion. This decreased the tail water level, which could not have been prevented by the controlled water level from the next hydraulic project. It was designed to be built at a location about 30 km downstream, but the work has never been started because of a financial crisis. Downstream erosion increased in depth and expanded downstream, which caused environmental effects.

The decreasing tail water level caused problems for the operation of the power plant due to turbine cavitation, as well as reduced the efficiency of the stilling basin of the weir. Therefore an underwater sill was constructed about 500 m downstream from the power plant and the weir, which improved only the operation of the hydraulic power plant and the stilling basin. It was also decided that the power plant will operate in the uniform flow mode only.

One of the above facts is that designing a hydraulic project it is necessary to allow for the eventuality that it may have to operate as a stand-alone facility, because other projects may never be constructed.

## 10. Ice phenomena

The part of the Lower Vistula, that was transformed into the Włocławek reservoir has always been one of the most ice-jam prone river sections. The creation of the reservoir changed the hydraulic and ice regime of this river section. The duration of ice-run and frazil events was considerably shortened and the period of solid ice cover was significantly extended. The main problem for the reservoir was the formation of frazil ice upstream from the reservoir along the Vistula, which is considered as natural. In fact this situation was one of the causes of the ice-jam flood on the upstream part of the reservoir in 1982. Although ice phenomena were taken into account by the designers, however, they did not provide for such extreme conditions that occurred in 1982. Wind proved to be a very important factor for the ice regime, because of its influence on ice floes movement, as well as the combined effect of discharge and water temperature.

A comprehensive study of the winter ice-jam flood (1982) based on the detailed measurements of ice cover [4], hydraulic conditions, and backwater profiles revealed the complexity of exploitation conditions that may occur in projects of this kind located on the Lower Vistula. This should be taken into account when designing the next hydraulic project on the LV.

One solution to ice problems on the Włocławek reservoir is the effective use of the weir to discharge ice floes downstream through the weir gates. Another solution is the fleet of ice-breakers to break ice on the reservoir to form and maintain

an ice-free channel for discharging ice floes downstream. The third measure, which was introduced after the flood in 1982 are the floating ice booms in the upper part of the reservoir. They prevented the inflow of frazil ice from the upstream part of the Vistula into the reservoir and also accelerated the formation of ice cover upstream from the reservoir, which prevents the formation of frazil ice. The ice-jam flood, that occurred in 1982 was caused by the coincidence of extreme hydro-meteorological conditions.

## 11. Environmental aspects

The Vistula was and is still very polluted. The Vistula river as a whole is known as a major ecological corridor, which is used by various species. A significant part of the river is now protected under the NATURA 2000 program. In particular this concerns the whole section of the Lower Vistula. Only the existing Włocławek Reservoir is excluded from this program. The Vistula runs through several national and landscape parks, and is regarded by the environmentalists, as the only wild, natural river in Europe. It is difficult to imagine how other European rivers that bring important benefits to humans in the form of inland navigation, recreation, water supply, and hydroenergy, may at the same time preserve their natural ecological role. Forty years after the creation of the Włocławek reservoir it was revealed that its biodiversity is much greater than that in the river upstream from the reservoir. There is an abundance of new species of fish, birds and other living animals. Water quality in the reservoir is at present satisfactory, and water quality downstream improved significantly, because large part pollutants are deposited in the reservoir. The Włocławek reservoir has become a large new ecological system, with a very important role in the stabilization of the ground waters surrounding the reservoir. Arguments concerning pollution and toxic sediments in the Włocławek reservoir, which were used by environmentalists opposed to its existence and to the proposed creation of the next reservoir, have not been confirmed by direct measurements. Comprehensive multiyear hydrobiological studies have demonstrated that the ecological status of the reservoir is very good.

## 12. Proposal for the next hydraulic project downstream from Włocławek

After the completion of hydraulic project Włocławek first preparations were carried out for further projects, downstream and upstream from Włocławek. With regard to the downstream project, the technical design had been completed, and the works for the execution construction of the project were in progress. Unfortunately the economic state of the country caused it to be suspended.

In 2005 the construction design bureau Hydroproject Warsaw [1] completed the concept of the new hydraulic project downstream from Włocławek. This concept was commissioned by the Regional Board for Water Management in Warsaw.

This project included a weir of 16 bays, each 20 metres long. The weir has a low stable sill and segment gates with ice flaps. The normal water level in the reservoir is assumed as 46.0 m. The hydraulic power plant consists of 6 units with bulb turbines. It has a total power of 46.4 MW, design discharge of 1150 m<sup>3</sup>/s and installed heads in the range of 4.80 to 7.15 m. The amount

of energy produced in an average hydrological year is estimated at 276 GWh. The project includes the navigation lock with the chamber length of 120 m and the width of 12 m. Two fish passages have been designed. A technical fish pass is located in the pier between the weir and hydraulic power plant. An ecological fish pass runs through the left bank of the river and is very similar to a natural stream or mountain brook.

In 2013 another project of the new barrage downstream from Włocławek was completed by consulting bureau ARUP on a commission from ENERGA SA, which is interested mainly in the hydraulic power plant. Other benefits of the next hydraulic project are: safety of Włocławek project, improvement of navigation, recreation, new passage over Vistula, and flood protection. These activities should be cofinanced by other economy sectors and state budget. This project is now being evaluated from the environmental point of view.

### 13. Final remarks

- In 1970 the hydraulic project Włocławek was commissioned as the first part of the LVC. The project generates important benefits, but it still operates as a stand-alone facility, which has some negative consequences.
- It is worth mentioning that the whole cost of the Włocławek project was returned within 7 years counting only the income from electric energy.

- The construction of the next hydraulic project downstream from Włocławek was proposed several times, but its implementation was unfortunately suspended because of an economic crisis and protests from various environmentalist organizations.
- At present ENERGA SA is willing to build the next hydraulic project on the Lower Vistula River downstream from Włocławek. The implementation of the project needs to be approved by the government.
- The design of the new project should take into account, not only economic, social, and environmental aspects, but also experience from the operation of the Włocławek project.

