

Bogusław Michalec, Marek Tarnawski

OCENA PRZEPUSTOWOŚCI JAZU W BIEŃCZYCACH NA RZECE DŁUBNI

THE APPRAISAL OF THE CONVEYANCE OF THE WEIR AT BIEŃCZYCE ON THE RIVER DŁUBNIA

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki obliczeń przepustowości koryta rzeki Dłubni i znajdującego się w km 6+560 jazu w Bieńczycach. Uzyskane wyniki obliczeń umożliwiły wskazanie przyczyny zatopienia terenów przyległych w trakcie powodzi w dniu 18 lipca 2010 roku. W tym dniu do jazu dopływ wód rzeką Dłubnią, uwzględniający zrzut wód ze zbiorników w Ześlawicach, wynosił ok. $70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Przepływ ten określony jest jako przepływ brzegowy. Wykazano, że ten przepływ mieści się w korycie Dłubni poniżej badanego jazu. Jaz w Bieńczycach charakteryzuje się mniejszą przepustowością. Stwierdzono, że przepustowość jazu z otwartymi upustami wynosi $50,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Natomiast przyjmując schemat hydrauliczny, odpowiadający rozwiązaniu konstrukcyjnemu zamknięć, tj. zamknięć segmentowych, wydatek upustów wynosi zaledwie $48,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Stwierdzono również, że ze względu na przepustowość jazu, mniejszą od przepływu brzegowego, nie było możliwe uniknięcie zatopienia terenów położonych w rejonie jazu. W przypadku nieotwarcia zamknięć maksymalna przepustowość jazu wynosi zaledwie $8,77 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a pomimo ich maksymalnego podniesienia nie uzyskuje się przepustowości wynoszącej $70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Słowa kluczowe: jaz, przepustowość jazu, przepływ miarodajny, przepływ brzegowy

Summary

The results of the calculations of the conveyance of the channel of the river Dłubnia and the weir at Bieńczyce located in the km 6 + 560 of the river Dłubnia were introduced in the work. The results of calculations made possible the indication of the cause of flooding the adjoining terrains during the flood in 18 July

2010. Taking into account outflow from reservoirs in Zesławice in this day to the weir the inflow in the river Dłubnia carried out approximately $70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. This water flow is qualified as the waterside flow. It was showed that this flow would not overflow from the channel Dłubnia below the studied weir. The weir at Bieńczyce is characterizes the smaller conveyance. It was stated that the conveyance of the weir carry out $50.25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. It was calculated by the assumption that the weir gates will be fully upraised and not making up the obstacles in the overflow of the weir. However the conveyance carries out just $44,61 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ accepting the hydraulic scheme, corresponding to the constructional solution of weir locks. It was also stated that because of the conveyance of the weir, smaller than the waterside flow, avoidance of submergence of terrains laid in the region of the weir was not possible. During not open of weir gates the maximum conveyance of the weir carry out only just $8,77 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, and with their maximum lifting it will not get in spite capacity carrying out $70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

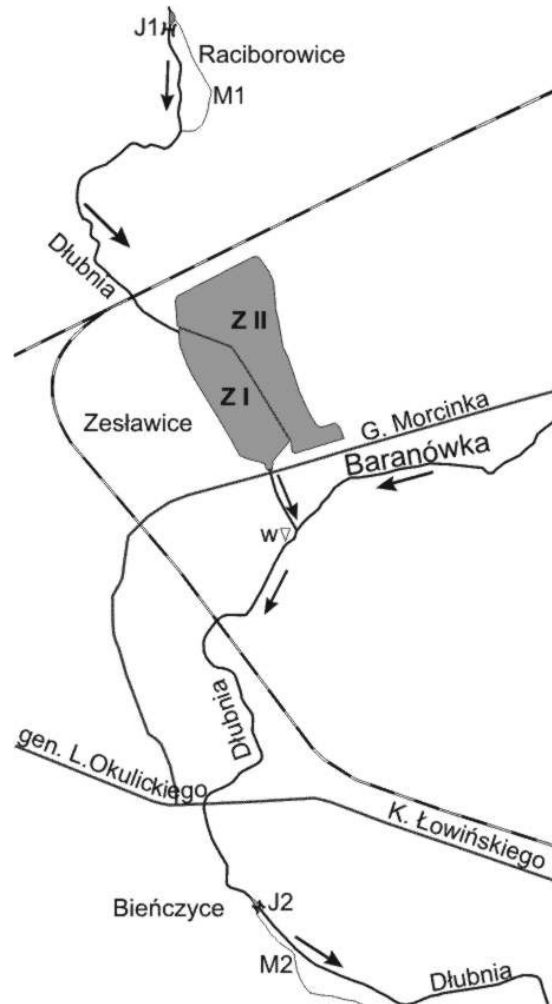
Key words: weir, conveyance of the weir, reliable flow, waterside flow

