

Barrage in Włocławek

Author

Andrzej Tersa

Keywords

Lower Vistula Cascade, Włocławek Barrage, Włocławek Power Plant, Hydroprojekt Warszawa, barrage operation, barrage repairs, operation of power plant, failure rate of power plant equipment, maintenance costs for barrage structures

Abstract

The barrage (SW) in Włocławek was designed as one of eight barrages in the Lower Vistula Cascade, located at 674.85 km of the river. It was designed and built entirely by Polish companies. Only turbines were manufactured by the Soviets.

The next barrage (in Ciechocinek) has not been constructed, high damming waters passing through the barrage have eroded the bottom at the lower position, whereas the power plant, which has been in peak operation for many years, also contributed to accelerated erosion of the river bed below the barrage, to a reduction of the bottom levels of the river, and, as a consequence, also to a reduction of low water level.

Subsequent decisions on water management permits have banned operation of the plant at varying levels of upper water as prevention against the destructive influence of peak operation of the plant by making the conditions for further operation of the barrage stricter.

The most significant effects of the 43-year plus operation of Włocławek Barrage, the first in the uncompleted cascade, should include the following: erosion and reduction of water level at the lower position, loosening of the body of the earth dam and the bottom of the weir, damage to concrete structures, damage to steel structures or accumulation of load in Włocławek Reservoir. In the first period of operation of both the barrage and the power plant no major failures were observed, and the operation was smooth, excluding the year 1982, when a powerful ice jamming near Płock contributed to flooding. This also meant quite low costs of barrage operation.

The last fifteen years has been a period of increased failure rate of barrage structures and equipment due to a long period of operation, resulting in necessary repairs and modernisation. It has also been a period of increased expenditure.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2013306

1. Operation of Włocławek Barrage

1.1. Brief characteristics of the barrage

Włocławek Barrage was designed in Hydroprojekt in 1953–1959 as an element of the lower Vistula (dolna Wisła) Cascade. The general designer of Włocławek Barrage and co-author of the cascade concept was Stefan Czernik M.Sc. During construction the position of general designer was taken by Eryk Bobiński, PhD. The preliminary design of the barrage was approved, and the government made the decision to build it in 1959.

Works on technical designs of individual structures of the barrage were carried out in 1960–1965. The chief designers of basic structures of the barrage were as follows: power plant – Antoni Zimmermann, weir – Janusz Bielakowski, lock – Leszek Biegała, head dam – Halina Sochocka, side dams – Bogumił Karczewski and Witold Stefaniak, outer harbours and channel regulation

– Kazimierz Aleksieński, construction organisation – Witold Krzepakowski. The chief designers coordinated work of teams and workshops of Energoprojekt and Hydroprojekt Warszawa. The road bridge design was developed in Transprojekt Warszawa. Works on the construction site were initiated in 1962.

Before the construction began, the design was the subject of the so-called saving review in 1960–1961. It was a national campaign undertaken because of too large an investment front, a chronic illness of the socialist economy. The condition set by the authorities for implementation of the investment project was to make savings in the statement of construction costs. Teams of experts who did not participate in the project and the general designer as an observer were appointed to carry out the review. That team had full freedom in making changes to the project in order to achieve savings, without bearing any responsibility for decisions taken. Those decisions became the cause of significant

problems and risks occurring at the barrage and reservoir in Włocławek throughout the period of its operation. Those include the following:

- lowered estimation of numerical value of design and control water, as well as related reduction of the number of weir spans from 12 to 10
- reduction of the dam crest and road through the barrage from the elevation of 61.00 to 60.20 m a.s.l.
- reduction of class of side dams near Płock.

The first decision meant reduction of the barrage capacity for high water and huge ice – a serious problem, still waiting for solution. The second decision meant reduction of the safety margin in the case of passage of high water and damming of upper water higher than assumed in the project. The consequence of the third decision was overflow of water dammed by jam through side dams in January 1982. At that time, the water level exceeded 1 m above the crest of side dams.

Włocławek Barrage was supposed to be one of eight barrages in the Lower Vistula Cascade (Kaskada Dolnej Wisły, KDW), located at 674.85 km of the river. It was designed and built entirely by Polish companies. Only turbines were manufactured by the Soviets (the list of participants of the investment project is published at the end of the article). Hydraulic model testing was carried out at the Institute of Hydraulic Engineering of the Polish Academy of Sciences in Gdańsk. Officially, the barrage was put into service on 17 October 1970. The first turbine sets in the plant and the lock were activated in autumn 1969 and in summer 1969, respectively. Unfortunately, due to degradation of the country's economic situation, the KDW construction program was cancelled, and Włocławek Barrage has remained the only barrage constructed on this section of the river so far.

It was planned that once the next step is constructed, peak operation would be applied to optimise the use of the hydropower plant and to enable multiple activation of hydroelectric sets each day, in accordance with the compulsory principle of maintaining the upper water level in the zone between elevations of 56.50 to 57.30 m a.s.l. In other words, it was assumed that maintaining the water level at the lower position of Włocławek Barrage by the next barrage would enable total shutdown of the structure for several hours and collection of water for hours of peak demand. It was also assumed that until the next barrage (in Ciechocinek) is complete, it was necessary to let through the minimum set flow around the clock to ensure necessary filling of the river bed below the barrage, thus forcing work during hours when energy was cheaper and in excess. Peak and intervention operation was planned only for use of water surplus.

The next barrage (in Ciechocinek) has not been constructed, high damming waters passing through the barrage have eroded the bottom at the lower position, whereas the power plant, which has been in peak operation for many years, also contributed to accelerated erosion of the river bed below the barrage, to reduction of the bottom levels of the river, and, as a consequence, also to reduction of low water level.

Fortunately, those changes coincided with an increase in the daily demand for energy and electricity. The minimum and maximum

energy load of the National Power System have become less extreme, and the flow operation of the power plant, based only on inflow, has proved to be the optimal from the point of view of financial benefits.

Włocławek Barrage and power plant have been in operation for more than 43 years. The barrage consists of the following structures:

- head dam (earth filter dam height: 20 m, length: 635 m)
- weir (concrete, dock weir 10 · 20 m, width: 245 m)
- fish pass (Larinier type, cascade pass, 33 baffles, head between baffles: 0.4 m)
- hydropower plant (installed capacity: 160.2 MW, six turbine sets per 27.8 MW)
- navigation lock (length: 115 m, width: 12 m, head: 11.3 m).

1.2. Reservoir

Włocławek Reservoir, the so-called Włocławek Lake, was created as a result of damming of water by the dam in Włocławek; it extends upstream, as far as to Płock. This artificial reservoir is the largest in terms of area and second largest in terms of volume in Poland. It is in the shape of a ribbon lake, with a length of 58 km and an average width of 1.2 km. The lake occupies the region of the former area between levees and is located within four morphological units: Warsaw and Płock Valley on the left bank, Dobrzyń and Płock Upland on the right bank. Such terrain topography means that low-lying areas on the left bank are protected against flood waters and damming by earth side dams with a total length of approx. 30 km. Above the reservoir it is protected with levees on both river banks.

Basic reservoir parameters:

- average width: 1.2 km, maximum: 3.0 km
- average depth: 5.5 m, maximum: 15.0 m
- usable capacity: 53.0 million m³, total: 370.0 million m³.

It is a flow-through reservoir. Daily variations in damming height do not exceed 0.3 m and range between elevations of 57.0 to 57.3 m a.s.l. The maximum permitted variation in the reservoir water level may not go beyond the layer contained between elevations of 56.50 to 58.50 m a.s.l. This does not allow for retention of large amounts of water, but is essential in controlling flood wave on that section of the Vistula (Wisła) River. Because of the relatively small volume of the reservoir, water contained in it is exchanged 70 times per year, which prevents the loss of oxygenation, in contrast to the lakes in which the process of water exchange is many times longer.

1.3. Consequences of use of a single barrage

Since the barrage in Ciechocinek has not been constructed, subsequent decisions on water management permit have banned operation of the plant at varying levels of upper water as prevention against the destructive influence of peak operation of the plant by making the conditions for further operation of the barrage more strict.

At low flows in the river, the reduction of the bed bottom below Włocławek has already exceeded 3 m and has made it necessary to:

- increase the minimum flow rate from the initial 300 to more than 450 m³/s
- install the electrical braking system for hydroelectric sets due to a lack of sufficient immersion of turbine rotors
- construction of a temporary checkdam for low water below the barrage
- frequent maintenance and repairs of bank and bottom embankments.

This resulted in major operating difficulties.

The most significant effects of the over 43-year operation of Włocławek Barrage include:

- erosion and reduction of water level at the lower position of the barrage
- loosening of the body of the earth dam and the bottom of the weir
- damage to concrete structures
- damage to steel structures
- accumulation of load in Włocławek Reservoir.

a. Erosion and reduction of water level at the lower position of the barrage

Construction and operation of the barrage have led to:

- interruption in continuity of load movement in the river bed
- washing of the bottom at the lower position of the plant, weir and lock.

Many years of use of the plant in the peak-intervention system has been characterised by:

- multiple changes in flows rates ranging from 350 to 2100 m³/s in 24-hour periods
- large fluctuations in water level below the barrage after shut-down of the hydropower plant.

According to the studies carried out in 1994:

- the Vistula (Wisła) river bed is subject to intensive erosion and accumulation processes, over a length of approx. 43 km below the barrage
- the deep erosion process results in lowering of the bed bottom (erosive section with a length of over 28 km), then in formation of accumulation load deposits on the remaining section
- the front of the erosive zone moves at approx. 1.1 km/year and may reach the beginning of the regulated section of the lower Vistula (dolna Wisła) River by 2020
- approx. 23.15 million m³ of bottom material disappeared in 1967–1994 on the entire eroded section, i.e. 860 thousand m³/year on average
- average lowering of the bottom on a 7 km section below the dam has exceeded 2.5 m, locally reaching a depth of 4–5 m.

Deep erosion of the river bed causes permanent reduction of the water level in the river:

- in 1967–2002 low water levels in the river in the water gauge cross-section were reduced by:

for low water $Q = 350 \text{ m}^3/\text{s}$: 2.60 m

for mean water $Q = 930 \text{ m}^3/\text{s}$: 2.26 m

for bank-full discharge $Q = 2230 \text{ m}^3/\text{s}$: 1.56 m.

- the dynamics of reduction of low water level increased in the observed periods (5–6 years) until the mid 80s; currently it is decreasing:

	1967–2002	1996–2002
for low water $Q = 350 \text{ m}^3/\text{s}$	7.6 cm/year	3.3 cm/year
for mean water $Q = 930 \text{ m}^3/\text{s}$	6.1 cm/year	3.1 cm/year
for power plant water $Q = 2100 \text{ m}^3/\text{s}$	4.1 cm/year	3.1 cm/year

Consequences of erosion of the bottom and of reduction of low water level.

- Exceeding operating conditions of the barrage structures permitted in the project, which threatens their safety and proper operation:
 - » the minimum low water levels permitted in the project were as follows:
 - acc. to the structure stability condition: 44.50 m a.s.l.
 - acc. to the turbine suction height condition: 44.60 m a.s.l. (operating manual of 1989)
 - acc. to the depth at the lock sill condition: 44.80 m a.s.l.
 - » actual low water levels in the river bed (2012)

Designation of flow rate	Flow rate at Włocławek Barrage [m ³ /s]	Low water level at weir and power plant m nNN	Low water level at checkdam m nNN
Q_{gw}	350	44.46	42.95
Q_{min}	450	44.58	43.14
Q_{avg}	915	45.13 (2013)	44.08 (2013)

Data of 2012 and 2013 on the basis of the water gauge for low checkdam water (acc. to ASTKZ – automatic system of technical dam control) indicate that the water level below the checkdam has been reduced at approx. 1 cm/year for 350 m³/s, 2 cm/year for 450 m³/s, and 3.5 cm/year for 960 m³/s

- the project assumed support by Ciechocinek Barrage, NPP = 46.00 m a.s.l.

MinPP = 45.20 m a.s.l.

- Deterioration of operating conditions of the head earth dam, including the following:
 - » increase in damming height
 - » intensified filtration in the body and base of the earth dam, leading to suffosion reducing the density of the body of the dam (especially at the base of the dam body, at the lower position), as a consequence to reduction of stability coefficient of the downstream slope of the dam
- Deterioration of operating conditions of the weir:
 - » increase in damming height
 - » intensified filtration in the ground, under the weir dock
 - » deterioration of energy dissipation at outflow, which causes formation of vortices, consequently damage to the elements that protect the downstream apron protective and formation of bumps below rigid protective elements
 - » increased filtration under feet of retaining walls of the right abutment of the weir, leading to slow washing of small grains from the body of the earth dam and from feet of retaining walls of the right abutment

- » deterioration of conditions for passage of ice through the weir, resulting in an increase of energy of ice floe impact with the concrete bottom of the stilling basin and accelerated devastation of concrete in the weir structure and protective elements below the weir
- Deterioration of operating conditions of the fish pass:
 - » increase in damming height, leading to growing difference in water levels at the upper and lower position
 - » increase in difference between water levels between individual baffles in the fish pass (≥ 40 cm), thus increasing flow rate in passage holes, which makes it impossible for weaker fish species to migrate upstream
- Deterioration of operating conditions of the lock:
 - » the system for filling and emptying the lock chamber may not be used in the full designed range because of the following:
 - exposure of outlets of circulation channels in the lower head and lock chamber
 - dangerous disturbances of water stream in the chamber and excessive water speed at the lock outflow (increased speed and vortices, washouts)
 - safe height of gate valve lifting in circulation channels in the lower head was set at 20 cm (designed height: 220 cm)
 - » the chamber emptying time was extended to approx. 1 hour
 - » the lock is non-operational for many months because of low water depth at the lower position of the lock (approx. 1.0 m) during low flows
- Deformation of the shape of the river bed, change of flow characteristics, and damage to the regulatory structure system below the barrage:
 - » change in the cross-section, from a two-thread channel into a single thread channel, with exclusion of participation of tributaries and flood terraces
 - » concentration of flow on the main bed, resulting in an increased erosion
 - » foundations of the regulatory structures are located above the mean water level, and many of them are raised above water level at $Q_{inst El}$.

b. Loosening of the body of the earth dam and the bottom of the weir

Many years of use of the power plant in the peak-intervention system, characterised by many changes of flows in the range of 350 to 2100 m³/s in 24-hour periods, has had an adverse impact on both the earth body of the dam and its base, as well as on the base of the weir, its stilling plate and weir revetments. The results of piezometric measurements indicate a close relationship between the filtration curve in the body of the dam and low water level.

In the past, rapid changes in hydraulic gradients of filtration occurred in the area between the water level in the left abutment of the earth dam and low water level as a result of frequent changes of flows. Because of high gradients, filtration caused the

following:

- loosening of ground in the base of wall foundations
- loosening of ground in the base of plates that protect the downstream apron, especially below the right span of the weir
- suffosion in the body of the dam, on its left abutment.

