

Hydromorphological conditions of the lower Vistula in the development of navigation and hydropower

Authors

Zygmunt Babiński
Michał Habel

Keywords

fluvial processes, channel pattern, morphodynamics of sandbars, inland navigation, hydropower, lower Vistula

Abstract

The article presents general principles of development of the lower Vistula channel in the Holocene period, with a particular emphasis on the unintentional human interference in the fluvial processes associated with deforestation and cultivation of cereals and root crops. It also characterises the basic hydraulic engineering works in the form of construction of embankments, adjustment of the bed and construction of the Włocławek barrage as factors of deliberate human interference and their impact on channel changes. The article characterises morphological and morphodynamic conditions of the basic bed forms, i.e. sandy and gravel bars and pools determining the possibility of river transport, and its development in time and space (depth of navigable route). Perspectives of multi-directional hydraulic development are presented, including the main cascade developments of the lower Vistula. The article presents the opportunities for a comprehensive use of the waterway, which forms route E40 in the section of the lower Vistula, taking into account sustainable development and compensation in the form of restoration of the valley bottom.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2013206

Introduction

The use of river waters for economic purposes is dependent on the hydromorphological features of their channels, shaped by the climate and human activity. The climate affects the fluvial processes by precipitation (water regime) and air temperature (growth of vegetation in the basin and ice phenomena), phenomena independent of humans. Human activity can have a direct and indirect impact on changes in river channels. The first case concerns a change in the structure of forests for agricultural fields; such works accelerate the natural water flow (run-off) and increase the supply of load to channels. In the second case we are dealing with deliberate water management, aimed at control of the water regime by all kinds of hydraulic structures, including embankments, adjustment of channels or dams. An additional factor affecting the development of inland navigation is the change in technical conditions of vessels, e.g. an increase in draft of river boats associated with the transition to motor power. However, the river water regime and the transport volume of bed load have a leading role in the conditions of development of water transport and hydropower; those phenomena shape the channel patterns with the system of bed mesoforms of positive sandbars and the opposing negative forms, pools. They determine the parameters of waterways (width and depth of

water routes), durability and functionality of hydraulic structures, including hydropower (reservoir filling time).

The purpose of this article is to present the main stages and general trends in the development of the bottom of the lower Vistula (dolna Wisła) valley on the section from the mouth of the Narew to the mouth of the Vistula (dolna Wisła) to the Baltic Sea (Fig. 1), with particular emphasis on the influence of human economic activity. This applies mainly to changes in the spatial arrangement of the river channel, as well as to vertical movements of the bottom associated with the process of erosion and deposition of clastic load, mainly bed load. The main purpose is to define the dynamics of bed mesoforms like sandbars and pools, with an indication of possible directions of adaptation in terms of development of international waterway E40, improvement for ferry and road passages, construction of dams, improvement (elimination) of flood conditions while maintaining sustainable development (environmental protection). Furthermore, the article is to present the possible full utilisation of water in the lower Vistula (dolna Wisła) for economic purposes, including revitalization of the valley floor.

The study has been prepared on the basis of the literature and own research in the field of hydromorphological changes occurring in the lower Vistula (dolna Wisła) channel. The analysis

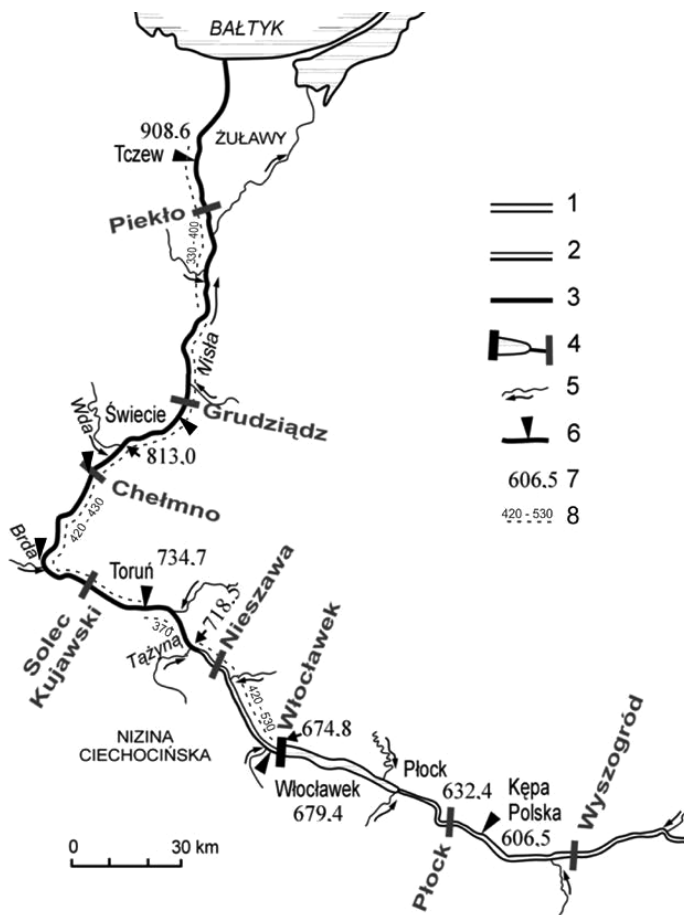


Fig. 1. Location plan of the floor of the Vistula River Valley in relation to development of the bed. The Vistula section:

- 1 – above Płock, unregulated;
- 2 – below the dam, erosive;
- 3 – below Silna, regulated in the second half of the 19th century.;
- 4 – Płock – Włocławek (Włocławek Reservoir with the planned cascade stages);
- 5 – tributaries;
- 6 – water gauges;
- 7 – km of the Vistula course;
- 8 – bed width

applies in particular to transformations resulting from regulatory work (of channel) and construction of the Włocławek barrage, so it includes the period of the last 150 years.

Hydrological conditions of the waterway

The water levels in the lower Vistula (dolna Wisła) are determined mainly by its flows, but occasionally their fluctuations are dependent on pancake ice and ice jamming. In the event of jamming the water level is not a flow function. Therefore, it is wrong to connect them with the winter and spring, extremely high freshets – for example large flows estimated at 11,000 m³/s (referred to as the 0.1% water) recorded on the walls of Toruń in historical times. The hydrological data show that high levels of the lower Vistula (dolna Wisła) are most common in March and April, less frequent during the late spring and summer. The first are related to early-spring run-off of meltwater, often intensified by pancake ice and ice jamming. The latter are usually short-term and are a result of widespread rainfall. In both cases, flood waves with a relative height of 3–5 m, up to 8 m, are formed. Lower water levels occur primarily in the late autumn and winter (September

– November). The annual amplitude of the free surface of water in the lower Vistula (dolna Wisła) may reach 753 cm (in the Fordon-Bydgoszcz profile, period of 1976 to 1980).

46 flood waves were recorded on the lower Vistula (dolna Wisła) in the last 40 years (1970 to 2010). Flow rate above 2400 m³/s is considered a limit value (the permitted flow rate, corresponding to the bank-full discharge), during which the flood plain is inundated from Włocławek to Toruń [8]. The value of bank-full discharge applicable in the Vistula (dolna Wisła) below the Włocławek barrage corresponds approximately to the value set by Stanislaw Siebauer (1947) on the basis of multi-annual observations in Toruń, which is 2320 m³/s.

In 1970 to 2005 the river had average annual flow rates of 895 m³/s in Włocławek and 1004 m³/s in Toruń. However, in wet years (1971, 1974 to 1975, 1977 to 1982, 1998 to 2002) they were 945 to 1342 m³/s in Włocławek. In dry years (1972, 1984, 1987, 1990 to 1992, 2003 to 2004) those values reached 580 to 790 m³/s. The minimum flow rate of the Vistula (dolna Wisła) at Toruń was 158 m³/s in September 1992.

Flow rates (water levels) in the range from average water levels in the year (SW) to the lowest observed water levels (NNW) inclusive are of importance to the river transport. It should be assumed that water levels in the lower Vistula (dolna Wisła) below SW, on the unregulated section above the reservoir and the erosive section below the dam in Włocławek, are not sufficient for water transport to properly function, and for the regulated section they are conditional to the average minimum levels observed in the period (SNW). The analysis of the duration of water levels in Toruń for selected hydrological years – 1996 (average: h = 330 cm), 2001 (average: h = 319 cm) and 2004 (dry: h = 264 cm) for SW and SNW ranges shows that the three lowest ranges representing SNW have the following total number of days: 87, 75 and 202, respectively, whereas the five lowest ranges (below SW) have the duration: 231, 258 and 305 days (Fig. 2). This means that the section of the lower Vistula (dolna Wisła) in average (wet) years has a similar number of days duration of water levels in particular ranges, but the number of days in particular ranges varies considerably in a dry year. In general, during average and wet years, more than 200 days and approx. 90 days a year are bad for navigation on the unregulated section (SW) and on the regulated section (SNW), respectively. However, in dry years the number is as many as 300 days on the braided and anastomosing section and 200 days on the regulated section. In relation to the area of sandbars, the duration of their emergence on the regulated section is approx. 165 days (almost half a year), mainly in the winter period. It should be noted, however, that the nature of their emergence is oscillatory, with amplitude higher in Toruń than, for example, in Fordon, which is associated with mitigation of the reservoir impact downstream the Vistula (Wisła).

The natural regime of flows in the Vistula (Wisła) above (the reservoir) and below Włocławek is disturbed by the dam, which since 1968 has dammed and retained the Vistula (Wisła) waters in the reservoir with a capacity of 370 million m³. As a result of the over 11-metre high damming in Włocławek, the water levels in the Vistula (Wisła) on the section up to 50–60 km upstream from the dam have a similar value throughout the year, regardless of the

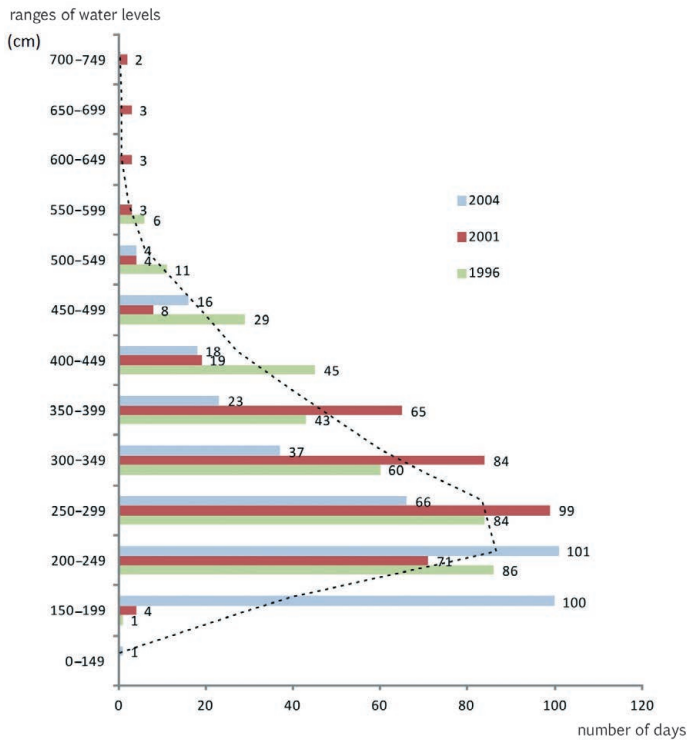


Fig. 2. The duration of water levels of the Vistula at Toruń in selected hydrological years, source: the data of the Regional Water Management Board in Gdańsk – Inspectorate in Toruń

volume of water inlet. On the other hand, the operation of hydroelectric power plant and interventional operation of the barrage are additionally noticeable below the reservoir in relation to the natural course of hydrological phenomena such as high water and low water (Fig. 3). The reservoir minimally reduces the volume of high water in the Vistula (Wisła) below the dam, but limits very low water levels.

