

Robert Głowski, Robert Kasperek, Włodzimierz Parzonka

**WSTĘPNA ANALIZA WARUNKÓW ZAMULANIA
ZBIORNIKA OTMUCHÓW ZLOKALIZOWANEGO
NA OBSZARZE PODGÓRSKIM**

***THE PRELIMINARY ANALYSIS
OF SILTING CONDITIONS
OF THE STORAGE RESERVOIR OTMUCHÓW
LOCALISED IN UPLAND REGION***

Streszczenie

Autorzy przeprowadzili wstępną analizę warunków zamulania zbiornika Otmuchów. Specyfiką tego zbiornika jest jego położenie geograficzne w zlewni oraz pełnione funkcje. Kaskada zbiorników Nysa-Otmuchów położona jest w środkowym odcinku doliny rzeki Nysy Kłodzkiej w południowo-zachodnim, podgórskim rejonie województwa opolskiego. Przeanalizowano ogólną charakterystykę ilości rumowiska dostarczanego do zbiornika i cechy fizyczne osadów z różnych stref tego zbiornika. Przeanalizowano również warunki zamulania zbiornika i zmiany jego pojemności w czasie.

Słowa kluczowe: proces zamulania, zbiorniki wodne, transport rumowiska

Summary

The authors performed the preliminary analysis of the silting conditions of the reservoir Otmuchów. The specific of this reservoir is its geographic localization in catchment and hydrotechnic functions. The reservoir Otmuchów-Nysa cascade is localized in the middle sector of the Nysa Kłodzka river in south-west, upland region of the Opole District. The main characteristic of the amount of sediments settled in the reservoir, the physical sediment properties for different reservoir zones are presented. The authors have also analyzed the silting conditions in this reservoir, and the changes of the reservoir capacity.

Key words: silting process, storage reservoirs, sediment transport

KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA ZBIORNIKÓW

Pradolina Nysy Kłodzkiej na odcinku od Paczkowa do Nysy tworzy płaskodenne Obniżenie Otmuchowskie, w którym usytuowane są dwa zbiorniki wodne Otmuchów i Nysa, tworzące od 1972 roku kaskadę. Dolina Nysy Kłodzkiej w tym rejonie jest rynną wciętą na głębokość 20–50 m w osady trzeciorzędowe na długości ok. 20 km i szerokości 1–3 km, wypełnioną osadami czwartorzędu. Maksymalna miąższość czwartorzędu, podobnie jak deniwelacje dna rynnę dochodzą do kilkunastu metrów. Powierzchnia zlewni Nysy Kłodzkiej do przekroju zapory zbiornika Otmuchów wynosi 2352 km², a do przekroju zapory zbiornika Nysa 3253 km². Zlewnia różnicowa wynosi więc 901 km².

Pierwszym historycznie powstałym w tym rejonie zbiornikiem (rys. 1), jest oddany do eksploatacji w 1933 roku zbiornik Otmuchów. Zapora zamykająca jego czaszę położona jest w km 74.8 rzeki Nysy Kłodzkiej. Ten wielozadaniowy zbiornik został zaprojektowany do pełnienia następujących funkcji:

- przeciwpowodziowej,
- zasilania Odry swobodnie płynącej w wodę podczas niżówek (poniżej ostatniego stopnia piętrzącego w Brzegu Dolnym),
- energetycznej,
- gospodarki rybackiej.

Do 1953 r. rzeka Odra zasilana była w sposób falowy. Od 1953 r. przyjęto zasadę ciągłego jej zasilania w okresie niżówek. Na rysunku 1 pokazano plan sytuacyjny zbiornika z 1933 r. (stan wyjściowy), a na rysunku 2 jego mapę satelitarną z wiosny 2009 roku. Z punktu widzenia przedmiotowej analizy na uwagę zasługuje położenie zwierciadła wody w zbiorniku Otmuchów zarejestrowane kamerą satelity w 2009 r. Według Monografii z 1980 roku, zbiornik Otmuchów ma następujące główne parametry, ważne z punktu widzenia procesu zamulania:

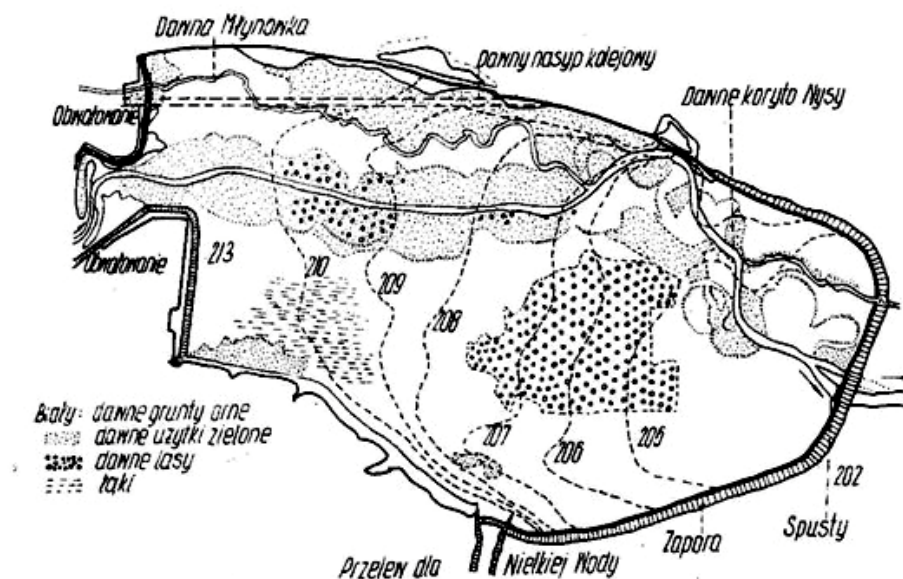
- maksymalna długość zbiornika 7 km,
- zmienna szerokość czaszy zbiornika od 2 do 3.8 km,
- powierzchnie zalewu w funkcji rzędnej piętrzenia:
 - 2058 ha dla rzędnej 215.0,
 - 1855 ha dla rzędnej 213.0,
 - 1743 ha dla rzędnej 212.0,
 - 1568 ha dla rzędnej 211.0,
 - 1368 ha dla rzędnej 210.0.

Zapora zbiornika Otmuchów wyposażona jest w 6 upustów dennych, zlokalizowanych pod zaporą czołową o łącznym wydatku 510 m³/s. Rzędna dna zbiornika wynosi 202,00; natomiast dół przewodów zrzutowych położony jest na rzędnej 198,00. Zlokalizowana na zbiorniku elektrownia wodna ma zainstalowane turbiny o przepłyku $2 \times 21,5 \text{ m}^3/\text{s} = 43 \text{ m}^3/\text{s}$. Przelew powodziowy poło-

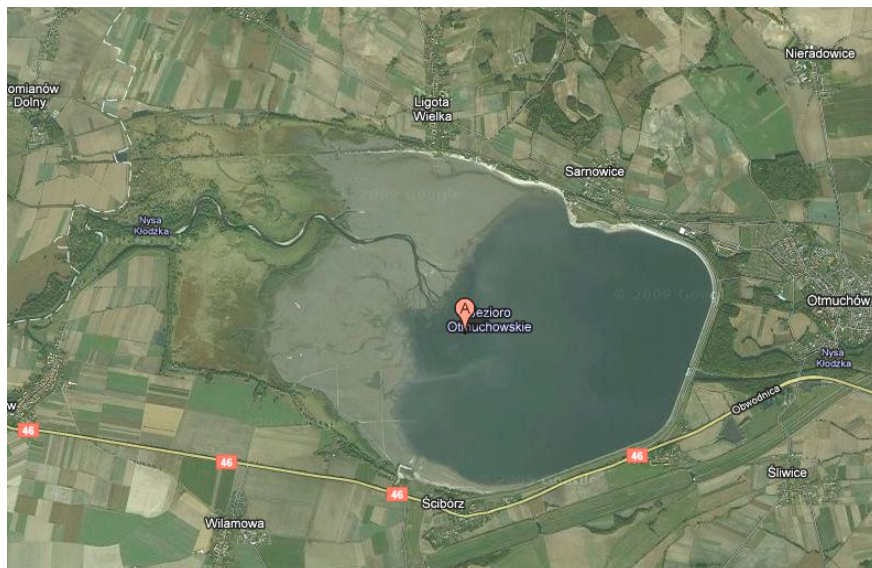
żony jest osobno w bocznej części zbiornika (na południowym krańcu zapory) w rejonie miejscowości Ścibórz. Służy on do przeprowadzania wielkich przepływów. Jaz składa się z części stałej o rzędnej korony 213,80 i długości $L = 206$ m oraz z dwóch sekcji ruchomych (segmentów), o świetle 2×15 m i rzędnej progu 210,50.