In many examined points the density was $ID < 0.3$, and underwater visual inspection of the stilling plate and weir revetments has shown cones formed from the sand washed from the ground between the protective plates. Loosening of ground under the feet of retention walls at the right abutment of the weir has been observed, which threatens their stability and stability of bottom reinforcements below the outflow.

Measurements of vertical and horizontal (absolute and relative) movements of selected control points of the dam, weir, fish pass, power plant and lock have been carried out regularly from the moment of construction of Włocławek Barrage. Settling of the earth body of the dam is a natural process for this type of construction. The analysis of results of measurements of settlement and activity in time shows that the process is running smoothly. On the basis of the data on settling, included in evaluations of the Centre for Technical Control of Dams at the Institute of Meteorology and Water Management (OTKZ IMGW) in Warsaw for Włocławek Barrage, it should be noted that over 43 years the settling process has generally run smoothly, and the total maximum values for that settling period reached 42.8–80.0 mm. Total maximum values of settling are not significantly different from settling of similar structures. According to studies by the OTKZ IMGW, the settling rate has been approx. 1–2 mm/year on average.

c. Damage to concrete structures

Many years of use of Włocławek Barrage have also affected concrete structures. Numerous flaws caused by manufacturing defects and concrete ageing process can be observed. The following manufacturing defects should be mentioned: non-uniform concrete structure, numerous deficiencies in blocks, leaking construction joints, poor quality of closing of expansion gaps.

Effects caused by a 43-year operation include: concrete surface corrosion, concrete loss, lack of steel covering, fractures and cracks with efflorescence and damaged expansion joints. Cracks and fissures in concrete blocks are caused by water freezing in them and impacts of ice floes.

d. Damage to steel structures

Many years of use of Włocławek Barrage have also affected steel structures. The following can be seen on all structures: deep corrosion, which may cause loss of functionality of some devices and elements, structure loss due to corrosion or mechanical impact, destroyed damaged structural parts (bent rails, guide bars, ladders, etc.) Deep corrosion has completely blocked the bait water pipeline in the fish pass, and the mechanisms of manual drives of entrances and exists in the pass.

e. Accumulation of load

Systematic research shows that the tank acts as a kind of treatment plant for the river waters by gathering river load and part of

pollution brought by water. In spite of this, the content of heavy metals and other pollutants in sediments is comparable, in many parameters even lower, than in the cleanest Masurian Lakes.

A major operating problem is caused by waste flowing to the power plant. The amount of waste is increasing each year; this is because the river banks are not cleaned up and the Regional Water Management Board (RZGW) allocates limited funds for that purpose. The amount of incoming waste is estimated at even 5,000 m³ per year; a particularly large part comes with the spring flood wave, including up to 30 tonnes of wood.

1.4. Barrage repairs performed by 2013

a. year 2000

- Injection protection of the base of foundations plates in the right retention wall in the weir was made. Multipoint support of those plates was introduced with the use of the so-called flexible sleeve injection to form concrete columns. The injection also resulted in partial additional densification of ground between columns. This technical procedure was carried out primarily due to threatened stability of some sections of retention wall, which was indicated by geodetic measurements
- Works on injection protection of the base of downstream apron plates in the weir were initiated and lasted to 2004. They were supported with concrete columns similarly to foundation plates of retention walls in the loosened areas found in tests
- Checkdam for low water was constructed jointly by the following: Regional Water Management Board in Warsaw and the owner of the power plant, ENERGA Warsaw Hydro sp. z o.o. (since that year, the owner of Włocławek Power Plant has been actively engaged in repair works – in terms of both organisation and finance).

b. year 2003

- Repair of deep slotted drainage system at the base of the downstream slope at the left abutment of the dam was initiated and lasted for two years; its purpose was to lower the groundwater table elevation in front of the dam, behind the weir retention wall from low water, and a significant reduction in hydraulic gradients under the retention wall (especially important for the section of the wall located on sandy ground) and the downstream apron plates in the first span of the weir. Gravel, double-layered slotted drainage system was constructed in the form of palisade with overlapping large diameter columns filled with filtration soil. Water from drainage, gathered in the collection chamber, is discharged by gravity to the lower position of the barrage, the area at the base of the downstream slope, adjacent to the right shore of the natural island left intact during construction. In design assumptions the drainage should work automatically and also protect the soil in the body of the dam against external suffusion. Analysis of pizometric measurements in the body and in front of the dam shows that after the drainage system had been put into service in 2006 the groundwater table behind the retention wall was lowered by approx. 1.5 m, then the level of water was slowly and gradually rising.

c. year 2004

- Drainage wells were made in the weir plates to reduce buoyancy.

d. year 2005

- Sealing of pillar expansion joints in the weir was made.

e. year 2006

- Jet grouting was made before the entire weir.

f. year 2007

- The following were made to secure the foot of the downstream slope in the middle part of the dam (the area of the old river bed of the Vistula (Wisła) River to the right of the island left during construction): drainage wells to collect the water flowing from the foot of the slope and to discharge it to the so-called bay, i.e. to the lower position of the earth dam, and cover/additional loading of the foot of the slope over the entire width of the old river bed with sandy material slitted from the Vistula (Wisła) River Those works were aimed to collect and discharge waters leaking from the foot of the downstream slope in the dam to the lower position in a controlled manner, and to improve the stability of the body of the dam in the region.

g. 2009

- ASTKZ of the Hydropower Plant was connected to the general ASTKZ system for the entire barrage in Włocławek with the main position located in the RZGW Inspectorate building in Włocławek.

h. 2011

- Overhaul of a temporary checkdam for the lower position of the power plant, weir and fish pass was completed, thus ensuring the minimum levels for stability and proper operation of the plant. This task was carried out by shared users of the barrage: RZGW Warszawa and ENERGA Hydro. The cost of this task was over PLN 8 million, which was covered mostly by ENERGA Hydro.

i. 2012

- Dredging works in the reservoir basin (contribution of EH in the task costs: nearly PLN 2 million) and works related to filling of potholes in the weir and to removal of mud (contribution of ENERGA Hydro: PLN 0.8 million).

j. 2013

- Continuation of dredging works in the reservoir basin (estimated contribution of EH: PLN 3.3 million) and works related to filling of potholes in the weir (the share amount planned by EH: PLN 0.8 million). There are also plans to restore the reserve of tetrapods used in 2012 for filling of pothole (estimated contribution of EH: PLN 0.35 million).

The scope of repair and maintenance works in the area of the reservoir and dam has been gradually increasing since 2000. It is affected by growing cooperation of two main users of the barrage: Regional Water Management Board in Warsaw and ENERGA Hydro. The financial and material scope of that cooperation is shown in Tab. 1.

There is no doubt that the aforementioned works will significantly extend the period of operation of structures at Włocławek Barrage, including: head dam, technical control system, weir, fish pass, power plant and lock. However, they can not permanently stop the lowering of the bottom at the lower position, which threatens the safety of Włocławek Barrage.

The temporary checkdams are used only for damming the weir, fish pass and power plant. The lock and the head dam still operate under increased damming, unpredicted by the designers.

1.5. Planned repairs of the barrage

Based on the agreement of 2009 with the RZGW in Warsaw Hydroprojekt sp. z o.o. has prepared design documentation "Reconstruction and Repair of Structures at the Barrage in Włocławek: Head Dam, Control and Measurement System (ASTKZ), Weir, Lock with Outer Harbour and Fish Pass – Włocławek District, Kujawsko-Pomorskie Voivodeship". Under the agreement concluded in Warsaw with RZGW ENERGA Hydro will cover the entire costs associated with preparation of the project (cost: PLN 6.6 million). In accordance with the Terms of Reference (ToR), the scope of study will include the following structures (determined in the agreement):

- **Structure 1** – improvement of density of the body and base of the head dam, construction of filtration barrier along the retention wall at the left abutment of the dam
- **Structure 2** – expansion of the automatic control and measuring system (ASTKZ) in the barrage
- **Structure 3** – repair of the weir in terms of structure, mechanical and electrical equipment
- **Structure 4** – repair of the lock and outer harbours
- **Structure 5** – reconstruction of fish pass.

Works included in the Operational Programme Infrastructure and Environment "Improvement of Technical Condition and Flood Safety of Włocławek Barrage" – deepening and silting of outwash at the reservoir entrance (Płock area) – should be added to the aforementioned tasks. Those works have not yet been carried out, so their cost is tens of millions of PLN. Their implementation will improve the navigability in the reservoir and control of flood waters, as well as prevent the formation of ice jamming at the reservoir entrance, thus increasing the flood safety above the reservoir.

At the same time, the following are planned: extension of the dam crest on the section from the right abutment to the exit to the lower position, along the national road from the downstream side, construction of complementary section of the side dam, barrage in Wistka and discharge of drainage water on the left abutment of the dam.

The following are to be performed as part of the planned repair works:

For the head dam equipment

- Improvement of density of the body and base of the dam in the area adjacent to the weir abutment and in the area of the downstream slope adjacent to the stone heap in the central part of the dam
- Installation of complementary filtration barrier along the retention wall at the right abutment of the weir, with reconstruction of the existing drainages located behind the weir wall, in the left abutment of the earth dam
- Inclusion of all the piezometer operating in the body and base of the dam to the ASTKZ
- Extension of the dam crest (due to pedestrian and bicycle traffic systematically increasing at this point, causing risk of accidents) from the low water side, on the section from the the car park on the right abutment of the dam to the exit to the lower position of the dam
- Improvement of the quality of concrete protective elements for the upstream slope of the dam.

For the automatic system for technical dam control (ASTKZ)

- Gradual disassembly of the old system with control and instrumentation equipment (AKPiA) to maintain continuity of monitoring of the barrage condition during repairs
- Installation of control and instrumentation equipment and the new automatic system for technical dam control, integrated with the hydropower plant system. The new system includes all components of Włocławek Barrage.

For the weir equipment

In the underwater part – mainly sealing of expansion joints and gaps in retention wall, overflow edges, pillars, and related works.

In the above-water part – mainly repair of expansion joints and gaps in retention walls of abutments and pillars, removal of cracks and gaps, supplementation of concrete losses, securing the surface of concrete structure, repairs of seals, repairs of steel elements in the weir and communications equipment.

For the lock equipment

Overhaul of the lock with all equipment, and main and associated objects is planned, including:

- concrete in the lock structure and guide bars in outer harbours
- concrete plates used for protection in outer harbours
- steel elements in the lock structure and in its equipment
- pedestrian, bicycle, horizontal and vertical passageways
- drainage system.

For the fish pass

There are plans to converse the existing fish pass from Larinier type type to vertical-slot type and to adapt its parameters to the current guidelines for migratory fish species typical of this segment of the Vistula (Wisła) River, such as: barbel, common nase, lamprey, vimba bream, sea trout and salmon, in accordance with the arrangements made with the Team for Protection and Development of Living Aquatic Resources and the FAO expert acting within the Technical Cooperation Project TCP/POL/3201 with the FAO experts, implemented in consultation with the government of the Republic of Poland.

The reconstruction will be thorough, resulting in creation of a new fish pass structure, with the parameters compatible with the guidelines contained in the study of FAO/DVWK, Fish passes

– Design, dimensions and monitoring. Rome, FAO, 2002.

An interesting feature available for everybody and aimed at increasing the attractiveness of visits to the power plant will be two windows for observation of fish migration through the fish pass (for researchers and visitors) and a fish trap (for periodic catches for research purposes).

2. Power plant operation

2.1. Brief history of Włocławek Power Plant

In November 1971 the barrage structures were distributed between two ministries, responsible for water and energy management in Poland. The reservoir and the head dam, weir, fish pass and navigation lock were assigned to the Central Office of Water Management (Centralny Urząd Gospodarki Wodnej), and to the subordinate District Water Management Board in Warsaw (Okręgowy Zarząd Wodny w Warszawie), whereas the hydropower plant was managed by the Power Distribution Company for the Northern District in Bydgoszcz (Zakłady Energetyczne Okręgu Północnego w Bydgoszczy) in the then Energy Union (Zjednoczenie Energetyki).

The Group of Hydropower Plants in Straszyn (Zespół Elektrowni Wodnych w Straszynie) was responsible for operation of Włocławek Power Plant and most hydropower plants in the Central Pomerania (Pomorze Środkowe) which were the members of the Power Distribution Company for the Northern District in Bydgoszcz until 1973. Already in spring 1968, the then Deputy Director for Technical Affairs, Stanisław Cicholski, got the delegation of the Director of the Power Distribution Company for the Northern District in Bydgoszcz (ZEOPn) to represent the interests of the energy sector, i.e. ZEOPn – the future owner of the power plant, in the site during advanced stage of construction of Włocławek Barrage.

The power plant launched under the management of Stanisław Cicholski was complete in 1971, and Stanisław Cicholski began to act as the power plant manager, still within the structure of the Group of Hydropower Plants in Straszyn.

After reorganisation of the energy department in 1973, hydropower plants in Gródek and Żur on the Wda and in Włocławek formed the Hydropower Plant Region based in Włocławek, subordinated to the Power Distribution Plant in Toruń.

In 1976, with the introduction of the new administrative division in the country, the Hydropower Plant Region in Włocławek was dissolved, and the Power Distribution Plant in Toruń began to use Włocławek Power Plant. A company named Elektrownia Wodna we Włocławku sp. z o.o. was established in the framework of the above-mentioned enterprise on 1 March 1998, with the range of activity including full operation of the power plant – electricity production and keeping the power and hydroelectric devices in operation and in readiness.

On July 2007 Włocławek Power Plant became part of ENERGA Elektrownie Straszyn sp. z o.o. (currently: ENERGA Hydro sp. z o.o.), a company established as a result of transformation of the Group of Hydropower Plants in Straszyn, meaning that the power plant “has returned to its place” after 30 years.

2.2. Basic technical parameters of the plant

- installed discharge of 6 turbines: 2,190 m³/s
- installed capacity: 160.2 MW
- working discharge of 6 turbines: 1,860 m³/s
- power rating per turbine: 27,8 MW
- turbine rotor diameter: 8.0 m
- elevation of turbine rotor axis: 47.00 m a.s.l.
- generator apparent/active power: 31.8 MVA/26.7 MW
- acceptable head range: 5.2–12.7 m
- maximum annual production (2010): 1,043 GWh
- average production (1971–2010): 747 GWh/year.

Włocławek Power Plant (ENERGA Hydro received approval to use that name from the City Council in Włocławek) with installed capacity of more than 160 MW and energy production of 700 GWh per year is the largest run-of-river power plant in Poland. It generates over 20% of the electricity produced in the national hydropower plants.

2.3. Hydro-engineering structure of the hydropower plant

Concrete in the plant was thoroughly tested by the Institute of Civil Engineering at the Wrocław University of Technology. The issue was addressed as a result of quite numerous cracks of concrete in connection with water leaking through it. It was necessary to examine the nature of cracks and whether the leaking water may have a destructive effect on concrete.