When assessing the impact of the dam in Włocławek on the regime of water levels in the Vistula (Wisła), it can be assumed that during low flows the highest fluctuations of hourly water levels occur on the section from the dam to Toruń (a distance of 60 km) and are from 49 to 20 cm/h [6] there. However, at the most distant point (Tczew) the daily fluctuations in water levels were above 80 cm, while the wave elevation was 91 cm. On this basis it can be concluded that the range of impact of the dam in Włocławek on hydrological conditions, such as hourly fluctuations in water levels, is over 160 km downstream, whereas the impact on daily changes is more than 230 km [6].

Morphological conditions of the waterway

The morphological conditions of riverbeds have a decisive influence on the use and possible development of the floors of river valleys. Those in turn – characterised in three generally classified of river patterns: straight, meandering and braided [10, 15], classified more extensively by Russian hydrologists, including as many as seven types, [1, 12, 13, 3, 4, 5] – are dependent on the size of the following: transport of clastic load, mainly bed load; grain-size of channel bed forms and the river energy (kinetic energy

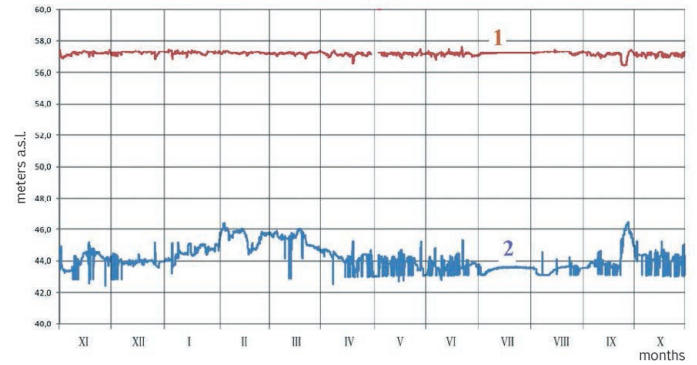


Fig. 3. Course of hourly water levels on the Vistula (Wisła) in Włocławek: 1 – reservoir (headwater), 2 – river below the dam (tailwater), source: data from a digital water level recorder of the Regional Water Management Board in Warsaw – Inspectorate in Włocławek

– slope of the bed bottom and potential energy – flow) [14]. Generally, each type of channel pattern corresponds to the type and arrangement of bed mesoforms as positive forms – sandbars (shallows, shoals, fords, cataracts) and the opposite – pools (trims). Straight channels are dominated by inclined sandbars, in alternation with pools. Forms typical of meandering rivers are meander sandbars (convex bank) and pools (concave bank), with alternate sandbars (fords) at crossings between the bed arc. The beds of braided rivers are filled with chaotically situated central (middle) sandbars, which form islands when covered by vegetation, with the braided and anastomosing channel pattern. Transition of a riverbed in the mesoform system from straight through meandering to braided channel is directly proportional to the increased (fluvial) transport of bed load and the river energy [14, 1]. Therefore, changes in the transport of bed load caused by fluctuations in the climate and human activity, as well as the geological structure of the channel bottom, have a decisive influence on the types of riverbeds with appropriate bed mesoform systems. This in turn is of leading importance in directions and opportunities for river system management. As stressed by N.E. Kondratiev et al. [9], the testing of bed mesoforms is the way to discover the fundamental patterns of the proper fluvial process and to understand its logic. This statement has been adopted as the basic idea of the article, indicating that any changes in the system and dynamic of bed mesoforms of the lower Vistula (dolna Wisła) may result in restrictions in hydraulic development, or contribute to its growth.

Changes in the bottom of the lower Vistula in relation to the economy

The Vistula (Wisła), as the most important river in Poland, has not been used as a waterway for three centuries, in contrast to the medieval period when it was one of the leading rivers in Europe in this respect. However, after the Second World War, traffic on the river ceased completely, apart from short sections near large cities. Attempts to restore its importance to the economy were made in the mid-twentieth century through cascade development. Unfortunately, this resulted in commissioning of only one

cascade in Włocławek in 1970. This contributed to diversification of the lower Vistula (dolna Wisła) channel into four separate sections (Fig. 1) in a special way, from the mouth of the Narew to the mouth of the Vistula (Wisła) to the Baltic Sea. In addition, the Vistula (Wisła) was abandoned as a shipping lane with the introduction of steam engines, which meant higher draft of ships, as well as due to shallowing of the river caused by an increased quantity of bed load. In this way the river located in the central part of our continent prevented the connection of a continuous functioning network of inland waterways in Western Europe and Eastern Europe (Fig. 4).

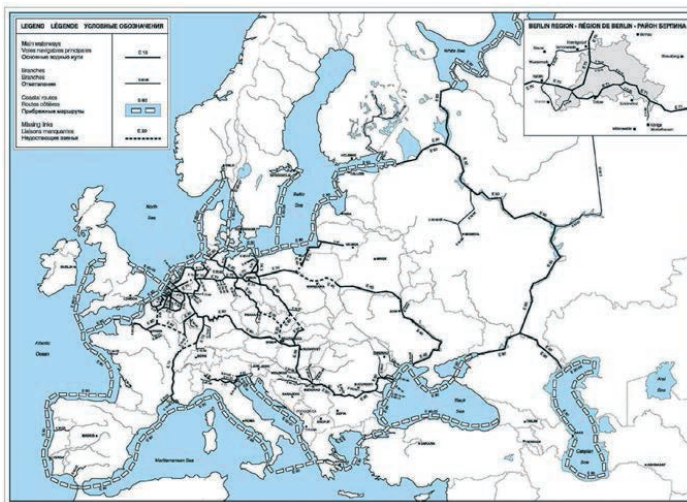


Fig. 4. International waterways E40 and E70 in relation to the inland waterways in Europe

An important factor impeding transport on the Vistula (Wisła) is the problem of sand and gravel bars in the channel, their morphology and morphodynamics associated with the relevant type of channel macro-form. As already mentioned, the current channel of the lower Vistula (dolna Wisła) is divided into four main types: (1) the upper, unregulated, braided and anastomosing section, (2) Włocławek Reservoir, (3) previously braided and anastomosing section, heavily transformed by bottom erosion process, (4) the section regulated at the end of the 19th century (Fig. 1). Additionally, two subtypes can be distinguished as part of the division: backwater zone (2a) and reservoir bowl (2b) in the case of the Włocławek Reservoir, and straight and slightly meandering sections (4a) and pseudo-meander (4b) in the case of the regulated channel.

1. Unregulated braided and anastomosing section

Braided sections (anastomosing sections include islands) of the Vistula (Wisła) are characterised by a chaotic system of various types of sandbars [1], including mainly central, inter-bed and tongue sandbars. In the case of human interference in the fluvial processes (fragmentary regulatory work, bed adjustments, e.g. at Wyszogród) side sandbars, transformed into a new flood plain, appear next to disappearing central sandbars. In such conditions, the Vistula (Wisła) channel, at average water levels, reaches

an average width (without clusters) of 685–785 m, an average depth of 1.6–1.8 m, a minimum depth of 0.5 m over shoals, and not exceeding 6 m in pools [1]. The following occur in the period of low water levels: on the one hand the process of lateral erosion of sandbars and clusters, the material from which forms shallow and very dynamic tongue sandbars (high variability of the shipping lane excludes it entirely), on the other hand, with the favourable process of “cutting in” of the riverbed, the shipping lane is improved so that it can be more passable than in the case of the regulated section. Generally, however, a high dynamic of chaotically formed tongue sandbars (up to 8 m/day) limits water transport on this section to the period when water levels are above the average (Fig. 2).

2. Włocławek Reservoir

The first and, so far, the last cascade on the lower Vistula (dolna Wisła) is the dam built from 1962 to 1968 with a damming height of 11.3 m, which forms the largest reservoir in Poland, with an area of 70 km², a length of 55 km, an average width of 1.3 km, an average depth of 5.5 m and a capacity of 360 million m³ of water (second in Poland). Among many environmental changes resulting from separation of the bed from the dam and from damming of waters, two aspects remain the same: (a) accumulation of bed load in 100% and suspended load in 42% of the reservoir, and (b) permanent process of erosion of the bed below the dam [2].

From the point of view of morphology of the reservoir, it is generally divided into two sections: (2a) upper – as accumulation of bed load, subject to shallowing process and (2b) bottom – accumulation of suspension, subject to partial resuspension and removal of sediments during passage of flood waves. In the first case, as a result of constant supply of 1.8 million m³ of bed load through the Vistula (Wisła) River per year on average, the reservoir bottom is being shallowed in its backwater, which could lead to removal of an almost 20-km section from river transport in the absence of dredging works. This section of the Vistula (Wisła), which is also conducive to the formation of ice jams (catastrophic jam flood in January 1982), must be dredged, which is currently done insufficiently. Therefore, the backwater part of the reservoir and the braided and anastomosing section located on the above reservoir make this part of the lower Vistula (dolna Wisła) unnavigable and predisposed to flooding (flood: May/June 2010, Świniary). However, the lower part of the reservoir bowl (2b) not only protects against flooding, but also forms a section of at least class IV waterway of international importance. It can be used for navigation for a significant part of the year, except when ice occurs.

3. Erosive section below the Włocławek (dam)

Since the construction of the cascade in Włocławek, the section below the dam is subject to intensive bottom erosion. After more than 40 years of its impact, the barrage has deepened the bed in the immediate vicinity of the dam to approx. 4.0 m and widened it over a section reaching as far as Toruń (Fig. 1). The braided and anastomosing river is being transformed into an almost straight bed (with uneven shoreline determined by the geological structure), with a new flood plain [7]. The effects of changes in average

water levels are mostly noticeable in Włocławek, where some of the hydrotechnical structures no longer meet their functions, including: the lower outer harbour, boulevard, water intakes for industrial plants, and winter port. The total process of bottom erosion has a negative impact on the hydraulic infrastructure of the riverbed from the beginning of the section regulated in the 19th century. The bed bottom cleaned of sandy formations with numerous clay and rock cataracts (Fig. 5) and diverse bottom surface already completely prevents river transport over this section during average water levels [7]. This process, which is harmful to the economy, can only be stopped by construction of another barrage to support Włocławek Reservoir.

