

PROBLEM ZAMULANIA ZBIORNIKÓW KASKADY SOŁY

Andrzej Jaguś¹

¹ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Inżynierii Materiałów, Budownictwa i Środowiska, Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, e-mail: ajagus@ath.bielsko.pl

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono problem zamulania zbiorników zaporowych. Studia dotyczyły kaskady rzeki Soły, składającej się z trzech zbiorników: Tresna, Porąbka, Czaniec. Pełni ona ważną rolę w gospodarce wodnej województwa śląskiego. Wykazano, że obszar zlewniowy jest niewłaściwie zagospodarowany, co w warunkach górskich sprzyja procesom spływu powierzchniowego i erozji. Soła, zwłaszcza podczas wezbrań, transportuje duże ilości rumowiska, które prawie w całości jest deponowane w zbiorniku Tresna. Tempo zamulania zbiornika Tresna wynosi 0,309 mln m³ rocznie, a zbiornika Porąbka 0,042 mln m³ rocznie. Zbiornik Czaniec jako silnie przepływowy nie gromadzi osadów. Działania zapobiegające zamulaniu są niewystarczające – powinny być realizowane systemowo zwłaszcza w zlewni Soły powyżej zbiornika Tresna, aby utrzymać jego możliwości retencyjne.

Słowa kluczowe: zbiornik zaporowy, kaskada Soły, osady denne, ochrona zasobów wodnych

SEDIMENT ACCUMULATION PROBLEM IN SOŁA RIVER DAM CASCADE

ABSTRACT

The paper focuses on the problem of sediment accumulation in dam reservoirs. The studies were conducted in Soła River dam cascade containing three reservoirs: Tresna, Porąbka, Czaniec. It plays an important role in the water management in Silesian province. It was revealed that the catchment area is improperly managed which, under the mountainous conditions, leads to surface runoff and erosion processes. Soła, especially during the floods, transports large quantities of debris that are almost entirely deposited in the Tresna reservoir. The rate of deposit accumulation in Tresna water body amounts to 0.309 million m³ per year, and in the Porąbka reservoir it is estimated to 0.042 million m³ per year. The Czaniec reservoir, as fast flow reservoir, does not accumulate deposits at all. The actions aiming at prevention of sediments accumulation are insufficient – they should be realized systemically particularly in the Soła catchment above Tresna reservoir in order to maintain its retention capability.

Keywords: dam water reservoir, Soła River dam cascade, bottom sediments, water resources protection

WSTĘP

Problem zamulania zbiorników wodnych dotyczy przede wszystkim zbiorników zaporowych zasilanych wodami dopływających rzek. Niosą one nie tylko duży ładunek substancji rozpuszczonych, ale także rozmaitych cząstek stałych – unoszonych w wodzie lub wleczonych po dnie. Część tej materii gromadzi się w misach zbiornikowych w procesie sedymentacji/depozycji wskutek spadku prędkości płynięcia wody. Sedymentacja dotyczy także materii stałej powstającej w toni zbiornika, np. w wyniku wytrącania chemicznego, a także wzrostu i obumierania or-

ganizmów. Według Rutkowskiego [2007] osady denne są tworzone przez:

- cząstki klastyczne (pochodzące z niszczenia materiału skalnego);
- cząstki chemiczne i biochemiczne (wytrącone chemicznie lub w powiązaniu z asymilacją);
- cząstki organiczne (obumarła materia organiczna, kwasy humusowe);
- inne cząstki pochodzące na przykład ze spłukiwania powierzchni zlewni lub z depozycji atmosferycznej (te ostatnie mają zwykle wpływ bardziej na skład chemiczny niż na tempo przyrostu pokryw osadów).

Strefą najbardziej podatną na akumulację materiału osadowego jest strefa dopływu cieków do zbiorników wodnych, w której to powstają różnorodne formy deltowe [Łajczak 2006, Rzętała i in. 2015]. W strefie dalszej, oddalonej od dopływu wód rzecznych tworzą się typowe osady denne, zwane głębokowodnymi, które są bardziej drobnofrakcyjne. Należy też dodać, że część pokrywy osadów dennych jest tworzona przez materiał pochodzący z niszczenia brzegów (sukcesywnie przemieszczany w głąb zbiornika), lecz proces ten nie ma istotnego znaczenia w zamulaniu zbiorników w porównaniu z dostawą materiału z wodami płynącymi [Cyberski, 1970]. Potwierdza to metodyka określania wielkości zamulania zbiorników, bazująca na charakterystykach przepływu rzecznoego [Sobczak i Stonawski 1983, Łajczak 1995].