The results of works of the Wrocław University of Technology allow us to formulate the following conclusions:

- concrete condition in Włocławek Hydropower Plant does not endanger the structural safety
- injection and reinforcing operations are necessary, and should involve modification of the concrete microstructure; the same applies to surface sealing of that concrete
- water leaking through the system of cracks does not cause any major corrosion processes in concrete and reinforcement
- regular monitoring of all leaks in concrete of Włocławek Power Plant is necessary
- suction pipes should be emptied only when it is absolutely necessary – however, efforts should be made to empty the pipes at low water levels, as quickly as possible.

At the request of ENERGA Hydro, in connection with failures of the previous long-term sealing works carried out indoors (galleries, suction pipes), the authors of comprehensive evaluation referred to the opinion expressed by the power plant, which recognised that sealing of concrete at contact point with the reservoir water is a priority. This applies to the area where waters under full pressure infiltrate deep into concrete, and their secondary effect are leaks to interior rooms. Sealing of water leakage points will not have a significant impact on intensity of filtration processes in the structure as a whole.

The final evaluation reads as follows: “It is, of course, possible to apply a different generation of concrete seals – in the form of geomembranes, which can also be used successfully on the upstream side. They are quite widely used around the world, particularly in the case of high intensity of cracks. They may be

successfully applied to the structure concrete on the upstream side, also underwater.”

Other relevant data on the stability and safety of the power plant, based on annual evaluations prepared by the Centre for Technical Control of Dams at the Institute of Meteorology and Water Management (IMGW), does not indicate that the results of the measurements of structure displacement deviate from acceptable and expected values.

Regular controls (ASTKZ) of indicators for movement of the plant on the ground and on the deeper Miocene layer, with 5-minute time steps, show lack of risks caused by loss of stability by the structure. Similarly, the indications of piezometers and deep drainage wells show that hydrostatic pressure in the ground is at the level of low water elevation. Feeler gauges installed on two main expansion joints indicate only seasonal changes caused by temperature variations.

The amount of leakage through the plant concrete is 5–30 l/min, depending on the season. Those values are significantly lower than the ones determined for such structures, in particular when the age of the plant is taken into account.

Bottom below the plant – bathymetric measurements carried out since 2008 do not indicate any major losses in the bottom in the area to the checkdam. The average reduction of the bottom level below the barrage is approx. 4 cm/year.

It was determined that the life of the checkdam would be 10 years, to the construction of the next barrage. That barrage was never built – restoration of the checkdam was necessary after 10 years.

2.4. Failure rate of equipment in the power plant

a) Failure rate of hydroelectric sets in the power plant

Sealing of turbine rotors

In the first years of operation there were problems with sealing of turbine rotors, resulting in frequent failures and oil leaks from the control system to the Vistula (Wisła) River. Approx. in 1975 the seal type was changed, and no longer had to be replaced each year. In the subsequent years, the seal bonding technology was changed from curing into gluing using Loctite 495 adhesive. Because of the sizes of the turbine and the seal it is necessary to cut it before assembly and gluing at the propeller. The seal has a diameter of 1280 mm and is made by pressing in the form. Own mixture recipe was developed at the beginning of the 90s. Currently, seal failures occur only occasionally (once every few years).

Wear of turbine inlet guide vanes

Turbine inlet guide vanes were made of ordinary steel and placed in wooden bearings (lignum vitae). In the 80s. the pins in vanes and bearings began to fret, resulting in large water leaks. The manufacturer of turbines proposed a new type of bearing made of composite material (teflon, caproate, epoxide) and a new set of vanes with rust-proof pins. New blades were installed in hydroelectric set (Hz 2); the removed blades were regenerated and installed on other hydroelectric sets. Now, after more than 20 years, there are no more problems with the bearings.

Imbalance of turbines

At the end of the 1980s. it was found that the dynamic condition of two turbines, Hz 1 and Hz 3, deteriorated – vibrations of the shaft within the rubber bearing reached 2 mm because of imbalance. Dynamic condition of turbines was tested, but the cause was not found. One-sided wear of shaft cover within the rubber bearing was found after disassembly of hydroelectric sets. Covers were regenerated during overhaul of turbines. Significant differences in weights of individual vanes were found after their disassembly. The vanes weighed 14.5–15.3 tonnes, resulting in large imbalance. Differences in sizes of vanes were also observed: the blade width was approx. 5 m, with differences of up to 90 mm. Once the overhaul was complete, Hydropomp Łódź was contracted to balance rotors in hydroelectric sets Hz 1 and Hz 3. Approx. 2 tonnes of hot lead were poured to balance the bossing, whereas 150 tonne weights were welded in the rotor of hydroelectric set Hz 1. The dynamic condition was significantly improved and is within acceptable limits.

Wear of turbine control units

Original control units were made by LMZ Leningrad. After 30 years they were not suitable for further operation. Sleeves of actuators were worn out, and the control system based on magnetic amplifiers was obsolete. This resulted in an improper control and in difficulties with meeting the performance parameters in turbines. Because at the end of the 1990s. the Russians refused to cooperate, modernisation was carried out by the Institute of Power Engineering in Gdańsk.

b) Failure rate of electrical equipment

1999

- short circuit at power evacuation from generator no. 6 – flooding during repair of the roof of the machinery room

2000

- grounding of pole shoe at rotor of generator no. 4 – replacement of the pole shoe
- damaged concrete at the point of support of the stator housing of generator no. 5 caused by vibration (short circuit in the 110 kV grid)

2002

- grounding of pole shoe at rotor of generator no. 6 – repair of the pole shoe
- grounding of pole shoe at rotor of generator no. 1 – repair of the pole shoe

2007

- grounding of the stator of generator no. 1 – breakdown of insulation during voltage test (replacement of 17 stator winding bars)

2010

- damage to the breaker compartment in generator no. 1 on phase L1 – replacement of the breaker

2011

- damage to lightning protector on the 110 kV side of unit no. 1 – emergency transformer shutdown

2012

- damage to the valve on the pipeline connecting the conservator with the transformer tank in block no. 3 – oil leak.

2.5. Repair of equipment in the power plant

a) Repair of hydroelectric sets

In the first period from 1970 to 1983 hydroelectric sets were repaired once a year. Repairs were carried out by Zakład Remontowy Energetyki Gdańsk. The scope of repair included:

- inspection of bearing in hydroelectric set with backlash removal
- cleaning of bearing coolers and generator
- replacement of seals of the inlet guide vanes
- inspection of seals of the turbine rotor
- repair of faults caused by operation.

Since 1984 repairs of turbines have been carried out by own teams within the plant.

The first signs of wear of hydroelectric sets could be seen after 20 years of operation, and modernisation of all the hydroelectric sets began:

1982 – the first general overhaul of hydroelectric set Hz 4, caused by frequent activation of oil pumps in the turbine control system. After disassembling the hydroelectric set, seizure of piston and piston grooves were found on the piston controlling the turbine rotor blades. After 20 years, the situation was repeated, and seizure occurred again. The reasons could not be found despite analysis of measurements. Problems with turbine control still happen. After consultation with the manufacturer of turbines it was found that there were probably errors in production of the rotor – difficult to find due to its size and weight. The rotor piston is 2 meters in diameter, and a complete rotor weighs 114 tonnes. In 1995 the manufacturer of turbines, NPO Turboatom, proposed replacement of turbine rotors with more modern version, including change of vane sealing

1989–1994 – general overhauls of inlet guides with replacement of inlet guide vanes in hydroelectric set Hz 2 and regeneration of vane pins in other hydroelectric sets. At the same time, wooden vane bearings were replaced with composite bearings supplied by the manufacturer of turbines, Turboatom Charków

1999–2004 – general overhauls of turbines with disassembly of hydroelectric sets and regeneration of turbine rotors and turbine shafts. Once the cycle of overhaul was complete it was necessary to balance two hydroelectric sets where imbalance of shafts exceeded limit values

Tasks of RZGW	2010			2011			2012		
	TOTAL	RZGW	ENERGA	TOTAL	RZGW	ENERGA	TOTAL	RZGW	ENERGA
Icebreaking	4,000	3,000	1,000	3,100	2,325	775	4,750	1,663	3,088
Dredging works in the reservoir basin	–	–	–	–	–	–	5,300	1,855	3,445
Maintenance of drainage network	1 000	–	1 000	1 300	0	1 300	1 400	490	910
Electricity costs	750	–	740	1 300	0	1 300	1 400	490	910
Ongoing maintenance costs: pumping stations, side dams, head dam, weir back-up dam, floodgate	2 000	1 000	1 000	800	400	400	1 200	420	780
Repair of checkdam	3100	0	3 100	850	0	850	–	–	–
Filling of potholes on downstream apron in the weir	–	–	–	–	–	–	1 250	438	813
Removal and installation of pancake ice bulkheads	180	108	72	200	120	80	440	154	286
Compensation for negative effects of damming	100	60	40	110	55	55	110	39	72
Restoration of the drainage system for N. Duninów	380	0	380	–	–	–	–	–	–
Water quality impact assessment and update of water management permit	150	75	75	154	77	77	–	–	–
Maintenance of ASTKZ	32	16	16	40	20	20	30	11	20
Inspection of alarm system	52	26	26	60	30	30	42	15	27
Underwater inspection of the barrage after flow of spring waters	90	45	45	–	–	–	–	–	–
Maintenance of gate valves no. 4 and 6	20	10	10	–	–	–	–	–	–
Caulking of gate valves in the weir	18	9	9	–	–	–	–	–	–
Maintenance of hoists				–	–	–	15	5	10
Assessment of technical condition of the bridge	–	–	–	–	–	–	15	5	10
TOTAL	11 872	4 349	7 523	7 914	3 027	4 887	15 952	5 583	10 369
Share in costs	100%	36,6%	63,4%	100%	38,2%	61,8%	100%	35%	65%

Tab. 1. Maintenance costs for Włocławek barrage in 2010–2012

Włocławek Power Plant*	Unit	2007**	2008	2009	2010	2011	2012	2013 (plan)
Production	MWH	757,806	698,073	820,161	1,102,609	856,973	603,524	760,068
Total costs	tys. zł	19,169	32,208	27,229	40,354	31,518	43,828	48,581
1. Direct maintenance costs	tys. zł	15,037	29,491	24,073	36,750	26,161	25,887	26,405
• maintenance cost for the barrage, share of RZGW	tys. zł	–	–	–	4,482	3,144	7,679	10,387
• other operating costs	tys. zł	15,037	26,473	20,974	32,268	23,016	18,208	16,018
2. Indirect maintenance costs	tys. zł	4,132	2,718	3,155	3,604	5,357	17,941	22,176
• markup on departmental costs	tys. zł	0	773	940	1,158	2,360	7,379	7,874
• markup on overhead costs	tys. zł	4,132	1,945	2,216	2,447	2,998	10,561	14,302
Modernisation expenses incurred	tys. zł	2,794	14,165	7,692	11,284	15,465	13,613	7,830

* Włocławek Power Plant in the Structure of ENERGA Hydro since 2007

** 2007 – production, entire year, costs for second half of the year

Tab. 2. Production and maintenance costs for Włocławek power plant in 2007–2013, source: Controlling and Analysis Department at ENERGA Hydro sp. z o.o. (20 June 2013)

2001–2002 – modernisation of turbine control systems and manufacturing of new control units by the Institute of Power Engineering in Gdańsk

2007–2012 – modernisation of generator stators by Alstom Wrocław

2013 – installation of a new system for monitoring vibration in hydroelectric sets.

In addition to those large-scale repair and modernisation works, the following repairs and modernisations of auxiliary equipment were carried out:

- replacement of valves on locks on the upper water side (valves designed by Energoprojekt Gdańsk, manufactured by FUGO Konin)
- replacement of compressors
- replacement of process water pumps
- overhaul of trash screens
- replacement of two oil pumps
- overhaul of oil system.

Works planned for the coming years:

- upgrade of the turbine cooling system
- replacement of oil pumps (ultimately 10 pumps)
- installation of a new grille cleaner.

b) Modernisation of electrical equipment

2001–2002, replacement of speed governors (type: RTKS-12)

2002–2004 – replacement of voltage regulators G1 – G6 (type: RNGA-5)

2007–2012 – replacement of static excitation systems with new voltage regulators (type: WGSY-37, generators G1 – G6)

2007–2012 – installation of systems for measuring air gap, magnetic flux, vibration of stator bars and temperatures of stator bars in generators G1 - G6 (VibroSystem)

2013 – a computer system for supervising the plant operation is being installed.

3. Maintenance costs

Structures in the hydraulic structures of Włocławek Barrage were maintained and repaired at the expense and with the effort of water management units. The costs of maintenance, repairs and modernisations of the power plant were borne by the owner of the plants. Such a procedure was applied until 2000, when RZGW in Warsaw and the owner of the plant made a joint decision to construct the checkdam for the low water position of the plant and weir.

Thus, they initiated the period in which maintenance of the barrage is co-financed by its users – RZGW in Warsaw and ENERGA Group (currently by the company ENERGA Hydro sp. z o.o.), with the exception of objects associated with navigation and lock. A system for distribution of maintenance and task costs was developed, then confirmed by provisions of the next water management permit, which defines the following proportions: ENERGA – 65%, RZGW – 35%.

On the basis of the statements of maintenance costs for structures in the barrage (Tab. 1) and in the power plant (Tab. 2) from the point of view of ENERGA Hydro, we can assess the extent of works related to maintenance of the barrage, as well as the proportions of operating costs for the barrage and the power plant. The power plant maintenance costs are several times (from approx. 2.4 to approx. 7-times, in respective years) higher than the barrage maintenance costs.

The presented costs apply only to maintenance of the barrage, excluding maintenance costs for the power plants and lock.

The statement of maintenance costs for the barrage show their variability in respective years. This is largely determined by financial potential of users. The following proportions are fixed: the largest part of maintenance costs for the barrage (30 to 40%, depending on availability of resources and ice conditions) are incurred for icebreaking each year. We should, however, expect a change in proportions if the task involving dredging of the reservoir and removal of outwash, especially in the initial zone of the reservoir.

4. Summary

Due to the high availability of all components and relatively low maintenance costs, the barrage with the plant and lock is a functional facility, useful from many points of view:

- economic: navigation, tourism and recreation
- power sector
- flood protection
- impact on the environment: improvement of hydrographic conditions in the area of impact, purification of waters in the Vistula (Wisła) River, development of ecosystem.

Respective owners of the power plant have operated in conditions of significant business benefits throughout years of work of the facility. This was facilitated by the following in respective periods:

- variation in daily demand for electricity and associated differences in energy prices
- favourable prices of electricity coming from renewable sources, which undoubtedly includes hydropower.