WSTĘP

Jednym ze sposobów zapewnienia bezpieczeństwa budowli piętrzących jest zagwarantowanie wymaganej przepustowości urządzeń spustowych i upustowych oraz zapewnienie odpowiedniego sposobu użytkowania tych urządzeń [Dz. U. 2007, Nr 86, poz. 579]. Zapis ten dotyczy stałych budowli hydrotechnicznych, tj. wznoszonych na okres eksploatacji dłuższy niż 5 lat. Zgodnie z zapisem w dziale IV, par. 42 Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie [Dz. U. 2007, Nr 86, poz. 579], budowle hydrotechniczne powinny zapewniać bezpieczeństwo w czasie przejścia następujących wezbrań obliczeniowych:

- 1) przepływu miarodajnego Q_m o prawdopodobieństwie pojawiania, określonego dla danej klasy budowli hydrotechnicznej,
- 2) przepływu kontrolnego Q_k o prawdopodobieństwie pojawiania, określonego dla danej klasy budowli hydrotechnicznej.

W pracy określono przepustowość budowli piętrzącej – jazu w Bieńczycach znajdującego się w 6+560 rzeki Dłubni – w warunkach przepływu wód miarodajnych (Q_m) i wód kontrolnych (Q_k), będących wodami zrzutowymi ze zbiorników w Zesławicach. Jaz ten (rys. 1) znajduje się 2,14 km poniżej zapory dwóch zbiorników wodnych w Zesławicach, których jedną z funkcji była ochrona przeciwpowodziowa, aktualnie ograniczona ze względu na znaczne zamulenie obu zbiorników. Określenie przepustowości jazu w Bieńczycach wiąże się bezpośrednio z jego bezpieczeństwem, a także bezpieczeństwem terenów przybrzeżnych, znajdujących się w strefie oddziaływania jazu na warunki przepływu wód w Dłubni.



Rysunek 1. Lokalizacja jazu w Bieńczycach na rzece Dłubni (J1, M1 – jaz i młynówka w Raciborowicach; ZI, ZII – zbiorniki w Zesławicach; w – wodowskaz; J2, M2 – jaz i młynówka w Bieńczycach)

Figure 1. Localization of the weir at Bieńczyce on the river Dłubnia (J1, M1 – weir and mill-channel at Raciborowice; ZI, ZII – Zesławice water reservoir; w – water gauge; J2, M2 – weir and mill-channel at Bieńczyce)

W ciągu całego okresu eksploatacji zbiorników, tj. od końca lat sześćdziesiątych ubiegłego stulecia, ekstremalne wezbrania powodowały zagrożenie powodziowe powyżej jak i poniżej zbiorników. Szczególne skutki wezbrania miały miejsce w dniu 18 lipca 2010 roku, które spowodowało zatopienie zabudowań