Zamulanie zbiorników wiąże się oczywiście z utratą ich zdolności retencyjnych, co w warunkach polskich jest poważnym problemem ze względu na deficyt retencji zbiornikowej, wynoszący aż 6% średniego rocznego odpływu rzek [Dmitruk i in. 2012]. Problem zamulania dotyczy także kaskady Soły, składającej się z trzech ułożonych stopniowo zbiorników zaporowych [http://www.krakow.rzgw.gov.pl]: Tresna (964 ha; 96,11 mln m³), Porąbka (333 ha; 27,19 mln m³), Czaniec (54 ha; 1,32 mln m³), gromadzących wody rzeki Soły i jej dopływów (rys. 1). Zlewnia kaskady rozciąga się w południowej części województwa śląskiego na terenach górskich (Beski dy: Żywiecki, Makowski, Śląski, Mały, okalające Kotlinę Żywiecką), co przesądza o nasileniu procesów spłukiwania i erozji podłoża, i tym samym obciążeniu cieków rumowiskiem. Zapo-



Rys. 1. Zlewnia kaskady Soły.
Fig. 1. Soła River dam cascade catchment.

ry zbiorników Tresna i Porąbka zostały wzniesione w przełomowym odcinku Soły przez Beskid Mały, a zaporą zbiornika Czaniec poniżej tego przełomu, już na Pogórzu Beskidzkim.

Celem niniejszego artykułu jest naświetlenie problemu zamulania kaskady Soły z racji jej strategicznego znaczenia w gospodarce wodnej województwa śląskiego (funkcja wodociągowa i przeciwpowodziowa), a także uznania zbiorników przez ludność za cenny dla rekreacji i sportów wodnych element przestrzeni geograficznej. Artykuł przygotowano na podstawie dostępnych publikacji/raportów/ekspertyz, informacji uzyskanych w urzędach gmin, analiz kartograficznych, a także analiz danych liczbowych z Urzędu Statystycznego w Katowicach (US), Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Krakowie (RZGW) i Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Katowicach (WIOŚ).

DOSTAWA RUMOWISKA ZE ZLEWNI

Powierzchnia zlewni kaskady Soły wynosi prawie 1120 km². Część południowa i wschodnia (około 60% całej zlewni) jest położona w obrębie płaszczowiny magurskiej, natomiast część zachodnia i północna w obrębie płaszczowiny śląskiej [Prochal 1960]. Płaszczowinę magurską reprezentują głównie piaskowce, łupki i margle magurskie (wzdłuż jej północno-zachodniej krawędzi występuje strefa łupków i piaskowców podmagurskich, hieroglifowych, margli, piaskowców zlepionych oraz łupków pstrych). Z kolei w budowie płaszczowiny śląskiej biorą udział głównie piaskowce godulskie oraz warstwy radiolarytowe. Środowisko glebowe zlewni kaskady Soły, ze zdecydowaną przewagą gleb brunatnych, pod względem granulometrycznym tworzą głównie utwory [Prochal 1960]:

- gliniaste średnie i gliniaste średnie ze szkieletem (około 45% zlewni);
- gliniaste ciężkie średniogłębokie i głębokie ze szkieletem (22–23%);
- pyłowe głębokie i pyłowe na łąkach (około 10%);
- pyłowe płytkie i pyłowe płytkie ze szkieletem (9–10%);
- mady lekkie i średnie (9–10%).

Warunki litologiczne z dominacją podłoża piaskowcowo-łupkowego nie wskazują na możliwość kształtowania szczególnych cech środo-

wiska wodnego związanych z procesami denudacyjnymi. Litologia decyduje o występowaniu wód wodorowęglanowo-wapniowych. Lokalnie mogą one zawierać większe ilości żelaza, glinu (w warunkach silnego zakwaszenia gleb na podłożu bezwęglanowym), bądź związków organicznych (w warunkach uwilgocenia gruntu). Ewentualne zanieczyszczenie wód należy przypisać działalności człowieka.