Reservoir

Over 40 years of operation the reservoir has developed its own rich ecosystem. Certain stabilization of the groundwater level and its increase above the dam have prevented environmental degradation of the river valley, which involves its drying as a result of low precipitation rate in the region and forcing of river into the bottom. A huge forest complex in the Gostyniński Landscape Park has been revived and is developing. The resulting ecosystem was populated with many new species of fauna, including rare species of birds such as: common gull, heron, cormorant and white-tailed eagles, whose populations are increasing. Animals vulnerable to water pollution, such as otters and beavers, also appeared in the region. There are more species of fish in water than before damming. The presence of catfish was found in the reservoir, with sizes of individual specimens exceeding even 2 metres. This is a well-functioning natural system.

The reservoir, called the Włocławek Lake, has become an interesting recreational location. It is fostered by good conditions for recreational sailing and for organising regatta, especially for lovers of inland navigation and fishing. Recreational facilities have been developed in the form of private lodgings, agritourism farms, recreation centres and ports for sailing equipment. Fishing is also developing in the area.

Dam

Permanent slowing down of the erosion process below the bottom and ensuring adequate operation of structures, which will surely extend their service life, may be caused by the following projects:

- 1) construction of several additional spans in the weir, leading to reduction of dependable flow rate at the end of revetments of the weir and power plant to 30 m³/s/m (compared to the current value of 42 m³/s/m).
- 2) supporting of Włocławek Barrage with damming of the second solid barrage with standard damming equal to the level assumed in the design for Włocławek Barrage.

Mechanical section

After more than 40 years of operation the condition of turbines is good, failures are not too frequent. The modernisations have improved their condition and they can continue to operate without failures. After 10 years of operation of the power plant it was thought that the life of its equipment is planned for 30–50 years. Experience gained from operation of the power plant clearly indicates another 40 years of its use.

Electrical section

Electrical equipment of primary and secondary circuits operates practically without any failures. They require periodic maintenance and modernisation, resulting from technological and technical progress in this field, which lead to improved operation and optimisation of operating costs.

After modernisation of generators carried out by Alstom, they can be overloaded to 31 MW, which allows using increased inflows to the reservoir more efficiently.

The barrage and power plant have been working for more than 40 years. None of the components in the barrage, hydraulic structure and power plant show failure rate beyond the operating standards. Experience shows that further decades of failure-free operation can be expected, with maintenance costs still significantly lower than the comprehensive benefits obtained from operation of the barrage and its components.

5. Conclusion

The following institutions should be mentioned due to historical obligation and to remind which entities carried out the investments related to the barrage and power plant in Włocławek:

Central investor: Centralny Urząd Gospodarki Wodnej, Warsaw

Direct investor: Zarząd Inwestycji Budowy Kaskady Dolnej Wisły, Włocławek.

General contractors: Warszawskie Przedsiębiorstwo Budownictwa Wodno-Inżynierskiego Hydrobudowa – 1; Włocławskie Przedsiębiorstwo Budownictwa Wodno-Inżynierskiego Hydrobudowa – 11; Przedsiębiorstwo Geologiczno-Inżynierskie Budownictwa Wodnego Hydrogeo in Warsaw.

Subcontractors: Energomontaż-Południe, Katowice; Elektrobudowa, Katowice; Mostostal, Gdańsk; Okręgowy Zarząd Wodny, Warsaw; Przedsiębiorstwo Hydrologiczne, Gdańsk; Płockie Przedsiębiorstwo Robót Mostowych; Włocławskie Przedsiębiorstwo Budownictwa Ogólnego.

Project Management Office: Centralne Biuro Studiów i Projektów Budownictwa Wodnego Hydroprojekt, Warsaw-Włocławek.

Cooperating offices: Biuro Studiów i Projektów Energetycznych Energoprojekt, Warsaw; Warszawskie Biuro Studiów i Projektów Transportu Drogowego i Lotniczego Transprojekt.

Suppliers: Charkowski Turbinnyj Zawod, Kharkiv; Uralelektrotiażmasz, Sverdlovsk; Leningradskij Mietaliczeskij Zawod, Leningrad; Miecha-niczskij Zawod, Zaporizhia; Zjednoczenie Przemysłu Budowy Maszyn Ciężkich – Zemak, Warsaw; Fabryka Maszyn i Urządzeń – Femak, Kluczbork; Fabryka Transformatorów i Aparatury Trakcyjnej – Elta, Łódź;

Pomorskie Zakłady Budowy Maszyn – Makrum, Bydgoszcz;
Zjednoczenie Przemysłu Budowy Urządzeń Chemicznych
– Chemak, Warsaw; Skierniewickie Zakłady Budowy Urządzeń
Chemicznych Chemostal, Skierniewice.

REFERENCES

1. Koncepcja przebudowy i remontu obiektów SW Włocławek
[*Concept of reconstruction and renovation of facilities in Włocławek
Barrage*], DHV Hydroprojekt, Warsaw 2009.
2. Projekt budowlany przebudowy i remontu obiektów SW Włocławek
[*Building permit design for reconstruction and renovation of facilities
in Włocławek Barrage*], DHV Hydroprojekt, Warsaw 2011.
3. Projekt budowlany przebudowy i remontu obiektów SW Włocławek
[*Detailed design for reconstruction and renovation of facilities in
Włocławek Barrage*], DHV Hydroprojekt, Warsaw 2012.
4. Elektrownia Wodna Włocławek [Włocławek Hydropower Plant],
1970–2012, ENERGA Hydro sp. z o.o., Issue No. 4, Pruszcz Gdański 2012.
5. Pomiary konsumpcji dolnego stanowiska jazu i elektrowni, lata
2009–2010 [Consumption measurements for lower position of the weir
and power plant, 2009–2010], ENERGA Hydro sp. z o.o.

Andrzej Tersa

Electrical power engineer

ENERGA Hydro sp. z o.o.

e-mail: andrzej.tersa@energa.pl

Electrical power engineer, a graduate of the Gdańsk University of Technology. From 1969 acted as Vice President of the Board of Hydro ENERGA sp. z o.o. in ENERGA Group (previously Power Distribution Company in Gdańsk). In 2000 he was transferred to the Department of Hydropower Plants in Straszyn, which was transformed into a company in 2003. In 2003–2013 he acted as President of the Board of ENERGA Hydro, and managed successive acquisitions and consolidations of water assets in ENERGA Group. He has been Vice President of the Board since August 2013.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 79–90. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Stopień wodny we Włocławku

Autor

Andrzej Tersa

Słowa kluczowe

Kaskada Dolnej Wisły, stopień wodny Włocławek, elektrownia Włocławek, Hydroprojekt Warszawa, eksploatacja stopnia wodnego, remonty stopnia wodnego, eksploatacja elektrowni, awaryjność urządzeń elektrowni, koszty utrzymania obiektów stopnia wodnego

Streszczenie

Stopień wodny (SW) Włocławek był zaprojektowany jako jeden z ośmiu stopni Kaskady Dolnej Wisły, zlokalizowany na 674,85 km rzeki. Zaprojektowany i zbudowany całkowicie przez polskie firmy. Jedynie turbiny były produkcji radzieckiej.

Kolejny stopień (w Ciechocinku) nie powstał, wielkie wody wezbraniowe przechodzące przez stopień erodowały dno na dolnym stanowisku, a elektrownia, pracując szczytowo wiele lat, przyczyniała się również do przyspieszonej erozji koryta rzeki poniżej stopnia, obniżania się z roku na rok poziomów dna rzeki, a w konsekwencji również zwierciadła wody dolnej.

Kolejne decyzje o pozwoleniu wodnoprawnym, jako przeciwdziałanie destrukcyjnemu oddziaływaniu szczytowej pracy elektrowni, zakazały pracy elektrowni przy zmieniającym się poziomie wody górnej, wprowadzając dodatkowe obostrzenia warunków dalszej pracy stopnia.

Do najistotniejszych skutków ponad 43-letniej eksploatacji SW Włocławek, pierwszego w niezrealizowanej kaskadzie, należy zaliczyć: erozję i obniżenie poziomu wody na dolnym stanowisku, rozluźnienie korpusu zapory ziemnej i podłoża jazu, niszczenie konstrukcji betonowych, niszczenie konstrukcji stalowych czy akumulację niesionego rumowiska w zbiorniku włocławskim.

W pierwszym okresie eksploatacji zarówno stopnia wodnego, jak i elektrowni nie notowano znaczących awarii, a eksploatacja przebiegała bez zakłóceń, wyłączając rok 1982, kiedy to potężny zator lodowy w okolicach Płocka przyczynił się do powodzi. Oznacza to również niewysokie koszty eksploatacji stopnia.

Ostatnie piętnastoletnie to okres zwiększonej awaryjności obiektów i urządzeń stopnia wynikającej z długiego okresu eksploatacji, a za tym konieczności remontów i modernizacji. To również okres zwiększonych nakładów.

1. Eksploatacja stopnia wodnego Włocławek

1.1. Krótka charakterystyka SW

Stopień wodny Włocławek projektowano w Hydroprojekcie w latach 1953–1959 jako element Kaskady Dolnej Wisły. Generalnym projektantem stopnia Włocławek i współautorem koncepcji kaskady był mgr inż. Stefan Czernik. Już w trakcie budowy funkcję generalnego projektanta przejął dr Eryk Bobiński. Projekt wstępny stopnia został zatwierdzony i rząd w 1959 roku podjął decyzję o budowie.

W latach 1960–1965 trwały prace nad projektami technicznymi poszczególnych obiektów stopnia. Głównymi projektantami podstawowych obiektów stopnia byli: elektrowni – Antoni Zimmermann, jazu – Janusz Bielakowski, śluzy – Leszek Biegała, zapory czołowej – Halina Sochocka, zapór bocznych – Bogumił Karczewski i Witold Stefaniak, awanportów i regulacji koryta – Kazimierz Aleksiański, organizacji budowy – Witold Krzepakowski. Główni projektanci koordynowali prace zespołów i pracowni branżowych Hydroprojektu oraz Energoprojektu Warszawa. Projekt mostu drogowego powstał w Transprojekcie Warszawa. Prace na placu budowy ruszyły w 1962 roku.

Zanim rozpoczęto budowę, w latach 1960–1961 projekt poddano tzw. rewizji oszczędnościowej. Była to ogólnokrajowa akcja podjęta na skutek zbyt szerokiego wówczas frontu inwestycyjnego, chronicznej choroby gospodarki socjalistycznej. Warunkiem realizacji projektu inwestycji, postawionym przez władze, było dokonanie oszczędności w zestawieniu kosztów budowy. Do przeprowadzenia rewizji powołano zespół ekspertów nieuczestniczących w projekcie i generalnego projektanta w roli obserwatora. Zespół taki miał pełną swobodę

w dokonywaniu zmian w projekcie w celu uzyskania oszczędności, nie ponosząc przy tym żadnej odpowiedzialności za podjęte decyzje. Decyzje te stały się przyczyną istotnych problemów i zagrożeń występujących na stopniu i zbiorniku Włocławek przez cały okres eksploatacji. Wśród nich należy wymienić:

- obniżenie oszacowania wartości liczbowej wody miarodajnej i kontrolnej oraz odpowiednio zredukowanie liczby świateł jazu z 12 do 10
- obniżenie korony zapory i przejścia drogowego przez stopień z rzędnej 61,00 do 60,20 m n.p.m.
- obniżenie klasy zapór bocznych w rejonie Płocka.

Pierwsza decyzja oznaczała zmniejszenie przepustowości stopnia na przejście wielkiej wody i lodów – problem poważny, czekający na rozwiązanie. Druga decyzja oznaczała zmniejszenie zapasu bezpieczeństwa przy przejściu wielkiej wody i powstaniu nadpiętrzenia górnej wody większego, niż założono w projekcie. Konsekwencją decyzji trzeciej było przelanie się przez zapory boczne wody spiętrzonej zatorem w styczniu 1982 roku. Poziom wody przekraczał wówczas 1 m nad koroną zapór bocznych.

SW Włocławek był pomysłany jako jeden z ośmiu stopni Kaskady Dolnej Wisły, zlokalizowany na 674,85 km rzeki. Zaprojektowany i zbudowany całkowicie przez polskie firmy. Jedynie turbiny były produkcji radzieckiej (listę uczestników realizacji inwestycji opublikowano na końcu artykułu). Hydrauliczne badania modelowe zostały wykonane w Instytucie Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku. Oficjalnie został oddany do eksploatacji 17 października 1970 roku. Uruchomienie pierwszych turbozespołów elektrowni nastąpiło jesienią 1969 roku, a śluzy latem

1969 roku. Niestety, z powodu pogarszania się kondycji gospodarczej kraju program budowy Kaskady Dolnej Wisły załamał się, a SW Włocławek pozostał jedynym zrealizowanym dotychczas stopniem na tym odcinku rzeki.

Planowano, że po wybudowaniu kolejnego stopnia, w celu optymalnego wykorzystania elektrowni wodnej stosowana będzie praca szczytowa, umożliwiająca wielokrotne uruchamianie hydrozespołów w ciągu doby, zachowując obligatoryjną zasadę utrzymywania poziomu górnej wody w strefie między rzędnymi 56,50–57,30 m n.p.m. Innymi słowy zakładano, że utrzymywanie poziomu wody na dolnym stanowisku stopnia Włocławek przez następny stopień miało umożliwiać całkowite wyłączanie obiektu na kilka godzin i gromadzenie w ten sposób wody na godziny zapotrzebowania szczytowego. Do czasu ukończenia kolejnego stopnia w Ciechocinku założono też konieczność przepuszczania przez całą dobę ustalonego minimalnego przepływu, gwarantującego niezbędne napełnianie koryta rzeki poniżej stopnia, co wymuszało pracę w godzinach, kiedy energia była tańsza i w nadmiarze. Praca szczytowa i interwencyjna przewidywana była jedynie przy zużywaniu nadwyżek wody.

Kolejny stopień w Ciechocinku nie powstał, wielkie wody wezbraniowe przechodzące przez stopień erodowały dno na dolnym stanowisku, a elektrownia, pracując szczytowo wiele lat, przyczyniała się również do przyspieszonej erozji koryta rzeki poniżej stopnia, obniżania się z roku na rok poziomów dna rzeki, a w konsekwencji również zwierciadła wody dolnej.

Szczęśliwie zmiany te zbiegły się z ewolucją dobowego przebiegu zapotrzebowania na energię i moc elektryczną. Złagodzeniu uległy przebiegi tzw. dolin i szczytów obciążenia energetycznego Krajowego

Systemu Elektroenergetycznego, a przepływowa praca elektrowni, bazująca jedynie na dopływie, okazała się pracą optymalną z punktu widzenia korzyści finansowych.

Eksploatacja SW Włocławek wraz z elektrownią trwa już ponad 43 lata. W skład stopnia wchodzi następujące obiekty:

- zaporę czołową (ziemna, filtracyjna, wysokość 20 m, długość 635 m)
- jaz (betonowy, dokowy, 10 · 20 m, szerokość 245 m)
- przepławka dla ryb (komorowa, kaskadowa, 33 komory, spad między komorami 0,4 m)
- elektrownia wodna (moc instalowana 160,2 MW, sześć turbozespołów po 27,8 MW)
- śluza żeglugowa (długość 115 m, szerokość 12 m, spad 11,3 m).