w Zesławicach, znajdujących się w rejonie jazu w Bieńczycach. Intensywne deszcze nawalne przyczyniły się do powstania fali powodziowej w zlewni Dłubni i w zlewni potoku Baranówka. Pomimo utworzonej rezerwy powodziowej w zbiornikach, część wód dopływających do zbiorników, została przepuszczona przez urządzenia upustowe zapory, co było związane z zachowaniem warunków bezpieczeństwa zapory. Zrzut ze zbiorników części przepływu wód wezbraniowych, zgodnie z „Operatem wodnoprawnym...” [2003], miał nie przekraczać natężenia przepływu w korycie poniżej zapory wynoszącego $70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Pomimo właściwego regulowania odpływu ze zbiorników, znaczny dopływ wód ze zlewni potoku Baranówka spowodował zwiększenie przepływu w korycie Dłubni poniżej zbiorników, przekraczając zdolność przepustową koryta rzeki Dłubni i powodując zatopienie terenów przybrzeżnych. Skutki tego wezbrania zostały spotęgowane wpływem jazu w Bieńczycach na przepływ wód wezbraniowych. W trakcie wezbrania nie podniesiono na czas zamknięć tego jazu, przyczyniając się do dodatkowego spiętrzenia przepływu powodziowego. Celem pracy jest określenie przepustowości jazu zgodnie z przepisami [Dz. U. 2007, Nr 86, poz. 579] i wykazanie wpływu jazu na warunki przepływu wód powodziowych w trakcie wezbrania w dniu 18 lipca 2010 roku.

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Jaz betonowy w Bieńczycach znajduje się w km 6+560 rzeki Dłubni i zamyka zlewnię o powierzchni 266 km^2 . Jest on jedyną z trzech budowli piętrzących, znajdujących się w dolnym biegu Dłubni (rys.1). Powyżej jazu w km 8+700 Dłubni znajduje się zapora ziemna zbiorników wodnych w Zesławicach, zamykająca zlewnię o powierzchni 218 km^2 . Poza zasięgiem cofki piętrzenia zbiorników, w km 11+240 Dłubni, znajduje się jaz betonowy w Raciborowicach. Budowle te powstały w latach sześćdziesiątych ubiegłego stulecia. W miejscu jazu betonowego w Bieńczycach, będącej obecnie dzielnicą miasta Krakowa, istniał jaz drewniany, którego celem było piętrzenie wody i skierowanie jej do młyna. Młyn wybudowany był przez Jana Kantego Kirchmayera na początku XX wieku. Uzyskany spad, poprzez spiętrzenie wód Dłubni, napędzając koło wodne, umożliwiał uzyskanie dodatkowej mocy, dla napędu parowego młyna. Młyn ten spłonął w 1913 roku. Po drugiej wojnie światowej w miejsce jazu drewnianego wybudowano dwuprzęsłowy jaz z zamknięciami segmentowymi (rys. 2). Jaz ten zapewniał wodę dla ówczesnej Huty im. Lenina. Funkcję tą pełni nadal, prowadząc wodę z ujęcia brzegowego w prawym przyczółku jazu do ArcelorMittal Kraków.



Rysunek 2. Jaz w Bieńczycach – widok od strony dolnej wody
Figure 2. Weir at Bieńczyce – view from down water

METODYKA BADAŃ

Ze względu na brak dokumentacji technicznej jazu w Bieńczycach na rzece Dłubni wykonano geodezyjne pomiary inwentaryzacyjne w maju 2012 roku, obejmujące określenie takich parametrów budowli jak: szerokość upustów i filara, długości skrzydeł jazu, niecki wypadowej i przepławki, a także określenie rzędnych przyczółków jazu i górnej krawędzi zamknięć segmentowych, rzędnych progu, niecki wypadowej i poszczególnych komór przepławki. W trakcie pomiarów geodezyjnych wykonano również pomiary spadku podłużnego dna koryta Dłubni poniżej jazu i pomiary przekroju poprzecznego poniżej dolnego stanowiska jazu w odległości 70 m poniżej niecki wypadowej.

Obliczenie przepływów charakterystycznych w przekroju jazu było możliwe dzięki dysponowaniu danymi hydrologicznymi z przekroju wodowskazo-

wego IMGW, znajdującego się w km 7+900 rzeki Dłubni [Jedzok, Nowak 1993]. Ze względu na niewielki przyrost zlewni, zamkniętej przekrojem jazu w km 6+560, w stosunku do powierzchni zlewni wodowskazu, wynoszący 0,8%, przyjęto do obliczeń przepływu określone dla posterunku wodowskazowego IMGW. Wykonano obliczenia przepustowości jazu dla przepływu miarodajnego, który został wyznaczony dla ustalonej klasy budowli hydrotechnicznej, jako przepływ o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia [Dz. U. 2007, Nr 86, poz. 579]. Wykonano również obliczenia przepustowości jazu dla przepływu $Q_0 = 70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, który według „Instrukcji gospodarowania wodą...” [2003] jest maksymalnym odpływem ze zbiorników według tzw. fazy A gospodarowania wodą w okresie powodziowym. Jest to odpływ, którego nie można przekroczyć, zwiększając napełnienie zbiorników do maksymalnego poziomu piętrzenia, wynoszącego 216,50 m n.p.m., gdyż odpowiada on przepustowości koryta Dłubni.

