

Wpłynęło 17.10.2017 r.
Zrecenzowano 8.12.2017 r.
Zaakceptowano 10.01.2018 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

HYDROLOGICZNE ASPEKTY FUNKCJONOWANIA PLANOWANEGO ZBIORNIKA WODNEGO „WIERNA RZĘKA” (WYŻYNA PRZEDBORSKA)

Tadeusz CIUPA^{ABDEF}, **Roman SULIGOWSKI**^{ABDEF}

Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy,
Instytut Geografii

Streszczenie

W pracy określono uwarunkowania hydrologiczne i morfologiczne niezbędne do utworzenia zbiornika wodnego małej retencji „Wierna Rzeka” zlokalizowanego na rzece Łososinie. Zbiornik ten jest projektowany w środkowej części rolniczo-leśnej zlewni Łososiny – w mezoregionie Wzgórz Łopuszańskich. Powierzchnia zlewni zamkniętej zaporą czołową będzie wynosić 149,7 km², a zbiornika w warunkach normalnego poziomu piętrzenia (*NPP*) – 0,74 km². Objętość osiągnie ok. 1,1 mln m³, a maksymalna głębokość – 3,9 m.

Charakterystykę hydrologiczną zlewni zbiornikowej opracowano na podstawie danych IMGW (rzeka Łososina, przekrój Bocheniec, 1961–1995), wykorzystując metodę analogii. Na podstawie numerycznego modelu terenu, wykonanego technikami skaningu laserowego, wyznaczono linię brzegową misy zbiornika, opracowano krzywe – batymetryczną i pojemności.

Określono natężenie przepływów charakterystycznych (m.in. $NNQ = 0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $SSQ = 0,808 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ i $WWQ = 14,45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), obliczono średni roczny odpływ jednostkowy ($SSq = 5,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) oraz współczynnik odpływu ($\alpha = 27\%$). W analizie uwzględniono również reżim odpływu, a także przepływy nienaruszalne obliczone trzema metodami, w tym najbardziej restrykcyjną – metodą Kostrzewy. Na podstawie przeprowadzonej analizy hydrologicznej można stwierdzić, że zasoby wód rzeki Łososiny są wystarczające do szybkiego napełnienia zbiornika „Wierna Rzeka” (od 21 do 96 dni w zależności od pory roku), nawet gdy uwzględni się najbardziej wymagające kryterium wyznaczania przepływów nienaruszalnych. Stan jakości wód rzeki zasilającej w 2015 r. nie wskazywał na występowanie istotnych zagrożeń ekologicznych, ponieważ w zakresie stanu elementów: fizykochemicznych, hydromorfologicznych i biologicznych udokumentowano stan dobry i powyżej dobrego. Zatem zasoby jakościowe wód płynących w zlewni Łososiny są również wystarczające do prawidłowego funkcjonowania planowanego zbiornika.

Słowa kluczowe: mała retencja, rzeka Łososina, zasoby wodne, zbiornik wodny

Do cytowania For citation: Ciupa T., Suligowski R. 2018. Hydrologiczne aspekty funkcjonowania planowanego zbiornika wodnego „Wierna Rzeka” (Wyżyna Przedborska). Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 18. Z. 1 (61) s. 5–22.

WSTĘP

Na obszarach wyżynnych, gdzie w zasadzie brak jest większych naturalnych akwenów, istnieje potrzeba budowy zbiorników wodnych małej retencji. Ich powstanie może przyczynić się do poprawy zasobów wodnych w zlewniach rolniczo-leśnych, w tym ograniczenia skutków suszy i powodzi, a także może przynieść korzyści przyrodnicze, np. przez zwiększenie bioróżnorodności [SYMONIDES 2010] i walorów krajobrazowych [DUDZIŃSKA i in. 2016; RADECKI-PAWLIK, KAPUSTA 2006]. Problematyka związana z projektowaniem i charakterystyką funkcjonowania istniejących, naturalnych i antropogenicznych zbiorników na terenach wiejskich jest przedmiotem wielu publikacji, uwzględniających aspekty m.in. metodyczne [CHOIŃSKI 2007; KOWALEWSKI (red.) 2014; PRZYBYŁA i in. 2015], projektowe [KARDEL i in. 2011; MIODUSZEWSKI 2008; 2014], przyrodnicze [BIEROŃSKI 2005], hydrologiczne [KOWALEWSKI 2003; OLSZEWSKA, NOWICKA 2016], jakości wód [SZCZYKOWSKA 2009; SZCZYKOWSKA, SIEMIENIUK 2011], zamulania i osadów dennych [MADEYSKI i in. 2008; MADEYSKI, TARNAWSKI 2006; TARNAWSKI, MICHALEC 2006] i ekonomiczne [JANKOWIAK, BIEŃKOWSKI 2011; MIODUSZEWSKI 2004; 2008; MROZIK, PRZYBYŁA 2013; SIEMIENIUK i in. 2015; STAŃCZUK-GAŁWIACZEK 2016].

Na Wyżynach Kieleckiej i Przedborskiej istnieją dogodne warunki do lokalizacji sztucznych zbiorników wodnych [CIUPA, SULIGOWSKI 2017; SULIGOWSKI i in. 2009]. Sprzyja temu litologia podłoża i morfologia den dolin, a także cechy klimatycznego bilansu wodnego. Innym ważnym argumentem za budową małych zbiorników wodnych w górnych odcinkach rzek świętokrzyskich jest wysoka jakość ich wód [BIERNAT i in. 2009].

W województwie świętokrzyskim planowana była budowa 173 powierzchniowych zbiorników wodnych, w tym 20 o pojemności ponad 1 mln m³ [SZMiUW 2006]. Większość z nich już powstała lub jest w trakcie realizacji. Są to zbiorniki lokalizowane na terenach wiejskich, głównie wielozadaniowe, w tym retencyjno-rekreacyjne, przeciwpowodziowe, z funkcją energetyczną i wędkarską. Najwięcej z nich zaproponowano w zlewni Nidy, w tym 7 o pojemności użytkowej ponad 1 mln m³. Jednym z większych jest zbiornik „Wierna Rzeka” na Łososinie (1,1 mln m³). Zbiornik ten, zgodnie z wytycznymi „Programu małej retencji dla województwa świętokrzyskiego” [SZMiUW 2006], ustalonymi w ramach porozumienia zawartego między Ministrem Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Ministrem Środowiska, Prezesem Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa oraz Prezesem Zarządu Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, będzie uwzględniał proekologiczne metody retencjonowania wody. Podstawową kwestią na etapie projektowania tego zbiornika jest uzyskanie odpowiedzi na pytanie: czy zasoby i stan czystości wód w jego zlewni zbiornikowej będą umożliwiały jego użytkowanie w ciągu całego roku?

Celem pracy jest określenie uwarunkowań hydrologicznych związanych z planowanym do realizacji wielozadaniowym zbiornikiem wodnym „Wierna Rzeka”, zlokalizowanym w środkowym odcinku rzeki Łososiny, oraz ocena szans jego funkcjonowania po wybudowaniu.

OBSZAR BADAŃ

Projektowany zbiornik „Wierna Rzeka” ma być zlokalizowany w zlewni rzeki Łososiny (III rzędu) w dorzeczu Nidy, na terenie powiatu kieleckiego – w obrębie nieużytkowanych rolniczo gruntów na styku trzech gmin: Łopuszno, Piekoszów i Strawczyn (rys. 1), w Konecko-Łopuszańskim Obszarze Chronionego Krajobrazu. Projektowana ziemna zapora czołowa zbiornika zostanie zlokalizowana w km 16+580 Łososiny (ok. 1 km powyżej ujścia ciekłu Czarne Stoki), tj. ok. 350 m na północ od zabudowań wsi Fanisławice. Długość zapory czołowej osiągnie 385 m, a jej wysokość – 4,75 m. Uwzględniając wymagania ekologiczne, dotyczące umożliwienia wędrówki ryb w górę rzeki w warunkach zbliżonych do naturalnych (omijającego dolną i środkową część zbiornika), proponuje się budowę zapory bocznej o długości 616 m i kanału obiegowego (rys. 2). Trasa tego kanału zostanie zaprojektowana tak, aby w optymalnym stopniu wykorzystać istniejący rów i ukształtowanie dna zbiornika.