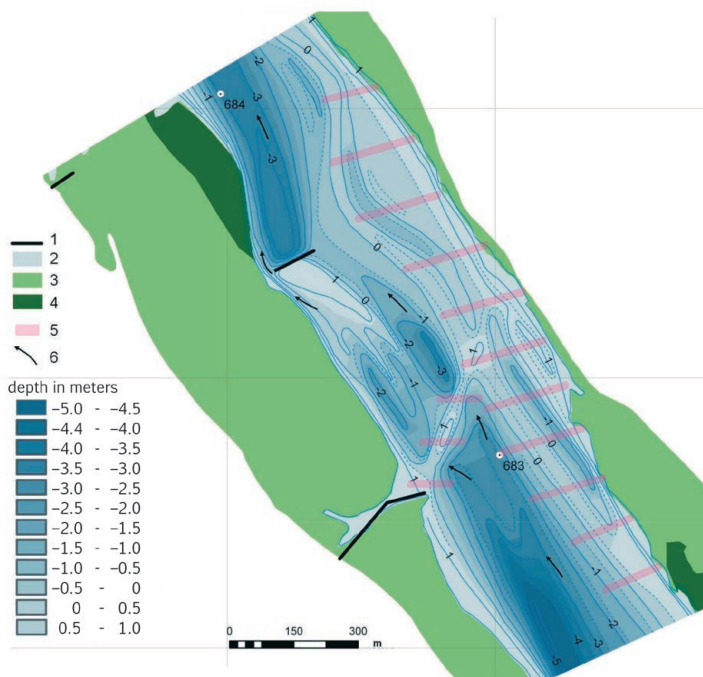


Fig. 5. Bathymetric plan of the rock and clay cataract during average water level on the bottom of the Vistula (Wisła) bed below the dam in Włocławek (683 km), which prevents river transport: 1 – groynes; 2 – waters; 3 – new flood plain; 4 – islands; 5 – outcrops of formations difficult to be washed out; 6 – directions of main flow streams. Bed condition as at July 2010

4. Section regulated in the 19th century

In terms of morphology and morphodynamics of bed mesoforms, the regulated section is divided into two subtypes of channel: (4a) to the mouth of the Tażyna River – Ciechocinek Lowland (Nizina Ciechocińska) to Solec Kujawski (768 km) and from Fordon (775 km) to the Baltic Sea as a straight section with an alternating arrangement of inclined sandbars and pools, and (4b) pseudo-meander on two sections from 728 to 732 km in Toruń and from 768 to 775 km at the gorge of the Vistula (Wisła) at Fordon, with parallel arrangement of pool and sandbars.

In the case of regulated type 4a sections, many years of studying the dynamics of bed mesoforms in the lower Vistula (dolna Wisła) show that alternate bars, which are common here and are in the range of average levels (SW) and low levels (SNW) in terms of

the height of their surface, reach a length of 800–1200 m and an average width of 300 m. As indicated by the bathymetric calculations (to a depth of 3.5 m), each of the analysed alternate bars contains over 350,000 m³ of sandy and gravel material (Fig. 6). Tongue sandbars with an average length of 450 m, a width of 200 m and an surface of less than 0.5 m to SNW are formed from eroded inclined alternate sandbars during low water levels. Erosion formations – pools – which accompany alternate sandbars and at the same time are characterised by commensurate size, reach a depth of 5–7 m (measured from the average level), with local dredging up to 12 m. The width of pools (route for convenient transport) varies from 50 to 150 m. The speed of movement of alternate sandbar heads is 0.4 to 2.4 m per day (1.1–1.2 m/day on average), whereas the lowest (corresponding to levels below SNW) and most dynamic tongue sandbars have a speed of 0.6 to 4.3 m/day (1.7–1.8 m per day on average). The alternating and almost harmonious arrangement of post-regulatory sandbars facilitates forecasting the duration of transport by the Vistula (Wisła). On the other hand, as shown by the measurements of transport of bed load – dredging works of 0.15 million tonnes per year during the dry period up to 1.0 million tonnes per year in the wet period, i.e. 0.5 million tonnes per year on average, which lasts more than 240 days for collection of aggregate, may contribute to unblocking the Vistula (Wisła) channel for transport purposes, including even container transport. This is based mainly on lowering of the pool bottom. However, ice phenomena, which last 87 days on average (no more than 122 days and at least 37 days) on the entire analysed section, may be an additional restriction on transport.

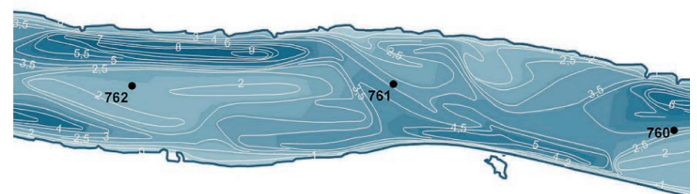


Fig. 6. Bathymetric plan of the straight channel of the Vistula (Wisła) on the Solec Kujawski section, at 760–762 km, with characteristic alternating current, regulated in the 19th century

In the case of a pseudo-meander type (4b) the constant current flows over the entire length at the right bank on the Toruń section, and at the left concave bank near Fordon (Fig. 7). In both cases, river transport may be carried out without interruptions caused by sandbars, as the width of the pool ranges from 50 to 120 m. Only during long low-water periods a single current may be split into two, by intersection of the current along the convex bank. In addition, both currents may be connected, thus forming separate central sandbars similar to straight sections. This may cause difficulties in river transport, although this is highly unlikely. The process of division of meander sandbars during low water levels occurs when the hydrological conditions fail to adapt to an increased meander curvature, making it a pseudo-meander.



Fig. 7. Bathymetric plan of the pseudo-meander channel of the Vistula (Wisła) at the Gorge at Fordon on 770–773 km, regulated in the 19th century

Based on the depth analysis of the current it has been found that cataracts [7] similar to those washed in the erosion zone below the reservoir occur in addition to the obstacles to navigation at the point of passages between pools on the regulated section from Ciechocinek Lowland (Nizina Ciechocińska) to Grudziądz (Fig. 5). Such shallowing of the bottom resistant to erosion in the form of moraine layer and clay (loam), but covered with a thin layer of alluvium (not always) occur, for example, at the following km of the Vistula (Wisła) (zone): 720. (Silno), 735th (Toruń), 765th (Solec Kujawski), 782nd–785th (poniżej Fordonu), 802nd–804th (Chełmno). In the case of progressing bottom erosion downstream the Vistula (Wisła) below Włocławek Reservoir to the Baltic Sea, in the near future those cataracts will become additional difficulties for navigation on that regulated section, which may even make navigation impossible.

Current directions of development of the Vistula

Regardless of whether the cascade development of the lower Vistula (dolna Wisła) will continue, or only the works to protect the section below the dam against further bottom erosion will be carried out, there are attempts being made to accelerate the process of revitalization of the bottom in the lower Vistula (dolna Wisła), to at least partially restore the importance of the waterway. This applies mainly to the Bydgoszcz Water Junction (Bydgoski Węzeł Wodny), which connects the international waterways E70 (Noteć, Brda and the Bydgoszcz Canal) and E40 (Vistula (Wisła) with Solec Kujawski, located in its vicinity, at a distance of 200 km from the mouth of the Vistula (Wisła) to the Baltic Sea (Fig. 1). This is because a ferry crossing on 763.56 km of the Vistula (Wisła) is already being constructed there, with a regular collection of aggregate from the bed at 759.55–759.85 km and collection planned at 761.15–761.35 km (as a result of improvement of navigation conditions). In addition, construction

of a tourist marina is planned at km 763.45, with a multimedia container base for river transport from Gdańsk (the Vistula (Wisła) mouth) planned at 768.50 km. For proper operation this comprehensive system of hydraulic structures must be examined in relation to hydrological phenomena, morphology and morphodynamics of the channel (sandbars – pools) together with its forecast. This applies in particular to ensuring the depth for ferry crossings and container transport associated with the route's navigability after the passing of flood waves and occurrence of pancake-ice jamming. Taking into account the duration of ice phenomena, floods and low-water periods, whose restrictions on transport may be shortened by dredging works, ferry and container transport as well as tourist transport may be carried out without interference from the Baltic Sea to Solec Kujawski up to 240 days a year. The remaining examined upper section of the lower Vistula (dolna Wisła), with the exception of the bowl of the Włocławek Reservoir, can not be considered suitable for transport, as transport can only operate here during water levels higher than average annual levels, and is affected by an extended period of ice phenomena (unregulated). The Toruń section to the meander at Fordon should also be included in this section, because the impact of the bed erosion process below the dam and the appearance of rock and clay cataracts will also occur here in the near future. The problematic location of the regatta port in Włocławek should undoubtedly be associated with the aforementioned process and its impact on navigation conditions.

River transport and power engineering in the conditions of the Lower Vistula Cascade development

As already mentioned above, construction of a multi-function cascade on the lower Vistula (dolna Wisła) (Fig. 1) will contribute to ensuring at least a class IV international waterway (restrictions may result from sizes of locks), and will also allow full energy use of waters in an average amount of 32 km³ per year, which currently flow to the Baltic Sea unproductively. Extension by three dams upstream of the Włocławek Reservoir (today an unregulated braided and anastomosing section) and inclusion of the Warsaw section of the Vistula (Wisła) (Fig. 1), and the adjustment of the Narew (Bug) to class II, would contribute to the opening of international waterways E70 and E40, connecting the canal system of Western Europe with Eastern Europe (Fig. 4). It would enable unrestricted container transport from Warsaw to the Baltic Sea (E40), with restrictions to class II in the direction of Antwerp (E70) and from Zegrze Lake (Jeziro Zegrzyńskie) to Belarus (E40), which has already revitalised canals and rivers to enable water transport, for example to the Black Sea. It should be added that any other, incomplete cascade development of the lower Vistula (dolna Wisła) will improve only fragmented water transport, therefore only on the section(s) of reservoir(s) in the areas of cities, with a limited capacity on the Solec Kujawski – Baltic Sea route (Fig. 1).

The examined multi-variant hydraulic development of the lower Vistula (dolna Wisła) brings tangible benefits from electricity production. Hydroelectric power plants accompanying each

cascade in the lower Vistula (dolna Wisła) will be able to generate 3000–4000 GWh of electricity in total, with a total installed capacity of 700–1300 MW. Green electricity and possible continuous production with the preferred peak demand fully justify the need to continue cascade development of the lower Vistula (dolna Wisła). Proper development of the Vistula (Wisła) waters ensures continuous energy production (in contrast to e.g. wind energy), eliminates negative effects of flooding, including ice and pancake ice jams floods, allows full control of the river outflow regime and, finally, slows down the process of bed erosion below the dams. The proper level of water tables in reservoirs with the minimum fluctuations in their levels (dependent mainly on work of hydroelectric power plants and passage of flood waves) will definitely have a positive impact on the revitalization of the reservoir zones. This is the main factor for compensating the negative effects of inundation of the flood plain, which occurs in the area of reservoirs.