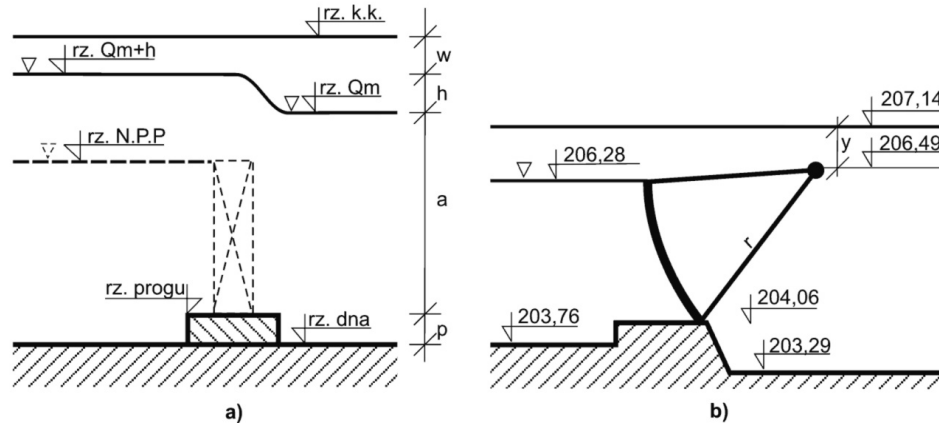
Obliczenia hydrauliczne napełnienia w korycie Dłubni wykonano stosując wzór Chézy, w którym współczynnik prędkości obliczono według wzoru Manninga. W obliczeniach uwzględniono istniejące warunki terenowe, dla których wyznaczono współczynniki szorstkości odpowiadające zróżnicowaniu rumowiska znajdującego się w dnie koryta rzeki, jak również roślinność na brzegach i terenach przybrzeżnych. Obliczenia przepływu w korycie Dłubni wykonano, za pomocą aplikacji programu komputerowego „cieq v.2.9.xls” (Microsoft Visual Basic for Application).

Przepustowość jazów określono według wzoru służącego obliczeniu natężenia przepływu Q przez przelew zatopiony jazów [Janowski 1957], którego schemat hydrauliczny przedstawionym na rycinie 3a:

$$Q = \frac{2}{3} \mu_1 b \sqrt{2g} \left[\left(z + \frac{\alpha V^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(\frac{\alpha V^2}{2g} \right)^{3/2} \right] + \mu_2 ab \sqrt{2g \left(z + \frac{\alpha V^2}{2g} \right)} \quad (1)$$

gdzie:

- μ_1 i μ_2 – współczynniki wydatku przelewu [-];
- b – całkowite światło jazu (szerokość przelewu), [m];
- z – różnica poziomów między wodą górną i dolną, [m];
- a – różnica poziomów między dolną wodą a progiem, [m];
- V – prędkość wody dopływającej do jazu, [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$];
- g – przyspieszenie ziemskie, [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$];
- α – współczynnik Saint Venanta, [-].



Rysunek 3. Schematy hydrauliczne: a) – przelew zatopiony, b) – wypływ spod zamknięcia segmentowego

Figure 3. Hydraulic schemes: a) – underwater overflow, b) – outflow from under segment gate

Ze względu na rodzaj zamknięć, w jakie wyposażono jaz w Bieńczycach, w przypadku niecałkowitego podniesienia zamknięć ponad koronę jazu, wydatek upustów można obliczyć jako natężenie wypływu wody spod zamknięcia. Jaz w Bieńczycach posiada zamknięcia segmentowe. Wypływ spod zamknięć segmentowych można obliczyć ze wzoru Kienćuka [Dąbkowski i in. 1997], zgodnie z oznaczeniami przedstawionymi na schemacie zamieszczonym na rysunku 3b:

$$Q = (C_1 + C_2 \cdot a^{-0,08}) \cdot a \cdot \sqrt{H_0 + h} \quad (2)$$

w którym:

- a – wysokość podniesienia zamknięcia, [m];
- H_0 – wysokość linii energii wody na górnym stanowisku ($H_0 = H + \alpha V^2/2g$), [m];
- h – napełnienie na dolnym stanowisku, [m];
- C_1 i C_2 – współczynniki obliczane wg wzorów:

$$C_1 = b \left(0,85 - \frac{y}{r} \right) \cdot \sqrt{2g} \quad (3)$$

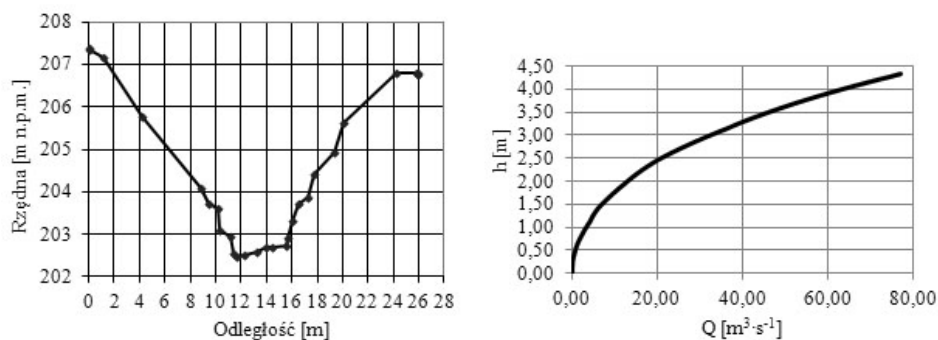
$$C_2 = b \left(\frac{y}{r} - 0,25 \right) \cdot r^{-0,08} \cdot \sqrt{2g} \quad (4)$$

gdzie:

- b – całkowite światło jazu, [m];
 - y – wysokość położenia osi zamknięcia segmentowego nad progiem, [m];
 - r – promień krzywizny zamknięcia segmentowego, [m];
- pozostałe oznaczenia jak we wzorze (1).

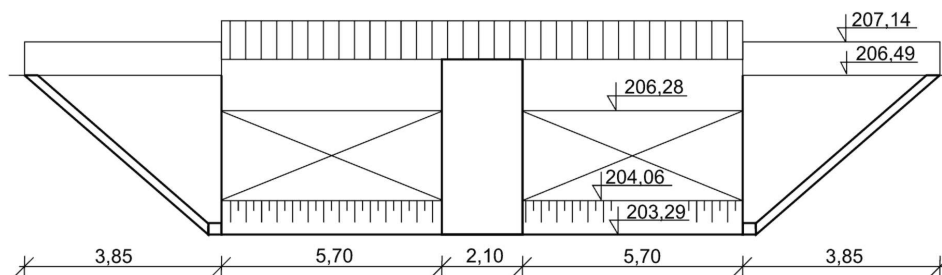
WYNIKI OBLICZEŃ

Krzywą natężenia przepływu, określoną dla przekroju poprzecznego, wykonanego poniżej dolnego stanowiska, zamieszczono na rycinie 4. Wyznaczając krzywą natężenia przepływu wyznaczono współczynniki szorstkości koryta, wynoszące: 0,025 – dno bez roślinności, 0,035 – brzegi porośnięte niskimi trawami. Maksymalny przepływ mieszczący się w korycie Dłubni w wyznaczonym przekroju poprzecznym, obliczony według wzoru Chézy, wynosi $76,86 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Został on wyznaczony dla określonego na podstawie pomiarów geodezyjnych spadku dna poniżej dolnego stanowiska jazu, wynoszącego 1,1‰.



Rysunek 4. Przekrój poprzeczny przez koryto Dłubni i krzywa natężenia przepływu
Figure 4. Cross-section of the river Dłubnia and reliable flow curve

W wyniku pomiarów geodezyjnych określono wymiary poszczególnych elementów konstrukcyjnych jazu. Określona szerokość każdego z dwóch upustów segmentowych jazu wynosi 5,70 m, szerokość filara z przepławką jest równa 2,10 m. Pozostałe parametry jazu zamieszczono na rysunku 5.