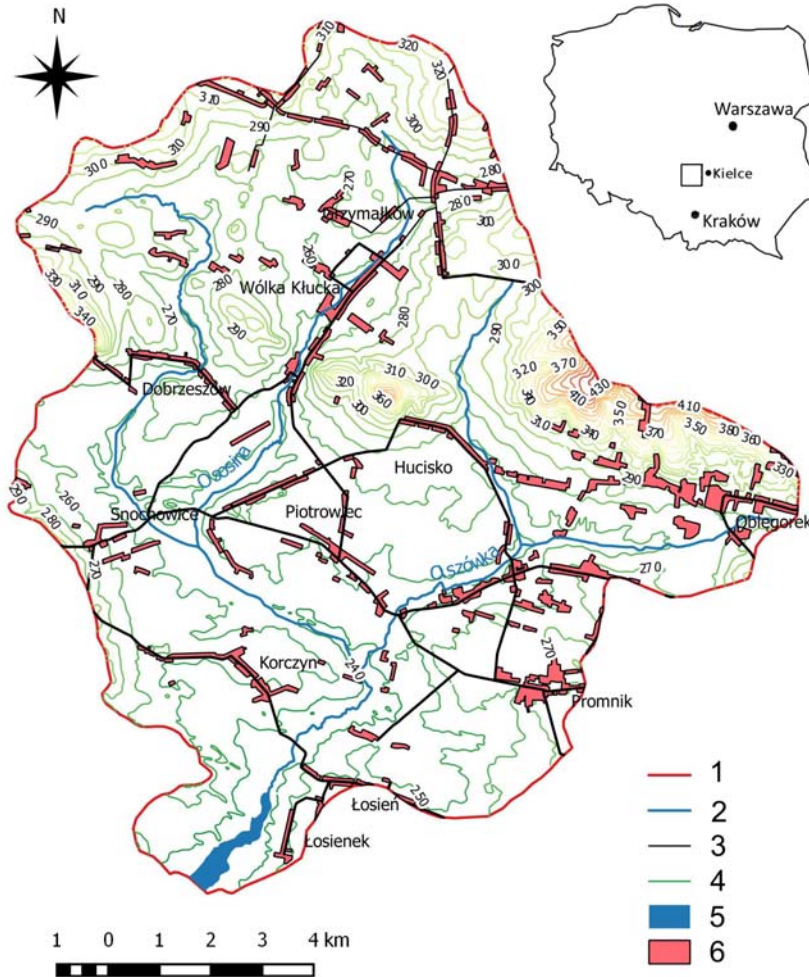
MATERIAŁ ŹRÓDŁOWY I METODA BADAŃ

Zasięg misy zbiornika i jego parametry określono techniką GIS na podstawie numerycznego modelu terenu o wymiarze oczka siatki 1,0 m, wykonanego technikami lotniczego skaningu laserowego przez firmę MGGP S.A. w 2012 r.

W aspekcie hydrologicznym i fluwialnym rzeka Łososina wraz ze swoją zlewnią są dość dobrze rozpoznane [BIERNAT 1985; BIERNAT i in. 2004 a, b; CIUPA 1991; CIUPA, SULIGOWSKI 2015; KUPCZYK i in. 1994; SULIGOWSKI i in. 2009]. Podstawą oceny zasobów wodnych w zlewni rzecznej są ilościowe informacje o opadach i przepływach.

Analizę reżimu pluwialnego przeprowadzono na podstawie danych archiwalnych z jednolitego wielolecia 1971–1990 z posterunków opadowych IMGW, które funkcjonowały w obrębie zlewni Łososiny (Oblęgór, Snochowice, Małogoszcz).

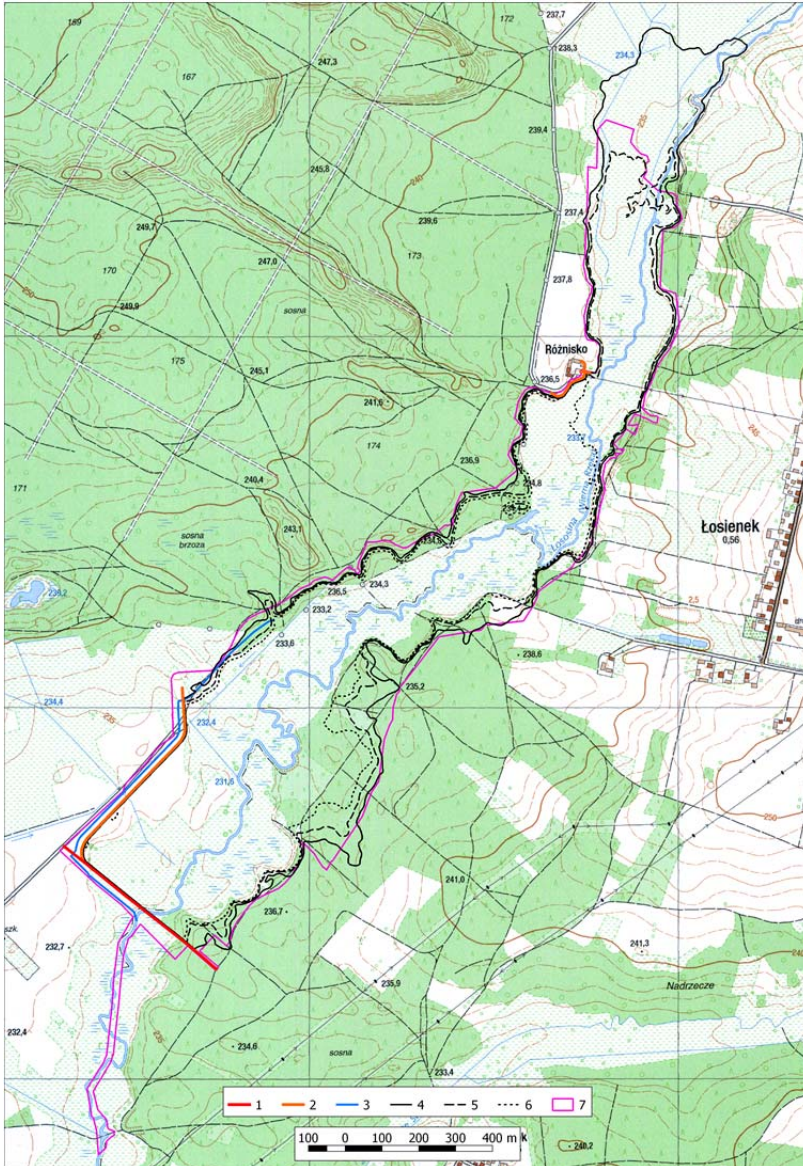
Zlewnia Łososiny, o powierzchni 300,2 km², jest zamknięta przekrojem wodowskazowym IMGW w Bocheńcu, zlokalizowanym w 3,9 km jej biegu [SULIGOWSKI i in. 2009]. W związku z tym, że projektowana zapora zbiornika „Wierna Rzeka” będzie położona 12,7 km powyżej przekroju hydrometrycznego, zamykając zlewnię o powierzchni 149,7 km², do obliczeń przepływów charakterystycznych zastosowano metodę analogii hydrologicznej. Ocena zasobów wód powierzchni-



Rys. 1. Mapa sytuacyjna zlewni Łososiny po przekrój projektowanej zapory czołowej zbiornika „Wierna Rzeka”; 1 = dział wodny, 2 = ciekii, 3 = drogi, 4 = poziomice (m n.p.m.), 5 = zbiornik wodny, 6 = zabudowa; źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Situation map of the Łososina catchment upstream of the cross-section of the designed dam of the “Wierna Rzeka” Reservoir; 1 = water divide, 2 = streams, 3 = roads, 4 = isohyps (m a.s.l.), 5 = water reservoir, 6 = developed area; source: own elaboration

wych w tej zlewni została przeprowadzona na podstawie danych o wartości odpływu z okresu 1961–1995. Wykorzystano dwie miary względne odpływu stosowane powszechnie w praktyce hydrologicznej: odpływ roczny H (mm) (objętość odpływu rocznego odniesiona do powierzchni zlewni) oraz odpływ jednostkowy q ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$), wyrażający wartość odpływu w ciągu sekundy z kilometra kwadratowego zlewni.