### REFERENCES

---

1. Hydraulic project Nieszawa, concept design, Hydroprojekt Warsaw 2005 (in Polish).
2. Lower Vistula Cascade. PROEKO, Warsaw 1993.
3. Majewski W., General Characteristics of the Vistula and its Basin, *Acta Energetica* 2013, nr 2.
4. Majewski W., Flow in Open Channels under the Influence of Ice Cover, monograph, IMGW, Warsaw 2009 (in Polish).
5. Kosiński J., Zdulski W., Hydropower potential of the Vistula, *Acta Energetica* 2013, nr 2.

---

### Wojciech Majewski

Institute of Meteorology and Water Management National Research Institute, Warsaw

Water Management Committee of the Polish Academy of Sciences

e-mail: [wmaj@ibwpan.gda.pl](mailto:wmaj@ibwpan.gda.pl)

A graduate of the Faculty of Hydro-Engineering of Gdańsk Technical University, and of postgraduate studies at the University of Glasgow. Since 1990 he has been a titular professor specializing in hydro-engineering and water management, now at the Institute of Meteorology and Water Management National Research Institute in Warsaw Vice-chairman of the Water Management Committee of the Polish Academy of Sciences. He has managed the implementation of many important national and international projects in hydraulics, hydrology and hydro-engineering. He participates in national and international conferences, presenting papers and general papers. He has promoted many doctoral thesis, and reviewed doctoral and post-doctoral thesis and academic backgrounds and records for professor qualifications. Author of over 350 publications in Polish and English in the field of hydro-engineering and water management. An outstanding engineering and scientific authority in the country and abroad.



This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 33–40. When referring to the article please refer to the original text.

PL

## Stopień wodny Włocławek: projekt, badania, budowa i eksploatacja

### Autor

Wojciech Majewski

### Słowa kluczowe

stopień Włocławek, rzeka Wisła, dolna Wisła, hydroenergia, problemy eksploatacyjne

### Streszczenie

Stopień wodny Włocławek został oddany do eksploatacji w 1970 roku jako pierwszy obiekt Kaskady Dolnej Wisły (KDW). Celem KDW było stworzenie znaczącego źródła hydroenergii i śródlądowej drogi wodnej łączącej centrum Polski z gdańskim portem. Wzdłuż dolnej Wisły (DW) znajdują się ważne ośrodki miejskie i centra przemysłowe. Stopień wodny Włocławek nadal pozostaje jedynym obiektem na DW, powodując wiele problemów. Artykuł przedstawia podstawowe dane hydrologiczne i hydrauliczne rzeki Wisły, podaje opis stopnia wodnego Włocławek, hydrauliczne badania modelowe przeprowadzone w fazie projektowania, przebieg budowy stopnia i jego podstawowe problemy występujące w czasie eksploatacji, łącznie z zimową powodzią w górnej części zbiornika Włocławek w 1982 roku. Artykuł kończy się wnioskami dotyczącymi budowy i eksploatacji stopnia. Przedstawiono również propozycję następnego stopnia poniżej Włocławka.

### 1. Wprowadzenie

Po II wojnie światowej bardzo zniszczony kraj potrzebował dużych ilości wody i elektryczności oraz środków transportu do jego odbudowy. W tej sytuacji dolna Wisła (DW), tj. dolny odcinek Wisły, przedstawiał znaczne możliwości. Wzdłuż DW znajduje się wiele miast i ośrodków przemysłowych. DW łączy centrum Polski z portami w Gdańsku, Gdyni i Elblągu, tworząc drogę wodną, która może odgrywać istotną rolę w krajowym i międzynarodowym transporcie. DW przedstawia ok. 50% ekonomicznego potencjału hydroenergetycznego Polski [5]. Kaskada Dolnej Wisły (KDW) została zaproponowana już w latach 60. KDW może dostarczać wodę nie tylko do celów komunalnych i przemysłowych, ale również do nawodnień. Region posiada bardzo żyzne gleby, ale bardzo niskie opady. Tym sposobem można osiągnąć wiele gospodarczych i społecznych korzyści z zagospodarowania rzeki. Z drugiej strony jednakże istnieją pewne negatywne aspekty w postaci zaburzeń transportu rumowiska i zjawisk lodowych, które pojawiały się każdego roku. W czasie projektowania i budowy stopnia mało uwagi poświęcano konsekwencjom środowiskowym. Należy jednak pamiętać, że w tym czasie rzeka była bardzo zanieczyszczona, a gospodarka kraju centralnie planowana. W tych warunkach zaproponowano budowę Kaskady Dolnej Wisły i w 1970 roku pierwszy z ośmiu stopni został oddany do eksploatacji.

Artykuł przedstawia opis Wisły i dolnej Wisły, koncepcję KDW, projekt stopnia Włocławek, hydrauliczne badania modelowe wykonane dla tego projektu oraz problemy, na jakie napotkano w czasie 40 lat jego pracy, a w szczególności: erozję poniżej stopnia, odkładanie się rumowiska w górnej części zbiornika, zjawiska lodowe na DW, powódź zatorową w 1982 roku, inne konsekwencje środowiskowe oraz problemy jakości wody. Plan następnego stopnia wodnego poniżej Włocławka został również przedstawiony.

### 2. Rzeka Wisła

Wisła jest największą polską rzeką, która płynie od jej źródeł w górach w południowej Polsce do Morza Bałtyckiego na północy. Wisła ma długość 1047 km, a jej dorzecze



Rys. 1. Mapa Polski z dorzeczem Wisły

wynosi 194 tys. km<sup>2</sup>, z których 169 tys. km<sup>2</sup> znajduje się na terytorium Polski (87%) [3]. Z punktu widzenia hydrograficznego Wisłę można podzielić na trzy zdecydowanie różne odcinki i zlewnie, są to: Wisła górna, Wisła środkowa i Wisła dolna (rys. 1). Górna Wisła rozciąga się od źródła na wysokości 1116 m nad poziomem morza do dopływu San. Środkowa Wisła obejmuje odcinek od dopływu San do dopływu Narew, a dolna Wisła od dopływu Narew do ujścia w Zatoce Gdańskiej. Te trzy odcinki Wisły reprezentują trzy części rzeki i jej zlewnie, różniące się znacznie z punktu widzenia hydrologicznego.