Omawiana zlewnia obejmuje praktycznie w całości tereny siedemnastu gmin (rys. 1): Buczkowice, Czernichów, Gilowice, Jeleśnia, Koszarawa, Lipowa, Łękawica, Łodygowice, Milówka, Radziechowy-Wieprz, Rajcza, Szczyrk, Ślemień, Świnna, Ujsoły, Węgierska Górka, Żywiec. W zlewni znajduje się dodatkowo północna, leśnista część gminy Porąbka. Według danych US (ze Statystycznego Vademecum Samorządowca 2014) oraz informacji z urzędów gmin struktura użytkowania ziemi jest bardzo zróżnicowana w poszczególnych gminach (tab. 1). W większości gmin (10 na 17), zwłaszcza tych o charakterze górskim, zlokalizowanych na obrzeżach zlewni, dominują grunty leśne. Najmniejszy udział lasów jest znamieny dla gmin położonych w Kotlinie Żywieckiej. Odwrotna zależność dotyczy rozprze-strzenienia gruntów ornych – w kilku przypadkach ich udział w powierzchni gminy przekracza 20%, a szczególnie dużo (34,7–44,1%) wynosi w: Buczkowicach, Gilowicach, Łodygowicach i Świnnej. Jest to zbyt duży odsetek, o czym przekonują opracowania dotyczące podstaw użytkowania ziemi w Karpatach Polskich, pochodzące już z lat 70. XX wieku [Kurek i in. 1978]. Już wtedy było wiadome, że uprawa orna w obszarach górskich zagraża zasobom glebowym i wodnym, i proponowano następujący rozkład użytków:

- a) na terenach poniżej 500 m n.p.m. grunty orne mogą zajmować 30–40% powierzchni ogólnej, użytki zielone 20–30% i lasy około 30% (pozostałe tereny do 10%);
- b) na terenach w przedziale 500–700 m n.p.m. udział gruntów ornych nie powinien przekraczać 15–20%, użytki zielone powinny zajmować nie mniej niż 20–30%, a lasy 50–55%;
- c) na terenach od 700 do 1000 m n.p.m. należy zupełnie zrezygnować z gruntów ornych, 15–20% powierzchni przeznaczyć na trwałe użytki zielone, a resztę powinien zajmować las;
- d) na terenach powyżej 1000 m n.p.m. trwałe użytki zielone, jeśli istnieją, mogą być okresowo wypasane, o ile nie ma przeciwwskazań od strony ochrony przyrody.

Tabela 1. Udział najważniejszych form użytkowania terenu [%] w powierzchni gmin w zlewni kaskady Soły.
Table 1. Land use structure [%] of communes in the Soła River dam cascade catchment.

Gmina	Grunty leśne	Grunty orne	Łąki, pastwiska	Tereny zabudowane
Buczkowice	5,3	44,1	25,0	23,0
Czernichów	62,1	3,8	15,6	brak danych
Gilowice	21,0	34,7	22,2	9,1
Jeleśnia	55,4	17,4	17,9	8,5
Koszarawa	48,7	20,2	19,7	brak danych
Lipowa	56,3	18,0	20,0	5,7
Łękawica	64,6	12,7	14,5	8,2
Łodygowice	22,8	36,3	14,2	brak danych
Milówka	50,5	18,4	16,2	5,0
Radziechowy-Wieprz	38,3	20,5	22,3	18,9
Rajcza	60,4	8,9	11,8	brak danych
Szczyrk	68,6	12,6	7,9	5,4
Ślemień	56,4	24,8	8,4	6,0
Świnna	35,3	43,8	10,3	8,8
Ujsoły	71,1	7,0	10,6	brak danych
Węgierska Górka	51,5	15,4	15,2	17,9
Żywiec	14,6	17,0	16,7	brak danych

Przedstawiona struktura użytkowania ziemi oraz obserwowana powszechnie degradacja antropogeniczna biocenoz leśnych wpływają na rozwój procesów erozyjnych, obciążających cieki rumowiskiem, a akwenem najbardziej zagrożonym zamulaniem jest pierwszy, najwyższy zbiornik kaskady – Tresna. Jego zlewnia zajmuje 1036,91 km², podczas gdy zlewnia zbiornika Porąbka liczy 55,01 km², a zbiornika Czaniec 27,24 km². Dobry obraz warunków transportu rumowiska daje obliczenie ilości unosin dopływających wraz z wodami Soły do zbiornika Tresna (punkt na wpływie rzeki do zbiornika). Obliczeń takich dokonano dla lat 2011–2012 na podstawie stężeń zawiesiny ogólnej określanych comiesięcznie przez WIOŚ oraz codziennych przepływów Soły udostępnionych przez RZGW. W pierwszej kolejności przeprowadzono obliczenia dla przepływu wody zarejestrowanego w dniu poboru próbki, oznaczając transportowany ładunek unosin w ciągu sekundy. Analizy wykazały, że transport ten był bardzo zróżnicowany – od kilku do kilkuset gramów na sekundę. Najwięcej materiału [907,5 g/s] było transportowane 8 października 2012 roku przy przepływie ponad 36 m³/s i stężeniu zawiesiny na poziomie 25 mg/dm³, a najmniej [4–7 g/s] w warunkach przepływu 1–3 m³/s i zawartości zawiesiny około 4 mg/dm³. Dane wyjściowe pozwoliły także na oszacowanie dostawy unosin do zbiornika w dłuższym czasie. Uwzględniając miesięczne stężenie zawiesiny oraz średni przepływ w miesiącu (z wartości dobowych), uży-

skano następujące miesięczne ładunki w latach 2011 oraz 2012:

- styczeń – 514 i 185 ton;
- luty – 146 i 75 ton;
- marzec – 82 i 2365 ton;
- kwiecień – 217 i 466 ton;
- maj – 474 i 91 ton;
- czerwiec – 142 i 1143 ton;
- lipiec – 1015 i 83 ton;
- sierpień – 261 i 102 ton;
- wrzesień – 34 i 47 ton;
- październik – 34 i 970 ton;
- listopad – 20 i 161 ton;
- grudzień – 40 i 80 ton.

Te szacunkowe ilości, dorównujące transportowi w rzekach uznawanych za zanieczyszczone unosinami [Rzętała 2008], to jeden z efektów niewłaściwego zagospodarowania powierzchni zlewni Soły, sprzyjającego przedostawaniu się cząstek stałych do wód płynących. Trzeba też pamiętać, że podane niemałe i tak ilości nie obejmują materiału wlezonego po dnie rzeki.

W kontekście zagrożenia zbiorników zamulaniem warto nadmienić, że nad prawym brzegiem zbiornika Porąbka (stoki góry Żar), w rejonie przysiółka Łaski, funkcjonuje czynne osuwisko o powierzchni około 15 hektarów, wyrządzające szkody w infrastrukturze. Przyczyn osuwania należy upatrywać w wylesieniu i zagospodarowaniu tego terenu, a czynnikiem, który zapoczątkował zsuwanie, były intensywne opady w maju 2010

roku. Grunt przemieszcza się w kierunku zbiornika – jest to warstwa o miąższości od dwudziestu kilku metrów w części dolnej do ponad 40 m w części górnej [Niescieruk i in. 2013]. Ustabilizowanie tego osuwiska, w którym objętość przemieszczającego się materiału przekracza 4,5 mln m³, jest niemożliwe i należy się liczyć z potencjalnym zsunieniem tych koluwiów do zbiornika.

TEMPO ZAMULANIA

Tresna

Formowanie pokrywy osadów dennych w zbiorniku Tresna było przedmiotem badań już od przełomu lat 60. i 70. XX wieku [Pasternak i Gliński 1972, Spaleny 1977, Mroczek i in. 1997]. Stwierdzono między innymi, że:

- już po 10 latach funkcjonowania zbiornika średnia grubość pokrywy osadów wynosiła 24 cm, a w zagłębieniach dna dochodziła do 110 cm;
- w czasie wezbrań może powstawać miejscami pokrywa świeżych osadów o grubości do 40 cm;
- frakcja kamienista i żwirowa w osadach występuje tylko w strefach dopływów cieków;
- Soła utworzyła w strefie ujściowej formę deltową zbudowaną głównie z frakcji piaszczystej;
- osady głębokowodne to w przewodzie gliny i gliny pylaste, a w strefie przyzaporowej także łył pylaste.

Obecne tempo zamulania zbiornika najlepiej obrazują wyniki badań opracowane w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) w ramach projektu KLIMAT [Majewski i Walczykiewicz 2012] współfinansowanego przez UE pod tytułem „Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo” – zadanie „Przeciwdziałanie degradacji polskich zbiorników retencyjnych”. Zmiany pojemności zbiornika Tresna określono na podstawie szczegółowych pomiarów batymetrycznych wykonanych w 1999 roku oraz w 2010 roku, tj. w odstępie 11 lat [Leszczyński i in. 2010]. Pojemność całkowita zbiornika przy maksymalnym poziomie piętrzenia (344,86 metrów n.p.m.) wynosiła według pierwszego pomiaru 96,110 mln m³, natomiast według drugiego – 92,702 mln m³. A zatem wielkość zamulenia (ubytek pojemności) wyniosła 3,408 mln m³, czyli niemal 0,309 mln m³ rocznie.

Autorzy raportu [Leszczyński i in. 2010] podali także, że w ciągu 11 lat:

- pojemność zbiornika w granicach charakterystycznych poziomów piętrzenia zmniejszyła się od 2,21% do 14,9%;
- zbiornik utracił 2,275 mln m³ przy poziomie nadpiętrzenia (345,66 m n.p.m.);
- zbiornik utracił 0,478 mln m³ przy piętrzeniu minimalnym (328,36 m n.p.m.);
- zbiornik utracił 1,8 mln m³ pojemności użytkowej;
- zbiornik tracił rocznie 163,6 tys. m³ pojemności użytkowej.