Rys. 2. Zasięg zbiornika „Wierna Rzeka” na rzece Łososinie w warunkach różnych poziomów piętrzenia; 1 = zapora czołowa, 2 = zapora boczna, 3 = kanał obiegowy, 4 = maksymalny poziom piętrzenia (MaksPP= 235,05 m n.p.m.), 5 = normalny poziom piętrzenia (NPP= 234,5 m n.p.m.), 6 = minimalny poziom piętrzenia (MinPP= 234,00 m n.p.m.), 7 = zasięg terenu pod inwestycję; źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Area of the “Wierna Rzeka” Reservoir on the Lososina River at various water levels; 1 = dam head, 2 = side dam, 3 = channel, 4 = maximal water level (MaxPP = 235.05 m a.s.l), 5 = normal water level (NPP= 234.5 m a.s.l), 6 = minimal water level (MinPP= 234.00 m a.s.l), 7 = investment area range; source: own elaboration

Przepływ nienaruszalny, zabezpieczający założony stan ekologiczny cieków – niezbędny do utrzymania życia w ekosystemach wodnych poniżej zapory przepływowej zbiornika wodnego – określono, stosując kryterium hydrobiologiczne, ochrony obiektów przyrodniczych oraz metodę małopolską [WITOWSKI i in. 2001]. Według kryterium hydrobiologicznego, zalecanego Rozporządzeniem nr 4/2014 Dyrektora RZGW [2014], przepływ nienaruszalny (Q_{n_h}) jest określany w funkcji średniego niskiego przepływu (SNQ) wzorem:

$$Q_{n_h} = k \cdot SNQ \quad (1)$$

przy czym $Q_{n_h} > NNQ$

gdzie:

SNQ = średni niski przepływ w wieloleciu, $m^3 \cdot s^{-1}$;

NNQ = najniższy przepływ w wieloleciu, $m^3 \cdot s^{-1}$;

k = współczynnik zależny od reżimu rzeki i powierzchni zlewni.

Według kryterium ochrony obiektów przyrodniczych przepływ nienaruszalny uwzględnia zmienność sezonową przepływów wody w rzekach i jej wpływ na stosunki wodne obszarów siedliskowych roślin. Wyróżnia się cztery sezony hydrologiczne: zimę (XII–II), wiosnę (III–IV), lato (V–VIII) i jesień (IX–XI). Dolna wartość przepływu nienaruszalnego utożsamiana jest z najmniejszym przepływem dobowym w wieloleciu (NNQ), który może wystąpić w każdej porze roku, natomiast górna jest równa najwyższemu z niskich przepływów w sezonie (WNQ). Przyjmuje się, że spośród rozpatrywanych kryteriów obliczeń przepływów nienaruszalnych jest ono najmniej wymagające z hydrologicznego punktu widzenia. Z kolei metoda małopolska umożliwia obliczenie przepływu nienaruszalnego, którego wartość zapewnia odpowiednie warunki do życia ryb w rzece. Zgodnie z metodyką zaproponowaną przez KOSTRZEWĘ [1977] przepływ nienaruszalny oblicza się w odniesieniu do kolejnych miesięcy, zakładając stan ekologiczny na poziomie dobrym – SNQ_m lub umiarkowanym – $NNQ_m + \frac{SNQ_m - NNQ_m}{2}$.

gdzie:

SNQ_m = średni niski przepływ danego miesiąca w wieloleciu, $m^3 \cdot s^{-1}$;

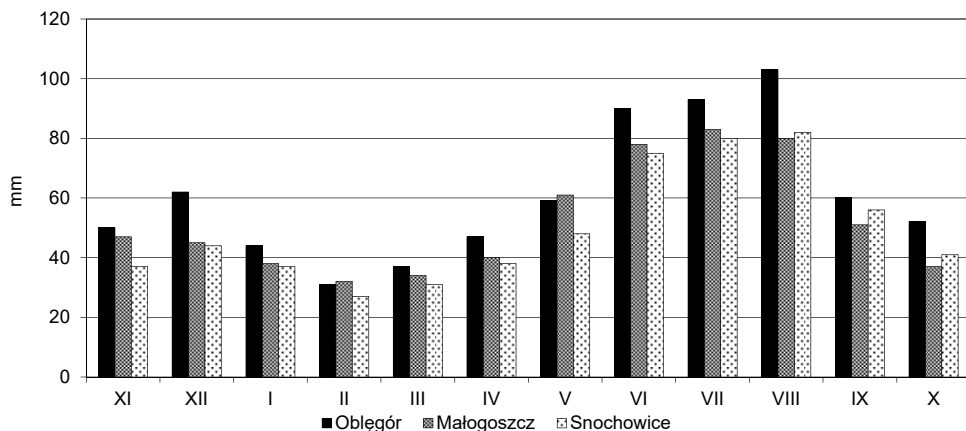
NNQ_m = najniższy przepływ danego miesiąca w wieloleciu, $m^3 \cdot s^{-1}$.

Na podstawie numerycznego modelu rzeźby dna planowanego zbiornika „Wierna Rzeka” opracowano krzywą batygraficzną, zwaną również krzywą powierzchni zalewu oraz krzywą pojemności zbiornika. Całkowanie powierzchni terenu przeprowadzono między izobatami w przedziałach co 4 cm, uwzględniając jednocześnie trzy poziomy piętrzenia, tj. normalny (NPP), maksymalny ($MaksPP$) i minimalny ($MinPP$). Umożliwiło to wyznaczenie objętości wody w warunkach rozpatrywanych poziomów piętrzenia, a także czas napełniania zbiornika.

WYNIKI

OPAD ATMOSFERYCZNY JAKO ELEMENT ZASILANIA ZLEWNI

Średnia suma roczna opadów na posterunkach opadowych w zlewni Łososiny w wieloleciu 1971–1990 była mało zróżnicowana i wynosiła 595 mm na posterunku w Snochowicach 592 mm, a w Małogoszczu – 626 mm. Znacznie wyższy średni roczny opad w Oblęgorze (728 mm) jest uwarunkowany lokalizacją tego posterunku na południowo-zachodnim skłonie Pasma Oblęgorskiego. Średnia obszarowa suma opadów w całej zlewni wynosiła 628,2 mm. Najwyższa zarejestrowana suma roczna opadów wystąpiła w 1974 r. w Oblęgorze i wynosiła 1010 mm, zaś najniższa – w 1984 r. w Snochowicach, gdzie spadło wówczas 424 mm opadu. W cyklu rocznym najwyższe opady na wszystkich posterunkach były w sierpniu (maks. – 103 mm w Oblęgorze). Udział opadów tego miesiąca w opadzie rocznym mieścił się w zakresie się od 13,7% w Snochowicach do 15,0% w Oblęgorze (rys. 3).