Conclusions

Because of temporally and spatially varied bed processes of the lower Vistula (dolna Wisła), mainly in the form of transport of bed loads, morphology and morphodynamics of sandbars and pools, the medieval queen of European rivers is currently without water transport, and the economy has turned away from the river. More than 32 km³ of water per year flows to the Baltic Sea almost unproductively. A class IV water route of international importance (E40) is available only in the Żuławy Loop (Pętla Żuławska) and on the Włocławek Reservoir section. The remaining part, which is however a dominant fragment of the river, is almost unused, with hardly any tourist and cargo traffic. This applies in particular to the following: the unregulated braided and anastomosing section above the reservoir backwater, and the strongly transformed section below the head dam in Włocławek. In addition, in the first case – the upper section – there are seasonal floods, while in the latter case – below, at the dam – there is a constantly increasing threat to operation (existence) of hydraulic infrastructure, caused by the bed erosion process. Only the possibility of limited container transport on the Solec Kujawski – Baltic route is considered, with regular control of bed load dynamics in the form of sandbars, using proper dredging works.

Only a full cascade development of the lower Vistula (dolna Wisła) ensures navigation conditions necessary for at least class IV International Waterway E40 connecting water transport in Western Europe and Eastern Europe. Certain restrictions in this respect may result from the parameters of locks. Furthermore, such a development of the lower Vistula (dolna Wisła) will bring tangible benefits in obtaining green electricity, completely eliminate the risk of floods on this section of the river, remove the problems with erosive sections below dams, enable the process of revitalization of the reservoir areas as compensation for flooding of zones between reservoir embankments and stabilise the hydrological regime of the Vistula (Wisła) with the ability to irrigate the areas of Kujawy experiencing water deficits. It will become the driving force for economic development of the Vistula (Wisła) region, with cities and villages turning towards the Vistula (Wisła).

REFERENCES

1. Babiński Z., Współczesne procesy korytowe dolnej Wisły [Contemporary fluvial processes of the lower Vistula (dolna Wisła)], *Prace Geograficzne* 1992, IGI PAN, p. 157.
2. Babiński Z., Wpływ zapór na procesy korytowe rzek aluwialnych [Impact of dams on fluvial processes in alluvial rivers], Wydawnictwo Akademii Bydgoskiej, Bydgoszcz 2002.
3. Chalov R.S., Faktory ruslovych processov i hierarchija ruslovych form [Factors channel processes and hierarchy of channel forms] *Geomorfologia* 1983, No. 2, pp. 16–26.
4. Chalov R.S., Ruslovedenije: teoria, geografia, praktika, [Fluvial processes: theory, geography, practica], Moskov. Gosud. Univers., Vol. I, Moscow 2007.
5. Chalov R.S., Ruslovedenije: teoria, geografia, praktika, Moskov. Gosud. Univers., Vol. II, Moscow 2011.
6. Habel M., Zasięg oddziaływania stopnia wodnego we Włocławku na wahania stanów wód dolnej Wisły [Range of impact of the barrage Włocławek on fluctuations in water levels of the lower Vistula (dolna Wisła)], Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN 2010, Vol. 68.
7. Habel M., Morfodynamika dna doliny dolnej Wisły poniżej zbiornika włocławskiego, maszynopis pracy doktorskiej [Morphodynamics of the bottom of the lower Vistula (dolna Wisła) valley below the Włocławek reservoir, Ph.D. dissertation manuscript], IGI PAN, Warsaw 2011.
8. Instrukcja gospodarowania wodą na stopniu wodnym Włocławek, materiały niepublikowane [Instructions for water management on the barrage Włocławek, unpublished], RZGW, Warsaw 2006.
9. Kondratiev N.E., Popov I.V., Sniszczenko B.E., Osnovy gidromorfologiczeskoj teorii ruslogo processa [Base of hydromorphological theory of fluvial processes], Gidrometeoizdat, Leningrad 1982.
10. Leopoldt L.B., Wolman M.G., Miller J.P., Fluvial processes in geomorphology, Freeman and Co., San Francisco 1964.
11. Makkavjejev N.I., Ruslo rieki i erozija v jejo baseine [River channel and erosion in its catchment], Izdat. Moskov. Univer., Moscow 1955.
12. Popov I.V., Issledovanije morfologii riek pri reszeni zadacz chozjajstvennogo osvojenija pojm [Research of river morphology – flood plain for economic purposes], Trudy GGI, 74, Leningrad 1960, pp. 22–54.
13. Popov I.V., Zagadki recznogo rusla [Puzzles of river channel], Gidrometeoizdat, Leningrad 1977.
14. Schumm S.A., Evolution and response of the fluvial system sedimentologic implications, SEPM, Special Publ. 1981, No. 31, pp. 19–29.
15. Schumm S.A., Explanation and extrapolation in geomorphology: Seven reasons for geologic uncertainty, Transactions, Japan Geomorph. Union 1985, No. 6(1), pp. 1–18.
16. Siebauer S., Charakterystyczne stany wody i objętości przepływu w przekrojach wodowskazowych rzeki Wisły, Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej [Characteristic water levels and flow volumes in water gauge sections of the Vistula (Wisła), Information of the Hydrological and Meteorological Department] 1947, No. 1(1).

Zygmunt Babiński

Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz

e-mail: zygmunt.babinski@gmail.com

Dean of the Faculty of Physical Education, Health and Tourism at Kazimierz Wielki Academy in Bydgoszcz, Head of the Department of Revitalization of Waterways, long-time Director of the Institute of Geography. Researcher of the Geomorphology and Hydrology Department at the Institute of Geography and Spatial Organization, Polish Academy of Sciences in Toruń (1971–1998).

Author of almost 190 scientific works published in Poland, Russia, Mongolia, the Czech Republic, Sweden, Switzerland and the United Kingdom. Participant of three physico-geographical expeditions of the Polish Academy of Sciences to Mongolia in the 1970s and the head of three expeditions in the 1990s and in 2005. Main fields of research: contemporary riverbed processes, the impact of regulatory works and dams on changes in riverbeds, transport of bed load and suspension, water circulation in the area of long-term permafrost, occurrence and seasonal degradation of long-term permafrost, permafrost forms with particular emphasis on pingo forms. Research objects: the bed of the lower Vistula (dolna Wisła) valley – Włocławek Reservoir, Mongolia – the Khangai Mountains. For seven years he has been involved in research in the field of revitalization of waterways. Founder of an engineering course with the same name, unique on the European scale, and originator of the European Centre for Revitalization of Waterways in Bydgoszcz.

Michał Habel

Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz

e-mail: hydro.habel@gmail.com

Researcher and lecturer in the Department of Revitalization of Waterways. Author and co-author of 25 scientific articles and 8 implementation works. Co-originator and co-organiser of five conferences on revitalization of waterways, organised since 2007. Author and co-researcher of the project co-funded by the Kujawsko-Pomorskie Marshall's Office in Toruń, entitled "Assessment of options for revitalization of navigation functions in the Vistula (Wisła)-Oder waterway, in particular the Bydgoszcz Canal". Prepared a bilateral agreement between Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping in St. Petersburg and Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz. Member of the Intercollegiate Association for Erosion, Bed and Estuary Processes in Rivers at Lomonosov Moscow State University and the European Geoscience Union. Major research objects: bed processes on the lower Vistula (dolna Wisła), the Bydgoszcz Canal and the Brda.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 83–90. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Uwarunkowania hydromorfologiczne dolnej Wisły w rozwoju żegluga i hydroenergetyki

Autorzy
Zygmunt Babiński
Michał Habel

Słowa kluczowe

procesy fluwialne, typy koryt, morfodynamika łach, żegluga śródlądowa, hydroenergetyka, dolna Wisła

Streszczenie

W artykule przedstawiono ogólne prawidłowości rozwoju koryta dolnej Wisły w okresie holocenu, ze szczególnym uwzględnieniem nieświadomej ingerencji człowieka w procesy korytowe, związane z wylesianiem i uprawą zbóż oraz roślin okopowych. Scharakteryzowano podstawowe prace hydrotechniczne w postaci budowy wałów przeciwpowodziowych, regulacji koryta i budowy stopnia wodnego we Włocławku jako czynników świadomej działalności człowieka i ich wpływ na zmiany koryta. Scharakteryzowano warunki morfologiczne i morfodynamiczne podstawowych form korytowych, tj. łach piaszczysto-żwirowych i plos, warunkujących możliwości istnienia transportu rzecznoego, jego rozwoju w czasie i przestrzeni (głębokość szlaku żeglownego). Przedstawiono perspektywy wielokierunkowej zabudowy hydrotechnicznej, w tym głównie skaskadowania dolnej Wisły. Zaprezentowano możliwości kompleksowego wykorzystania drogi wodnej, jaką jest E40 w odcinku dolnej Wisły, z uwzględnieniem zrównoważonego rozwoju i rekompensaty w postaci rewitalizacji dna doliny.

Wprowadzenie

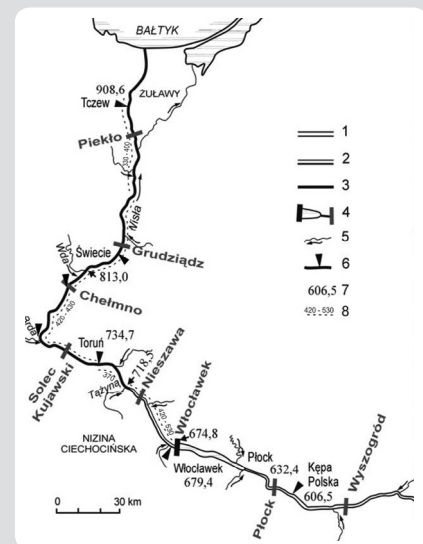
Wykorzystanie wód rzecznych do celów gospodarczych jest zależne od właściwości hydromorfologicznych ich koryt, kształtowanych przez klimat i działalność człowieka. Klimat wpływa na procesy korytowe poprzez opady atmosferyczne (reżim wód) i temperaturę powietrza (rozwój roślinności w zlewni i zjawiska lodowe), zjawiska niezależne od człowieka. Działalność człowieka może mieć za to wpływ pośredni i bezpośredni na zmiany koryt rzecznych. W pierwszym przypadku dotyczy to zmiany struktury zalesienia na rzecz pól uprawnych, które to prace powodują przyspieszenie ruchu wody w przyrodzie (splyw) i wzrost dostawy rumowiska do koryt. W drugim zaś mamy do czynienia ze świadomą gospodarką wodną, zmierzającą do kontroli reżimu wód poprzez wszelkiego rodzaju zabudowę hydrotechniczną, m.in. wały przeciwpowodziowe, regulację koryt, zapory wodne. Dodatkowym czynnikiem, mającym wpływ na rozwój żegluga śródlądowego, jest zmiana warunków technicznych obiektów pływających, np. wzrost zanurzenia statków rzecznych wraz z przejściem na zasilanie silnikowe. W sumie jednak wiodącą rolę w uwarunkowaniach rozwoju transportu wodnego i hydroenergetyki ma reżim wód rzecznych i wielkość transportu rumowiska wlezonego, które to zjawiska kształtują typy koryt wraz z układem mezoform korytowych w postaci pozytywnych łach piaszczystych i im przeciwstawnych form negatywnych, plos. Od nich to zależą parametry dróg wodnych (szerokość i głębokość szlaku wodnego), trwałość i funkcjonalność obiektów hydrotechnicznych z hydroenergetyką włącznie (czas wypełniania zbiornika). Celem artykułu jest przedstawienie głównych etapów i ogólnych trendów w rozwoju dna doliny dolnej Wisły na odcinku od ujścia Narwi do ujścia Wisły do Bałtyku (rys. 1), ze szczególnym uwzględnieniem wpływu gospodarczej działalności człowieka. Dotyczy to przede wszystkim zmian w układzie przestrzennym koryta, jak również jego pionowych przemieszczeń dna, związanych

z procesem erozji i depozycji rumowiska klastycznego, głównie wlezonego. Celem nadrzędnym jest określenie dynamiki mezoform korytowych typu łach i plos, ze wskazaniem na możliwe kierunki dostosowania ich pod kątem rozwoju międzynarodowej drogi wodnej E40, udoskonalenia dla przejść promowo-drogowych, budowy zapór wodnych, polepszenia (wielimowania) warunków przeciwpowodziowych, z zachowaniem zrównoważonego rozwoju (ochrona środowiska). Ponadto artykuł ma przedstawić pokazanie możliwości pełnego wykorzystania wód dolnej Wisły do celów gospodarczych, ze zjawiskiem rewitalizacji dna doliny włącznie.