Specjaliści środowiska uważają, że Wisła jest jedyną dziką, nieuregulowaną, naturalną rzeką w Europie i powinna pozostać w tym stanie, zachowując większość wartości środowiskowych. Specjaliści gospodarki wodnej, przeciwnie zaś, wskazują, że jest to jedyna tej wielkości rzeka w Europie,

która nie przynosi ekonomicznych i społecznych korzyści dla kraju. Wisła jest częściowo uregulowana, bardzo zniszczona środowiskowo i zanieczyszczona oraz nie posiada długookresowej strategii zagospodarowania. Rzeka została częściowo zagospodarowana, głównie dla ochrony przeciwpowodziowej i żeglugi.

W XVII w. Wisła była najbardziej użegłownioną rzeką w Europie. Pomimo prymitywnych środków transportu rzeczynego ponad ćwierć miliona ton towarów i surowców przepływało rocznie z głębi kraju do gdańskiego portu, który uchodził za „polskie okno na świat”. Po rozbiórce Polski w XVIII w. Wisła traciła stopniowo swoje znaczenie i pogarszał się jej stan, podczas gdy inne rzeki europejskie rozwijały się dynamicznie pod względem żeglugi śródlądowej, jak również hydroenergetyki, wody dla mieszkańców, przemysłu i rolnictwa.

Powstało wiele planów rozwoju Wisły. Niestety, żaden z nich nie został zrealizowany ze względu na brak funduszy, brak politycznej woli rządów, jak również protesty organizacji środowiskowych. Obecnie nie ma długookresowej strategii rozwoju Wisły i jej dorzecza.

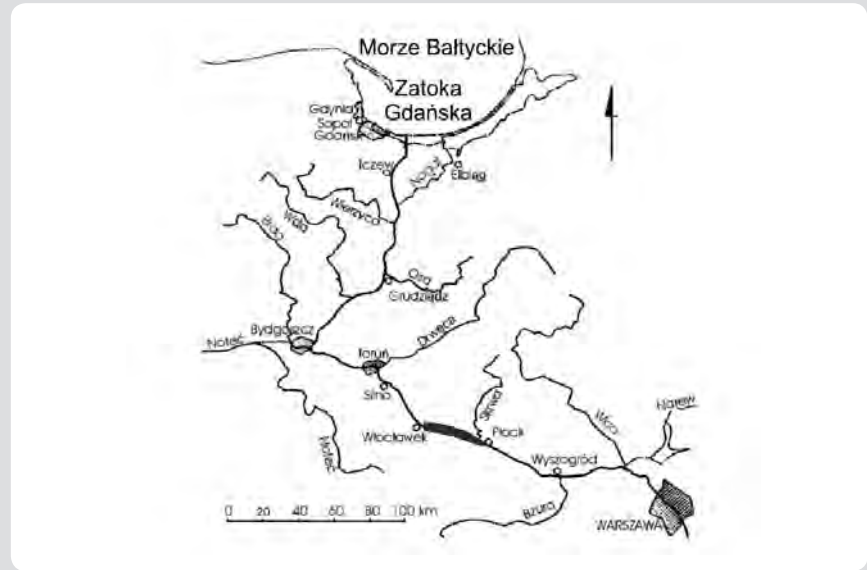
### 3. Dolna Wisła

Dolna Wisła (DW) jest odcinkiem rzeki o długości 391 km, od dopływu Narew do ujścia do Morza Bałtyckiego (Zatoka Gdańska). Średni wieloletni przepływ Wisły przy ujściu wynosi  $1080 \text{ m}^3/\text{s}$ . Maksymalny zarejestrowany przepływ po II wojnie światowej wyniósł  $7840 \text{ m}^3/\text{s}$ , a przepływ minimalny  $253 \text{ m}^3/\text{s}$ . Średni wieloletni odpływ do morza wynosi  $34 \text{ km}^3$ , podczas gdy minimalny i maksymalny odpowiednio  $20,5$  i  $50,8 \text{ km}^3$ . Mapę dolnej Wisły pokazano na rys. 2.

Wzdłuż dolnej Wisły znajduje się wiele ważnych miast i ośrodków przemysłowych, które wykorzystują rzekę jako źródło wody: Płock, Włocławek, Toruń, Bydgoszcz, Grudziądz, Tczew, Elbląg i Gdańsk. Ze względu na wysoki przepływ dolna Wisła ma duży potencjał hydroenergetyczny, który jest oszacowany jako 50% całego ekonomicznego potencjału Polski. Ponadto ten odcinek rzeki stwarza świetne połączenie żeglugowe do europejskiej sieci żeglugowej (E70 i E40). Poważnym problemem DW są zjawiska lodowe, takie jak tworzenie się pokrywy lodowej, ruszanie i przepływ lodów, które w znacznym stopniu zmieniają warunki przepływu i często powodują wysokie stany wody wynikające z różnego rodzaju zatorów lodowych. Intensywny transport rumowiska powoduje odkłady rumowiska wleczonego w ujściu, co pogarsza warunki odpływu do morza w Zatoce Gdańskiej.