1.2. Zbiornik

Zbiornik włocławski, tzw. Jezioro Włocławskie, powstał na skutek spiętrzenia wód zaporą wodną we Włocławku, rozciąga się w górę rzeki aż do Płocka. Jest największym pod względem powierzchni i drugim co do objętości sztucznym zbiornikiem w Polsce. Ma kształt jeziora rynnowego o długości 58 km i średniej szerokości 1,2 km. Zajmuje obszar dawnego międzywala rzeki i jest położony w obrębie czterech jednostek morfologicznych: Kotliny Warszawskiej i Płockiej na lewym brzegu, a na prawym Wysoczyzny Dobrzyńskiej i Płockiej. Takie ukształtowanie terenu sprawiło, że nisko położone obszary lewego brzegu chronione są przed wodami powodziowymi i piętrzeniem zaporami bocznymi ziemnymi o łącznej długości ok. 30 km. Powyżej zbiornika wałami przeciwpowodziowymi na obu brzegach rzeki.

Podstawowe parametry zbiornika:

- szerokość średnia: 1,2 km, maksymalna: 3,0 km,
- głębokość średnia: 5,5 m, maksymalna: 15,0 m,
- pojemność użytkowa: 53,0 mln m³, całkowita: 370,0 mln m³.

Zbiornik ma charakter przepływowy. Dobbwe wahania poziomu piętrzenia nie przekraczają 0,3 m i zawierają się między rzędnymi 57,0–57,3 m n.p.m. Dopuszczalne maksymalne wahania poziomu wody zbiornika nie mogą wykraczać poza warstwę zawartą pomiędzy rzędnymi 56,50–58,50 m n.p.m. Nie daje to możliwości retencjonowania znacznych ilości wody, jednak ma istotne znaczenie przy prowadzeniu fali powodziowej w tym odcinku Wisły. Stosunkowo mała pojemność zbiornika powoduje, że znajdująca się w nim woda wymienia się ok. 70 razy w ciągu roku, co zapobiega utracie jej natlenienia, w odróżnieniu od jezior, w których proces wymiany wody trwa wielokrotnie dłużej.

1.3. Skutki eksploatacji pojedynczego stopnia wodnego

Ponieważ stopień w Ciechocinku nie powstał, kolejne decyzje o pozwoleniu wodnoprawnym, jako przeciwdziałanie destrukcyjnemu oddziaływaniu szczytowej pracy elektrowni, zakazały pracy elektrowni przy zmieniającym się poziomie wody górnej, wprowadzając dodatkowe obostrzenia warunków dalszej pracy stopnia.

Przy niskich przepływach w rzece obniżenie dna koryta poniżej Włocławka przekroczyło już 3 m i wymusiło konieczność:

- zwiększenia minimalnego przepływu z początkowych 300 do ponad 450 m³/s
- zainstalowania systemu hamowania elektrycznego hydrozespołów, ze względu na brak odpowiedniego zanurzenia wirników turbin
- budowy tymczasowego progu podpiętrżającego dolną wodę poniżej stopnia
- częstego wykonywania remontów i napraw umocnień brzegowych i dennych.

Powstały w ten sposób znaczne utrudnienia eksploatacyjne.

Do najistotniejszych skutków ponad 43-letniej eksploatacji SW Włocławek należy zaliczyć:

- erozję i obniżenie poziomu wody na dolnym stanowisku stopnia
- rozluźnienie korpusu zapory ziemnej i podłoża jazu
- niszczenie konstrukcji betonowych
- niszczenie konstrukcji stalowych
- akumulację niesionego rumowiska w zbiorniku włocławskim.

a. Erozja i obniżenie poziomu wody na dolnym stanowisku stopnia

Wybudowanie i eksploatacja stopnia spowodowały:

- przerwanie ciągłości ruchu rumowiska w korycie rzeki
- rozmywanie dna na dolnym stanowisku elektrowni, jazu i śluzy.

Wieloletnia eksploatacja elektrowni w systemie szczytowo-interwencyjnym charakteryzowała się:

- wielokrotnością zmian przepływów w przedziale 350–2100 m³/s w okresach dobowych

- dużymi wahaniami zwierciadła wody poniżej stopnia po wyłączeniu EW.

Według badań przeprowadzonych w 1994 roku:

- na długości ok. 43 km poniżej stopnia koryto Wisły podlega intensywnym procesom erozyjno-akumulacyjnym
- proces erozji wgłębnej powoduje obniżanie się dna koryta (odcinek erozyjny dł. ponad 28 km), a następnie tworzenie odkładów akumulacyjnych rumowiska na pozostałym odcinku
- czoło strefy erozyjnej przemieszcza się z szybkością ok. 1,1 km/rok i w perspektywie do 2020 roku może osiągnąć początek uregulowanego odcinka dolnej Wisły
- w latach 1967–1994 na całym erodowanym odcinku ubyło ok. 23,15 mln m³ materiału dennego, tj. średnio 860 tys. m³/rok
- średnie obniżenie dna na odcinku 7 km poniżej zapory przekroczyło 2,5 m, osiągając lokalnie głębokość 4–5 m.

Erozja wgłębna koryta powoduje stałe obniżanie się zwierciadła wody w rzece:

- w latach 1967–2002 zwierciadła wody dolnej w rzece w przekroju wodowskazowym stopnia obniżyły się:

dla wody niskiej Q = 350 m³/s: 2,60 m
dla wody średniej Q = 930 m³/s: 2,26 m
dla wody brzegowej Q = 2230 m³/s: 1,56 m.

- dynamika obniżania się poziomu wody dolnej wzrastała w obserwowanych okresach (5–6 lat) do połowy lat 80., obecnie wykazuje tendencję malejącą:

	1967–2002	1996–2002
dla wody niskiej Q = 350 m ³ /s	7,6 cm/rok	3,3 cm/rok
dla wody średniej Q = 930 m ³ /s	6,1 cm/rok	3,1 cm/rok
dla wody elektrowni Q = 2100 m ³ /s	4,1 cm/rok	3,1 cm/rok

Konsekwencje erozji dna i obniżania się wody dolnej:

- Przekroczenie dopuszczonych w projekcie warunków pracy obiektów stopnia, zagrażające ich bezpieczeństwu i właściwej eksploatacji:

» dopuszczone w projekcie minimalne poziomy WD były następujące:

- z warunku stateczności obiektów: 44,50 m n.p.m.
- z warunku wysokości ssania turbin: 44,60 m n.p.m. (instrukcja eksploatacji z 1989 roku)
- z warunku głębokości na progu śluzy: 44,80 m n.p.m.

» rzeczywiste poziomy WD w korycie rzeki (2012).

Oznaczenie przepływu	Wielkość przepływu SW Włocławek [m ³ /s]	Poziom wody dolnej WD jazu i elektrowni m nNN	Poziom wody dolnej progu podpiętrż. m nNN
Q _{gw}	350	44,46	42,95
Q _{min}	450	44,58	43,14
Q _{sr}	915	45,13 (2013)	44,08 (2013)

Dane z 2012 i 2013 roku, w oparciu o wodowskaz wody progowej dolnej (wg ASTKZ – automatycznych systemów kontroli obiektów hydrotechnicznych), wskazują, że poziom wody poniżej progu obniżał się w tempie ok. 1 cm/rok dla 350 m³/s, 2 cm/rok dla 450 m³/s, i 3,5 cm/rok dla 960 m³/s

- projekt zakładał podparcie stopniem Ciechocinek NPP = 46,00 m n.p.m. MinPP = 45,20 m n.p.m.

- Pogorszenie warunków pracy zapory ziemnej czołowej, w tym:

- » wzrost wysokości piętrzenia
- » intensyfikacja filtracji w korpusie i podłożu zapory ziemnej prowadząca do sufozji zmniejszającej stopień zagęszczenia korpusu zapory (szczególnie u podstawy korpusu zapory na stanowisku dolnym), a w konsekwencji do obniżenia współczynnika stateczności odpowiedźnej skarpy zapory

- Pogorszenie warunków pracy jazu: wzrost wysokości piętrzenia

- » intensyfikacja filtracji w podłożu pod dokami jazu
- » pogorszenie warunków rozpraszania energii na wypadzie, co powoduje tworzenie się wirów, a w konsekwencji niszczenia ubezpieczeń poszuru i powstawanie wybojów poniżej ubezpieczeń sztywnych
- » zwiększenie filtracji pod stopami murów oporowych prawego przyczółka jazu; prowadzące do powolnego wymywania drobnych ziaren

- z korpusu zapory ziemnej i spod stóp murów oporowych prawego przyczółka
- » pogorszenie warunków przepuszczania lodów przez jaz, skutkujące zwiększeniem energii uderzenia kry o betonowe dno niecki wypadowej i przyspieszoną dewastację betonów konstrukcji jazu oraz ubezpieczeń poniżej jazu
- Pogorszenie warunków pracy przepławki:
 - » wzrost wysokości piętrzenia prowadzący do zwiększenia różnicy poziomów wody w stanowiskach górnym i dolnym
 - » wzrost różnicy zwierciadeł wody pomiędzy poszczególnymi komorami przepławki (≥ 40 cm), a tym samym zwiększenie prędkości przepływu w otworach tranzytowych, uniemożliwiających migrację w górę rzeki słabszym gatunkom ryb
- Pogorszenie warunków pracy śluzy:
 - » system napełniania i opróżniania komory śluzy nie może być użytkowany w pełnym, projektowanym zakresie z uwagi na:
 - odsłonięcie wylotów kanałów obiegowych w głowie dolnej i komorze śluzy
 - niebezpieczne zaburzenia strug wody w komorze i nadmierne prędkości wody na wypadzie śluzy (zwiększone prędkości i wiry, rozmycia)
 - bezpieczną wysokość podnoszenia zasuw w kanałach obiegowych w głowie dolnej określono na 20 cm (projektowana 220 cm)
 - » czas opróżniania komory śluzy wydłużył się do ok. 1 godziny
 - » mała głębokość wody na dolnym stanowisku śluzy (ok. 1,0 m) przy przepływach niżówkowych powoduje wielomiesięczne wyłączenia śluzy z eksploatacji
- Deformacja kształtu koryta rzeki i zmiana charakterystyki przepływów oraz zniszczenie systemu budowli regulacyjnych poniżej stopnia:
 - » zmiana przekroju koryta z dwudzielnego na jednodzielne z wyłączeniem udziału koryt bocznych i tarasów zalewowych
 - » koncentracja przepływu w korycie głównym powodująca wzmoczoną erozję
 - » fundamenty budowli regulacyjnych znajdują się powyżej poziomu wody średniej, a wiele z nich wznosi się powyżej zwierciadła wody przy $Q_{\text{inst.EL}}$.

b. Rozluźnienie korpusu zapory ziemnej i podłoża jazu

Wieloletnia eksploatacja elektrowni w systemie szczytowo-interwencyjnym, która charakteryzowała się wielokrotnymi zmianami przepływów w zakresie 350–2100 m³/s w okresach dobowych, miała niekorzystny wpływ zarówno na korpus ziemny zapory i jej podłoże, jak również na podłoże jazu, jego płyty wypadowej i umocnień sztywnych jazu. Wyniki pomiarów piezometrycznych wskazują na ścisły związek pomiędzy położeniem krzywej filtracji w korpusie zapory a poziomem wody dolnej.

W przeszłości, w wyniku częstych zmian przepływów, dochodziło do gwałtownych zmian wartości gradientów hydraulicznych filtracji w obszarze pomiędzy zwierciadłem

wody w korpusie lewego przyczółka zapory ziemnej a zwierciadłem wody dolnej. Filtracja ze względu na wysokie gradienty powodowała:

- rozluźnienie gruntu w podłożu fundamentów tych murów
- rozluźnienie gruntu w podłożu płyt ubezpieczenia poszuru, szczególnie w strefie poniżej prawego przęsła jazu
- sufozję w części korpusu zapory na jej lewym przyczółku.

W wielu badanych punktach stopień zageszczenia miał wartość $ID \leq 0,3$, a podwodne oględziny stanu płyty wypadu i umocnień sztywnych jazu wykazywały pomiędzy płytami ubezpieczenia występowanie stożków ukształtowanych z wypłukiwanego z podłoża piasku. Zaobserwowano rozluźnienie podłoża pod stopami murów oporowych prawego przyczółka jazu, zagrażające ich stateczności oraz stabilności umocnień dna poniżej wypadu.

Pomiary przemieszczeń pionowych i poziomych (względnych i bezwzględnych) wybranych punktów kontrolnych zapory, jazu, przepławki, elektrowni i śluzy są systematycznie prowadzone od czasu budowy stopnia wodnego Włocławek. Osiadanie ziemnego korpusu zapory jest procesem naturalnym dla tego typu konstrukcji. Z analizy wyników pomiaru wielkości osiadań i akcji w czasie wynika, że proces ten przebiega płynnie. Opierając się na danych dotyczących osiadań, zamieszczonych w ocenach OTKZ IMGW Warszawa dla zapory Włocławek, należy stwierdzić, że na przestrzeni 43 lat proces osiadania w zasadzie przebiega płynnie, a sumaryczne maksymalne za ten okres osiadania osiągnęły wartości 42,8–80,0 mm. Sumaryczne maksymalne osiadania nie są wartościami odbiegającymi od osiadań podobnych obiektów. Tempo osiadań według badań OTKZ IMGW wynosiło dotychczas średnio ok. 1–2 mm/rok.

c. Niszczenie konstrukcji betonowych

Wieloletnia eksploatacja SW Włocławek odcisnęła swoje piętno również na betonowych konstrukcjach. Widoczne są liczne usterki spowodowane wadami wykonawczymi i procesami starzenia się betonu. Z wad wykonawczych można wymienić: niejednorodność struktury betonu, liczne raki w masywie, nieszczelne styki przerw roboczych, niesolidnie wykonane zamknięcia szczelin dylatacyjnych.

Skutki spowodowane 43-letnią eksploatacją obejmują: korozję powierzchniową betonu, ubytki betonu, brak otuliny stali, pęknięcia i rysy z wykwitami oraz uszkodzenia uszczelnień dylatacji. Pęknięcia i rozwarcia szczelin w blokach betonowych spowodowane zostały przez zamarzanie w nich wody oraz uderzenia kry lodowej.

d. Niszczenie konstrukcji stalowych

Wieloletnia eksploatacja SW Włocławek nie oszczędziła też konstrukcji stalowych. Na wszystkich obiektach widoczne są: głęboka korozja grożąca utratą funkcjonalności niektórych urządzeń i konstrukcji, ubytki konstrukcji spowodowane korozją lub urazami mechanicznymi, zniszczone elementy konstrukcji (pokrzywione bariery ochronne, prowadnice, drabinki itp.). Głęboka korozja całkowicie unieruchomiła rurociąg wody wabiącej w przepławce dla ryb oraz mechanizmy ręcznych napędów zamknięć wejść i wyjść przepławki.

e. Akumulacja niesionego rumowiska

Prowadzone systematycznie badania naukowe wykazują, że zbiornik działa jako swego rodzaju oczyszczalnia wód rzeki, gromadząc w sobie rumowisko rzeczne i część prowadzonych przez wodę zanieczyszczeń. Pomimo tego, zawartość metali ciężkich i innych zanieczyszczeń w osadach jest porównywalna, a w wielu parametrach nawet niższa niż w najczystszych jeziorach mazurskich.