Opracowanie wykonano na podstawie literatury i własnych badań w zakresie zmian hydromorfologicznych, zachodzących w obrębie koryta dolnej Wisły. Analiza dotyczy w szczególności przekształceń wynikających z prac regulacyjnych i budowy stopnia wodnego we Włocławku, a więc obejmuje okres ostatnich 150 lat.

Hydrologiczne uwarunkowania drogi wodnej

Stany wody dolnej Wisły kształtowane są w głównej mierze jej przepływami, sporadycznie jednak ich wahania uzależnione są od zatorów śryżowych i śryżowo-lodowych. W przypadku wystąpienia zatorów stany wody nie są funkcją przepływu. Dlatego wiązanie ich z zimowo-wiosennymi, ekstremalnie wysokimi wezbrzeniami – w czasach historycznych np. notowanymi na murach miasta Torunia dużymi przepływami szacowanymi na 11 tys. m³/s (tzw. woda 0,1%) – jest błędne. Z danych hydrologicznych wynika, że wysokie stany wody dolnej Wisły występują najczęściej w marcu i kwietniu, rzadziej późną wiosną i w lecie. Pierwsze z nich są związane z wczesnowiosennym spływem wód roztopowych, potęgowanym często pochodem śryży i kry lodowej. Drugie zaś, najczęściej krótkotrwałe, są wynikiem opadów rozlewnych. W obydwu przypadkach tworzą się fale wezbraniowe o wysokości względnej 3–5 m, maksymalnie



Rys. 1. Szkic sytuacyjny dna doliny Wisły na tle rozwoju koryta. Odcinek Wisły: 1 – powyżej Plocka, nieregulowany; 2 – poniżej zapory, erozyjny; 3 – poniżej Silna, uregulowany w II poł. XIX w.; 4 – Plock – Włocławek (zbiornik włocławski wraz z planowanymi stopniami kaskady); 5 – dopływy; 6 – wodowskazy; 7 – km biegu Wisły; 8 – szerokości koryta

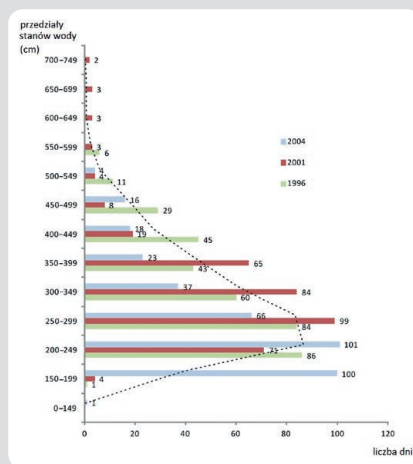
do 8 m. Niższe stany wody występują przede wszystkim na przełomie jesieni i zimy (wrzesień – listopad). Roczne amplitudy położenia zwierciadła wody dolnej Wisły mogą dochodzić do 753 cm (w profilu Fordon-Bydgoszcz, okres 1976–1980).

W ostatnich 40 latach (1970–2010) na dolnej Wiśle zarejestrowano 46 fal powodziowych. Za wartość graniczną uznano przepływ powyżej 2400 m³/s (nazwano przepływem dozwolonym, odpowiadającym stanom wody brzegowej), podczas którego następuje zalanie równiny zalewowej od Włocławka do Torunia [8]. Wartość przepływu wody brzegowej, obowiązująca na Wiśle poniżej stopnia wodnego we Włocławku,

odpowiada w przybliżeniu wartości, którą określili na podstawie wieloletnich obserwacji w Toruniu Stanisław Siebauer (1947), czyli 2320 m³/s.

Rzeka we Włocławku w latach 1970–2005 miała średnie roczne przepływy 895 m³/s, a w Toruniu 1004 m³/s. Natomiast w latach wilgotnych (1971, 1974–1975, 1977–1982, 1998–2002) wynosiły one we Włocławku od 945 do 1342 m³/s. W latach suchych (1972, 1984, 1987, 1990–1992, 2003–2004) wartości te sięgały od 580 do 790 m³/s. Minimalny przepływ Wisły w profilu Torunia wyniósł 158 m³/s we wrześniu 1992 roku.

Istotne dla transportu rzeczno-geograficznego są przepływy (stany wody) w przedziale od średnich stanów wody w danym roku (SW) do najniższych obserwowanych stanów wody (NNW) włącznie. Należy przyjąć, że stany (przepływy) dolnej Wisły poniżej SW na odcinku nieuregulowanym powyżej zbiornika i erozyjnym, poniżej zapory we Włocławku, są niewystarczające dla prawidłowo funkcjonującego transportu wodnego, zaś dla uregulowanego – warunkowo do stanów średnich z najniższych z obserwowanych danym okresie (SNW). Z analizy czasu trwania stanów wody w Toruniu dla wybranych lat hydrologicznych – 1996 (przeciętny: h = 330 cm), 2001 (przeciętny: h = 319 cm) i 2004 (suchy: h = 264 cm), dla przedziałów SW i SNW – wynika, że reprezentujące SNW trzy najniższe przedziały mają łączną liczbę dni odpowiednio: 87, 75 i 202, zaś pięć najniższych (poniżej SW) odpowiednio: 231, 258 i 305 dni (rys. 2). Oznacza to, że odcinek dolnej Wisły w latach średnich (wilgotnych) ma podobną liczbę dni czasu trwania stanów w danych przedziałach, a różni się znacznie w przypadku liczby dni w roku suchym. Generalnie, w latach przeciętnych i wilgotnych, ponad 200 dni w roku jest niekorzystne dla żeglugi na odcinku nieuregulowanym (SW) i ok. 90 dni na odcinku uregulowanym (SNW). Natomiast w latach suchych aż 300 dni na odcinku roztokowo-anastomozującym i 200 dni na uregulowanym. W odniesieniu do powierzchni łąch czas trwania ich wynurzenia w odcinku uregulowanym wynosi ok. 165 dni (prawie połowa roku), głównie w okresie zimowym.



Rys. 2. Czas trwania stanów wody Wisły w Toruniu w wybranych latach hydrologicznych, źródło: dane Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Gdańsku – Inspektorat w Toruniu

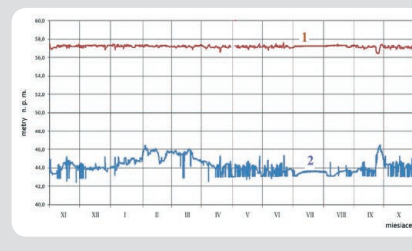
Należy jednak zaznaczyć, że ich wynurzenie ma charakter oscylacyjny, z większą amplitudą w Toruniu niż np. w Fordonie, co wiąże się z łagodzeniem wpływu zbiornika w dół Wisły.

Naturalny reżim przepływów Wisły powyżej (zbiornika) i poniżej Włocławka zaburzony jest pracą stopnia wodnego, który od 1968 roku piętrzy i retencjonuje wody Wisły w zbiorniku o pojemności całkowitej 370 mln m³. Na skutek przeszło 11-metrowego spiętrzenia we Włocławku stany wody Wisły w odcinku do 50–60 km w górę rzeki od stopnia wodnego, niezależnie od wielkości dopływów wody, mają podobną wartość w ciągu roku (rys. 3). Z kolei poniżej zbiornika na tle naturalnego przebiegu zjawisk hydrologicznych, takich jak wezbrania i niżówki, dodatkowo zaznacza się praca hydroelektrowni oraz interwencyjna praca stopnia wodnego (rys. 3). Zbiornik w minimalnym stopniu łagodzi wielkość wezbrań Wisły poniżej zapory, za to ogranicza bardzo niskie stany wody. Oceniając zasięg wpływu zapory we Włocławku na reżim stanów wody Wisły, można przyjąć, że podczas niskich przepływów największe wahania godzinnych stanów wody występują na odcinku od zapory do Torunia (dystans 60 km) i wynoszą tu od 49 do 20 cm/h [6]. Jednak w najodleglejszym posterunku (Tczew) dobowe wahania stanów wody wyniosły przeszło 80 cm, a elewacja fali alimentacyjnej miała 91 cm. Na tej podstawie można uznać, że zasięg oddziaływania zapory we Włocławku na przebieg warunków hydrologicznych, takich jak codzienne wahania stanów wody, sięga przeszło 160 km w dół rzeki, zaś wpływ na dobowe zmiany wynosi przeszło 230 km [6].

Morfologiczne uwarunkowania drogi wodnej

Decydujący wpływ, na wykorzystanie i możliwości zagospodarowania den dolin rzecznych mają warunki morfologiczne ich koryt. Te z kolei, charakteryzowane w formie typów powszechnie klasyfikowanych jako trzy: prostoliniowe, meandrujące i roztokowe [10, 15], a przez hydrologów rosyjskich bardziej rozbudowanych, bo aż siedmiu [1, 12, 13, 3, 4, 5], są zależne od wielkości: transportu rumowiska klastycznego, głównie wleczonego; średnicy ziaren utworów budujących dno koryta oraz energii rzeki (kinetycznej – spadek dna koryta i potencjalnej – przepływu) [14].