Według cytowanej Monografii [1980] wydatek jazu dla rzędnej 215,00 wynosi $Q = 890 \text{ m}^3/\text{s}$, a dla rzędnej 216,00 $Q = 1920 \text{ m}^3/\text{s}$. Według Kosierba [2009] przy awaryjnym piętrzeniu do rzędnej 216,00 wydatek jazu osiąga wartość $Q_{\text{max}} = 1500 \text{ m}^3/\text{s}$.

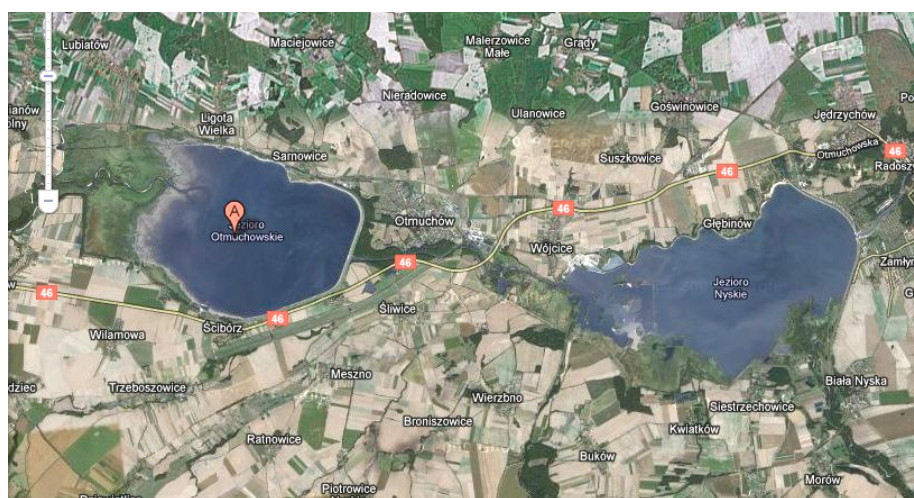
W 1971 roku wybudowano, a w 1972 roku oddano do eksploatacji, drugi, niżej położony zbiornik Nysa. Od tego roku oba zbiorniki Otmuchów i Nysa pracują w układzie kaskady (rys. 3). Według Kosierba [2009], podział pojemności zbiornika Otmuchów zmieniał się w czasie, głównie wskutek zamulenia oraz zmian gospodarki wodnej na obu zbiornikach kaskady, wymuszonych katastrofalną powodzią w 1997 roku. Schematyczny profil podłużny zbiornika Otmuchów pokazano na rysunku 4.



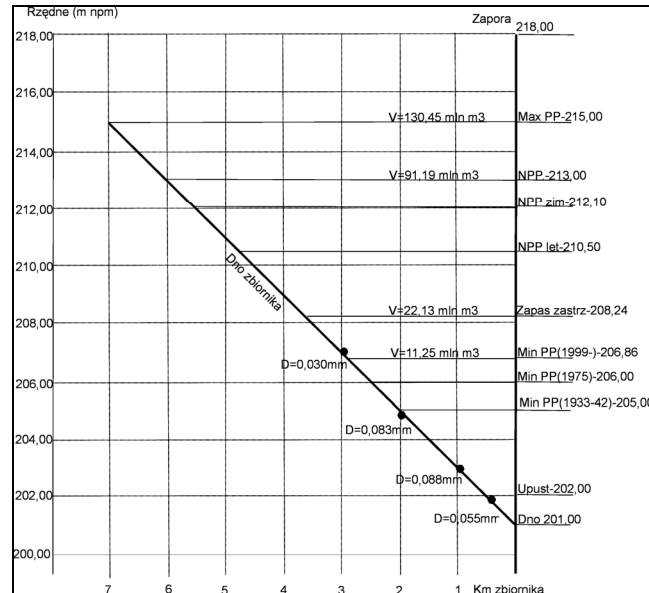
Rysunek 1. Batymetria zbiornika Otmuchów z 1933 r. (wg Monografii, 1980 r.)
Figure 1. The bathymetry of the Otmuchów storage reservoir in 1933 (after Monograph, 1980)



Rysunek 2. Zdjęcie satelitarne zbiornika Otmuchów (wg Mapy Google 2009)
Figure 2. The satellite photo of the Otmuchów reservoir (after Google Maps 2009)