Dużym problemem eksploatacyjnym są przypływające do elektrowni śmieci. Ilość śmieci z każdym rokiem wzrasta, przyczyną jest brak uporządkowania brzegów rzek i ograniczone nakłady RZGW na ten cel. Ilość dopływających śmieci szacuje się nawet do 5000 m³ rocznie, szczególnie dużo przypływa z wiosenną falą wezbraniową, w tym do 30 ton drewna.

1.4. Remonty stopnia wodnego wykonane do 2013 roku

a. Rok 2000

- Wykonano iniekcyjne zabezpieczenie podłoża płyt fundamentowych prawego muru oporowego jazu. Za pomocą tzw. iniekcji manszetowej poczyniono wielopunktowe podparcie tych płyt przez wytworzone za pomocą iniekcji kolumny betonowe. Iniekcja ta spowodowała także częściowe dogęszczenie gruntu pomiędzy kolumnami. Ten zabieg techniczny został wykonany w pierwszej kolejności ze względu na zagrożenie stateczności niektórych sekcji muru oporowego, co wykazywały pomiary geodezyjne
- Rozpoczęto trwające do 2004 roku iniekcyjne zabezpieczenie podłoża płyt poszuru jazu. Podobnie jak płyty fundamentowe murów oporowych w strefach rozluźnień stwierdzonych badaniami zostały one podparte kolumnami betonowymi
- Próg podpiętrżający poziom wody wolnej wykonali wspólnie: Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej Warszawa i właściciel elektrowni ENERGA Hydro sp. z o.o. (od tego roku do prac remontowych stopnia wodnego właściciel elektrowni Włocławek włącza się czynnie – organizacyjnie i finansowo).

b. Rok 2003

- Rozpoczęto, trwający dwa lata, remont głębokiego drenażu szczelinowego u podstawy skarpy odpowietrznej lewego przyczółka zapory, którego zadaniem jest obniżenie rzędnej zwierciadła wody gruntowej na przedpolu zapory za prawym murem oporowym jazu od WD i znaczące zmniejszenie gradientów hydraulicznych pod murem oporowym (szczególnie ważne dla odcinka muru posadowionego na podłożu piaszczystym) i płytami poszuru pierwszego przęsła jazu. Żwirowy, dwuwarstwowy drenaż szczelinowy wykonany został w postaci palisady z zachodzących na siebie kolumn wielkośrednicowych, których wnętrza wypełnione jest gruntem filtracyjnym. Woda z drenażu, zbierana w komorze zbiorczej, odprowadzana jest grawitacyjnie do dolnego stanowiska stopnia, w rejon podstawy skarpy odpowietrznej na styku z prawym brzegiem pozostawionej w czasie budowy naturalnej wyspy. Drenaż w założeniach projektowych ma działać automatycznie i chronić także grunt w korpusie zapory przed sufozją

wewnętrzna. Z analizy pomiarów piezometrycznych w korpusie i na przedpolu zapory wynika, że po oddaniu drenażu do eksploatacji w 2006 roku zwierciadło wody gruntowej za murem oporowym obniżyło się o ok. 1,5 m, po czym poziom wody powoli lecz sukcesywnie się podnosił.

c. Rok 2004

- Wykonano studnie drenażowe w płytach wypadu jazu dla zmniejszenia wyporu.

d. Rok 2005

- Wykonano uszczelnienie dylatacji filarów jazu.

e. Rok 2006

- Przesłona przeciwfiltracyjna *jet grouting*, przed całym jazem.

f. Rok 2007

- Dla zabezpieczenia podnóża skarpy odpowietrznej w środkowej części zapory (rejon dawnego starorzecza Wisły w prawo od pozostawionej w czasie budowy wyspy) wykonano: studnie drenażowe ujmujące wypływającą z podnóża skarpy wodę i odprowadzono ją do tzw. zatoczki, tj. do dolnego stanowiska zapory ziemnej, oraz przykrycie/dociążenie podnóża skarpy na całej szerokości starorzecza materiałem piaszczystym narefulowanym z Wisły. Prace te miały na celu ujęcie i odprowadzenie w sposób kontrolowany wód przesączających się z podnóża odpowietrznej skarpy zapory do dolnego stanowiska oraz poprawę warunków stateczności korpusu zapory w tym rejonie.

g. Rok 2009

- ASTKZ elektrowni wodnej został podłączony do ogólnego systemu ASTKZ dla całego stopnia wodnego Włocławek ze stanowiskiem głównym zlokalizowanym w budynku Inspektoratu RZGW we Włocławku.

h. Rok 2011

- Zakończono, trwający dwa lata, remont tymczasowego proggu podpiętrżającego dolne stanowisko elektrowni, jazu i przepławki, zapewniając minimalne poziomy dla zapewnienia stateczności i poprawnej pracy elektrowni. Zadanie to realizowane było przez współużytkowników SW: RZGW Warszawa i ENERGA Hydro. Koszt realizacji tego zadania wyniósł ponad 8 mln zł, który w większości został pokryty przez spółkę ENERGA Hydro.

i. Rok 2012

- Rozpoczęto prace pogłębiarskie w czaszy zbiornika (udział EH w kosztach zadania: blisko 2 mln zł) oraz rozpoczęto prace związane z wypełnieniem wybojów na poszurze jazu wraz z likwidacją zgrzepy (udział ENERGA Hydro: 0,8 mln zł).

j. Rok 2013

- Kontynuacja prac pogłębiarskich w czaszy zbiornika (szacowany udział EH: 3,3 mln zł) oraz prac polegających na wypełnieniu wybojów na poszurze jazu (planowana wysokość partycypacji EH: 0,8 mln zł). Planuje się również odtworzenie rezerwy tetrapodów zużytych w 2012 roku na zabudowę wyboju (szacowany udział EH: 0,35 mln zł).

Począwszy od 2000 roku, zakres prac remontowych i utrzymania w obszarze zbiornika i zapory systematycznie wzrasta. Przyczynia się do tego rozwijająca się

współpraca dwóch głównych użytkowników stopnia: Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Warszawie i spółki ENERGA Hydro. Finansowy i rzeczowy zakres tej współpracy przedstawia tabela nr 1.

Nie ulega wątpliwości, że wymienione wyżej roboty w istotny sposób wydłużą okres funkcjonowania obiektów SW Włocławek, w tym: zapory czołowej, systemu technicznej kontroli obiektu, jazu, przepławki, elektrowni i śluzy. Jednak nie zahamują one stale występującego procesu obniżania się dna dolnego stanowiska, zagrażającego bezpieczeństwu SW Włocławek.

Tymczasowy próg podpiętrża tylko jaz, przepławkę i elektrownię. Śluza i zaporę czołową nadal pracują w warunkach nieprzewidywanego przez projektantów zwiększonego piętrzenia.

1.5. Remonty stopnia wodnego przewidziane do wykonania

Na podstawie umowy z RZGW w Warszawie z 2009 roku Hydroprojekt sp. z o.o. przygotował dokumentację projektową „Przebudowa i remont obiektów Stopnia Wodnego we Włocławku: zapory czołowej, systemu kontrolno-pomiarowego (ASTKZ), jazu, śluzy z awanportami oraz przepławki dla ryb – pow. Włocławek, woj. kujawsko-pomorskie”. Spółka ENERGA Hydro, na mocy zawartego porozumienia z RZGW w Warszawie, w całości pokryje koszty związane z przygotowaniem projektu (koszt: 6,6 mln zł). Zakres opracowania, zgodnie ze specyfikacją istotnych warunków zamówienia (SIWZ), obejmował niżej wymienione (umownie wydzielone) obiekty:

- Obiekt 1** – poprawa stanu zagęszczenia korpusu i podłoża zapory czołowej, wykonanie przesłony przeciwfiltracyjnej wzdłuż muru oporowego na lewym przyczółku zapory
- Obiekt 2** – rozbudowa automatycznego systemu pomiarowo-kontrolnego stopnia (ASTKZ)
- Obiekt 3** – remont jazu w zakresie konstrukcji, urządzeń mechanicznych i elektrycznych
- Obiekt 4** – remont śluzy i awanportów
- Obiekt 5** – przebudowa przepławki dla ryb.

Do wyżej wymienionych prac należałoby dodać zadanie zawarte w Programie Operacyjnym Infrastruktura i Środowisko „Poprawa stanu technicznego i bezpieczeństwa powodziowego Stopnia Wodnego Włocławek” – pogłębianie i refulacja nanosów w wejściu do zbiornika (okolice Płocka). Prace te dotychczas nie były realizowane, więc ich koszt to wiele dziesiątków milionów złotych. Ich wykonanie usprawni żeglowność zbiornika, prowadzenie wód wezbraniowych i zapobiegnie tworzeniu się zatorów lodowych na wejściu do zbiornika, a przez to poprawi zabezpieczenie przeciwpowodziowe powyżej zbiornika.

Jednocześnie przewidziano m.in.: poszerzenie korony zapory na odcinku od prawego przyczółka do zjazdu na dolne stanowisko, wzdłuż drogi krajowej od strony odpowietrznej, budowę uzupełniającego odcinka zapory bocznej stopień Wistka oraz odprowadzenie wód drenażowych na lewym przyczółku zapory.

W ramach planowanych prac remontowych przewidziano m.in.:

W zakresie urządzeń zapory czołowej

- Poprawę stanu zagęszczenia korpusu i podłoża zapory w strefie przyległej do przyczółka jazu oraz w strefie skarpy odpowietrznej, przylegającej do kamiennej przymy w środkowej części zapory
- Realizację uzupełniającej przesłony przeciwfiltracyjnej wzdłuż muru oporowego prawego przyczółka jazu, z przebudową istniejących drenaży usytuowanych za murem jazu, w lewym przyczółku zapory ziemnej
- Włączenie do ASTKZ wszystkich działających w korpusie i podłożu zapory piezometrów
- Poszerzenie korony zapory (ze względu na systematycznie wzrastające w tym miejscu natężenie ruchu pieszo-rowerowego, stwarzające zagrożenie wypadkami) od strony wody dolnej, na odcinku od parkingu na prawym przyczółku zapory do zjazdu na dolne stanowisko zapory
- Poprawę stanu betonowego ubezpieczenia skarpy odwodnej zapory.

W zakresie automatycznego systemu technicznej kontroli zapory (ASTKZ)

- Etapowy demontaż starego systemu wraz z urządzeniami AKPiA (aparatura kontrolno-pomiarowa i automatyka) w celu zachowania ciągłości monitorowania stanu stopnia w trakcie realizacji remontu
- Zabudowę całkowicie nowego systemu AKPiA oraz nowego ASTKZ, zintegrowanego z systemem elektrowni wodnej. Nowy system obejmuje wszystkie obiekty składowe SW Włocławek.

W zakresie urządzeń jazu

W części podwodnej głównie uszczelnienia dylatacji i szczelin muru oporowego, progów przelewów, filarów i prace powiązane.

W części nadwodnej głównie remont dylatacji i szczelin murów oporowych przyczółków i filarów, likwidację rys i szczelin, uzupełnienie ubytków betonów i zabezpieczenie powierzchni konstrukcji betonowej, remonty zamknięć, remont elementów stalowych konstrukcji jazu i wyposażenia komunikacyjnego.

W zakresie urządzeń śluzy

Planowany jest gruntowny remont śluzy wraz ze wszystkimi urządzeniami i obiektami głównymi i towarzyszącymi, m.in.:

- betonów konstrukcji śluzy i przewodnic awanportów
- betonowych płyt ubezpieczenia w awanportach
- elementów stalowych konstrukcji śluzy i jej urządzeń
- ciągów komunikacyjnych pieszych, kołowych, poziomych i pionowych
- instalacji odwodnienia i drenażu.

W zakresie przepławki dla ryb

Planuje się przebudowę konstrukcji istniejącej przepławki z typu komorowego na szczelinowy i dostosowanie jej parametrów do aktualnych wytycznych dla typowych dla tego odcinka Wisły gatunków ryb wędrownych, takich jak: brzana, świnka, minóg rzeczny, certa, troć wędrowna i łosoś, zgodnie z uzgodnieniami dokonanymi z Zespołem ds. Ochrony i Rozwoju Żywych Zasobów Wód i ekspertem FAO, działającymi w ramach Programu Współpracy Technicznej TCP/POL/3201 z ekspertami FAO,

realizowanego w porozumieniu z rządem Rzeczypospolitej Polskiej.

Przebudowa będzie gruntowna, w jej wyniku powstanie praktycznie nowa konstrukcja przepławki o parametrach zgodnych z wytycznymi zawartymi w opracowaniu FAO/DVWVK, Fish passes – Design, dimensions and monitoring. Rome, FAO, 2002. Ciekawostką, dostępną dla wszystkich, podnoszącą atrakcyjność wizyt w elektrowni, będą dwa okna do obserwacji migracji ryb przepławką (dla naukowców i zwiedzających) oraz pułapka dla ryb (do okresowych odłowów badawczych).

2. Eksploatacja elektrowni

2.1. Krótka historia elektrowni Włocławek

W listopadzie 1971 roku obiekty stopnia zostały rozdzielone między dwa ówczesne resorty zarządzające w kraju gospodarką wodną oraz energetyką. Zbiornik wraz z obiektami, zapórę czołową, jaz, przepławkę dla ryb oraz służbę żegludową przekazano Centralnemu Urzędowi Gospodarki Wodnej, a w jego ramach Okręgowemu Zarządowi Wodnemu w Warszawie, natomiast elektrownię wodną przejęły Zakłady Energetyczne Okręgu Północnego w Bydgoszczy w ówczesnym Zjednoczeniu Energetyki.

Do 1973 roku eksploatację elektrowni Włocławek oraz większości elektrowni wodnych Pomorza Środkowego, wchodzących w skład zakładów Energetycznych Okręgu Północnego w Bydgoszczy, prowadził Zespół Elektrowni Wodnych w Straszynie. Już wiosną 1968 roku ówczesny zastępca dyrektora do spraw technicznych Stanisław Cicholski uzyskał delegację dyrektora Zakładów Energetycznych Okręgu Północnego w Bydgoszczy do reprezentowania interesów energetyki, tj. ZEOPn – przyszłego właściciela elektrowni, na terenie zaawansowanej już budowy stopnia wodnego Włocławek.