Rys. 3. Średnia miesięczna suma opadów w wieloleciu 1971–1990 na wybranych posterunkach opadowych w zlewni Łososiny; źródło: opracowanie własne

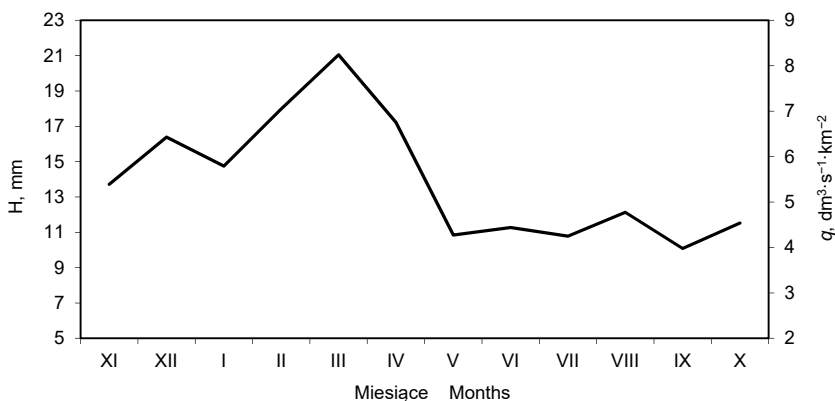
Fig. 3. Mean monthly precipitation total in period 1971–1990 at selected raingauges in the Łososina catchment; source: own elaboration

Ekstremalnie wysoką sumę miesięczną opadu zarejestrowano w sierpniu 1972 r. i wynosiła ona 268 mm (Oblęgor). W ciągu wielolecia, podczas kilku lat, opady w lipcu były wyższe niż w sierpniu (w latach 1973–1976, 1990). Miesiącem o najniższych opadach był luty, a jego udział w sumie rocznej nieznacznie zmieniał się w analizowanym wieloleciu – od 4,2% na posterunku Oblęgor do 4,5% w Snochowicach.

Znaczne różnice zaznaczyły się w wysokości opadów w latach tzw. suchych i mokrych, np. w Oblęgorze wynosiła ona 496 mm, a w Małogoszczu – 439 mm.

ODPŁYW RZECZNY

Średni roczny odpływ w wieloleciu w zlewni Łososiny osiągnął wartości 167,7 mm i $5,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Średni miesięczny odpływ był większy w półroczu zimowym niż w letnim. Jego maksimum w wieloleciu 1961–1995 przypadało na marzec (wiosenne roztopy) i wynosiło 21,0 mm ($8,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) – rysunek 4. Obserwowano wówczas największe zróżnicowanie wartości odpływu w cyklu rocznym. W półroczu letnim niewielkie maksimum odpływu odnotowano w sierpniu. Było ono związane z większym odpływem powierzchniowym, wywołanym opadami w tym okresie. Najniższe wartości odpływu w analizowanych zlewniach wystąpiły we wrześniu, co było efektem dużego jeszcze parowania, w warunkach stosunkowo małego już zasilania atmosferycznego.



Rys. 4. Odpływ w cyklu rocznym ze zlewni Łososiny w wieloleciu 1961–1995; H = warstwa odpływu, mm; q = odpływ jednostkowy, $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$; źródło: opracowanie własne

Fig. 4. Mean monthly runoff from Łososina catchment in 1961–1995; H = runoff volume, mm; q = specific runoff, $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$; source: own elaboration

Istotną charakterystyką hydrologiczną z użytecznego punktu widzenia jest współczynnik odpływu (α). Informuje on, jaka część wody opadowej odpłynęła z obszaru zlewni w danym okresie. Największe jego wartości w analizowanym przekroju wystąpiły wiosną i związane były z wprowadzaniem do obiegu wody pochodzącej z tajania pokrywy śnieżnej, w warunkach niskiej sumy opadów w tym czasie. Średnie roczne wartości α wynosiły tu ok. 27%.

PRZEPIŁY CHARAKTERYSTYCZNE

Średni roczny przepływ w zlewni zbiornikowej w wieloleciu 1961–1995 osiągnął $0,808 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (tab. 1). Maksymalny przepływ w przekroju zapory określono na

17,5 m³·s⁻¹ (w wieloleciu 1961–1995), co odpowiadało odpływowi ok. 117 dm³·s⁻¹ z każdego kilometra kwadratowego odwadnianej powierzchni. Współczynnik nieregularności średnich rocznych przepływów wyniósł 3,2, co oznacza ponad trzykrotną różnicę średnich rocznych przepływów, które mogą wystąpić z roku na rok. Średni roczny przepływ nienaruszalny wyznaczony wg kryterium hydrobiologicznego (Q_n) w przekroju projektowanej zapory osiąga 0,528 m³·s⁻¹ (tab. 2).

Tabela 1. Charakterystyczne przepływy Łososiny Q oraz odpływy jednostkowe q z jej zlewni po przekrój zapory zbiornika wodnego „Wiarna Rzeka” w wieloleciu 1961–1995

Table 1. Characteristic flows Q in the Łososina River and specific runoff q in Łososina catchment upstream of the cross-section of the designed dam of the “Wiarna Rzeka” Reservoir

Charakterystyka Characteristic	Q m ³ ·s ⁻¹	q dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²
NNQ/NNq	0,050	0,3
SNQ/SNq	0,414	2,8
SSQ/SSq	0,808	5,4
SWQ/SWq	2,010	13,4
WWQ/WWq	17,455	116,7

Objaśnienia: NNQ/NNq = najmniejszy przepływ/odpływ jednostkowy z wielolecia; SNQ/SNq = średni z najmniejszych przepływów/odpływów jednostkowych z wielolecia; SSQ/SSq = średni ze średnich rocznych przepływów/odpływów jednostkowych z wielolecia; SWQ/SWq = średni z największych rocznych przepływów/odpływów jednostkowych z wielolecia; WWQ/WWq = największy przepływ/odpływ jednostkowy z wielolecia.

Explanations: NNQ/NNq = minimum annual flow/specific runoff; SNQ/SNq = average of minimal annual flow/specific runoff; SSQ/SSq = average annual flow/specific runoff; SWQ/SWq = average of maximal annual flow/specific runoff; WWQ/WWq = maximum annual flow/specific runoff.

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Tabela 2. Przepływy nienaruszalny Q_n (m³·s⁻¹) w Łososinie w przekroju zapory zbiornika wodnego „Wiarna Rzeka” obliczony wg kryterium hydrobiologicznego – w cyklu rocznym (na podstawie wielolecia 1961–1995)

Table 2. Environmental flow Q_n (m³·s⁻¹) of Łososina River in the cross section of the dam “Wiarna Rzeka” according to the hydro-biological criterion – annual cycle (period 1961–1995)

Q_n w miesiącu Q_n in month												Q_n w roku Q_n in year
XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
0,665	0,615	0,496	0,604	0,619	0,590	0,447	0,423	0,420	0,432	0,476	0,545	0,528

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Łososinę zakwalifikowano do rzek przejściowych i podgórskich o powierzchni zlewni poniżej 500 km², zatem w obliczeniach przepływu nienaruszalnego przyjęto współczynnik $k = 1,27$ (zależny od reżimu rzeki i powierzchni zlewni). Przeprowadzone szczegółowe analizy w cyklu rocznym wykazały, że najmniejsze dobowe

wartości przepływu nienaruszalnego obliczonego tą metodą w roku przeciętnym wystąpią w miesiącach letnich (czerwiec – $0,423 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, lipiec – $0,420 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, sierpień – $0,432 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Są one jednak wystarczające do zapewnienia wówczas odpowiednio wysokich stanów wody zarówno w kanale obiegowym, jak i w zbiorniku wodnym.