Rysunek 3. Kaskada zbiorników Otmuchów-Nysa na Nysie Kłodzkiej
(wg Mapy Google 2009)
Figure 3. The Otmuchów-Nysa storage reservoirs cascade on Nysa Kłodzka river
(after Google maps 2009)



Rysunek 4. Schematyczny profil podłużny zbiornika Otmuchów na rzece Nysa Kłodzka
Figure 4. Schematic longitudinal profile of the Otmuchów reservoir on Nysa Kłodzka river

PODZIAŁ POJEMNOŚCI ZBIORNIKA OTMUCHÓW ORAZ JEJ ZMIANY W CZASIE EKSPLOATACJI

Kosierb [2009] analizował zmiany pojemności tego zbiornika w latach 1933, 1961, 1975 i 2001. Stałą rzędną dla tego zbiornika jest rzędna górnego ograniczenia rezerwy powodziowej, tj. rzędna maksymalnego poziomu piętrzenia (Max PP) wynosząca 215.00. Pojemność zbiornika dla tej rzędnej w latach 1933, 1961, 1975 i 1999 wg Kosierba [2009] wynosiła odpowiednio:

- w 1933 r. 142,9 mln m³,
- w 1961 r. 134,5 mln m³,
- w 1975 r. 124,5 mln m³,
- w 1999 r. 130,5 mln m³.

Zmiany tej pojemności były związane głównie z procesami transportu rumowiska. Zmniejszenie pojemności z 142,9 mln m³ (1933) do 124,5 mln m³ (1975), tj. o 18,4 mln m³ było spowodowane głównie przez procesy sedymentacji. Natomiast zwiększenie tej pojemności o około 4 mln m³ w latach 1975–1999 jest najprawdopodobniej skutkiem erozji dna zbiornika spowodowanej przez duże powodzie (1977 i 1997–98). Niektórzy badacze są zdania, że ten wzrost

może być pozorny, jako skutek niedokładności pomiarów batymetrycznych i zmiany sposobu wykonywania tego pomiaru (zamiast przekrojów wykonywanie wielopunktowych pomiarów powierzchni dna i opracowanie izolinii dna zbiornika). Zdaniem autorów, realne jest powiększenie pojemności zbiornika poprzez wyerodowanie znacznej części rumowiska z dna zbiornika i wyniesienie poniżej zapory. Wiadomo na przykład, że fala powodziowa 1997 r. spowodowała m.in. wymycie znacznych objętości namułu spoistego z górnego stanowiska stopnia Brzeg Dolny oraz spowodowała masowy transport rumowiska wleczonego w korycie górnej i środkowej Odry. Wyjaśnienie tej kwestii wymaga naszym zdaniem jak najszybszego przeprowadzenia pomiarów batymetrycznych na zbiornikach w Otmuchowie i Nysie. Analiza zmian pojemności zbiornika Otmuchów przy pozostałych charakterystycznych rzędnych (tj. przy normalnym poziomie piętrzenia NPP = 213,00 oraz w trefie rezerwy powodziowej, tj. pomiędzy rzędną maksymalnego poziomu piętrzenia Max PP = 215,00, a rzędną normalnego piętrzenia NPP = 213,00) decydujących o jego gospodarce wodnej, wykazała podobną tendencję jak opisana wyżej. W okresie od 1933 roku do 1975 roku mamy do czynienia ze zmniejszaniem pojemności zbiornika wskutek zamulania, natomiast w okresie 1975–1999 występuje jej zwiększenie.

Po powodzi w 1997 r. władze RZGW we Wrocławiu zmieniły zasady gospodarki wodnej na zbiorniku Otmuchów. W 1999 r. wprowadzono znaczne zwiększenie rezerwy powodziowej poprzez obniżenie normalnego poziomu piętrzenia NPP do następujących rzędnych:

- w okresie zimowym do rzędnej 212,10 (1X–31V),
- w okresie letnim do rzędnej 210,50 (15VI–15IX).

Pojemność zbiornika dla wyżej wymienionych rzędnych wynoszą (1999 r.):

- w okresie zimowym ca 74,8 mln m³,
- w okresie letnim ca 49,4 mln m³.

O postępującym procesie zamulania zbiornika Otmuchowskiego świadczy również stopniowe podwyższanie jego rzędnej minimalnego poziomu piętrzenia Min PP. Początkowo wynosił on 205,00, a odpowiadająca mu pojemność strefy martwej wynosiła 5,4 mln m³. W roku 1975 poziom ten wynosił już 206,00 (V = 5,5 mln m³), W 1999 r. poziom ten wyniósł już 206,80 (V = 10,8 mln m³).