Rysunek 5. Schemat jazu w Bieńczycach – przekrój przez dolne stanowisko
Figure 5. Scheme of the weir at Bieńczyce – cross-section by lower stand

Przepływ miarodajny (Q_m), na który wymiarowana jest światło jazu, określono dla klasy budowli, którą wyznaczono na wysokości piętrzenia. Wysokość ta została określona jako różnica rzędnej zwierciadła wody górnej przy normalnym poziomie piętrzenia (NPP) i rzędnej zwierciadła wody dolnej przy przepływie średnim niskim (SNQ). Według „Operatu wodnoprawnego...” [2003] przepływ SNQ wynosi $0,39 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Napełnienie przy tym przepływie w korycie na dolnym stanowisku, określone z krzywej natężenia przepływu (rys. 4), wynosi 0,15 m. Wysokość piętrzenia jazu w Bieńczycach, będąca różnicą rzędnej korony zamknięć segmentowych, wynoszącej 206,28 n.p.m. i rzędnej przepływu SNQ, wynoszącej 203,44 m n.p.m., jest równa 2,84 m. Stąd dla ustalonej IV budowli hydrotechnicznej, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska [Dz. U. 2007, Nr 86, poz. 579] ustalono przepływ miarodajny, jako przepływ o prawdopodobieństwie przewyższenia wynoszącym 3%, wynoszący $90,67 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Przepływ ten jest wyższy od obliczonego maksymalnego przepływu mieszczącego się w korycie Dłubni, wynoszącego $76,86 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Natomiast według „Instrukcji gospodarowania wodą...” [2003] przepływ $Q_o = 70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, który jest maksymalnym odpływem ze zbiorników w okresie powodziowym, mieści się w przekroju poprzecznym koryta, zlokalizowanym 70 m poniżej dolnego stanowiska jazu. Potwierdzają to wyniki obliczeń krzywej natężenia przepływu w przekroju poprzecznym, wyznaczonym poniżej dolnego stanowiska jazu (rys. 4).

Sprawdzenie, czy te przepływy nie wystąpią z koryta powyżej przekroju zamknięć jazu, wymaga obliczeń przepustowości upustów, którą określono według wzoru (1). W tym celu ustalono napełnienia w przekroju jazu zgodnie ze schematem obliczeniowym przedstawionym na rycinie 3a. Wysokość wzniesienia („w” na rys. 3a) korony jazu nad spiętrzone zwierciadło wody miarodajnej w budowlach hydrotechnicznych klasy IV wynosi 0,5 m. Jeżeli rzędna korony konstrukcji jazu jest równa 207,14 m n.p.m., to spiętrzony przepływ miarodajny w świetle jazu, powinien mieć rzędną niższą od rzędnej korony jazu o 0,5 m. Zatem rzędna spiętrzonego zwierciadła wody miarodajnej (rz. Q_m+h), tj. rzędna wody górnej, zgodnie ze schematem na rycinie 3, powinna wynosić 206,64 m n.p.m. Wyniki obliczeń przepustowości jazu, z zachowaniem wysokości wzniesienia $w=0,5 \text{ m}$ i gdy $\text{rz.}Q_m+h=206,64 \text{ m n.p.m.}$, zamieszczono w tabeli 1. W obliczeniach uwzględniono wpływ progu jazu, o wysokości 0,3 m, na warunki przepływu przez przekrój zamknięć. Przy spiętrzeniu przepływu obliczeniowego na wysokość 0,3 m, spowodowanym progiem, wydatek Q według wzoru (1) wynosi $50,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (tab. 1). Zakładając, że wysokość spiętrzenia „h” w świetle jazu wynosi zero (rys. 3.a), tj. $\text{rz.}Q_m+h = \text{rz.}Q_m = 206,64 \text{ m n.p.m.}$, obliczona przepustowość jazu wynosi zaledwie $24,58 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Większe spiętrzenie wody miarodajnej w świetle jazu powoduje zwiększenie wydatku przelewu – dla „h” wynoszącego 0,5 m wydatek wynosi $61,15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Tabela 1. Wyniki obliczeń wydatku jazu w Bieńczycach wg wzoru (1) - przelew zatopiony**Table 1.** Results of calculations of outflow from the weir at Bieńczyce according to formula (1) – the underwater overflow