### 4. Kaskada Dolnej Wisły

Po II wojnie światowej powstała idea budowy Kaskady Dolnej Wisły. Miała ona się składać z ośmiu stopni, zbiorników przepływowych i elektrowni wodnych. Głównym celem KDW była produkcja energii elektrycznej i stworzenie śródlądowej drogi wodnej łączącej centrum Polski z portem w Gdańsku. Idea KDW została przedstawiona już w latach 60. [2]. Jest to bardzo złożony projekt inwestycyjny mający wpływ na warunki ekonomiczne, społeczne i środowiskowe trzech województw usytuowanych wzdłuż tego odcinka rzeki – 12% powierzchni Polski i 14% ludności. Podstawową korzyścią KDW jest produkcja odnawialnej i przyjaznej środowisku energii elektrycznej. Początkowo roczną produkcję energii elektrycznej szacowano na 4200 GWh przy całkowitej zainstalowanej mocy 1300 MW. Wytwarzanie energii jest ściśle związane z podstawowymi celami gospodarki wodnej, tj. zaopatrzeniem w wodę, stabilizacją poziomów swobodnego zwierciadła wody oraz wód gruntowych, ochroną przeciwpowodziową, rozwojem żeglugi oraz urządzeń dla rekreacji i sportu. Projekt będzie stymulował rozwój sieci dróg związanych z nowymi przejściami przez Wisłę, będzie miał znaczący udział we wdrożeniu gospodarczym, tworząc tysiące miejsc pracy dla ludzi i redukując bezrobocie. Późniejsze plany, które uwzględniły ograniczenia



Rys. 2. Mapa dolnej Wisły



Rys. 3. Plan Kaskady Dolnej Wisły

środowiskowe, zmniejszyły instalowaną moc KDW do 640 MW i produkcję energii elektrycznej do 3400 GWh w średnim roku hydrologicznym. Następne zmiany w projekcie KDW były ściśle związane z szerokim programem poprawy jakości wody w całym dorzeczu Wisły, co spowodowało redukcję zanieczyszczenia przemieszanego do Morza Bałtyckiego. Potrzeba ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko wymagała wielu badań interdyscyplinarnych i ścisłej współpracy ekspertów z wielu dziedzin. Podobne problemy zostały pozytywnie rozwiązane

w innych krajach europejskich. Plan KDW zaprezentowano na rys. 3.

### 5. Stopień wodny Włocławek

Decyzję o budowie pierwszego stopnia KDW podjęto w latach 60., a lokalizację wskazano w pobliżu miasta Włocławek. Ten wybór był uzasadniony bardzo korzystnymi warunkami hydroenergetycznymi, jak również faktem, że istniał plan budowy Kanału Centralnego, który miał dostarczać wodę do południowego przemysłowego regionu Polski, biorąc początek w zbiorniku Włocławek. Ten pomysł został później



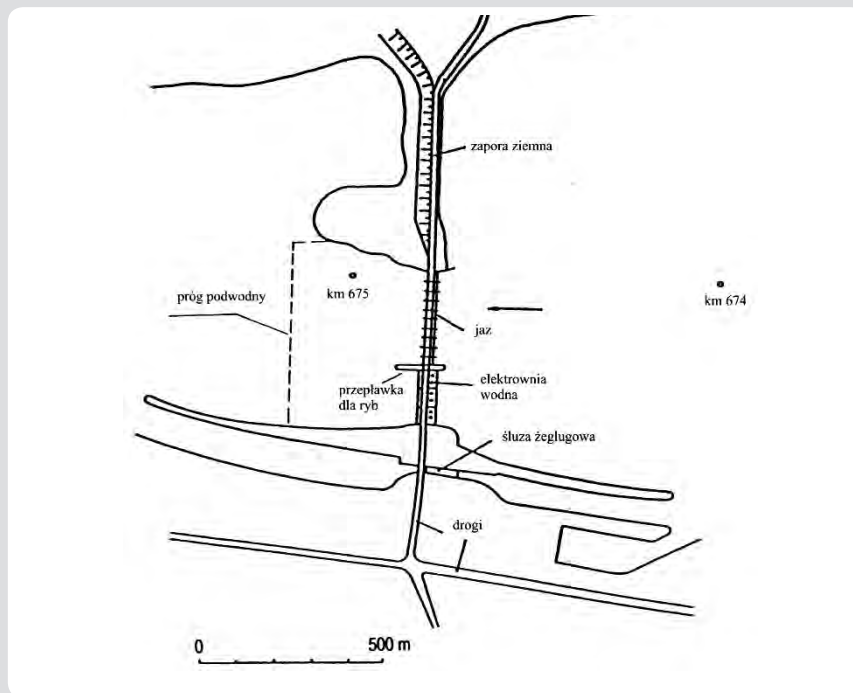
zaniechany ze względu na kryzys ekonomiczny w Polsce.

Pod względem wielkości i złożoności stopień Włocławek był pionierskim przedsięwzięciem w Polsce. Wybrano dwa biura projektów Hydroprojekt i Energoprojekt z Warszawy, które miały przygotować dokumentację techniczną projektu. Wszystkie potrzebne geodezyjne, geologiczne i geotechniczne pomiary zostały wykonane łącznie z analizą danych hydrologicznych i meteorologicznych. Również hydrauliczne badania modelowe wykonano w polskim laboratorium hydraulicznym.

Stopień składa się z zapory ziemnej, 10-przęsłowego jazu z przelewami do przepuszczania wody i lodu, wyposażonymi w stalowe zasuwę, elektrowni wodnej (160 MW) składającej się z sześciu jednostek (pionowe turbiny Kaplana), produkującej 750 GWh w średnim roku hydrologicznym, śluży żeglugowej i przepławki dla ryb. Przepływ instalowanej elektrowni wynosi  $2190 \text{ m}^3/\text{s}$ . Turbiny mogą pracować w zakresie spadu od 5,2 do 12,7 m. Układ stopnia przedstawiony jest na rys. 4.