Generalnie każdemu typowi koryta odpowiada rodzaj i układ mezoform korytowych



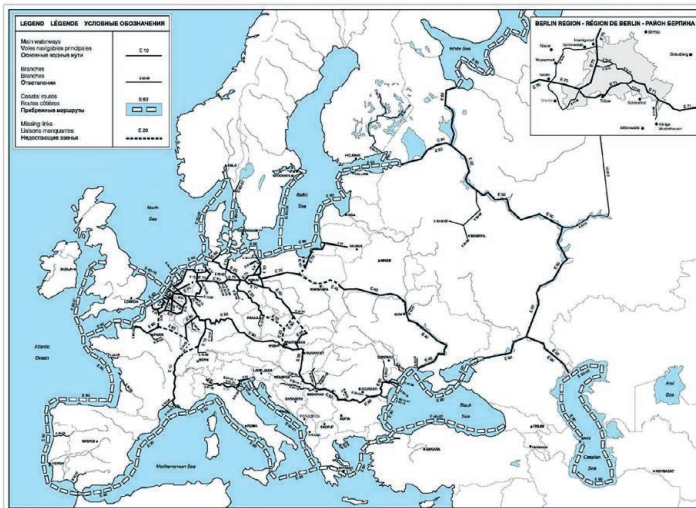
Rys. 3. Przebieg codziennych stanów wody na Wiśle we Włocławku: 1 – zbiornik (górna woda), 2 – rzeka poniżej stopnia wodnego (dolna woda), źródło: dane z limnigrafu cyfrowego Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Warszawie – Inspektorat we Włocławku

w postaci form pozytywnych – łąch (mielizny, przemiały, brody, progi) i im przeciwnych – plos (przełębienia). W przypadku koryt prostoliniowych dominują łąchy skośne, będące w alternacji z plosami. Formami typowymi dla rzek meandrujących są łąchy zakolowe (brzeg wypukły) i plosa (brzeg wklęsły), z łąchami skośnymi (brody) na przejściach między łukami koryta. Z kolei koryta rzek roztokowych wypełnione są beładnie usytuowanymi łąchami centralnymi (środkowymi), które porośnięte roślinnością tworzą wyspy (kępy), z typem koryta roztokowo-anastomozującego. Przejścia koryta rzeczno-geograficznego, wraz z układem mezoform, od prostoliniowego, poprzez meandrujące, do roztokowego jest odpowiednio wprost proporcjonalne do wzrostu transportu rumowiska wleczonego i energii rzeki [14, 1]. Tak więc zmiany transportu rumowiska wleczonego, spowodowane fluktuacjami klimatu i działalnością człowieka wraz z budową geologiczną podłoża, mają decydujący wpływ na typy koryt rzecznych, z odpowiednim dla nich układem mezoform korytowych. To z kolei ma wiodące znaczenie w kierunkach i możliwościach zagospodarowania systemu rzeczno-geograficznego. Jak podkreślają N.E. Kondratiev i inni [9], badanie mezoform korytowych jest drogą do odkrycia podstawowych prawidłowości właściwego procesu korytowego i do zrozumienia jego logiki. Stwierdzenie to przyjęte za myśl przewodnią artykułu, oznaczającą, że każde zmiany w układzie i dynamice mezoform korytowych dolnej Wisły mogą powodować ograniczenie w zabudowie hydrotechnicznej bądź przyczynić się do jej rozwoju.

Zmiany dna doliny Wisły na tle gospodarki

Wisła, jako najważniejsza rzeka Polski, już od trzech stuleci nie pełni roli drogi wodnej, w przeciwieństwie do okresu średniowiecza, gdy była wiodącą pod tym względem w Europie. Natomiast już po II wojnie światowej zamarł całkowicie ruch na tej rzece, poza krótkimi odcinkami w obrębie dużych miast. W połowie XX w. podjęto próby przywrócenia jej znaczenia dla gospodarki poprzez jej kaskadyzację. Niestety, zakończyło się to oddaniem do użytku w 1970 roku tylko jednego stopnia wodnego we Włocławku. To w szczególności sposób przyczyniło się do zróżnicowania koryta dolnej Wisły, od ujścia Narwi do ujścia Wisły do Bałtyku, na cztery odrębne odcinki (rys. 1). Dodatkowo, odwrócenie się od Wisły jako szlaku żeglugowego nastąpiło z chwilą zastosowania silników parowych, które dawały statkom większe zanurzenie, a także na skutek spłylenia dna koryta spowodowanego zwiększoną dostawą rumowiska wleczonego do koryta. W ten sposób rzeka, leżąca w centralnej części naszego kontynentu, uniemożliwiła połączenie stałe funkcjonującej sieci śródlądowych dróg wodnych Europy Zachodniej ze Wschodnią (rys. 4).

Istotnym czynnikiem utrudniającym szeroko pojęty transport na Wiśle jest problem piaszczysto-żwirowych łąch w korycie, ich morfologia i morfodynamika, związana z odpowiednim typem makroformy, jaką jest koryto. Jak już wspomniano wyżej, aktualnie koryto dolnej Wisły dzieli się na cztery zasadnicze typy: (1) odcinek



Rys. 4. Międzynarodowe drogi wodne E40 i E70 na tle dróg śródlądowych Europy

górną, nieuregulowaną, roztokowo-anastomozującą, (2) zbiornik włocławski, (3) silnie przekształcony, przez proces erozji wgłębnej, dotychczasowy odcinek roztokowo-anastomozujący, (4) uregulowany pod koniec XIX wieku (rys. 1). W ramach tego podziału wyróżnia się ponadto podtypy, w przypadku zbiornika włocławskiego strefa cofki (2a) i czasza zbiornika (2b), zaś koryta uregulowanego (4a) – odcinki prostoliniowe i nieznacznie kręte oraz (4b) pseudozakolowe.

1. Odcinek nieuregulowany roztokowo-anastomozujący

Odcinki roztokowe (anastomozujące są z wyspami) Wisły charakteryzuje bezładny układ licznych rodzajów łach [1], w tym głównie łach centralnych, śródkorytowych, językowych. W przypadku ingerencji człowieka w procesy fluwialne (fragmentaryczne prace regulacyjne, korekcyjne koryta, np. pod Wyszogrodem) obok zanikających łach centralnych pojawiają się łachy boczne, przekształcone w nową równinę zalewową. Koryto Wisły w tych warunkach, przy średnich stanach wody, osiągnęło przeciętną szerokość (bez kęp) 685–785 m, średnią głębokość 1,6–1,8 m, minimalne głębokości na tzw. przemiałach 0,5 m, a w miejscu płos nieprzekraczającą 6 m [1]. W okresie trwania niskich stanów wody następuje: z jednej strony proces erozji bocznej łach i kęp, z których materiału tworzą się płytkie i bardzo dynamiczne łachy językowe (duża zmienność trasy żeglugowej całkowicie ją wyklucza), z drugiej zaś, przy sprzyjającym procesie „wcinania” się dna koryta trasy żeglugowej – ją polepsza tak, że może być bardziej drożna niż w przypadku odcinka uregulowanego. Generalnie jednak duża dynamika bezładnie tworzących się łach językowych (do 8 m/dobę) ogranicza transport wodny na tym odcinku do czasu trwania stanów powyżej średnich (rys. 2).

2. Zbiornik włocławski

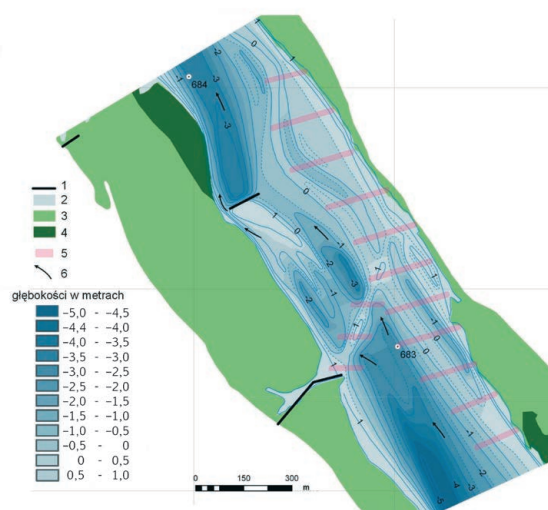
Pierwszym i jak dotychczas ostatnim stopniem wodnym na dolnej Wiśle jest wybudowana w latach 1962–1968 tama, o wysokości piętrzenia 11,3 m, która utworzyła

największy w Polsce zbiornik retencyjny o powierzchni 70 km², długości 55 km, średniej szerokości 1,3 km, średniej głębokości 5,5 m i pojemności 360 mln m³ wody (drugi w Polsce). Spośród wielu zmian środowiska, wynikających z przegrodzenia koryta zaporą i piętrzenia wód, dwa z nich pozostają niezmiennie: (a) akumulacja rumowiska wlezonego w 100% i rumowiska zawieszonoego w 42% w zbiorniku i (b) trwały proces erozji dna koryta poniżej zapory [2]. Z punktu widzenia morfologii zbiornika dzieli się on generalnie na dwa odcinki: (2a) górny – jako akumulacyjny rumowiska wlezonego, podlegający procesowi sflacyzacji i (2b) dolny – akumulacyjny zawiesziny, podlegający częściowej resuspensji i usuwania osadu podczas przejścia fal wezbraniowych. W pierwszym przypadku, w wyniku stałej „dostawy” przez Wisłę przeciętnie 1,8 mln m³ rumowiska wlezonego

rocznie, następuje sflacyzacja dna zbiornika w jego cofce, co w przypadku braku prowadzenia prac bagrowniczych, mogłoby doprowadzić do wyeliminowania tego prawie 20-km długości odcinka, z transportu rzecznoego. Ten jednocześnie zatorogenny odcinek Wisły (katastrofalna powódź zatorowa w styczniu 1982 roku) musi być bagrowany, co jednak czyni się obecnie w niewystarczającym stopniu. Tak więc cofkowa część zbiornika, wraz z wyżej położonym odcinkiem roztokowo-anastomozującym, czyni ten fragment koryta dolnej Wisły nieżeglownym i do tego podatnym na powodzie (powódź: maj/czerwiec 2010, Świniary). Tymczasem dolny fragment czaszy zbiornika (2b) zabezpiecza nie tylko przed powodziami, ale tworzy odcinek co najmniej IV klasy drogi wodnej o znaczeniu międzynarodowym. Może być wykorzystany do celów żeglugowych przez znaczną część roku, z wykluczeniem czasu trwania zjawisk lodowych.

3. Odcinek erozyjny poniżej stopnia wodnego we Włocławku

Od momentu wybudowania stopnia wodnego we Włocławku odcinek poniżej zapory podlega intensywnemu procesowi erozji wgłębnej. Po ponad 40 latach jego oddziaływania spowodował pogłębienie dna koryta w bezpośrednim sąsiedztwie tamy do ok. 4,0 m i rozprzestrzenienie na odcinku, który sięga już Torunia (rys. 1). Z rzeki roztokowo-anastomozującej tworzy się koryto niemal prostoliniowe (o nierównej linii brzegowej, warunkowanej budową geologiczną), z nowym poziomem zalewowym [7]. Efekty zmian średnich stanów wody zauważalne są najbardziej we Włocławku, gdzie niektóre z obiektów hydrotechnicznych przestały spełniać swoje funkcje, w tym: dolny awanport służy, bulwar spacerowy, ujęcia wód dla zakładów przemysłowych, port zimowy. Łącznie proces erozji wgłębnej negatywnie oddziałuje na infrastrukturę hydrotechniczną dna koryta do początku odcinka uregulowanego w XIX wieku.