W tym miejscu warto dodać, że dla zbiornika Tresna określono znaczenie abrazji brzegów w procesie zamulania. Dokonał tego Spaleny [1977] stwierdzając, że z abrazji pochodzi tylko 2–3% materiału osadów dennych.

Porąbka

Według Łajczaka [1986] zbiornik Tresna zatrzymuje 91% dopływających do niego unosin, a więc niższe zbiorniki kaskady są znacznie mniej narażone na proces zamulania. Dobrze odzwierciedlają to dane dotyczące zamulania zbiornika Porąbka w okresie poprzedzającym wybudowanie zapory w Tresnej (tj. przed 1965 rokiem) oraz w okresie użytkowania zbiornika Tresna. Jak podają Bałus i in. [2007], od początku eksploatacji do 1965 roku (okres 27 lat) w zbiorniku Porąbka osadziło się 3,8 mln m³ osadów. Przeciętne roczne zamulanie wynosiło więc około 0,14 mln m³ i doprowadziło do wytworzenia warstwy osadów o średniej miąższości 1,4 m [Pasternak 1969]. Badania przeprowadzone w 1978 roku wykazały, że w misie zbiornika Porąbka jest nagromadzone 4,949 mln m³ osadów [Bałus i in. 2007]. A zatem w ciągu trzynastu lat (1965–1978) funkcjonowania zbiornika Tresna, w zbiorniku Porąbka nagromadziło się 1,149 mln m³ osadów, co daje przeciętne roczne zamulenie w ilości około 0,088 mln m³.

Ostatnie pomiary batymetryczne dla zbiornika Porąbka wykonano w 2010 roku w ramach wspomnianego projektu KLIMAT. Na ich podstawie określono średnie zamulanie misy na 0,042 mln m³ rocznie [Dmitruk i in. 2012].

Warto dodać, że w październiku 1965 roku dokonano próby odmulenia zbiornika Porąbka, zrzucając całą wodę przez upusty denne w celu wymycia osadów z misy. Skutek takie-

go odmulania był mizerny, toteż zabiegu już nigdy nie powtórzono, choć pierwotna instrukcja eksploatacji zakładała całkowite opróżnianie zbiornika co 10 lat.

Czaniec

Zbiornik Czaniec jest zbiornikiem silnie przepływowym, w którym wymiana wody następuje średnio 500 razy w roku. Z tego względu w normalnych warunkach eksploatacyjnych nie jest zamulany, gdyż unosiny i osady przemieszczają się w dół rzeki wraz z wodą odpływającą jazem upustowym. Dodatkowo ilość rumowiska dopływająca do tego zbiornika jest niewielka – Stachowicz i Czernoch [1992] podają na podstawie literatury, że stanowi zaledwie 1,1% ilości wnoszonej przez Sołę do zbiornika Tresna.

Pewien problem sprawia nanoszenie rumowiska do strefy cofkowej zbiornika przez potok Wielka Puszcza w okresach wezbraniowych. Powoduje to zasypywanie grubym materiałem rumowiskowym kinyety ujęcia wody Górnośląskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów. Rumowisko jest na bieżąco usuwane dla zapewnienia bezawaryjnego poboru wody.

DZIAŁANIA OCHRONNE

Ochrona zbiornika zaporowego przed zamulaniem może być realizowana poprzez działania na obszarze zlewniowym (w tym w korytach cieków), w strefach ujściowych cieków do zbiornika (w przypadku cieku głównego jest to tzw. strefa cofkowa), a także w obrębie jego nabrzeży i brzegów.

Zlewnia

Działania ochronne na obszarze zlewniowym po pierwsze mają za zadanie ograniczyć ilość cząstek stałych przedostających się do cieków. Należy więc kojarzyć je z wszelkimi zabiegami o charakterze przeciwoerozyjnym (powstrzymującymi spływ powierzchniowy). Spośród najważniejszych warto wymienić [Fatyga 2001]:

- poprzeczne orientowanie pól oraz poprzeczny kierunek (prostopadły lub lekko ukośny do spadku) prac agrotechnicznych (orki, siewu, nawożenia, pielęgnacji);
- zastąpienie uprawy płużnej przez uprawę bezorkową (np. kultywatorem z szerokimi łapami);