Cytowane wyżej poziomy charakterystyczne gospodarki wodnej w okresach pozapowodziowych na zbiorniku Otmuchowskim nie są sztywne. Jak na każdym zbiorniku, rzeczywisty poziom piętrzenia jest bowiem również funkcją:

- warunków hydrologicznych, a zwłaszcza dopływu wody do zbiornika,
- potrzeb poszczególnych użytkowników, a zwłaszcza zasilania odrzańskiej drogi wodnej.

Z analizy rzeczywistych rzędnych zwierciadła wody przedstawionej w cytowanej Monografii [1980] zbiornika wodnego Otmuchów wynika, że w latach 1947-1964 wystąpiły następujące średnie rzędne z tego wielolecia:

- średni poziom piętrzenia 210,21 ($V \approx 50,0$ mln m^3),
- średnia z minimalnych miesięcznych poziomów piętrzenia 209,43 ($V \approx 40$ mln m^3),
- średnia z maksymalnych miesięcznych poziomów piętrzenia 210,95 ($V \approx 61$ mln m^3).

Sedymentacja cząstek stałych w zbiorniku Otmuchowskim w okresie 1947–64 odbywała się więc w znacznie mniejszej pojemności niż odpowiadająca poziomowi NPP = 213,00, dla którego $V_{1961} = 95,60$ mln m^3 . Podobny obraz tego zjawiska występuje również aktualnie. Rzędna poziomu piętrzenia w znacznej części roku jest często znacznie niższa od zakładanego NPP (letniego czy zimowego). Na załączonej mapie satelitarnej Google (2009) (rys. 3) z wiosny 2009 widać wyraźnie, że poziom piętrzenia był wtedy znacznie niższy od $NPP_{zimowy} = 212,10$ i wynosił ca 209,00.

OCENA PROCESU SEDYMENTACJI I EROZJI OSADÓW W ZBIORNIKU OTMUCHOWSKIM W LATACH 1933–1999

Ocenę tę przeprowadzono z uwzględnieniem cytowanych wyżej zmian zasad gospodarki wodnej, a zwłaszcza zmian obu poziomów ograniczających strefę martwą tj. NPP i Min. PP. Dla potrzeb tej oceny przyjęto następujące „uśrednione” poziomy graniczne strefy użytkowej:

- Min. PP = 206,0 ($V = 9,1$ mln m^3 w r. 1961 i około 6,1 mln m^3 w 1999 r.),
- NPP = 212,0 ($V = 77,6$ mln m^3 w 1961 r. i około 73,1 mln m^3 w 1999 r.).

W strefie użytkowej ograniczonej wymienionymi poziomami Min PP i NPP dyspozycyjna pojemność wynosiła więc ca 68,5 mln m^3 w 1961 i ca 67 mln m^3 w 1999 r.

Zmiany objętości ΔV w tak wyznaczonych strefach gospodarki wodnej obrazuje tabela 1.

Tabela 1. Zmiany objętości ΔV w strefach gospodarki wodnej

Strefa Zone	Zmiany pojemności ΔV (mln m^3). Capacity changes ΔV (mln m^3).			
	1933-61	1961-75	1975-99	1933-99
Martwa \leq Min. PP = 206,00	-0,9	-3,6	+0,7	-3,8
Użytkowa od Min. PP do NPP (206,00–212,00)	-3,0	-6,4	+4,8	-4,6
Powodziowa od NPP do Max. PP (212,00–215,00)	-4,5	-0,1	+0,5	-4,1
Łącznie:	-8,4	-10,1	+6,0	-12,5

Z tabeli wynika wyraźnie, że przyrost pojemności w latach 1975–1999 wystąpił głównie w strefie użytkowej zbiornika. Oznacza to ostatecznie, że głównie z tej strefy wyerodowane zostały namuły dennie.