Dolna dopuszczalna wartość przepływu nienaruszalnego, określonego zgodnie z zasadami kryterium ochrony obiektów przyrodniczych (Q_{nop} , w $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) dla Łososiny w poszczególnych sezonach, kształtuje się następująco: zima – 0,050, wiosna i lato – 0,085, jesień – 0,105.

Uzyskane wyniki metodą małopolską wskazują, że przepływ nienaruszalny poniżej zbiornika wodnego w każdym miesiącu, nawet w warunkach założonego dobrego stanu ekologicznego cieką jest znacznie mniejszy od obliczonego metodą hydrobiologiczną (tab. 3).

Tabela 3. Przepływy nienaruszalne Q_{n_m} ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) w Łososinie w przekroju zapory zbiornika wodnego „Wiarna Rzeka” określone metodą małopolską (na podstawie wielolecia 1961–1995)

Table 3. Environmental flow Q_{n_h} ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) of Łososina River in the cross section of the dam “Wiarna Rzeka” the Małopolska method (period 1961–1995)

Założony stan ekologiczny cieką Ecological state of stream	Q_{n_m} w miesiącu Q_{n_m} in month												Q_{n_m} w roku Q_{n_m} in year
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Dobry Good	0,52	0,48	0,39	0,48	0,49	0,46	0,35	0,33	0,33	0,34	0,37	0,43	0,42
Umiarkowany Moderate	0,37	0,33	0,22	0,30	0,32	0,32	0,22	0,21	0,22	0,22	0,24	0,28	0,27

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Zatem zasoby wodne Łososiny w całym cyklu rocznym są wystarczające do zapewnienia funkcjonowania zbiornika wodnego oraz życia flory i fauny w kanale obiegowym i korycie poniżej zapory. Do rozwiązania pozostaje jedynie problem hydrotechniczny rozdziału części wody skierowanej do misy zbiornika i kanału.

JAKOŚĆ WÓD ŁOSOSINY

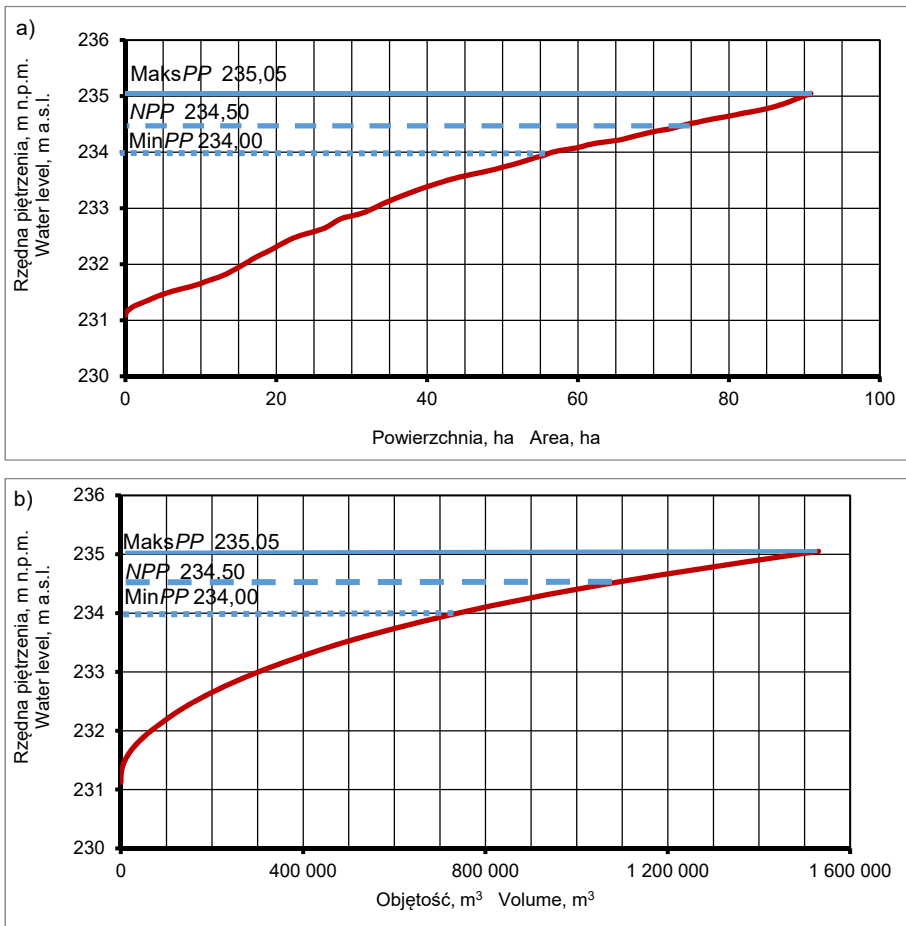
Kluczowe znaczenie na etapie projektowania zbiornika wodnego jest rozpoznanie i analiza stanu jakości wód do niego dopływających. Aktualnie obowiązujący system klasyfikacji jakości wód dotyczy wyodrębnionych odcinków rzek, tzw. jednolitych części wód powierzchniowych (JCWP) [Rozporządzenie MŚ... 2016]. W 2012 r. wyodrębniono JCWP po przekroju pomiarowo-kontrolny Fanisławiczki (w 16,0 km biegu rzeki Łososiny) i kontrolowano tylko poziom zanieczyszczeń

substancjami priorytetowymi oraz specyficznymi zanieczyszczeniami syntetycznymi i niesyntetycznymi [WIOŚ 2013]. Potencjał ekologiczny jednolitej części wód powierzchniowych JCWP PLRW20005216292 – „Wierna Rzeka od źródeł do Kalisza”, o statusie: silnie zmieniona część wód, został sklasyfikowany w latach 2014 i 2015 jako dobry i powyżej dobrego. Taki stan wyróżniał rzekę Łososinę na tle pozostałych rzek województwa świętokrzyskiego, bowiem jedynie 7 uzyskało taką ocenę, w 2014 r. na 50 punktów pomiarowych, a w 2015 r. na 52 punkty. W zakresie „oceny dziedziczone” w analizowanym przekroju uzyskano wynik dobry, na co składały się oceny fitobentosu (wskaźnik okrzemkowy *IO*), makrofitów (makrofitowy indeks rzeczny *MIR*) i makrobezkręgowców bentosowych (indeks *MMI*). Zgodnie z klasyfikacją elementów biologicznych i hydromorfologicznych stan Łososiny w analizowanym przekroju w latach 2012, 2014 i 2015 był dobry i powyżej dobrego [WIOŚ 2013; 2015; 2016]. Natomiast wszystkie badane wskaźniki fizykochemiczne nie przekraczały wówczas norm dla klas I–II. Stężenie badanych substancji z grupy specyficznych zanieczyszczeń syntetycznych i niesyntetycznych: chromu (VI), cynku i miedzi nie przekraczało wówczas wartości granicznych dla klasy II. Elementom hydromorfologicznym w 2012 r. silnie zmienionej JCWP przypisano II klasę potencjału ekologicznego, podobnie jak 2 lata później. Stan chemiczny analizowanej części wód w latach 2014 i 2015 był dobry, podobnie jak w roku 2012. Oceniony był on wówczas na niskim poziomie ufności, co wynikało z uwzględnienia jedynie kilku elementów chemicznych: benzo(a)pirenu oraz sumy benzo(b)fluorantenu i enzo(k)fluorantenu. Należy zaznaczyć, że na podstawie badanych corocznie w latach 2010–2012 substancji z grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA): benzo(a)piren, benzo(b)fluoranten oraz benzo(k)fluoranten nie odnotowano przekroczeń wartości granicznych dla stanu dobrego. Ocena wymagań w odniesieniu do obszaru chronionego w latach 2014 i 2015 wskazuje, że omawiana jednolita część wód spełnia stawiane wymogi pod kątem bytowania ryb w warunkach naturalnych (T), a obszary chronione są tu wrażliwe na eutrofizację wywołaną zanieczyszczeniami pochodzącymi ze źródeł komunalnych (MOEU), głównie ze wsi nieobjętych kanalizacją sanitarną (np. Snochowice i Grzymałków).