- formowanie dolnych granic pól w postaci grobelek (nasypów) – zadarnionych, a nawet umocnionych kamieniami lub obsadzonych krzewami jagodowymi;
- umocnienie linii spływu wód zapobiegające rozmywaniu gruntu;
- tarasowanie stoków metodą wydzielenia pól wstęgowych o szerokości do kilkudziesięciu metrów, ograniczonych od dołu pasami darniowymi o szerokości 1 m (pasy te przekształcają się w skarpy oddzielające lekko nachylone powierzchnie płużne, przystosowane do uprawy poprzecznej);
- naorywanie bruzd chłonnych nieco ukośnie do spadku w odstępach co 10–20 m;
- stosowanie przedsięwziętej dawki nawozowej około 20 kg N/ha dla ozimin, co zapewni szybszy wzrost roślin i osłonięcie gleby;
- stosowanie wsiewek w roślinę główną;
- preferowanie uprawy mieszanek motylkowato-trawiastych oraz ozimin;
- mulczowanie (przykrywanie powierzchni gleby szczątkami roślinnymi), także w formie pozostawiania na zimę nieprzyoranych roślin poplonowych;
- głęboszowanie (co 4–5 lat) spulchniające podglebie, ułatwiające wsiąkanie wody;
- stosowanie spulchniaczy śladów pozostawionych przez koła ciągników;
- podsiewanie i przykrywanie (np. gałęziami) świeżych bruzd erozyjnych;
- unikanie ciągłego użytkowania pastwiskowego na rzecz przemiennego – kośno-pastwiskowego.

Ponadto należy je też kojarzyć, choć na mniejszą skalę, z zabiegami przeciwosuwiskowymi. Z uwagi na powszechne występowanie stref osuwiskowych w obszarach beskidzkich, warto wspomnieć o możliwościach zapobiegania osunięciom gruntu. Podstawowym zabiegiem jest zalesianie ochronne, stabilizujące glebę/zwietrzelinę. Stabilizacja jest zależna od kształtu systemu korzeniowego oraz od gęstości, długości, wytrzymałości i zdolności regeneracyjnych korzeni. Dobrą kombinacją stabilizującą grunt stanowi głęboko korzeniująca się olsza szara z posiadającą szeroko rozgałęziony system korzeniowy wierzba purpurowa. Do drzew dobrze wiążących glebę zaliczane są: dąb, wiąz, klon, brzoza, grab, lipa, buk, jodła i modrzew, natomiast do krzewów: ligustr pospolity, kalina hordowina, rokitnik zwyczajny. Obok zalesień ochronnych należy pamiętać

tać o konieczności odprowadzania wody z terenu podatnego na osuwanie, gdyż najczęstszą przyczyną ruchu mas gruntu jest wzrost jego ciężaru w wyniku nasycenia wodą. Nadmiar wody ze stoków może być odprowadzany rowami (przebiegającymi ukośnie do spadku terenu) do cieków-bystrotoków, biegnących zgodnie ze spadkiem terenu. Bystrotoki wymagają starannego umocnienia (betonowo-kamiennego), także u ich wylotu na dnie doliny, aby wytracanie energii spływającej wody odbywało się w sposób kontrolowany.

Druga grupa działań ochronnych służy ograniczeniu erozyjnego oddziaływania cieków (zwłaszcza erozji bocznej) i jednocześnie zatrzymywaniu materiału transportowanego w korytach jako unosiny, toczyń, wleczyny itp. W sytuacji, gdy stabilność brzegów cieku wiąże się z ochroną infrastruktury, potrzebna jest ich techniczna obudowa, czyli wszelkiego rodzaju trwałe umocnienia, najczęściej kamienno-betonowe. Jednak gdy ciek nie przepływa w bliskim sąsiedztwie infrastruktury komunalno-gospodarczej należy promować rozwiązania biotechniczne, tzn. umocnienia roślinne. Dobrą stabilizację brzegów zapewniają wśród drzew głównie: olsza szara, wierzba krucha, jesion wyniosły, a wśród krzewów: wierzby krzewiaste, czeremcha, dzika róża, głóg, wiciokrzew. Przechwytywaniu materiału przemieszczającego się w korycie cieku służą umocnienia typowo inżynierskie. Są to różnego rodzaju korekcje progowe, czyli serie niskich progów (barier) w poprzek koryta, zmniejszających prędkość przepływu wody. Są to także zapory przeciwrumowiskowe, zatrzymujące niesiony materiał, wymagające okresowego oczyszczania (odgruzowania).