Stopień Włocławek tworzy zbiornik przepływowy o początkowej pojemności  $400 \text{ hm}^3$ . W kilku miejscach wały przeciwpowodziowe zostały przekształcone w zapory boczne. Ważna droga łącząca oba brzegi Wisły biegnie po koronie stopnia. Stopień został usytuowany w 675. km rzeki Wisły. Normalny poziom piętrzenia wynosi 57,30 m n.p.m., podczas gdy poziomy maksymalny i minimalny w zbiorniku wynoszą: 58,50 i 56,50 m. Poziom wody dolnej w przypadku budowy następnego stopnia został przyjęty jako 46,00 m. Ten poziom gwarantował dobrą pracę jazu i elektrowni wodnej, jak również stabilność całego stopnia. Średni przepływ w przekroju stopnia wynosi  $890 \text{ m}^3/\text{s}$ , przepływ o prawdopodobieństwie przewyższenia 1% został określony jako  $8700 \text{ m}^3/\text{s}$ , a przepływ kontrolny o prawdopodobieństwie przewyższenia 0,3% –  $10\,280 \text{ m}^3/\text{s}$ . Przepływ nienaruszalny został początkowo określony jako  $350 \text{ m}^3/\text{s}$ , a następnie zwiększony do  $450 \text{ m}^3/\text{s}$ . Przepływ przy maksymalnym piętrzeniu (58,50 m) został oszacowany na  $11\,150 \text{ m}^3/\text{s}$ . Zgodnie z później wykonanymi obliczeniami przepustowości stopnia ten przepływ został oszacowany na  $9500 \text{ m}^3/\text{s}$  i jest mniejszy od przepływu kontrolnego. W ciągu dotychczasowej eksploatacji stopnia przepływ maksymalny Wisły w przekroju stopnia nie przekroczył  $6000 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Jaz składa się z 10 przęseł o długości 20 m każde. Przęsła są zamykane stalowymi zasuwami, które mogą być opuszczane do przepuszczenia wody i kry lodowej ponad ich koronami lub podniesione całkowicie w przypadku wysokiego przepływu. Śluza żeglugowa ma wymiary  $12 \times 115 \text{ m}$  i została zaprojektowana na przepustowość roczną 6 mln ton. Dno komory śluzy jest na rzędnej 41,80 m. Zamknięcie górne stanowi segment, a wrota dolne są typu wspornego. Specjalny system hydrauliczny został zaprojektowany do napełniania i opróżniania komory śluzy. Stopień Włocławek przynosi wiele korzyści,



Rys. 4. Plan stopnia wodnego Włocławek

lecz nadal działa jako pojedynczy obiekt, który przyczynia się do wielu utrudnień i negatywnych oddziaływań. Ważnym problemem wynikającym z pracy stopnia jest erozja poniżej stopnia i odkłady rumowiska w górnej części zbiornika. Inne poważne problemy są spowodowane zjawiskami lodowymi i możliwością utworzenia się zatorów lodowych. Utworzenie zbiornika przepływowego w miejsce poprzednio swobodnie płynącej rzeki znacznie zmieniło reżim lodowy. W 1982 roku wystąpiła groźna powódź w górnej części zbiornika Włocławek. Była ona wywołana jednoczesnym wystąpieniem bardzo niekorzystnych sytuacji hydrologicznych i meteorologicznych, których nie przewidziano w początkowym projekcie.

Ze względu na obniżający się poziom wody dolnej i brak następnego stopnia wykonano podwodny próg poniżej elektrowni wodnej i jazu w celu ustabilizowania poziomu wody dolnej (rys. 4). Było to jedynie częściowe rozwiązanie, ponieważ nie rozwiązywało problemów odnoszących się do śluzy żeglugowej i stabilności zapory. Efektywnym rozwiązaniem tego problemu byłaby budowa następnego stopnia.

#### 6. Hydrauliczne badania modelowe

Ten ważny projekt wymagał szczegółowych hydraulicznych badań modelowych. Istniało wiele problemów, które powinny być przebadane na odrębnych modelach. Badania te przeprowadzono w laboratorium hydraulicznym Instytutu Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku.

- Model hydrauliczny wykonany w skali nieskażonej 1:100 przedstawiał część dopływową do jazu i elektrowni wodnej. Celem tych badań było określenie układu przepływu, szczególnie przy wysokich przepływach z całkowicie lub częściowo otwartymi przęsłami jazu.

Zaproponowano specjalne kierownice w celu zapewnienia równomiernego dopływu do wszystkich przęseł jazu. Sprawdzono, czy maksymalne dopuszczalne poziomy wody w zbiorniku nie będą przekroczone przy wysokich przepływach. To wymaganie było spełnione. Dopływ kry lodowej na jaz również zbadano.

- Model hydrauliczny w skali 1:80 odtwarzał warunki przepływu w przekroju rzeczonym zwężonym grodzą. Śluza żeglugowa, elektrownia wodna i jaz zostały wybudowane przy wysokich przęsłach.
- Model wycinkowy jazu obejmujący dwa przęsła z filarami został wykonany w skali 1:50 w kanale hydraulicznym. Celem tego modelu było określenie warunków przepływu dla różnych położen zasuw oraz różnych przepływów wody i kry lodowej. Efektywność niekiedy do rozpraszania energii została również zbadana. Wprowadzono wiele poprawek do zaproponowanego kształtu konstrukcji. Określono współczynniki przepływu jazu.
- Model śluzy żeglugowej wykonano w skali 1:20. Celem tego modelu było zbadanie przebiegu napełniania i opróżniania komory śluzy z równoczesnym pomiarem sił działających na barękę.
- Na modelu w skali 1:80 zbadano przebieg zamykania pozostajej części koryta rzeki po wykonaniu jazu, elektrowni wodnej i rozebraniu grody. Te badania były bardzo istotne, ponieważ operacja zamykania koryta rzeki, w przypadku niepowodzenia, nie mogła być szybko powtórzona ze względu na konieczność zgromadzenia odpowiedniej ilości materiału do zamykania koryta rzeki. Dwa warianty zamykania koryta rzeki zostały przebadane: z pływającego mostu lub równocześnie z dwóch brzegów. To

ostatnie rozwiązanie zostało wybrane i pomyślnie zrealizowane.

W uzupełnieniu hydraulicznych badań modelowych wykonano obliczenia krzywych cofkowych dla różnych przepływów i grubości pokrywy lodowej. Dla tych obliczeń przyjęto względnie gładką pokrywę lodową. Obliczenia wykazały pewien wzrost poziomów wody w górnej części zbiornika, związany z obecnością pokrywy lodowej, jednak nie był on groźny. W czasie powodzi zatorowej w 1982 roku stwierdzono, że około 100 mln m<sup>3</sup> lodu zgromadziło się w zbiorniku, powodując znaczne zmniejszenie powierzchni przekroju przepływu i wzrost oporów przepływu, co wyraźnie zwiększyło poziom wody w górnej części zbiornika.