Rozruch elektrowni pod kierunkiem Stanisława Cicholskiego zakończył się w 1971 roku, a Stanisław Cicholski rozpoczął pełnienie funkcji kierownika elektrowni, nadal w strukturze Zespołu Elektrowni Wodnych w Straszynie.

Po reorganizacji resortu energetyki w 1973 roku elektrownie wodne Gródek i Żur na Wdzie oraz Włocławek utworzyły Rejon Elektrowni Wodnych z siedzibą we Włocławku, podporządkowany Zakładowi Energetycznemu Toruń.

Od 1976 roku, wraz z wprowadzeniem nowego podziału administracyjnego kraju, Rejon Elektrowni Wodnych Włocławek został rozwiązany, a elektrownię Włocławek użytkował Zakład Energetyczny Toruń. W ramach tego przedsięwzięcia powołana została 1 marca 1998 roku spółka o nazwie Elektrownia Wodna we Włocławku sp. z o.o., z zakresem działalności obejmującym pełną eksploatację elektrowni – produkcję energii elektrycznej oraz utrzymanie ruchu i gotowości urządzeń elektroenergetycznych i hydrotechnicznych.

Od lipca 2007 roku elektrownia Włocławek weszła w skład ENERGA Elektrownie Straszyn sp. z o.o. (obecnie: ENERGA Hydro sp. z o.o.), spółki powstałej w wyniku przekształceń Zespołu Elektrowni Wodnych w Straszynie, czyli po ponad 30 latach elektrownia „wróciła na swoje miejsce”.

2.2. Podstawowe parametry techniczne elektrowni

- przelkwy instalowany 6 turbin: 2190 m³/s
- moc instalowana: 160,2 MW
- przelkwy roboczy 6 turbin: 1860 m³/s
- moc nominalna jednej turbiny: 27,8 MW
- średnica wirnika turbiny: 8,0 m
- rzędna osi wirnika turbiny: 47,00 m n.p.m.
- moc pozorna/czynna generatora: 31,8 MVA/26,7 MW
- dopuszczalny zakres spadów: 5,2–12,7 m
- maksymalna produkcja roczna (2010): 1043 GWh
- produkcja średnia (1971–2010): 747 GWh/rok.

Elektrownia Włocławek (na używanie takiej nazwy Spółka ENERGA Hydro otrzymała zgodę Rady Miasta Włocławka) z mocą instalowaną ponad 160 MW i produkcją energii rzędu 700 GWh rocznie jest największą przepływową elektrownią wodną w Polsce. Wytwarza się tu ponad 20% energii elektrycznej powstającej w krajowych hydroelektrowniach.

2.3. Budowla hydrotechniczna elektrowni wodnej

Betony elektrowni poddane zostały gruntownym badaniom wykonywanym przez Instytut Inżynierii Łądowej i Wodnej Politechniki Wrocławskiej. Temat ten podjęto w związku z dość licznymi pęknięciami betonów w połączeniu z wyciekającą przez nie wodą. Należało sprawdzić, jakiego charakteru są te pęknięcia i na ile przeciekająca woda może wpływać destrukcyjnie na betony.

Wyniki prac Politechniki Wrocławskiej pozwalają sformułować m.in. następujące stwierdzenia:

- stan betonów EW Włocławek nie zagraża bezpieczeństwu budowli
- zbędne są zabiegi iniekcyno-wzmacniające, polegające na modyfikacji mikrostruktury tych betonów; to samo dotyczy zabiegów powierzchniowego uszczelniania tych betonów
- woda przeciekająca systemem spękań nie indukują poważnych procesów korozyjnych betonów oraz zbrojenia
- konieczne jest ciągłe monitorowanie wszystkich przecieków w betonach EW Włocławek
- opróżnianie rur ssących należy wykonywać tylko wtedy, gdy jest to bezwzględnie niezbędne – powinno się jednak dążyć do tego, aby opróżnianie następowało przy niskich stanach wody oraz trwało możliwie krótko.

Na wniosek ENERGA Hydro, w związku z niepowodzeniami dotychczasowych wieloletnich prac uszczelniających wykonywanych wewnątrz pomieszczeń (galerii, rur ssących), autorzy kompleksowej oceny ustosunkowali się do przedstawionego im stanowiska elektrowni, sprowadzającego się do uznania za zadanie pierwszoplanowe uszczelnianie betonów na ich kontakcie z wodą zbiornikową. Chodzi o obszar, gdzie wody pod pełnym ciśnieniem infiltrują w głąb betonów, a ich skutkiem wtórnym są wycieki do pomieszczeń wewnętrznych. Zamykanie miejsc wyciekania wody nie zmienia istotnym stopniu natężenia procesów filtracji w budowlu jako całości.

W ocenie końcowej zapisano: „Możliwa jest oczywiście do zastosowania inna generacja uszczelnień betonów – w postaci geomembran, które mogą być również stosowane z powodzeniem od strony odwodnej. Na świecie mają one dość szerokie zastosowanie – szczególnie w przypadku występującej dużej intensywności spękań. Z powodzeniem mogą one być nałożone na betony konstrukcji od strony odwodnej w tym również pod wodą”.

Inne istotne dane co do stateczności i bezpieczeństwa elektrowni, na podstawie corocznych ocen opracowywanych przez Ośrodek Technicznej Kontroli Zapór IMGW, nie wskazują, aby wyniki pomiarów przemieszczeń budowli odbiegały od dopuszczalnych i oczekiwanych wartości.

Prowadzone na bieżąco (ASTKZ) kontrole z krokiem czasowym 5 minut wskaźników na przesuw elektrowni po podłożu, jak i po głębiej położonej warstwie miocenińskiej, świadczą o braku zagrożeń z tytułu utraty stateczności budowli. Podobnie wskazania piezometrów i studni drenażu głębokiego ukazują ciśnienie hydrostatyczne w podłożu na poziomie rzędnej dolnej wody. Szczelinomierze zainstalowane na dwóch głównych dylatacjach wykazują jedynie zmiany sezonowe, wywołane wahaniami temperatur.

Ilość przecieków przez betony elektrowni wynosi – w zależności od pory roku – 5–30 l/min. To wartości znacznie niższe od określanych dla budowli tego typu, w szczególności gdy weźmie się pod uwagę wiek elektrowni. Dno poniżej elektrowni – wykonywane od roku 2008 pomiary batymetryczne nie wskazują na istotne ubytki w dnie w obszarze do progu stabilizującego. Poniżej progu średnie obniżanie się dna wynosi ok. 4 cm/rok.

Zywotność progu stabilizującego, podpiętrzającego, określono na 10 lat do czasu budowy kolejnego stopnia. Stopień nie powstał – po 10 latach konieczny był remont odtworzeniowy progów.

2.4. Awaryjność urządzeń elektrowni

a) Awaryjność hydrozespołów elektrowni Uszczelnienia wirników turbin

W pierwszych latach eksploatacji problemem były uszczelnienia wirników turbin, co powodowało częste awarie i wycieki oleju z układu regulacji do Wisły. Ok. 1975 roku zmieniono typ uszczelnienia i zaprzestano corocznych wymian uszczelnień. W kolejnych latach zmieniono technologię klejenia uszczelki z wulkanizacji na klejenie za pomocą kleju Loctite 495. Ze względu na gabaryty turbiny i uszczelki konieczne jest jej rozcięcie do montażu i sklejenie na łopacie. Uszczelka ma średnicę 1280 mm i jest wykonywana przez tłoczenie w formie. Na początku lat 90. opracowano własną recepturę mieszanki. Obecnie awarie uszczelnienia występują sporadycznie (raz na kilka lat).

Zużycie aparatów kierowniczych turbin

Turbiny miały łopaty aparatu kierowniczego wykonane ze zwykłej stali i ułożyskowane w drewnianych łożyskach (drewno gwajakowe). W latach 80. czopy łopat i łożyska zaczęły się wycierać, co powodowało duże przecieki wody. Producent turbin zaproponował nowy typ ułożyskowania wykonany z kompozytu (teflon, kapron, epoksyd) i nowy komplet łopat z nierdzewnymi

czopami. Nowe łopaty zamontowano na Hz 2, a zdemontowane zregenerowano i montowano na kolejnych hydrozespołach. Obecnie po ponad 20 latach, nie ma już problemu z tymi łożyskami.

Niewyważenie turbin

Pod koniec lat 80. stwierdzono znaczne pogorszenie stanu dynamicznego dwóch turbin Hz 1 i Hz 3, gdzie drgania wału w obrębie łożyska gumowego, na skutek niewyważenia, dochodziły do 2 mm. Przeprowadzono badania stanu dynamicznego turbin i nie znaleziono przyczyny. Po zdemontowaniu hydrozespołów stwierdzono jednostronne wytarcie koszulki wału w obrębie łożyska gumowego. Koszulki zregenerowano w ramach remontu kapitalnego turbin. Po demontażu łopat stwierdzono znaczne różnice wagi poszczególnych łopat. Łopaty ważyły 14,5–15,3 tony, co powodowało duże niewyważenie. Również zaobserwowano różnice w gabarytach łopat: szerokość pióra to ok. 5 m, a różnice dochodzą do 90 mm. Po skończeniu remontów zlecono firmie Hydropomp Łódź doważenie wirników Hz 1 i Hz 3. Do wyważenia w komory opływki wirnika wiano na gorąco ok. 2 t ołowiu, a w wirniku hydrozespołu Hz 1 wspawano ciężary o masie 150 kg. Stan dynamiczny poprawił się znacznie i mieści się w dopuszczalnych granicach.

Zużycie regulatorów turbin

Oryginalne regulatory wykonał LMZ Leningrad. Po 30 latach nie nadawały się do dalszej eksploatacji. Tuleje układów wykonawczych wytarły się, a układ sterujący oparty na wzmacniaczach magnetycznych był przestarzały. Powodowało to nieprawidłową regulację i trudności z dotrzymaniem parametrów pracy turbin. Ponieważ Rosjanie pod koniec lat 90. odmawiali współpracy, modernizacji podjął się Instytut Energetyki w Gdańsku.

b) Awaryjność urządzeń elektroenergetycznych

rok 1999

- zwarcie na wyprowadzeniu mocy generatora nr 6 – zalanie wodą w czasie remontu dachu maszynowni

rok 2000

- doziemienie nabiegunnika wirnika generatora nr 4 – wymiana nabiegunnika
- uszkodzenia betonów w miejscach podparcia obudowy stojana generatora nr 5 powstałe w wyniku wibracji (zwarcie w sieci 110 kV)

rok 2002

- doziemienie nabiegunnika wirnika generatora nr 6 – naprawa nabiegunnika
- doziemienie nabiegunnika wirnika generatora nr 1 – naprawa nabiegunnika

rok 2007

- doziemienie stojana generatora nr 1 – przebicie izolacji podczas próby napięciowej (wymiana 17 prętów uzwojenia stojana)

rok 2010

- uszkodzenie komory wyłącznika generatora nr 1, na fazie L1 – wymiana wyłącznika

rok 2011

- uszkodzenie odgromnika strony 110 kV bloku nr 1 – awaryjne wyłączenie transformatora

rok 2012

- uszkodzenie zaworu na rurociągu łączącym konserwator z kazią transformatora blokowego nr 3 – wyciek oleju.

2.5. Remonty urządzeń elektrowni

a) Remonty hydrozespołów

W pierwszym okresie od 1970 do 1983 roku hydrozespoły były remontowane raz w roku. Remonty wykonywał Zakład Remontowy Energetyki Gdańsk. Zakres remontu obejmował:

- przegląd łożysk hydrozespołu z kasowaniem luzów
- czyszczenie chłodnic łożysk i generatora
- wymianę uszczelnień czopów aparatu kierowniczego
- przegląd uszczelnień wirnika turbiny
- usuwanie usterek powstałych w trakcie eksploatacji.

Od 1984 roku remonty turbin były wykonywane przez brygady własne elektrowni.

Po 20 latach eksploatacji zaczęły występować pierwsze oznaki zużycia hydrozespołów i zaczęto modernizację wszystkich hydrozespołów:

rok 1982 – pierwszy remont kapitalny hydrozespołu Hz 4, spowodowany częstym załączaniem pomp olejowych w układzie regulacji turbiny. Po zdemontowaniu hydrozespołu na tłoku sterującym łopatom wirnika turbiny stwierdzono zatarcia tłoka oraz wpustów prowadzących tłok. Po 20 latach sytuacja się powtórzyła i znów nastąpiło zatarcie. Pomimo oględzin pomiarów nie znaleziono jego przyczyn. W dalszym ciągu zdarzają się problemy z regulacją turbiny. Po konsultacjach z producentem turbin stwierdzono prawdopodobne błędy w wykonaniu wirnika – ze względu na gabaryty i ciężar trudne do znalezienia. Tłok wirnika ma 2 metry średnicy, a kompletny wirnik waży 114 ton. Producent turbin NPO Turboatom zaproponował w 1995 roku wymianę wirników turbin na nowocześniejsze ze zmianą uszczelnienia łopat

lata 1989–1994 – remonty kapitalne aparatów kierowniczych z wymianą łopat aparatu kierowniczego hydrozespołu Hz 2 i regeneracją czopów łopat na pozostałych hydrozespołach. Jednocześnie wymieniono drewniane łożyska łopat na kompozytowe, dostarczone przez producenta turbin NPO Turboatom Charków

lata 1999–2004 – remonty kapitalne turbin z demontażem hydrozespołów z regeneracją wirników turbin i wałów turbin. Po wykonaniu tego cyklu remontów konieczne było doważenie dwóch hydrozespołów, gdzie niewyważenie wałów przekraczało wartości dopuszczalne

lata 2001–2002 – modernizacja układów regulacji turbin i wykonanie nowych regulatorów przez Instytut Energetyki Gdańsk

lata 2007–2012 – modernizacja stojanów generatorów przez Alstom Wrocław

rok 2013 – wykonano nowy system monitoringu drgań hydrozespołów.

Oprócz przywołanych dużych prac remontowych i modernizacyjnych wykonano remonty i modernizacje urządzeń pomocniczych:

- wymiana zastawek remontowych na zamknięciach od strony wody górnej (zastawki zaprojektował Energoprojekt Gdańsk, a wykonał FUGO Konin)
- wymiana sprzężarek
- wymiana pomp wody technicznej
- remont krat wlotowych do turbin
- wymiana dwóch pomp olejowych
- remont instalacji olejowej.

Planowane prace na najbliższe lata:

- modernizacja układu chłodzenia turbin
- wymiana pomp olejowych (docelowo 10 szt.)
- wykonanie nowej czyszczarki krat.

b) Modernizacje urządzeń elektroenergetycznych

lata 2001–2002 – wymiana regulatorów obrotów (typ: RTKS-12)

lata 2002–2004 – wymiana regulatorów napięcia G1 – G6 (typ: RNGA-5)

lata 2007–2012 – montaż statycznych układów wzbudzenia wraz z nowymi regulatorami napięcia (typ: WGSY-37 generatorów G1 – G6)

lata 2007–2012 – montaż układów pomiaru szczeliny powietrznej, strumienia magnetycznego, drgań prętów stojana oraz temperatur prętów stojana generatorów G1 – G6 (VibroSystem)

rok 2013 – instalowany jest komputerowy system nadzoru pracy elektrowni.