Jak wykazano wcześniej, w zlewni kaskady Soły istnieje problem zamulania przede wszystkim zbiornika Tresna. Świadczy to o niewystarczającym zabezpieczeniu przeciwoerozyjnym obszaru zlewniowego, w tym niewystarczających regulacjach koryt cieków. Bałus i in. [2007] podają, że w ramach budowy zbiornika Tresna projektowano – jako działania towarzyszące – odpowiednią zabudowę koryt Żarnówki (lewobrzeżny dopływ zbiornika w strefie cofkowej), Żylicy wraz z jej dopływem – Wieśnikiem, Łękawki oraz 22 małych potoków uchodzących do zbiornika. Zabudowa miała polegać między innymi na kaskadowych regulacjach progowych o wysokości 1 m. Jednak konieczność obniżania nakładów finansowych na całą inwestycję spowodowała zminimalizowanie tych planów. Potok Wieśnik

uregulowano na długości 76 m, zabezpieczając koryto poprzecznymi betonowymi gurtami. Żylicę uporządkowano na odcinku 300 m (wraz z obudową wylotu wpadającego do niej potoku Kalonka) – dno potoku umocniono progami z prefabrykatów o rozstawie 46–60 m. Do regulacji Łękawki wytypowano odcinek o długości 378 m, który niegdyś był uzbrojony progami faszynowymi i opaskami, ale uległ zniszczeniu podczas powodzi w latach 1958–1960. Oprócz jego obustronnej obudowy, wykonano 6 progów dennych z prefabrykatów w odstępach co 50 m. Oczywiście wiele innych potoków w całej zlewni zbiornika Tresna, zwłaszcza w jej górnej części, posiada różnorodne elementy regulacji przeciwrumowiskowych.

Hydrotechniczne zabezpieczenia przeciwrumowiskowe są charakterystyczne dla zlewni bezpośredniej zbiornika Porąbka z racji jego funkcjonowania w przełomie przez pasmo Beskidu Małego, co wiąże się z dużym nachyleniem terenu. W okresie przedzbiornikowym obserwowano intensywne nanoszenie rumowiska do koryta Soły przez dopływy boczne, których spadki sięgały 30–70%. Stąd też konieczne było właściwe zabudowanie dolnych partii koryt tych dopływów [Bałus i in. 2007]. Wybierano miejsca o zwartych przekrojach z wysokimi brzegami, w których budowano zapory przeciwrumowiskowe. W niektórych przypadkach, poniżej zapór, dodatkowo wykonano regulacje progowe lub żłobowe z kamienia łamanego. Na prawym brzegu zbiornika zabudowano 3 potoki – Głębocki (dwie zapory o wysokościach 4,9 oraz 3 m), Isepnica (zapora o wysokości 8 m wraz ze żłobem kamiennym) oraz Debra (zapora łukowa o wysokości 7,5 m). Na lewym brzegu zbiornika zabudowano 6 potoków – Roztoka (zapora o wysokości 2,8 m oraz korekcja progowa), Basioraczka (zapora o wysokości 6,5 m oraz żłób kamienny na długości 450 m), Ponikwa (zapora o wysokości 5 m oraz żłób z korekcją progową), Wielka Żarnówka (zapora o wysokości 5,7 m oraz żłób), Mała Żarnówka (zapora o wysokości 6,5 m oraz żłób trapezowy zakończony przelewem), Suchy Potok (zapora betonowa z kaskadowym wypadem). Oprócz wymienionych potoków drobne prace zabezpieczające (płotkami, małymi zaporami kamiennymi) wykonano w wielu małych jarach, prowadzących wodę podczas opadów.

Mimo, że silnie przepływowy zbiornik Czaniec nie ma skłonności do zamulania w normalnych warunkach eksploatacyjnych, na obszarze jego zlewni (poniżej zapory Porąbka) wykonano

szereg umocnień korytowych zapobiegających procesom erozyjnym [Bałus i in. 2007], między innymi dla ochrony przed zasypywaniem strefy ujęcia wody. Boddźcem do realizacji umocnień były zniszczenia dokonane przez powódź w 1997 roku. W pierwszej kolejności wyremontowano prawy brzeg koryta Soły poniżej zapory Porąbka po obu stronach ujścia potoku Mała Puszcza, który był podmyty miejscami do formy pionowych skarp. Na długości 325 m konieczne było wykonanie solidnego umocnienia – opaski brzegowej z narzutu kamiennego ciężkiego (ponad opaską brzeg obsadzono wikliną). Lewy brzeg Soły nie wymagał poważniejszych prac – remont wykonano tylko w strefie wylotów sztolni przy zaporze Porąbka. Do ważniejszych działań należy też zaliczyć odnowienie strefy ujściowej potoku Mała Puszcza – dokonano tego oczyszczając ją ze żwiru i kładąc nową okładzinę kamienną w żłobie i na zaporze przeciwrumowiskowej w kilometrze 0,330. W korycie tego potoku odbudowano także zaporę przeciwrumowiskową w kilometrze 0,550. Duże problemy sprawia jednak potok Wielka Puszcza, którego koryto często wymaga remontów ze względu na niszczenie umocnień w warunkach gwałtownych wezbrań.