Należy jednak zauważyć, że zbiornik wodny podczas funkcjonowania bardzo intensywnie zmienia jakość retencjonowanej wody, m.in. generuje powstawanie związków organicznych i zmniejsza ładunek mineralnych form biogenów. Wzrost temperatury wody, wynikający z dużej powierzchni lustra wody, niewielkiej średniej głębokości zbiornika (1,48 m), małego zacienienia, zmniejszenia tempa przepływu i turbulencji, a w konsekwencji słabszego natlenienia, może spowodować rozwój fitoplanktonu i tzw. zakwity wód. Podwyższoną temperaturę wody w małych i płytkich przepływowych zbiornikach wodnych (w Głuchowie oraz w Rządzy) potwierdzają badania ŁASZEWSKIEGO [2015], a poniżej zbiorników – WIATKOWSKIEGO [2008] i CIUPY [2009].

POJEMNOŚĆ I CZAS NAPEŁNIANIA PROJEKTOWANEGO ZBIORNIKA

Na etapie projektowania zbiornika wodnego istotne jest wyznaczenie jego pojemności i określenie optymalnego terminu rozpoczęcia jego napełniania, a w konsekwencji – czasu trwania tego procesu. Pojemność planowanego zbiornika dla określonej rzędnej terenu określono metodą krzywej batygraficznej i pojemnościowej (rys. 5). Powierzchnia lustra wody w warunkach MaksPP wynosi – 90,67 ha, a w warunkach NPP – 74,17 ha, przy zróżnicowanym przebiegu linii brzegowej, zwłaszcza w górnej części zbiornika. Pojemność zbiornika napełnionego do ww. poziomów piętrzenia kształtuje się odpowiednio: 1 531 000 m³ i 1 096 000 m³ wody.



Rys. 5. Krzywa batygraficzna (a) oraz krzywa pojemności (b) planowanego zbiornika wodnego „Wierna Rzeka”; źródło: wyniki własne

Fig. 5. Bathymetric curve (a) and capacity curve (b) of the designed “Wierna Rzeka” Reservoir; source: own study

Uzyskane wyniki wskazują, że rezerwa powodziowa wyniesie ponad 430 tys. m³, co umożliwiłoby przejście w całości dużej fali wezbraniowej. Największa głębokość w obrębie planowanego zbiornika będzie zlokalizowana przy zaporze i w warunkach MaksPP osiągnie 3,9 m.

Opracowany materiał dokumentacji hydrologicznej i kartograficznej wykorzystano do określenia czasu napełniania zbiornika. W każdym miesiącu obliczono dobowe przepływy dyspozycyjne (ΔQ), a na ich podstawie objętość wody możliwą do wykorzystania podczas napełniania zbiornika (tab. 4). W obliczeniach przyjęto przepływ nienaruszalny na poziomie najbardziej restrykcyjnym (największy określony spośród wszystkich analizowanych), tj. wg kryterium hydrobiologicznego. Przeprowadzona analiza wykazała, że najkrótszy czas napełniania zbiornika „Wierna Rzeka” do normalnego poziomu piętrzenia ($NPP = 234,50$ m n.p.m.) byłby w marcu i wyniósłby 21 dni. Rozpoczęcie napełniania misy zbiornika do NPP np. od 1 kwietnia trwałoby 32 dni, a od 1 czerwca – 59 dni. Szczególnie niekorzystny okres napełniania przypada na miesiące jesienne. Rozpoczęcie zasilania zbiornika od 1 września trwałoby 76 dni (do NPP) i 96 dni (MaksPP). W przedstawionych wyżej wynikach nie uwzględniono strat początkowych związanych z przesiąkaniem i parowaniem ze swobodnej, powiększającej się powierzchni lustra wody oraz ewentualną pokrywą lodową w miesiącach zimowych.

Tabela 4. Miesięczne charakterystyki hydrologiczne niezbędne do obliczenia czasu napełnienia planowanego zbiornika wodnego „Wierna Rzeka”

Table 4. Average hydrological characteristics necessary to calculate the filling time of the planned “Wierna Rzeka” Reservoir

Charakterystyka Characteristics	Wartość w miesiącu Value in month											
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
$SSQ, m^3 \cdot s^{-1}$	0,792	0,946	0,851	1,038	1,215	0,993	0,626	0,650	0,622	0,700	0,582	0,665
$Q_{nh}, m^3 \cdot s^{-1}$	0,665	0,615	0,496	0,604	0,619	0,590	0,447	0,423	0,420	0,432	0,476	0,545
$\Delta Q = SSQ - Q_{nh}$ $m^3 \cdot s^{-1}$	0,126	0,330	0,355	0,434	0,595	0,403	0,179	0,227	0,203	0,268	0,106	0,121
t_d, s	86 400											
$\Delta M_d = \Delta Q \cdot t_d$ tys. m ³ · doba ⁻¹ thous. m ³ · day ⁻¹	10,9	28,6	30,7	37,5	51,4	34,9	15,5	19,6	17,5	23,2	9,2	10,4
t_m, dni days	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31
$\Delta M_m = \Delta Q \cdot t_m$ mln m ³ · miesiąc ⁻¹ million m ³ · month ⁻¹	0,328	0,885	0,952	1,050	1,594	1,046	0,479	0,589	0,543	0,719	0,275	0,323

Objaśnienia: SSQ = średni przepływ, Q_{nh} = przepływ nienaruszalny, ΔQ = przepływ dyspozycyjny, t_d = liczba sekund w ciągu doby, t_m = liczba dni w miesiącu, ΔM_d = średnia dobowo objętość odpływu, ΔM_m = średnia miesięczna objętość odpływu.

Explanations: SSQ = mean flow, Q_{nh} = environmental flow, ΔQ = available flow, t_d = number of seconds per day, t_m = number of days in a month, ΔM_d = mean daily runoff volume, ΔM_m = mean monthly runoff volume.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Obliczony czas napełniania planowanego zbiornika wodnego, nawet w najbardziej niekorzystnym okresie, będzie stosunkowo krótki. Wydłużenie tego czasu nawet o miesiąc nie będzie miało większego znaczenia w aspekcie funkcjonowania. Udokumentowane zasoby wodne zlewni Łososiny są na tyle wystarczające, że w jej środkowej części może funkcjonować zbiornik o zaproponowanej powierzchni i pojemności.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W środkowej części zlewni Łososiny projektowany jest zbiornik wodny „Wierna Rzeka” o powierzchni zalewu 74,17 ha, pojemności ok. 1,1 mln m³ wody w warunkach normalnego poziomu piętrzenia. Szczegółowa analiza hydrologiczna przeprowadzona w odniesieniu do zlewni Łososiny po przekrój zapory (o powierzchni 149,7 km²) wykazała, że:

- średni roczny przepływ osiągnął 0,808 m³·s⁻¹, najniższy – 0,050 m³·s⁻¹, a najwyższy – 17,45 m³·s⁻¹.
- średnia roczna wartość odpływu jednostkowego wynosi 5,4 dm³·s⁻¹·km⁻² (maksymalny – 116,7 dm³·s⁻¹·km⁻²), a współczynnika odpływu – 27%;
- reżim przepływu Łososiny można określić jako złożony, z dwoma maksimami w ciągu roku (wiosenne: marzec i letnie: sierpień) oraz minimum we wrześniu;
- przepływy nienaruszalne, obliczone różnymi metodami, wskazują jednoznacznie na wystarczające w ciągu całego roku zasoby wód do utrzymania życia w wodach Łososiny poniżej zapory zbiornika w trakcie jego funkcjonowania; przyjmując najbardziej restrykcyjne kryterium hydrobiologiczne, otrzymano wartości: średnią roczną – 0,528 m³·s⁻¹, miesięczne od 0,420 m³·s⁻¹ (lipiec) do 0,665 m³·s⁻¹ (listopad);
- napełnianie misy zbiornika, z zachowaniem przepływów nienaruszalnych, trwałoby najkrócej wiosną – 21 dni (marzec), a najdłużej w miesiącach jesiennych – 96 dni (wrzesień–grudzień);
- rezerwa powodziowa w warunkach założonych parametrów zbiornika wyniesie ok. 435 tys. m³, co umożliwi przejście w całości fali wezbraniowej wywołanej kilkugodzinnymi opadami ulewnymi;
- stan jakościowy i ekologiczny wód rzeki Łososiny nie wskazuje na zagrożenia w funkcjonowaniu planowanego zbiornika wodnego „Wierna Rzeka”.

Ostatecznie można stwierdzić, że zasoby wód płynących w zlewni Łososiny są wystarczające do prawidłowego funkcjonowania planowanego zbiornika.

BIBLIOGRAFIA

- BIERNAT T. 1985. Areas supplying weathered material and the mechanism of transportation of the suspended material in the Łososina catchment area (Holy Cross Mountain, central Poland). *Quaestiones Geographicae*. No. 1 s. 61–73.
- BIERNAT T., CIUPA T., SULIGOWSKI R. 2004a. Mapa hydrograficzna w skali 1:50 000. Ark. M-34-41-B Piekoszów [Hydrographic map in the scale 1:50 000, sheet M-34-41-B Piekoszów]. Warszawa. GUGiK.
- BIERNAT T., CIUPA T., SULIGOWSKI R. 2004b. Mapa hydrograficzna w skali 1:50 000. Ark. M-34-29-D Radoszyce [Hydrographic map in the scale 1:50 000, sheet M-34-29-D Radoszyce]. Warszawa. GUGiK.
- BIERNAT T., CIUPA T., SULIGOWSKI R. 2009. Przyrodnicze i antropogeniczne uwarunkowania lokalizacji zbiorników małej retencji w Górach Świętokrzyskich. W: *Przeobrażenia stosunków wodnych w warunkach zmieniającego się środowiska* [The natural and anthropogenic conditions of localization of pondage reservoirs in the Holy Cross Mountains. In: Transformation of the water relationships in changing environment conditions]. Pr. zbior. Red. A.T. Jankowski, D. Absalon, R. Machowski, M. Ruman. Sosnowiec. WNoZ UŚ – PTG – RZGW w Gliwicach s. 45–58.
- BIEROŃSKI J. 2005. Zbiorniki małej retencji – problemy funkcjonowania [Small retention ponds and reservoirs – the problems of functioning]. *Problemy Ekologii Krajobrazu*. Vol. 17 s. 101–110.
- CHOIŃSKI A. 2007. *Limnologia fizyczna Polski* [Physical limnology of Poland]. Poznań. UAM. ISBN 978-83-232185-3-1 ss. 547.
- CIUPA T. 1991. Współczesny transport fluwialny w zlewni Białej Nidy [Contemporary fluvial transport in the Biała Nida drainage area]. Kielce. WSP ss. 150.
- CIUPA T. 2009. Wpływ zagospodarowania terenu na odpływ i transport fluwialny w małych zlewniach na przykładzie Sufragańca i Silnicy (Kielce) [The impact of landuse on runoff and fluvial transport in small river catchments. Based on the Sufraganiec and Silnica rivers (Kielce)]. Kielce. UJK. ISBN 978-83-7133-409-2 ss. 250.
- CIUPA T., SULIGOWSKI R. 2015. Hydrological conditions of the Pietraszki water reservoir designed for the River Sufraganiec (Kielce). *Limnological Review*. Nr 4 s. 145–154.
- CIUPA T., SULIGOWSKI R. 2017. Analiza środowiska wodnego gminy na podstawie mapy hydrograficznej w skali 1:50 000 na przykładzie gminy Piekoszów w województwie świętokrzyskim [Analysis of commune's water environment based on the hydrographic map in 1:50 000 scale – on example of the Piekoszów Commune in Świętokrzyskie Voivodeship]. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. Z. 3(59) s. 11–28.
- DUDZIŃSKA A., SZPAKOWSKA B., SZUMIGAŁA P. 2016. Zbiorniki i ciekii wodne w krajobrazie rolniczym [Changes in the numbers of ponds and watercourses in agricultural landscape]. *Więś i Rolnictwo*. Nr 2(171) s. 199–210. DOI 10.7366/wir022016/09.
- JANKOWIAK J., BIEŃKOWSKI J. 2011. Kształtowanie i wykorzystanie zasobów wodnych w rolnictwie [Managing and utilisation of water resources in agriculture]. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr 5 s. 39–48.
- KARDEL I., KUPCZYK P., MIODUSZEWSKI W., MITRASZEWSKA-OSTAPOWICZ A., OKRUSZKO T., PCHALEK M. 2011. Mała retencja – planowanie, realizacja, eksploatacja. *Poradnik Polskiego Komitetu Globalnego Partnerstwa dla Wody* [Small retention. Planning – Implementation – Operation. Guidance of Polish Committee of the Global Water Partnership]. Warszawa. BIGRAF. ISBN 83-923215-3-7 ss. 86.
- KOSTRZEWA H. 1977. Weryfikacja kryteriów i wielkości przepływu nienaruszalnego dla rzek Polski [Verification of the criteria and volume of environmental flow for Polish rivers]. *Materiały Badawcze IMGW. Ser. Gospodarka Wodna i Ochrona Wód* ss. 207.