### 7. Budowa stopnia Włocławek

Stopień zbudowały dwa polskie przedsiębiorstwa: Hydrobudowa i Energobudowa. Pierwszym etapem było wykonanie grodzy, wewnątrz której część stopnia wodnego została wykonana (jaz, elektrownia wodna, śluza żeglugowa). Następnie grodzę rozebrano i przepływ rzeczny skierowano na jaz bez zamknięć. Zasadniczym etapem było zamknięcie pozostałej części koryta rzecznoego. Tę operację przeprowadzono jednocześnie z obu brzegów, jak to zalecałoby na podstawie wyników hydraulicznych badań modelowych. Operację zakończoną sukcesem, wykonano w czasie niskiego przepływu w Wiśle. Zamknięta część koryta rzecznoego została następnie przekształcona w zaporę ziemną, co zakończyło budowę stopnia.

### 8. Praca stopnia Włocławek

Kiedy ukończono budowę stopnia Włocławek, zakładano, że następny stopień zostanie oddany do eksploatacji w ciągu kilku lat [1]. To rozwiązałyby problem poziomu wody dolnej. Nie brano pod uwagę innego rozwiązania. Kiedy, z powodu wielu przyczyn, następny stopień nie mógł być wybudowany, zrodziło się wiele problemów powodujących, że eksploatacja stopnia była niezgodna z projektem. Taką sytuację należało przewidzieć w projekcie stopnia. Stopień Włocławek przekazano do eksploatacji w 1970 roku i od tego momentu przez ponad 40 lat nie pracuje zgodnie z projektem. Jest to jeden z najbardziej kontrowersyjnych hydrotechnicznych obiektów w Polsce. Podstawowym problemem jest obniżony poziom wody poniżej stopnia. Powoduje to przyspieszoną erozję, której wynikiem jest dalsze obniżanie się poziomu wody dolnej i w konsekwencji pogarszające się warunki eksploatacji całego stopnia. Głównymi problemami są pogarszające się warunki eksploatacji elektrowni wodnej, działania niekiedy do rozpraszania energii jazu i eksploatacja śluzy żeglugowej. Chcąc poprawić tę sytuację, wykonano podwodny próg poniżej elektrowni wodnej i przelewów (rys. 4). Ta konstrukcja nie poprawiła jednakże stabilności zapory i eksploatacji śluzy żeglugowej. Obecnie, szczególnie w czasie niskich przepływów, przejście jednostek przez śluzę żeglugową jest praktycznie niemożliwe. Praca stopnia Włocławek spowodowała także zmianę reżimu lodowego, nie tylko na samym zbiorniku, ale również poniżej stopnia. Poważne problemy powstają

na odcinku rzeki powyżej zbiornika, który jest prawie w stanie naturalnym. Tu tworzą się olbrzymie ilości śryżu. Ten lód przepływa do zbiornika, gdzie wcześniej utworzyła się już stała pokrywa lodowa. W konsekwencji śryż tworzy podbitki lodowe, które pogarszają warunki przepływu i zwiększają poziom wody w górnej części zbiornika. Aby zapobiec temu problemowi, po powodzi w 1982 roku zaprojektowano pływające zapory lodowe i są one instalowane każdego roku w górnej części zbiornika w celu ograniczenia dopływu lodu (śryżu) do zbiornika, jak również przyspieszenia tworzenia się pokrywy lodowej powyżej zbiornika.

Cała Wisła, a szczególnie odcinek powyżej zbiornika, był mocno zanieczyszczony i znaczna ilość zanieczyszczeń osiadała w zbiorniku, tworząc groźne odkłady. Za tę sytuację winą obarczono stopień, a nie zanieczyszczoną rzekę. Osadzanie się toksycznych osadów w zbiorniku jest korzystniejszą alternatywą niż przepływ tych zanieczyszczeń do Zatoki Gdańskiej, gdzie znajdują się popularne rekreacyjne tereny w czasie miesięcy letnich. Usunięcie toksycznych osadów ze zbiornika jest możliwe, natomiast usuwanie ich z Zatoki Gdańskiej przedstawia poważne trudności.

Działanie przepławki dla ryb nie było w pełni zadowalające, uniemożliwiając przemieszczanie się ryb wędrownych. Należy jednak zwrócić uwagę, że zmniejszenie się ilości ryb wędrownych nie było wyłącznie skutkiem budowy stopnia, ale również wynikiem silnego zanieczyszczenia wód Wisły.

Korzyści wynikające z budowy stopnia:

- Produkcja energii elektrycznej na poziomie średniorocznym 740 GWh, co niemal pokrywa całkowite zapotrzebowanie na elektryczność dwóch miast usytuowanych na obu końcach zbiornika: Włocławka i Płocka. Produkcja takiej ilości energii elektrycznej w konwencjonalnej elektrowni ciepłej wymagałaby spalania każdego dnia 900 ton węgla, co spowodowałoby znaczne zanieczyszczenie powietrza.
- Utworzenie dodatkowego przejścia przez Wisłę dla Włocławka.
- Stworzenie możliwości poboru wody do celów przemysłowych, komunalnych i rolniczych.
- Nowe możliwości dla rekreacji i sportów wodnych.

Stopień i zbiornik były zawsze wysoce kontrowersyjne i krytykowane szczególnie przez specjalistów środowiska za wszystkie niedogodności, które wystąpiły w czasie pracy stopnia. Odbyło się wiele konferencji, spotkań i badań dotyczących przyszłości stopnia. Podstawowe rozwiązanie sugerowane przez specjalistów gospodarki wodnej to budowa następnego stopnia poniżej już istniejącego. Będzie on nie tylko stabilizować poziom dolnej wody, rozwiązując tym sposobem niepożądane konsekwencje erozji poniżej stopnia, lecz także poprawi eksploatację elektrowni wodnej, niekiedy do rozpraszania energii poniżej jazu, jak również umożliwi pełne wykorzystanie śluzy żeglugowej. To rozwiązanie jest zdecydowanie preferowane przez lokalne władze i społeczność.