h [m] wg. rys. 3 h [m] acc. to Figure 3	rz. przepływu i napełnienia na dolnym stanowisku ordinate of discharge and depth on the lower water		V [m ³ ·s ⁻¹]	a [m]	Q [m ³ ·s ⁻¹]
	rz. Q _m [m n.p.m.] w.l. Q _m [m a.s.l.]	h _m [m]			
0,00	206,64	3,35	1,348	2,58	24,58
0,30	206,34	3,05	1,289	2,28	50,25
0,50	206,14	2,85	1,234	2,08	61,15

Istotne jest również to, że przyjmując stałą rzędną zwierciadła wody miarodajnej na górnym stanowisku (w tym analizowanym przypadku równą 206,64 m n.p.m.), zgodnie ze schematem hydraulicznym przedstawionym na rycinie 3, zwiększając różnicę poziomów między zwierciadłem wody górnej i dolnej („z”), należy obniżyć położenie zwierciadła wody miarodajnej na dolnym stanowisku i konsekwentnie napełniania. maleją od wartości napełniania te, wynoszące od 2,58 do 2,08 m (tab. 1), są znacznie niższe od napełnienia dla maksymalnego odpływu ze zbiorników $Q_0 = 70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, wynoszącego 4,19 m, i napełnienia dla przepływu miarodajnego $Q_{3\%} = 90,67 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, którego wody zatopia tereny przyległe.

Przyjmując, że przepływ $Q_0 = 70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ jest przepływem mieszczącym się brzegach Dłubni [„Operat wodnoprawny...” 2003], to jaz w Bieńczycach powinien charakteryzować się przepustowością wynoszącą $70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Napełnienie przy tym przepływie w przekroju jazu jest większe od rzędnej korony ubezpieczeń. Przepuszczenie przepływu $70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ przez jaz, bez zatopienia terenów przyległych wymaga podniesienia murów korony jazu o ponad 1,0 m. Wynika to z faktu, że rzędna zwierciadła wodny na dolnym stanowisku jazu przy tym przepływie wynosi 207,48 m n.p.m., a obliczone spiętrzenie tego przepływu w świetle jazu z przekształconego równania (1), dla wydatku jazu równego $70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, wynosi 17 cm. Przyjmując wysokość wzniesienia („w” na rys. 3a) korony jazu równą 0,5 m uzyskuje się rzędną korony przyczółków jazu, wynoszącą 208,15 m n.p.m. Aktualna wysokość korony jazu wynosi 207,14 m n.p.m.

Obliczono również przepustowość jazu w przypadku niepodniesienia zamknięć segmentowych. Przyjmując rzędną zwierciadła wody w przekroju jazu równą rzędnej jego korony, wynoszącej 207,14 m n.p.m. i brak spiętrzenia „h” przy tym przepływie, wtedy różnica poziomów między dolną wodą a koroną zamknięć „a” jest równa 0,86 m, natomiast przepustowość jazu wynosi zaledwie $8,77 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Przepustowość jazu została określona bez uwzględnienia współczynnika dławienia bocznego, zmniejszającego wydatek przelewu, a także nie uwzględniono rozwiązania konstrukcyjnego zamknięć jazu, zakładając w obliczeniach, że zamknięcia są całkowicie podniesione i nie powodują przesłonięcia światła upustów jazu. Zastosowane zamknięcia segmentowe w jazu w Bieńczycach mogą zostać tak podniesione, aby ich dolna krawędź znajdowała się na wysokości przyczółków jazu. Przy maksymalnym podniesieniu zamknięć segmentowych wypływ wody spod zamknięć segmentowych (rys. 3.b), obliczony według wzoru (2), wynosi $48,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (tab. 2).