Średnią wartość przyrostu miąższości osadów t_{sr} w zbiorniku oceniono w funkcji przyrostu objętości osadu i powierzchni zalewu F.

$$t_{sr} = \Delta V/F, F = 2058 \text{ ha (dla Max PP} = 215,00)$$

w latach 1933–1961	$t_{sr} = 8,4 \text{ mln m}^3/2058\text{ha} = 0,41 \text{ m,}$
w latach 1961–1975	$t_{sr} = 18,5 \text{ mln m}^3/2058\text{ha} = 0,90 \text{ m,}$
w latach 1975–1999	$t_{sr} = 12,5 \text{ mln m}^3/2058\text{ha} = 0,61 \text{ m.}$

Średnia miąższość osadów wyniosła więc w latach 1933–75 0,9 m, a następnie (1975–1999) zmalała do 0,61 m, prawdopodobnie wskutek erozji dna wywołanej powodziami katastrofalnymi. Wiśniewski ocenił ilość rumowiska (w tym unosin i wleczyn) zatrzymanego w czaszy tego zbiornika w okresie 1932–1961:

- wleczyny: 29 tys. ton/rok, 16 tys. m³/rok,
 - unosiny: 260 tys. ton/rok, 292 tys. m³/rok,
 - łącznie: 289 tys. ton/rok, 308 tys. m³/rok.
- Intensywność denudacji 123 t/km² rok.

Autorzy przeprowadzili ocenę ilości rumowiska unoszonego i zawieszonego dopływającego z Nysy Kłodzkiej do zbiornika Otmuchów (km 74,8) na podstawie wyników pomiarów zmaczenia wody w przekroju wodowskazowym Byczeń (km 97,6, do roku 1974), Topola (od 1976 r.), publikowane w Rocznikach Hydrologicznych Wód Powierzchniowych dla dorzecza Odry z okresu 1971–1983. Wyniki przeprowadzonych przez autorów obliczeń natężenia transportu unoszenia oraz ilości zatrzymywanego w tym okresie materiału dennego przez zbiornik Otmuchów pokazały, że zbiornik zatrzymuje średnio około 75% rumowiska doprowadzanego.

CHARAKTERYSTYKA RUMOWISKA ODKŁADANEGO W ZBIORNIKU OTMUCHÓW

Istniejące niepełne dane dotyczące uziarnienia osadów dennych dla zbiornika Otmuchów (1961), dotyczą jego dolnej części tj. odcinka od 0,1 do 3,1 km od zapory. Z danych tych wynika, że w zbiorniku Otmuchów do 1961 r. odłożyły się drobnoziarniste namuły spoiste, o cechach gliny pylastej (głównie w strefie martwej) i pyłu piaszczystego (w dolnej części strefy użytkowej). Można założyć, że w górnej części strefy użytkowej występują głównie pyły piaszczyste i piaski pylaste, a w strefie powodziowej piaski drobne. Wiśniewski [1964] podał wyniki badań próbek osadów drobnoziarnistych z dna zbiornika (1961), na długości L = 0,1–3,1 km od zapory. Wartości średnicy cząstek d_{50}

[Monografia 1980] rosły od 5,5 μm przy zaporze do 30 μm w odległości 3,1 km. Uziarnienie badano tradycyjną metodą, bez uwzględniania flokulacji. Tak małe cząstki podlegają jednak flokulacji, w stanie naturalnym będą miały wielkości rzędu 10–60 μm (odpowiednio do wzrostu wielkości ziaren elementarnych). Gęstość osadów stałych wg Wiśniewskiego wynosiła $\rho_s = 2580 \text{ kg/m}^3$, a gęstość namulów w calźnie $\rho_c = 1350 \text{ kg/m}^3$. Wg Wiśniewskiego w strefie powodziowej osadza się głównie rumowisko wleczone i unoszone, w ilości ca 16 tys. m^3/rok . Można przyjąć, że są to głównie cząstki piasku i drobnego żwiru. W górnej części zbiornika (ca km 6–7 od zapory) tworzą się wyraźne megaformy (wyspy osadów) w korycie i na terenie zalewowym. Zbiornik Otmuchów wg Wiśniewskiego [1972] zatrzymuje 90% rumowiska, tj. ca 234 tys. ton rocznie, a 26 tys. t/rok (tj. około 11% rocznej ilości rumowiska zatrzymanego) zrzucane jest do dolnego stanowiska. Zrzut osadów może nastąpić tylko przez upusty denne. Budowla zrzutowa dla wód wielkich znajduje się wyraźnie z boku tej głównej trasy przepływu, a jej najniższy próg jest na rzędnej 210,50. Może on tylko nieznacznie wpłynąć na przebieg procesu sedymentacji i erozji osadów.