Ekolodzy, głównie z WWF, proponują ideę rozbiórki stopnia i przywrócenie Wisły do poprzedniego naturalnego stanu. Oba

rozwiązania (budowa następnego stopnia i rozebranie istniejącego) są bardzo kosztowne. Dlatego rząd woli utrzymanie obecnego *status quo*, przedstawiając argumenty ekologów, że następny stopień będzie tylko powodować problemy, takie jak przedstawiano wcześniej w związku ze stopniem Włocławek.

Stopień Włocławek początkowo nie był zaprojektowany dla ochrony przeciwpowodziowej ze względu na niewielką pojemność zbiornika w stosunku do objętości fali powodziowej na Wiśle. Ostatnio jednak zrobiono pierwsze próby wykorzystania go do tych celów. Polegały one na opróżnieniu pewnej objętości zbiornika zgodnie z prognozą nadejścia fali powodziowej. To skutkowało zmniejszeniem wysokości fali powodziowej przemieszczającej się w dół rzeki, co zostało zademonstrowane w czasie powodzi 2010 roku na Wiśle.

### 9. Erozja i sedymentacja

Proces erozji poniżej stopnia Włocławek i odkładania się rumowiska w górnej części zbiornika rozpoczął się wkrótce po oddaniu obiektu do eksploatacji. Odkładanie się rumowiska wlezonego (sedymentacja) jest naturalnym zjawiskiem spowodowanym większymi głębokościami, a tym samym mniejszymi prędkościami przepływu w zbiorniku. Większość rumowiska zawieszono przechodzi przez zbiornik. Erozja poniżej stopnia była wywołana głównie przez szczytową pracę elektrowni wodnej, co skutkowało wysoką niestacjonarnością przepływu i w konsekwencji przyspieszoną erozją. Wysokie przepływy były także odpowiedzialne za przyspieszoną erozję. To obniżyło poziom wody dolnej, który nie mógł być regulowany bez istnienia następnego stopnia. Następny stopień był projektowany ok. 30 km poniżej, lecz budowa jego nigdy się nie zaczęła ze względu na kryzys finansowy kraju. Erozja poniżej stopnia zwiększała się i przesuwała w dół rzeki, co powodowało istotne skutki ekologiczne.

Obniżająca się woda dolna powodowała również problemy eksploatacyjne elektrowni wodnej w związku z kawitacją turbin, jak również zmniejszoną efektywnością niekiedy do rozpraszania energii poniżej jazu. Dlatego wybudowano podwodny próg ok. 500 m poniżej elektrowni wodnej i jazu, co poprawiło tylko pracę elektrowni wodnej i niekiedy do rozpraszania energii. Zdecydowano również, że elektrownia wodna, ze względów ekologicznych, będzie pracować jedynie przepływowo.

Jeden z wyżej wymienionych faktów wskazuje, że projektując stopień wodny, trzeba przyjąć możliwość, że będzie on pracował samodzielnie, ponieważ inne obiekty mogą nigdy nie być zrealizowane.

### 10. Zjawiska lodowe

Część dolnej Wisły, która została przekształcona w zbiornik Włocławek, była zawsze jednym z najbardziej zatorogennych odcinków rzeki. Stworzenie zbiornika zmieniło reżim hydrauliczny i lodowy tego odcinka rzeki. Czas trwania spływu kry lodowej i zjawisk śryżowych został znacznie skrócony, a okres stałej pokrywy lodowej mocno wydłużony. Podstawowym problemem dla zbiornika było tworzenie się śryżu na odcinku Wisły powyżej zbiornika,



co jest sytuacją naturalną. W rzeczywistości to zjawisko było jedną z przyczyn powodzi zatorowej w górnej części zbiornika w 1982 roku. Mimo że zjawiska lodowe były brane pod uwagę przez projektantów stopnia Włocławek, jednakże nie przewidzieli oni tak ekstremalnych warunków, jakie wystąpiły w 1982 roku. Wiatr okazał się jednym z bardzo ważnych czynników, ze względu na jego wpływ na ruch kry lodowej, jak również połączony efekt przepływu i temperatury wody.

Wszeczhronne badania zimowej powodzi zatorowej (1982) oparte na szczegółowych pomiarach pokrywy lodowej, warunków hydraulicznych i profilów cokołowych ujawniły złożoność warunków eksploatacyjnych, jakie mogą wystąpić w tego typu projektach na jego wpływ na ruch kry lodowej, jak również połączony efekt przepływu i temperatury wody.

Jednym z rozwiązań problemów lodowych na zbiorniku Włocławek jest skuteczne użycie jazu do spławiania kry lodowej w dół rzeki przez zasuwy jazu. Innym rozwiązaniem jest flotylla lodołamaczy do kruszenia lodu na zbiorniku, w celu utworzenia, a następnie utrzymania kanału wolnego od lodu dla spławiania lodu w dół rzeki. Trzecim środkiem, jaki wprowadzono po powodzi w 1982 roku, są pływające zapory w górnej części zbiornika. Ograniczały one napływ śryżu do zbiornika z odcinka Wisły powyżej i przyspieszały powstawanie pokrywy lodowej powyżej zbiornika, co ogranicza tworzenie się śryżu. Powódź zatorowa w 1982 roku była spowodowana jednoczesnym wystąpieniem ekstremalnych warunków hydrologicznych i meteorologicznych.

#### 11. Aspekty środowiskowe

Wisła była i nadal jest bardzo zanieczyszczona. To ważny korytarz ekologiczny, który jest wykorzystywany przez różne gatunki flory i fauny. Znaczna część rzeki jest obecnie objęta programem NATURA 2000. W szczególności dotyczy to odcinka dolnej Wisły. Jedynie istniejący zbiornik Włocławek jest wyłączony z tego programu. Wisła przepływa przez wiele parków narodowych oraz parków chronionego krajobrazu i jest uważana przez ekologów za jedyną dziką, naturalną rzekę w Europie. Trudno jest sobie wyobrazić, jak inne europejskie rzeki, które przynoszą istotne korzyści dla ludzi w postaci żeglugi śródlądowej, rekreacji, zaopatrzenia w wodę i hydroenergii, mogą w tym samym czasie zachować swoją naturalną rolę.