- KOWALEWSKI Z. 2003. Wpływ retencjonowania wód powierzchniowych na bilans wodny małych zlewni rolniczych [The effect of surface retention on the water balance of small agricultural catchments]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozprawy Naukowe i Monografie. Nr 6. ISBN 83-88763-31-8 ss. 126.
- KOWALEWSKI Z. (red.) 2014. Metody retencjonowania wody na obszarach rolniczych i warunki ich stosowania [Methods of water retention in rural areas and their conditions of use]. Falenty. Wydaw. ITP. ISBN 978-83-62416-82-0 ss. 162.
- KUPCZYK E., BIERNAT T., CIUPA T., KASPRZYK A., SULIGOWSKI R. 1994. Zasoby wodne dorzecza Nidy [Water resources in the Nida drainage basin]. Kielce. WSP. ISBN 83-7133-017-0 ss. 175.
- ŁASZEWSKI M. 2015. Wpływ niewielkich zbiorników na temperaturę wody rzek nizinnych na przykładzie Jeziorki i Rządzy [The influence of small reservoirs on lowland stream water temperature on the example of Jeziorka and Rządza rivers]. Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska. Nr 67 s. 13–25.
- MADEYSKI M., MICHAŁEC B., TARNAWSKI M. 2008. Zamulanie małych zbiorników wodnych i jakość osadów dennych [Silting of small water reservoirs and quality of sediments]. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Ser. Monografia. Vol. 11 ss. 77.
- MADEYSKI M., TARNAWSKI M. 2006. Ocena stanu ekologicznego osadów dennych wybranych małych zbiorników wodnych [Evaluation of the ecological state of bottom sediments in chosen small water reservoirs]. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 4/3 s. 107–116.
- MIODUSZEWSKI W. 2004. Gospodarowanie zasobami wodnymi w aspekcie wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich [Water resources management in view of multifunctional development of rural areas]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 4. Z. 1(10) s. 11–29.
- MIODUSZEWSKI W. 2008. Małe zbiorniki wodne. Wytyczne projektowania [Small water reservoirs. Design guidelines]. Materiały Instruktażowe. Procedury. Nr 127/11. Falenty. Wydaw. IMUZ. ISBN 978-83-88763-93-9 ss. 30.
- MIODUSZEWSKI W. 2014. Small (natural) water retention in rural areas. Journal of Water and Land Development. No. 20 p. 19–29. DOI <https://doi.org/10.2478/jwld-2014-0005>.
- MROZIK K., PRZYBYŁA C. 2013. Mała retencja w planowaniu przestrzennym [Small retention in spatial planning]. Poznań. WFOŚiGW. ISBN 978-83-64246-06-7 ss. 216.
- OLSZEWSKA B., NOWICKA E. 2016. Możliwość retencjonowania wody w nizinnej zlewni ciekłu Jeziorka [The possibility of water retention in a lowland Jeziorka stream catchment]. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Nr 1 s. 5–15. DOI 10.14597/infraeco.2016.1.1.001.
- PRZYBYŁA CZ., SOJKA M., MROZIK K., WRÓŻYŃSKI R., PYSZNY K. 2015. Metodyczne i praktyczne aspekty planowania małej retencji [Methodical and practical aspects of small water retention planning]. Poznań. Bogucki Wydaw. Nauk. ISBN 978-83-7986-057-9 ss. 204.
- RADECKI-PAWLIK A., KAPUSTA A. 2006. Mała retencja wodna i jej znaczenie [Small water retention and its significance]. Aura. Nr 3 s. 32–33.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 lipca 2016 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych. [Regulation of the Minister of the Environment of July 21, 2016 on the method of classification of the state of surface water bodies and environmental quality standards for priority substances]. Dz.U. 2016 poz. 1187.
- Rozporządzenie nr 4 Dyrektora RZGW w Krakowie z 16 stycznia 2014 r. w sprawie warunków korzystania z wód regionu wodnego Górnej Wisły [Regulation No. 4 of the Director of RZGW in Krakow of January 16, 2014 on the conditions of using the waters of the Upper Vistula water region].
- SIEMIENIUK A., SZCZYKOWSKA J., MIŁASZEWSKI R. 2015. Ekonomiczne i ekologiczne aspekty budowy i funkcjonowania małej retencji wodnej na Podlasiu [Economic and ecological aspects of the construction and operation of small water retention in Podlasie]. Ekonomia i Środowisko. Nr 2(53) s. 103–111.

- STAŃCZUK-GAŁWIACZEK M. 2016. Planowanie małej retencji wodnej w procesie scalenia gruntów na obszarach wiejskich [Small water retention planning in land consolidation projects for rural areas]. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. T. 16. Z. 1(53) s. 55–69.
- SULIGOWSKI R., KUPCZYK E., KASPRZYK A., KOŚLACZ R. 2009. Woda w środowisku przyrodniczym i jej zagospodarowanie w województwie świętokrzyskim [Water in the natural environment and its management in the Świętokrzyskie Voivodeship]. Kielce. Instytut Geografii UH-P. ISBN 978-83-6002-628-1 ss. 131.
- SYMONIDES E. 2010. Znaczenie powiązań ekologicznych w krajobrazie rolniczym [The role of ecological interactions in the agricultural landscape]. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. Z. 4 s. 249–263.
- SZCZYKOWSKA J. 2009. Occurrence of elements contaminating the low-retention reservoirs on agricultural areas. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 3 s. 75–80.
- SZCZYKOWSKA J., SIEMIENIUK A. 2011. Znaczenie zbiorników retencyjnych na terenach rolniczych oraz jakość ich wód [Importance of retention reservoirs in rural areas and their waters' quality]. *Inżynieria Ekologiczna*. Nr 26 s. 103–111.
- ŚZMiUW 2006. Program małej retencji dla województwa świętokrzyskiego [Small water retention program for the świętokrzyskie voivodeship]. Kielce. Świętokrzyski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych ss. 206.
- TARNAWSKI M., MICHAŁEC B. 2006. Charakterystyka ilościowa i jakościowa osadów dennych zbiornika wodnego w Wilczej Woli [The quantitative and qualitative characteristics of bottom deposits in water reservoir at Wilcza Wola]. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Vol. 3/1 s. 31–43.
- WIATKOWSKI M. 2008. Wyniki badań jakości wody dopływającej i odpływającej z małego zbiornika wodnego Młyny na rzece Julianpolka [Quality study results of water inflowing and outflowing from small water reservoir Młyny on river Julianpolka]. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*. Nr 9 s. 297–318.
- WIOŚ 2013. Stan środowiska w województwie świętokrzyskim w latach 2011–2012. Raport [The state of the environment in the Świętokrzyskie province in 2011–2012. Report]. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Kielce. ISBN 978-83-85953-00-5 ss. 136.
- WIOŚ 2015. Wyniki klasyfikacji i oceny stanu wód powierzchniowych w woj. świętokrzyskim w roku 2014 [Results of classification and evaluation of surface water in the Świętokrzyskie province in 2014]. Kielce ss. 4.
- WIOŚ 2016. Stan środowiska w województwie świętokrzyskim. Raport 2015 [The state of the environment in the Świętokrzyskie province. 2015 Report]. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Kielce. ISBN 83-85953-14-0 ss. 171.
- WITOWSKI K., FILIPKOWSKI A., GROMIEC M. 2001. Obliczanie przepływu nienaruszalnego [Valuation of environmental flow]. Warszawa. IMGW. ISBN 978-83-8517-682-4 ss. 150.

Tadeusz CIUPA, Roman SULIGOWSKI

HYDROLOGICAL ASPECTS OF THE DESIGNED “WIERNA RZĘKA” RESERVOIR (PRZEDBÓRZ UPLAND), POLAND

Key words: *Łososina River, small water retention, water reservoir, water resources*

S u m m a r y

“Wierna Rzeka” water reservoir is designed in the middle part of the Łososina River catchment, in the Łopuszno Hills physiographic mesoregion. The area of the planned reservoir catchment is 149.7 km², and the area of its surface at the normal water level (NPP) will reach 0.74 km². Under those conditions water volume is designed to be about 1.1 million m³, and the reservoir’s maximum depth – 3.9 m.

The hydrological characteristics of the reservoir catchment were compiled on the basis of data from the Institute of Meteorology and Water Management (Łososina River, cross-section Bocheniec, 1961–1995) using the method of hydrological analogy. The high resolution digital elevation model made with Airborne Laser Scanning technique allowed to determine the course of the reservoir shoreline and to develop the bathymetric and capacity curves.

The calculated characteristics included the mean annual values of specific runoff (5.4 dm³·s⁻¹·km⁻²), runoff coefficient (27%), specific discharge and the filling time. The analysis also concerned the flow regime and the environmental flow, which was calculated with the use of three different methods. The performed research showed that the Łososina River water resources are enough to fill the designed “Wierna Rzeka” Reservoir (depending on the season it will take from 22 to 96 days), even when applying the most restrictive criteria of environmental flow calculation. The ecological quality of the Łososina water in 2015 did not show any significant environmental threats in terms of physicochemical, hydromorphological and biological criteria and therefore Łososina River water quality is enough for proper functioning of the planned reservoir.

Adres do korespondencji: dr hab. Tadeusz Ciupa, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Zakład Hydrologii i Geoinformacji, Instytut Geografii, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce; e-mail: tadeusz.ciupa@ujk.edu.pl