Rys. 5. Plan batymetryczny progu kamienno-glinianego dla średniego stanu wody w dnie koryta Wisły poniżej zapory we Włocławku (683 km), uniemożliwiający transport rzeczny: 1 – ostrogi rzeczne; 2 – wody; 3 – nowa równina zalewowa; 4 – kępy; 5 – wychodne utworów trudno rozmywalnych; 6 – kierunki głównych strumieni przepływu wody. Stan koryta na lipiec 2010 roku

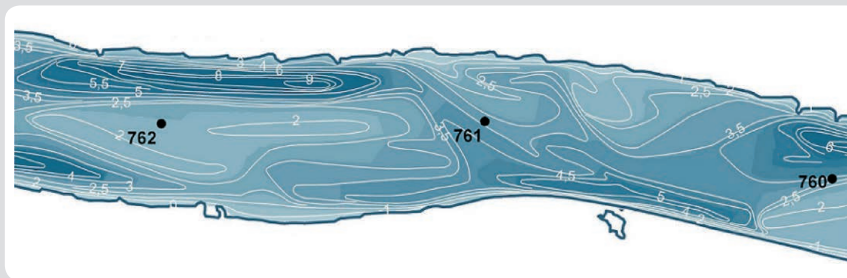
„Oczyszczone” z utworów piaszczystych dno koryta z licznymi progami ilasto-kamienistymi (rys. 5) i zróżnicowaną powierzchnią dna całkowicie uniemożliwia transport rzeczny na tym odcinku już podczas trwania stanów średnich [7]. Zahamowanie tego szkodliwego dla gospodarki procesu może nastąpić wyłącznie poprzez budowę kolejnego stopnia wodnego, „podpierającego” zbiornik włocławski.

4. Odcinek uregulowany w XIX wieku

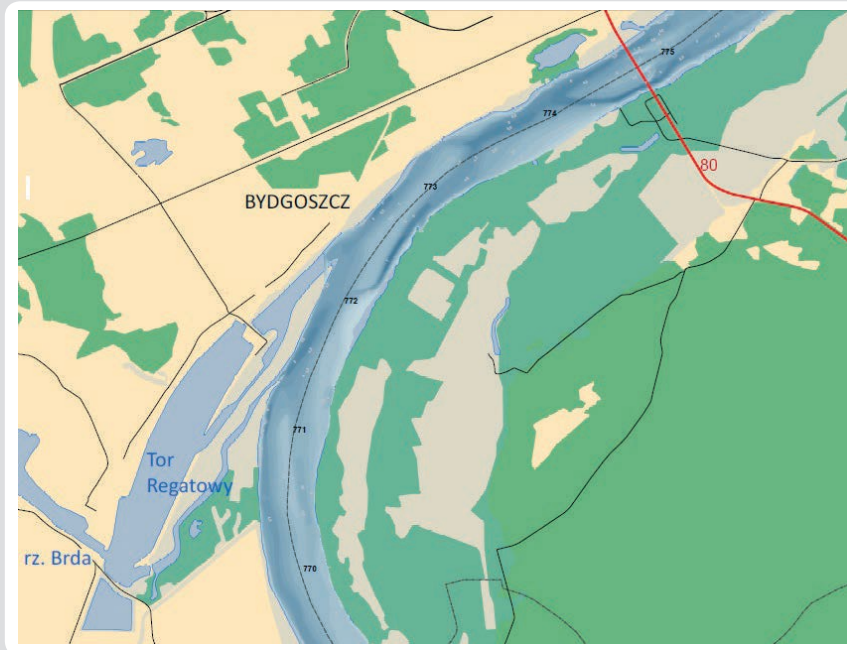
Odcinek uregulowany, pod względem morfologii i morfodynamiki mezoform korytowych, dzieli się na dwa podtypy koryta: (4a) do ujścia rzeki Tążyny – Nizina Ciechocińska do Solca Kujawskiego (768 km) i od Fordonu (775 km) do Bałtyku jako prostoliniowy z naprzemianległym układem łach skośnych i płos oraz (4b) o charakterze pseudozakolowym na dwóch odcinkach od 728 do 732 km w Toruniu i od 768 do 775 km w przelomie Wisły pod Fordonem, o równoległym względem siebie przebiegu płosa i łachy.

W przypadku odcinków uregulowanych typu 4a wieloletnie badania dynamiki mezoform korytowych dolnej Wisły wykazały, że powszechnie występujące tu łachy skośne, które pod względem wysokości ich powierzchni mieszczą się w strefie stanów średnich (SW) i średnich niskich (SNW), osiągają długości 800–1200 m i przeciętną szerokość 300 m. Jak wynika z obliczeń batymetrycznych (do głębokości 3,5 m), każda z badanych łach zawiera w sobie ponad 350 000 m³ materiału piaszczysto-żwirowego (rys. 6). Podczas niskich stanów wody tworzą się, z wyerodowanych łach skośnych, łachy językowe o przeciętnej długości 450 m, szerokości do 200 m i powierzchni poniżej 0,5 m do SNW. Towarzyszące łachom i zarazem współmierne rozmiarami formy erozyjne – płosa osiągają głębokości (mierzone od stanu średniego) 5–7 m, z lokalnymi przegłębieniami dochodzącymi do 12 m. Szerokość płos (trasa dla dogodnego transportu) waha się od 50 do 150 m. Tempo przemieszczania się czół łach skośnych wynosi od 0,4 do 2,4 m na dobę (przeciętnie 1,1–1,2 m/dobę), a najniższe (odpowiadające stanom poniżej SNW) i najbardziej dynamiczne łachy językowe – od 0,6 do 4,3 m/dobę (przeciętnie 1,7–1,8 m na dobę). Naprzemianległy i niemal harmonijny układ poregulacyjnych łach skośnych ułatwia prognozę czasu trwania transportu przez Wisłę. Z kolei, jak wykazały pomiary transportu rumowiska wlezonego – prace bagrownicze w ilości od 0,15 mln ton rocznie w okresie „suchym” do 1,0 mln ton rocznie w latach wilgotnych, przeciętnie 0,5 mln ton w ciągu roku, który dla poboru kruszywa trwa ponad 240 dni w roku, mogą przyczynić się do udrożnienia koryta Wisły dla celów transportu nawet kontenerowego. Polega ono głównie na obniżeniu dna płos. Dodatkowym jednak ograniczeniem w tym transporcie mogą być zjawiska lodowe, które na całym analizowanym odcinku trwają przeciętnie 87 dni (najdłużej 122 dni, a najkrócej 37 dni).

W przypadku typu pseudozakolowego (4b) stały nurt płynie na całej długości przy prawym brzegu na odcinku toruńskim, zaś pod Fordonem przy lewym brzegu wklęsłym (rys. 7). W obydwu przypadkach transport rzeczny może przebiegać bez zakłóceń



Rys. 6. Plan batymetryczny uregulowanego w XIX w. koryta prostoliniowego Wisły na odcinku Solca Kujawskiego, na 760–762 km, z charakterystycznym naprzemianległym nurtem



Rys. 7. Plan batymetryczny uregulowanego w XIX w. koryta pseudozakolowego Wisły na odcinku tzw. Przelomu pod Fordonem na 770–773 km

spowodowanych przez łachy, bowiem szerokość płosa waha się od 50–120 m. Jedynie podczas długotrwałych niżówek może nastąpić rozdzielanie pojedynczego nurtu na dwa, poprzez wcięcie się nurtu wzdłuż brzegu wypukłego. Ponadto może następować łączenie się obydwu nurtów, w wyniku czego mogą tworzyć się odrębne łachy centralne, podobne do odcinków prostoliniowych. Wówczas mogą zaistnieć utrudnienia w transporcie rzeczny, choć jest to mało prawdopodobne. Proces podziału łachy zakolowej podczas trwania niskich stanów wody wynika z niedostawiania się warunków hydrologicznych do zwiększonej krzywizny meandru, co czyni go pseudomeandrem.

Na podstawie analizy głębokościowej nurtu stwierdzono, że na uregulowanym odcinku od Niziny Ciechocińskiej do Grudziądza, poza utrudnieniami dla żeglugi w miejscu przejść międzypłosowych, występują progi [7] podobne do tych „wymytych” w strefie erozyjnej poniżej zbiornika (rys. 5). Takie spłycaenia dna odporne na erozję w postaci białego morenowego i gliny (ilu), jednak przykrytych cienką warstwą aluwów (nie zawsze), występują np. w kilometrze Wisły (strefa): 720. (Siłno), 735. (Toruń), 765. (Solec Kujawski), 782.–785. (poniżej

Fordonu), 802.–804. (Chełmno). W przypadku postępującej erozji wgłębnej w dół Wisły, poniżej zbiornika włocławskiego do Bałtyku, progi te będą w najbliższej przyszłości stanowiły dodatkowe utrudnienia dla żeglugi na tym odcinku uregulowanym, do jej całkowitej eliminacji włącznie.

Aktualne kierunki zagospodarowania dolnej Wisły

Bez względu na to, czy będzie kontynuowana kaskadowa zabudowa dolnej Wisły, czy będą prowadzone wyłącznie prace zabezpieczające odcinek poniżej zaporę przed dalszą erozją wgłębna, w celu przyspieszenia procesu rewitalizacji dna doliny dolnej Wisły podjęte są próby zmierzające choćby do częściowego przywrócenia znaczenia tej drodze wodnej. Dotyczy to głównie tzw. Bydgoskiego Węzła Wodnego, łączącego międzynarodowe drogi wodne E70 (kanały: Notecki, Brdy i Bydgoski) z E40 (Wisła) i leżącej w jego sąsiedztwie miejscowości Solec Kujawski, odległej o 200 km od ujścia Wisły do Bałtyku (rys. 1). Tu bowiem jest już w realizacji przejście promowe na 763,56 km Wisły, prowadzi się stały pobór kruszywa z dna koryta na 759,55–759,85 km i planuje na 761,15–761,35 km (efekt poprawy warunków żeglugowych). Ponadto

projektuje się budowę tzw. mariny dla transportu turystycznego w km 763,45 oraz wielomodalną bazę kontenerową na 768,50 km dla transportu rzeczno-głaznego z Gdańska (ujście Wisły). Ten kompleksowy układ budowli hydrotechnicznych, aby mógł prawidłowo funkcjonować, musi być rozpatrzony na tle zjawisk hydrologicznych, morfologii i morfodynamiki dna koryta (łachy – płosa) wraz z jego prognozą. Dotyczy to w szczególności zagwarantowania głębokości dla przeprawy promu, transportu kontenerowego, powiązanego z drożnością trasy po przejściu fal wezbraniowych i wystąpienia zatorów śryżowo-lodowych. Biorąc pod uwagę czas trwania zjawisk lodowych, powodzi i niżówek – ich ograniczenia dla transportu mogą być skrócone pracami bagrowniczymi, to okres, podczas którego może odbywać się bez zakłóceń transport promowy, kontenerowy i ruch turystyczny od Bałtyku do Solca Kujawskiego, może trwać do 240 dni w roku. Pozostały rozpatrywany odcinek górny dolnej Wisły, z wyłączeniem czaszy zbiornika wrocławskiego, nie może być uważany jako drożny dla transportu, bowiem ogranicza się on wyłącznie do czasu trwania stanów wyższych niż średnich rocznych, a także podlega wydłużonemu okresowi zjawisk lodowych (nieuregulowany). Do tego należy również włączyć odcinek toruński do zakola pod Fordonem, bowiem i tu w najbliższym czasie zaznaczy się wyraźny wpływ procesu erozji wgłębnej poniżej zaporę i pojawienia się progów kamienno-gliniastych. Z tym procesem i jego wpływem na warunki żeglugowe niewątpliwie należy wiązać problematyczną lokalizację portu regatowego we Wrocławku.