Czterdzieści lat pracy zbiornika Włocławek wykazało, że jego bioróżnorodność jest dużo większa niż rzeki powyżej zbiornika. Istnieje duża liczba nowych gatunków ryb, ptaków i innych zwierząt. Jakość wody w zbiorniku jest obecnie zadowalająca, a jakość wody poniżej zbiornika poprawiła się znacznie, ponieważ duża liczba zanieczyszczeń osadza się w zbiorniku. Zbiornik Włocławek stał się nowym dużym systemem ekologicznym z bardzo istotną rolą w stabilizacji wód podziemnych otaczających zbiornik. Argumenty dotyczące zanieczyszczenia i toksycznych odkładów w zbiorniku Włocławek, które były używane przez ekologów będących w opozycji do zbiornika i propozycji utworzenia następnego zbiornika, nie zostały potwierdzone bezpośrednimi pomiarami. Kompleksowe wieloletnie hydrobiologiczne badania potwierdziły natomiast, że stan ekologiczny zbiornika jest bardzo dobry.

#### 12. Propozycja następnego stopnia poniżej Włocławka

Po zakończeniu budowy stopnia Włocławek rozpoczęto pierwsze przygotowania do budowy dalszych stopni poniżej i powyżej Włocławka. Wykonano projekt techniczny i rozpoczęto przygotowania placu budowy pod stopień niższy. Niestety, zły stan gospodarczy kraju spowodował zawieszenie projektu.

W 2005 roku biuro projektowe Hydroprojekt Warszawa [1] wykonało koncepcję nowego stopnia poniżej Włocławka, którą przyjął Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Warszawie.

Projekt ten obejmował jaz o 16 przęsłach po 20 m każde. Jaz miał stały próg i zamknięcia segmentowe z klapami. Normalny poziom piętrzenia w zbiorniku przyjęto na rzędnej 46,0 m. Elektrownia wodna miała składać się z 6 jednostek z turbinami gruszkowymi i dysponować całkowitą mocą 46,4 MW oraz przepływem instalowanym 1150 m<sup>3</sup>/s. Spady prognozowano w zakresie od 4,80 do 7,15 m. Ilość wytwarzanej energii elektrycznej w średnim roku hydrologicznym szacowano na 276 GWh. Stopień obejmuje służę żeglugową z komorą o długości 120 m i szerokości 12 m. Zaprojektowano dwie przepławki dla ryb. Przepławka techniczna jest umiejscowiona w filarze pomiędzy jazem i elektrownią wodną. Przepławka ekologiczna przebiega na lewym brzegu rzeki i jest podobna do naturalnego górskiego cieku.

W 2013 roku inny projekt nowego stopnia poniżej Włocławka został wykonany przez

biuro konsultingowe ARUP na zlecenie ENERGA SA, która jest zainteresowana głównie elektrownią wodną. Inne korzyści z następnego stopnia są następujące: bezpieczeństwo stopnia Włocławek, poprawa żeglowności, rekreacja, nowe przejście przez Wisłę i ochrona przeciwpowodziowa. Te działania powinny być współfinansowane przez inne sektory gospodarcze i budżet państwa. Ten projekt jest obecnie oceniany z punktu widzenia ekologicznego.

#### 13. Uwagi końcowe

- W 1970 roku stopień Włocławek został oddany do eksploatacji jako pierwsza część KDW. Stopień przynosi istotne korzyści, lecz ciągle pracuje jako pojedynczy obiekt, co ma pewne negatywne skutki.
- Warto wspomnieć, że cały koszt stopnia Włocławek zwrócił się w ciągu siedmiu lat tylko za wpływy ze sprzedaży energii elektrycznej. Dziś te relacje są nieco inne ze względu na koszty budowy i cenę energii elektrycznej.
- Budowa następnego stopnia poniżej Włocławka była proponowana wiele razy, lecz – niestety – jej realizacja była zawieszana ze względu na kryzys ekonomiczny, jak również protesty organizacji ekologicznych.
- Obecnie ENERGA SA chce wybudować następny stopień na dolnej Wiśle wymaga akceptacji rządu i częściowego współfinansowania.
- Projekt nowego stopnia powinien wziąć pod uwagę nie tylko aspekty ekonomiczne, społeczne i ekologiczne, ale również doświadczenie z działalności stopnia Włocławek.

#### Bibliografia

1. Stopień wodny Nieszawa, koncepcja programowo-przestrzenna, Hydroprojekt, Warszawa 2005.
2. Kaskada Dolnej Wisły. PROEKO, Warszawa, 1993.
3. Majewski W., Ogólna charakterystyka Wisły i jej dorzecza, *Acta Energetica* 2013, nr 2.
4. Majewski W., Przepływ w kanałach otwartych z uwzględnieniem zjawisk lodowych, monografia, IMGW, Warszawa 2009.
5. Kosiński J., Zdulski W., Potencjał hydroenergetyczny Wisły, *Acta Energetica* 2013, nr 2.

#### Wojciech Majewski

prof. dr hab. inż.

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB w Warszawie

Komitet Gospodarki Wodnej PAN

e-mail: wmaj@ibwpan.gda.pl

Absolwent Wydziału Budownictwa Wodnego Politechniki Gdańskiej oraz studiów podyplomowych Uniwersytetu w Glasgow. Od 1990 roku jest profesorem tytularnym o specjalności inżynieria i gospodarka wodna. Pracuje w IMGW-PIB w Warszawie. Jest wiceprzewodniczącym Komitetu Gospodarki Wodnej PAN. Kierował realizacją wielu ważnych projektów krajowych i międzynarodowych dotyczących hydrauliki, hydrologii i inżynierii wodnej. Uczestniczył w krajowych i międzynarodowych konferencjach, przedstawiając referaty i referaty generalne. Był promotorem wielu prac doktorskich oraz recenzentem prac doktorskich, habilitacyjnych i dorobku naukowego na tytuł profesora. Jest autorem ponad 350 publikacji w języku polskim i angielskim z dziedziny inżynierii i gospodarki wodnej. Wybitny autorytet inżynierski i naukowy w kraju i za granicą.