Tabela 2. Wyniki obliczeń wydatku jazu w Bieńczycach wg wzoru (2) - wypływ spod zamknięcia segmentowego. Symbole w tabeli tak jak we wzorze (2)

Table 2. Results of calculations of outflow of the weir at Bieńczyce according to formula (2) - the outflow from under segment gate. Symbols in the table so as in formula (2)

a [m]	V [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	H ₀ [m]	h [m]	r [m]	y [m]	C ₁ [-]	C ₂ [-]	Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
3,08	1,391	3,95	3,58	2,65	2,23	0,43	27,63	48,02

WNIOSKI

W wyniku wybudowania zbiorników wodnych w Zesławicach, których jednym z zadań jest utrzymywanie w nich stałego poziomu piętrzenia wody i regulowanie odpływu, przepływ $Q_{3\%}$ nie stanowi przepływu miarodajnego, który należy przepuścić przez jaz w Bieńczycach w normalnych warunkach eksploatacji. Przepływem tym, zgodnie z „Operatem wodnoprawnym...” [2003], jest przepływ $Q_0 = 70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, który odpowiada przepustowości koryta Dłubni i nie powoduje zatopienia terenów przybrzeżnych. Stwierdzono, że koryto Dłubni poniżej ubezpieczeń jazu umożliwia przeprowadzenie przepływu brzegowego, wynoszącego $76,86 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Natomiast jaz w Bieńczycach charakteryzuje się mniejszą przepustowością, która obliczona według klasycznego schematu (rys. 3a), służącego określeniu wydatku przelewu wynosi $50,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Przepustowość upustów jazu określono przy założeniu, że zamknięcia zostaną całkowicie podniesione i gdy przepływ miarodajny zostanie spiętrzony na wysokość 0,3 m. Natomiast przyjmując schemat hydrauliczny, odpowiadający rozwiązaniu konstrukcyjnemu zamknięć, tj. zamknięć segmentowych (rys. 3b), wydatek upustów wynosi zaledwie $48,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Zapis w Instrukcji eksploatacji zbiorników wodnych, dotyczący warunków zrzutu wód wezbraniowych, powinien zostać zaktualizowany ze względu na niewystarczającą przepustowość jazu w Bieńczycach, która jest niższa od wody brzegowej Dłubni na odcinku od zbiorników w Zesławicach do jej ujścia do Wisły.

Ze względu na niską przepustowość jazu w Bieńczycach nie było możliwe uniknięcie zatopienia terenów położonych w rejonie jazu. Wprawdzie maksymalna przepustowość jazu przy nieotwarciu zamknięć wynosi zaledwie $8,77 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ i przyczynia się zatopieniu terenów przy przepływach niższych od powodziowych - według „Operatu wodnoprawnego...” [2003] okres powodzi rozpoczyna się od przepływu $17,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ – to nawet całkowite otwarcie zamknięć jazu nie gwarantuje bezpiecznego przeprowadzenia przepływu zrzutowego ze zbiorników $Q = 70 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, mieszczącego się w korycie Dłubni. Zwiększenie przepustowości jazu wiązałoby się z jego przebudową, polegającą na podniesieniu wysokości ścian przyczółków i wykonania obwałowania rzeki na górnym stanowisku jazu.

BIBLIOGRAFIA

- Dąbkowski Sz.L., Jędryka E., Kaca E., Kovalenko P.I., Čalyj B.I., Michajov J.A. 1997. *Urządzenia i budowle do pomiaru przepływu wody w systemach melioracyjnych*. Wydawnictwo IMUZ Falenty.
- Instrukcja gospodarowania wodą, utrzymania i eksploatacji zbiornika*. 2003. Krakowski Związek Spółek Wodnych. Maszynopis. Kraków.
- Janowski W. 1957. *Budowle wodno-melioracyjne. Podstawy projektowania*. Wydawnictwo „Arkady”, Budownictwo-Sztuka-Architektura. Warszawa.
- Jedzok H., Nowak M. 1993. *Założenie wodowskazu i opracowanie krzywej konsumpcyjnej dla profilu Zesławice na rzece Dłubni*. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, O/Kraków, maszynopis.
- Operat wodnoprawny na piętrzenie i retencjonowanie wody. Zbiornik wodny Zesławice na rzece Dłubni*. 2003. Archiwum Krakowskiego Związku Spółek Wodnych. Maszynopis. Kraków.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie*. Dz. U. 2007 R. Nr 86 poz. 579.

Dr hab. inż. Bogusław Michalec, prof. UR,
Dr inż. Marek Tarnawski
Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
RMMICHBO@CYF-KR.EDU.PL