3. Koszty utrzymania

Obiekty budowli hydrotechnicznej stopnia Włocławek utrzymywane były i remontowane kosztem i staraniem jednostek gospodarki wodnej. Utrzymanie, remonty i modernizacje elektrowni obciążały koszty właściciela elektrowni. Stan taki trwał do ok. 2000 roku, kiedy RZGW Warszawa i właściciel elektrowni podjęli wspólną decyzję o budowie progu podpiętrżającego stanowisko dolnej wody elektrowni i jazu.

Tym samym zapoczątkowano okres współfinansowania utrzymania stopnia, z wyłączeniem obiektów związanych ze służą i żegluga, przez jego współużytkowników – RZGW w Warszawie i Grupę ENERGA (obecnie poprzez spółkę ENERGA Hydro sp. z o.o.). Wypracowano system podziału kosztów utrzymania i realizacji zadań, potwierdzony zapisami w kolejnym pozwoleniu wodnoprawnym, które definiuje proporcje: ENERGA – 65%, RZGW – 35%.

Na podstawie zestawień kosztów utrzymania obiektów stopnia wodnego (tab. 1) i elektrowni (tab. 2), z punktu widzenia ENERGA Hydro, można ocenić zakres prac związanych z utrzymaniem stopnia, jak i proporcje kosztów prac eksploatacyjnych stopnia i elektrowni. Koszty utrzymania elektrowni są kilkakrotnie (od ok. 2,4 do ok. 7-krotnie, w poszczególnych latach) wyższe od kosztów utrzymania stopnia.

Podane koszty dotyczą wyłącznie utrzymania stopnia wodnego, z wyłączeniem kosztów utrzymania elektrowni i służy.

Z zestawienia kosztów utrzymania stopnia wodnego widać ich zmienność w kolejnych latach. Jest to warunkowane w dużym stopniu możliwościami finansowymi użytkowników. Niezmienne są proporcje: największą część kosztów utrzymania stopnia (30 do 40%, w zależności od dostępności środków i warunków lodowych) pochłania corocznie lodołamanie. Należy się jednak liczyć ze zmianą proporcji, jeśli znacznie być realizowane zadanie pogłębiania zbiornika i usuwania nanosów, szczególnie w początkowej strefie zbiornika.

4. Podsumowanie

Stopień wodny wraz z elektrownią i służą, z uwagi na wysoką dyspozycyjność jego wszystkich elementów oraz niskie

Zadania RZGW	2010			2011			2012		
	RAZEM	RZGW	ENERGA	RAZEM	RZGW	ENERGA	RAZEM	RZGW	ENERGA
Lodołamanie	4 000	3 000	1 000	3 100	2 325	775	4 750	1 663	3 088
Prace pogłębiarskie w czaszy zbiornika	–	–	–	–	–	–	5 300	1 855	3 445
Konserwacja sieci odwodnienia	1 000	–	1 000	1 300	–	1 300	1 400	490	910
Koszty energii elektrycznej	750	–	740	1 300	–	1 300	1 400	490	910
Podstawowe koszty bieżące utrzymania: pompowni, zapór bocznych, zapory czołowej, zapory awaryjnej jazu, bramy powodziowej	2 000	1 000	1 000	800	400	400	1 200	420	780
Remont progu stabilizacyjnego	3 100	–	3 100	850	–	850	–	–	–
Wypełnienie wybojów na posurze jazu	–	–	–	–	–	–	1 250	438	813
Demontaż i montaż przegród śryżowych	180	108	72	200	120	80	440	154	286
Odtworzenie rezerwy tetrapodów	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Odszkodowania za ujemne skutki piętrzenia	100	60	40	110	55	55	110	39	72
Odbudowa systemu odwodnienia Nowy Duninów	380	0	380	–	–	–	–	–	–
Operator wodnoprawny i aktualizacja nowego pozwolenia wodnoprawnego	150	75	75	154	77	77	–	–	–
Konserwacja ASTKZ	32	16	16	40	20	20	30	11	20
Przegląd sygnalizacji alarmowej	52	26	26	60	30	30	42	15	27
Przeglądy podwodne stopnia po przejściu wód wiosennych	90	45	45	–	–	–	–	–	–
Konserwacja zasuw jazu	20	10	10	–	–	–	–	–	–
Konserwacja urządzeń dźwigowych	18	9	9	–	–	–	15	5	10
Ocena stanu technicznego mostu	–	–	–	–	–	–	15	5	10
RAZEM	11 872	4 349	7 523	7 914	3 027	4 887	15 952	5 583	10 369
Udział w kosztach	100%	36,6%	63,4%	100%	38,2%	61,8%	100%	35%	65%

Tab. 1. Koszty utrzymania stopnia wodnego EW Włocławek w latach 2010–2012

Elektrownia Włocławek*	Jednostka	2007**	2008	2009	2010	2011	2012	2013 (plan)
Produkcja	MWH	757,806	698,073	820,161	1 102,609	856,973	603,524	760,068
Koszty ogólne	tys. zł	19,169	32,208	27,229	40,354	31,518	43,828	48,581
1. Bezpośrednie koszty utrzymania	tys. zł	15,037	29,491	24,073	36,750	26,161	25,887	26,405
• koszty utrzymania stopnia wodnego, partycypowane z RZGW	tys. zł	–	3,017	3,100	4,482	3,144	7,679	10,387
• pozostałe koszty eksploatacyjne	tys. zł	15,037	26,473	20,974	32,268	23,016	18,208	16,018
2. Pośrednie koszty utrzymania	tys. zł	4,132	2,718	3,155	3,604	5,357	17,941	22,176
• narzut kosztów wydziałowych	tys. zł	0	773	940	1,158	2,360	7,379	7,874
• narzut kosztów ogólnokładowych	tys. zł	4,132	1,945	2,216	2,447	2,998	10,561	14,302
Nakłady modernizacyjne	tys. zł	2,794	14,165	7,692	11,284	15,465	13,613	7,830

* elektrownia Włocławek – w strukturze ENERGA Hydro od lipca 2007

** rok 2007 – produkcja całoroczna, koszty za II półrocze

Tab. 2. Produkcja i koszty utrzymania elektrowni Włocławek 2007–2013, źródło: Wydział Kontroli i Analiz ENERGA Hydro sp. z o.o. (20 czerwca 2013)

stosunkowo koszty utrzymania, jest obiektem sprawnym i przydatnym z wielu punktów widzenia:

- gospodarczego: żegluga, turystyka i rekreacja
 - elektroenergetycznego
 - ochrony przeciwpowodziowej
 - wpływu na środowisko: poprawa stosunków wodnych w obszarze oddziaływania, oczyszczanie wód Wisły, czy rozwój ekosystemu.
- Kolejni właściciele elektrowni działali przez lata funkcjonowania obiektu w warunkach znaczących korzyści biznesowych. Sprzyjały temu w kolejnych okresach:
- zróżnicowanie przebiegu dobowego popytu na energię elektryczną i związane z tym różnice cen energii

- korzystne ceny energii elektrycznej pochodzącej ze źródła odnawialnego, jakim niewątpliwie jest hydroenergia.

Zbiornik

Na przestrzeni 40 lat eksploatacji zbiornik wytworzył własny, bogaty ekosystem. Pewna stabilizacja poziomu wód gruntowych oraz ich podwyższenie powyżej zapory powstrzymały degradację przyrodniczą doliny rzeki, polegającą na jej osuszeniu w rezultacie niskich opadów w regionie oraz wcinaniem się rzeki w dno. Odżył i rozwija się wielki kompleks leśny Gostynińskiego Parku Krajobrazowego. Powstały ekosystem zasiedlony został wieloma nowymi gatunkami fauny, w tym rzadkimi gatunkami ptaków, jak: mewa pospolita, czaple, kormorany

i orły bieliki, których populacje wzrastają. Pojawiły się też zwierzęta wrażliwe na zanieczyszczenie wody, jak wydry i bobry. W wodzie występuje więcej gatunków ryb, niż to miało miejsce przed spiętrzeniem. Stwierdzono obecność w zbiorniku suma, którego wielkość pojedynczych osobników przekracza nawet 2 metry. Jest to sprawnie funkcjonujący układ przyrodniczy. Zbiornik zwany Jezioro Włocławskim stał się też z czasem ciekawym obiektem rekreacyjno-wypoczynkowym. Sprzyjają temu dobre warunki do żeglowania rekreacyjnego i do organizacji regat, zwłaszcza dla amatorów żeglarstwa śródlądowego i wędkarstwa. Rozrosła się baza wypoczynkowa w postaci kwater prywatnych,

gospodarstw agroturystycznych, ośrodków zbiorowego wypoczynku i przystani sprzętu pływającego. Rozwija się wędkarstwo.

Zapora

Trwałe spowolnienie procesu erozji dna poniżej stopnia i zapewnienie właściwej eksploatacji obiektów, co niewątpliwie wpłynie na wydłużenie okresu ich użytkowania, mogą spowodować dwa przedsięwzięcia:

- 1) dobudowa kilku przepel jazu prowadząca do obniżenia natężenia przepływu miarodajnego na końcu umocnień sztywnych jazu i elektrowni do wartości $30 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ (dziś jest to wartość $42 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$),
- 2) podparcie SW Włocławek piętrzeniem drugiego, stałego stopnia o normalnym piętrzeniu równym poziomowi zakładanemu w projekcie SW Włocławek.

Część mechaniczna

Po ponad 40 latach eksploatacji turbiny sprawują się dobrze, awarie nie są zbyt częste. Przeprowadzone modernizacje poprawiły ich stan i mogą dalej pracować bezawaryjnie. Po 10 latach pracy elektrowni sądzono, że trwałość jej urządzeń jest planowana na 30–50 lat. Zebrane doświadczenia z eksploatacji elektrowni każą śmiało prognozować kolejne 40 lat jej użytkowania.

Część elektryczna

Urządzenia elektroenergetyczne obwodów pierwotnych i wtórnych elektrowni pracują w zasadzie bezawaryjnie. Wymagają okresowych remontów i modernizacji, wynikających z postępu techniki i technologii w tym obszarze, prowadzą do poprawy funkcjonowania i optymalizacji kosztów obsługi.

Wykonana przez firmę Alstom modernizacja generatorów umożliwia ich przeciążanie do 31 MW, co pozwala pełniej wykorzystywać zwiększone dopływy do zbiornika.

Stopień wodny wraz z elektrownią funkcjonuje już ponad 40 lat. Żaden z elementów stopnia, budowli hydrotechnicznej i elektrowni nie wykazuje awaryjności wykraczającej poza standardy eksploatacyjne. Doświadczenie każe oczekiwać kolejnych dziesiątków lat bezawaryjnej eksploatacji, przy kosztach utrzymania wciąż znacząco niższych od wszechstronnych korzyści osiągniętych z funkcjonowania stopnia i jego elementów.

5. Zakończenie

Z historycznego obowiązku i w celu przypomnienia realizatorów inwestycji stopnia wodnego i elektrowni we Włocławku, wymienić należy instytucje:

Investor centralny: Centralny Urząd Gospodarki Wodnej, Warszawa

Investor bezpośredni: Zarząd Inwestycji Budowy Kaskady Dolnej Wisły, Włocławek
 Generalni wykonawcy: Warszawskie Przedsiębiorstwo Budownictwa Wodno-Inżynierskiego Hydrobudowa – 1; Włocławskie Przedsiębiorstwo Budownictwa Wodno-Inżynierskiego Hydrobudowa – 11; Przedsiębiorstwo Geologiczno-Inżynierskie Budownictwa Wodnego Hydrogeo z Warszawy

Podwykonawcy: Energomontaż-Południe, Katowice; Elektrobudowa, Katowice; Mostostal, Gdańsk; Okręgowy Zarząd Wodny, Warszawa; Przedsiębiorstwo Hydrologiczne, Gdańsk; Płockie Przedsiębiorstwo Robót Mostowych; Włocławskie Przedsiębiorstwo Budownictwa Ogólnego.

Kierujące Biuro Projektów: Centralne Biuro Studiów i Projektów Budownictwa Wodnego Hydroprojekt, Warszawa-Włocławek

Biura współpracujące: Biuro Studiów i Projektów Energetycznych Energoprojekt, Warszawa; Warszawskie Biuro Studiów i Projektów Transportu Drogowego i Lotniczego Transportprojekt

Dostawcy: Charkowski Turbinnyj Zawod, Charkow; Uralektrotiazmasz, Swierdłowski; Leningradskij Miataliczeskij Zawod, Leningrad; Miechaniczeskij Zawod, Zaporozże; Zjednoczenie Przemysłu Budowy Maszyn Ciężkich – Zemak, Warszawa; Fabryka Maszyn i Urządzeń – Femak, Kluczbork; Fabryka Transformatorów i Aparatury Trakcyjnej – Elta, Łódź; Pomorskie Zakłady Budowy Maszyn – Makrum, Bydgoszcz; Zjednoczenie Przemysłu Budowy Urządzeń Chemicznych – Chemak, Warszawa; Skierniewickie Zakłady Budowy Urządzeń Chemicznych Chemostal, Skierniewice.

Bibliografia

1. Koncepcja przebudowy i remontu obiektów SW Włocławek, DHV Hydroprojekt, Warszawa 2009.
2. Projekt budowlany przebudowy i remontu obiektów SW Włocławek, DHV Hydroprojekt, Warszawa 2011.
3. Projekt wykonawczy przebudowy i remontu obiektów SW Włocławek, DHV Hydroprojekt, Warszawa 2012.
4. Elektrownia Wodna Włocławek, 1970–2012, ENERGA Hydro sp. z o.o., zeszyt nr 4, Pruszcz Gdański 2012.
5. Pomiary konsumpcji dolnego stowiska jazu i elektrowni, lata 2009–2010, ENERGA Hydro sp. z o.o.

Andrzej Tersa

inżynier elektroenergetyk

były prezes zarządu ENERGA Hydro sp. z o.o.

e-mail: atersa@wp.pl

Inżynier elektroenergetyk, absolwent Politechniki Gdańskiej (1975). Od 1969 roku pracownik dzisiejszej Grupy ENERGA. W 2000 roku przeniesiony do Zakładu Elektrowni Wodnych w Straszynie, który przekształcił w 2003 roku w spółkę. W latach 2003–2013 prezes zarządu spółki ENERGA Hydro, kierujący kolejnymi przejęciami i konsolidacjami aktywów wodnych w Grupie ENERGA. Od czerwca do sierpnia 2013 roku wiceprezes zarządu.