Transport rzeczny i energetyka w warunkach kaskadacji dolnej Wisły

Jak już wspomniano wyżej, wybudowanie wielofunkcyjnej kaskady dolnej Wisły (rys. 1) przyczyni się m.in. do zapewnienia co najmniej IV klasy międzynarodowej drogi wodnej (ograniczenia mogą wynikać z rozmiarów śluz), a także umożliwi pełne wykorzystanie energetyczne, dziś bezproduktywnie uchodzących do Bałtyku wód o przeciętnej ilości 32 km³ rocznie. Przedłużenie o trzy stopnie w górę rzeki powyżej zbiornika wrocławskiego (dziś odcinek nieuregulowany, roztokowo-anastomozujący) i włączenie odcinka warszawskiego Wisły (rys. 1), a także regulacja koryta Narwi (Bugu) do klasy II, przyczyniłyby się do uruchomienia międzynarodowych dróg wodnych E70 i E40, połączenia systemu kanałów Europy Zachodniej z Europą Wschodnią (rys. 4). Możliwy byłby wówczas swobodny transport kontenerowy z Warszawy do Bałtyku (E40), z ograniczeniami do klasy II w kierunku Antwerpii (E70) i od Zalewu Zegrzyńskiego do Białorusi (E40), która już dokonała rewitalizacji kanałów i rzek, umożliwiającą transport wodny m.in. do Morza Czarnego. Należy dodać, że każda inna, niekompletna zabudowa kaskadowa dolnej Wisły usprawni tylko fragmentaryczny transport wodny, a więc na odcinku(ach) zbiornika(ów), w strefie miast, z ograniczoną możliwością na trasie Solec Kujawski – Bałtyk (rys. 1).

Rozpatrywana wielowariantowa zabudowa hydrotechniczna dolnej Wisły stanowi wymierne korzyści z pozyskania energii elektrycznej. Towarzyszące na dolnej Wiśle każdemu stopniowi wodnemu hydroelektrownie są w stanie wygenerować łącznie 3000–4000 GWh energii elektrycznej, przy łącznej zainstalowanej mocy 700–1300 MW. Ekologicznie czysta energia elektryczna i do tego możliwa ciągła produkcja z preferencją zapotrzebowania szczytowego w pełni uzasadnia potrzebę kontynuacji kaskadowej zabudowy dolnej Wisły. Z kolei prawidłowe zagospodarowanie wód wiślanych gwarantuje stałą produkcję energii (w przeciwieństwie np. do wiatrowej), wyeliminuje negatywne skutki występowania zjawiska powodzi, także zatorowo-śryżowych, umożliwi pełną kontrolę nad reżimem odpływu rzeczno-głaznego i wreszcie zahamuje proces erozji wgłębnej koryta poniżej stopni wodnych. Odpowiednie położenie poziomu wód zbiorników wodnych, z minimalnymi wahaniami ich stanów (zależne głównie od pracy hydroelektrowni i przejść fal wezbraniowych), w zdecydowanie pozytywny sposób wpłyną na rewitalizację stref zawału zbiorników. Jest to główny czynnik rekompensujący negatywne skutki zalewu powierzchni równiny zalewowej, który znajdzie się na obszarze zbiorników.

Wnioski

Zróznicowany czasowo i przestrzennie proces korytowy dolnej Wisły, głównie w postaci transportu rumowiska wleczonego, morfologii i morfodynamiki łach i plos, sprawia, że średniowieczna królowa rzek europejskich jest aktualnie pozbawiona transportu wodnego, gospodarka odwróciła się od rzeki. Ponad 32 km³ wody rocznie uchodzi prawie bezproduktywnie do Bałtyku. Droga wodna o znaczeniu międzynarodowym klasy IV (E40) jest jedynie dostępna na fragmencie tzw. Pętli Żuławskiej i na odcinku zbiornika wrocławskiego. Pozostała część, stanowiąca jednak dominujący fragment rzeki, jest praktycznie bezużyteczna, nie istnieje na niej prawie żaden ruch turystyczno-towarowy. Dotyczy to przede wszystkim odcinków: nieuregulowanego roztokowo-anastomozującego powyżej cofki zbiornika i silnie przekształcanego poniżej wrocławskiej zaporę czołowej. Ponadto, w pierwszym przypadku – górnym, występują sezonowe powodzie, natomiast w drugim – poniżej, zaporowym – istnieje stale pogłębiające się zagrożenie funkcjonowania (istnienia) infrastruktury hydrotechnicznej, powodowane procesem erozji wgłębnej. Jedynie rozpatruje się możliwość ograniczonego transportu kontenerowego na trasie Solec Kujawski – Bałtyk, przy stałej kontroli dynamiki rumowiska wleczonego w postaci łach, jednak przy udziale odpowiednich prac bagrowniczych.

Warunki żeglugowe, na miarę co najmniej IV klasy Międzynarodowej Drogi Wodnej E40, z możliwością połączenia transportu wodnego Europy Zachodniej z Europą Wschodnią, gwarantuje dopiero pełna kaskadacja dolnej Wisły. W tym względzie pewne ograniczenia mogą wynikać z parametrów śluz. Ponadto taka zabudowa

dolnej Wisły przyniesie wymierne korzyści w pozyskiwaniu czystej ekologicznie energii elektrycznej, całkowicie wyeliminuje zagrożenia powodziowe na tym odcinku rzeki i nie będzie już problemów z odcinkami erozyjnymi poniżej zapor, umożliwi proces rewitalizacji obszarów zawału zbiorników jako rekompensatę za zalanie obszarów międzywala zbiorników, ustabilizuje reżim hydrologiczny Wisły z możliwością nawadniania deficytowego w wodę obszaru Kujaw. Stanie się motorem rozwoju gospodarczego regionu nadwiślańskiego, z efektem „odwrócenia” się miast i wsi w kierunku Wisły.

Bibliografia

1. Babiński Z., Współczesne procesy korytowe dolnej Wisły, *Prace Geograficzne* 1992, IGIŹ PAN, s. 157.
2. Babiński Z., Wpływ zapor na procesy korytowe rzek aluwialnych, Wydawnictwo Akademii Bydgoskiej, Bydgoszcz 2002.
3. Chalov R.S., Faktory ruslovych processov i hierarchija ruslovych form, *Geomorfologia* 1983, nr 2, s. 16–26.
4. Chalov R.S., Ruslovedenije: teoria, geografia, praktyka, Mosk. Gosud. Univers., tom I, Moskwa 2007.
5. Chalov R.S., Ruslovedenije: teoria, geografia, praktyka, Mosk. Gosud. Univers., tom II, Moskwa 2011.
6. Habel M., Zasięg oddziaływania stopnia wodnego we Wrocławku na wahaniami stanów wód dolnej Wisły, *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN* 2010, Vol. 68.
7. Habel M., Morfodynamika dna doliny dolnej Wisły poniżej zbiornika wrocławskiego, maszynopis pracy doktorskiej, IGIŹ PAN, Warszawa 2011.
8. Instrukcja gospodarowania wodą na stopniu wodnym Wrocławek, materiały niepublikowane, RZGW, Warszawa 2006.
9. Kondratiev N.E., Popov I.V., Sniszczenko B.E., Osnovy gidromorfologiczeskoj teorii ruslogo processa, *Gidrometeoizdat*, Leningrad 1982.
10. Leopoldt L.B., Wolman M.G., Miller J.P., Fluvial processes in geomorphology, Freeman and Co., San Francisco 1964.
11. Makkavjejev N.I., Ruslo rieki i erozija v jejo baseine, Izdat. Mosk. Univer., Moskwa 1955.
12. Popov I.V., Issledovanie morfologii riek pri reszenii zadacz chozjajstviennogo osvojenija pojm, *Trudy GGI*, 74, Leningrad 1960, s. 22–54.
13. Popov I.V., Zagadki recznogo rusla, *Gidrometeoizdat*, Leningrad 1977.
14. Schumm S.A., Evolution and response of the fluvial system sedimentologic implications, *SEPM, Special Publ.* 1981, No. 31, s. 19–29.
15. Schumm S.A., Explanation and extrapolation in geomorphology: Seven reasons for geologic uncertainty, *Transactions, Japan Geomorph. Union* 1985, No. 6(1), s. 1–18.
16. Siebauer S., Charakterystyczne stany wody i objętości przepływu w przekrojach wodowskazowych rzeki Wisły, *Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej* 1947, nr 1(1).

Zygmunt Babiński

prof. zw. dr hab.

Uniwersytet im. Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy

e-mail: zygmont.babinski@gmail.com

Dziekan Wydziału Kultury Fizycznej, Zdrowia i Turystyki Akademii Bydgoskiej im. Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, kierownik Katedry Rewitalizacji Dróg Wodnych, wieloletni dyrektor Instytutu Geografii. Pracownik naukowy Zakładu Geomorfologii i Hydrologii Niżu Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN w Toruniu (1971–1998).

Autor prawie 190 prac naukowych opublikowanych w Polsce, Rosji, Mongolii, Czechach, Szwecji, Szwajcarii i Wielkiej Brytanii. Uczestnik trzech wypraw fizyczno-geograficznych PAN do Mongolii w latach 70. i kierownik trzech wypraw w latach 90. i w 2005 roku. Główne zainteresowania badawcze: współczesne procesy korytowe rzek, wpływ prac regulacyjnych i zapór na zmiany koryt rzecznych, transport rumowiska wlezonego i zawiesiny, obieg wody w strefie występowania wieloletniej zmarzliny, występowanie i sezonowa degradacja wieloletniej zmarzliny, formy zmarzlinowe ze szczególnym uwzględnieniem form typu pingo. Obiekty badawcze: dno doliny dolnej Wisły – zbiornik wrocławski, Mongolia – góry Changaj. Od siedmiu lat zaangażowany w badania z zakresu rewitalizacji dróg wodnych. Twórca unikatowego w skali europejskiej kierunku inżynierskiego o tej nazwie, pomysłodawca utworzenia Europejskiego Centrum Rewitalizacji Dróg Wodnych w Bydgoszczy.

Michał Habel

dr

Uniwersytet im. Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy

e-mail: hydro.habel@gmail.com

Pracownik naukowo-dydaktyczny w Katedrze Rewitalizacji Dróg Wodnych. Autor i współautor 25 artykułów naukowych oraz 8 prac wdrożeniowych. Współinicjator i współorganizator pięciu konferencji poświęconych rewitalizacji dróg wodnych, organizowanych od 2007 roku. Autor i współwykonawca projektu dofinansowanego przez Kujawsko-Pomorski Urząd Marszałkowski w Toruniu pt. „Ocena możliwości rewitalizacji funkcji żeglugowych drogi wodnej Wisła – Odra, w szczególności Kanału Bydgoskiego”. Wykonawca umowy dwustronnej między Państwowym Uniwersytetem Floty Rzecznej i Morskiej im. Komandora Makarowa w St. Petersburgu a Uniwersytetem Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy. Członek Międzyuczelnianego Stowarzyszenia Erozji, Procesów Korytowych i Ujściowych Rzek przy Państwowym Moskiewskim Uniwersytecie im. Łomonosowa oraz European Geoscience Union. Główne obiekty badawcze: procesy korytowe dolnej Wisły, Kanału Bydgoskiego i Brdy.