W strefie ujściowej do zbiornika przepływy Nysy deformowane są przez rozwój roślinności, w górnej części czaszy zbiornika Otmuchów (rys. 2). Ta roślinność występuje w samej czaszy zbiornika oraz na terenach zalewowych. Proces zamulania i zarastania koryta i terenów zalewowych rzeki Nysy Kłodzkiej oraz zamulanie górnej części zbiornika powodują m.in. podpiętrzanie wody w cofkowej części zbiornika. Górna zamulana część zbiornika pokrywa się ze strefą powodziową, powyżej NPP = 212,00.

WNIOSKI

1. Dla pełnej analizy procesu zamulania zbiornika Otmuchów brak jest wyczerpujących danych pozwalających na pełną, dokładną analizę i ocenę parametrów przebiegu tego procesu.

2. W aspekcie pojawiających się ostatnio coraz częściej zjawisk powodziowych, o trudnym do przewidzenia natężeniu przepływu, potrzeba spełnienia przez zbiorniki funkcji ochrony przeciwpowodziowej prowadzi do sezonowego manewrowania ich pojemnością użytkową poprzez zmiany rzędnych piętrzenia. W przypadku sezonu letniego jest to niekorzystne dla górnej, ujściowej strefy zbiornika. Okresowe obniżenie poziomu zwierciadła wody powoduje odsłonięcie osadów w górnej części zbiornika i pokrycie ich roślinnością, intensyfikującą procesy odkładania rumowiska w tej strefie. Działanie to prowadzi także do ograniczenia dyspozycyjnych zasobów wodnych.

3. W analizowanym zbiorniku Otmuchów występuje klasyfikacja ziarnowa rumowiska.

4. Na przebieg procesu zamulania zbiorników wodnych znaczący wpływ mają tak zjawiska powodziowe, jak i prowadzona na nich gospodarka wodna.

Powodują one czasowe, częściowe usunięcie odłożonych osadów lub ich przemieszczenie w obszarze czaszy zbiornika z wyżej położonej do niższej strefy gospodarki wodnej, np. ze strefy użytkowej do martwej.

BIBLIOGRAFIA

- Dąbkowski L., Skibiński J., Żbikowski A. *Hydrauliczne podstawy projektów wodno-melioracyjnych*. PWRiL, Warszawa 1982.
- Instrukcja gospodarki wodnej na zbiornikach Otmuchów i Głębinów*. IBWiZ AR, Wrocław 1971.
- Kosierb R. *Zmiany pojemności zbiorników retencyjnych kaskady Nysy Kłodzkiej*. Gospodarka Wodna 2009.
- Łajczak A. *Studium nad zamulaniem wybranych zbiorników zaporowych w dorzeczu Wisły*. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, z. 8, Warszawa. 1995.
- Madeyski M., Michalec B., Tarnawski M. *Zamulanie małych zbiorników wodnych i jakość osadów dennych*. Monografie PAN, Nr 11, Kraków 2007.
- Monografia zbiornika wodnego Otmuchów*. Wyd. Komunikacji i Łączności 1980 r.
- Opolskie Kopalnie Surowców Mineralnych. Kopalnia Surowców Mineralnych Wójcice*. Koncepcja składowania piasku odpadowego w czaszy zbiornika Nysa (maszynopis) 2005.
- Polski Komitet Wielkich Zapór. Przeciwdziałanie zamulaniu zbiorników*. Zalecenia i przykłady. Biuletyn 115, IMGW, ICOLD, Warszawa 1999.
- Parzonka W. *Deposition and erosion of fine sediments in reservoirs*. Tempus-Course, SGGW Warszawa 1994.
- Roczniki Hydrologiczne Wód Powierzchniowych, 1971–1983. Dorzecze Odry i rzeki Przymorza między Odrą i Wisłą*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
- Wiśniewski B. *Zamulanie zbiorników w Polsce oraz próba jego prognozy na podstawie intensywności denudacji*. Archiwum Hydrotechniki, XVI, 4, 1964.
- Wiśniewski B. *Ilość rumowiska unoszonego i wleczzonego w rzekach polskich*. Gospodarka Wodna, Nr 10–11, 1972.

Dr inż. Robert Głowski
Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu,
pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, e-mail: robert.głowski@UP.wroc.pl

Dr inż. Robert Kasperek
Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu,
pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, e-mail: robert.kasperek@UP.wroc.pl

Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Parzonka
Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu,
pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, e-mail: parzonka@poczta.onet.pl

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Bednarczyk