Strefa cofkowa

Duże możliwości ochrony zbiornika zaporowego przed zamulaniem dają stosowne działania w strefie dopływu głównego ciekę zasilającego (ewentualnie innych dopływów, jeśli są one w istotnym stopniu odpowiedzialne za dostarczanie rumowiska). Następuje tutaj osadzanie rumowiska, począwszy od frakcji najgrubszej ku frakcjom drobniejszym. Skutecznym rozwiązaniem dla kontrolowania tego procesu jest budowa tzw. zbiornika wstępnego. W uogólnieniu wymaga to wzniesienia przegrody (zapory), która wstępnie spiętrzy wodę ciekę, tworząc mały zbiornik. Działa on jak osadnik wstępny, przechwytyjąc napływające rumowisko, którego pozostawiona częściowo woda odpływa do zbiornika głównego. Zbiorniki wstępne mają różne postaci i nierzadko składają się z kilku basenów porośniętych spowalniającą przepływ roślinnością, a spiętrzenie wody może być stosunkowo niskie (progowo-groblowe). Eksploatowanie zbiorników wstępnych wymaga ich okresowego oczyszczenia z gromadzącego się rumowiska.

W strefie cofkowej zbiornika Tresna (znajdującej się praktycznie na terenie miasta Żywiec) instalacja konstrukcji piętrzących mogłaby nieść z sobą pewne zagrożenia ze względu na bezpośrednie sąsiedztwo terenów zabudowanych. Po pierwsze pojawia się obawa o sytuacje blokowania przepływu na przegrodach skutkujące podtopieniami. Po drugie, w warunkach przepływów niżówkowych, mogłoby dochodzić do gromadzenia napływających zanieczyszczeń organicznych i ich rozkładu z wydzielaniem nieprzyjemnych gazów. Obie kwestie należy postrzegać jako problemowe dla bytowania ludności i bezpieczeństwa infrastruktury komunalno-gospodarczej Żywca. Wydaje się, że utworzenie systemu przegród na Sole (tworzących wstępne baseny osadowe) można rozważać jedynie na odcinku powyżej miasta, czy powyżej strefy cofkowej.

W strefie cofkowej i ogólnie w górnej części zbiornika Tresna dokonuje się ciągłego odmulania przy użyciu pogłębiarek pływających. Jest ono realizowane przez przedsiębiorstwo Żywieckie Kopalnie Kruszyw (ŻKK) z siedzibą zarządu w Zarzeczcu (w rejonie ujścia Żylicy z Kalonką do zbiornika Tresna). Przedsiębiorstwo to, według firmowych materiałów informacyjnych, prowadzi rekultywację zbiornika, polegającą na usuwaniu zgromadzonych osadów dennych oraz takim kształtowaniu czaszy przez eksploatację utworów aluwialnych, aby:

- odtworzyć projektowaną pojemność zbiornika w warstwie użytkowej i powodziowej;
- ograniczyć występowanie niekorzystnych z jakościowego i rekreacyjnego punktu widzenia płycizn, odsłoneń i bezodpływowych zastoisk w cofce zbiornika.

Rumowisko wydobywane ze zbiornika Tresna jest segregowane, kruszone i sortowane – po tej obróbce stanowi pełnowartościowe kruszywo mineralne do celów budowlanych, którym dysponuje żwirownia ŻKK działająca w Zarzeczcu.

Nabrzeża i brzegi

Źródłem materiału zamulającego misę zbiornika może być strefa okołozbiornikowa wraz ze strefą brzegową, gdzie dochodzi do rozmywania i splukiwania gruntu. Każdy zbiornik powinien być otoczony ekotonową strefą roślinności o szerokości co najmniej 20–30 m, poza którą mogą funkcjonować tereny zabudowane lub grunty rolnicze. Ekoton ma za zadanie zatrzymywanie

przemieszczających się w kierunku zbiornika spływów powierzchniowych. Najlepiej jeśli jest to pas darniowy, dodatkowo zadrzewiony lub pas zakrzewień. Oczywiście, aby możliwe było rekreacyjne korzystanie ze zbiornika, w rejonach brzegów połączonych (o małym nachyleniu) należy pozostawić strefy dostępu do wody.

Mimo, że zagrożenie zamulaniem zbiorników zaporowych w konsekwencji abrazyjnego niszczenia brzegów ogólnie nie jest duże, problem ten nie może być bagatelizowany. Abrazja skutkuje bowiem cofaniem się linii brzegowej w głąb łądu, co może zagrażać pobliskiej infrastrukturze, a w warunkach górskich może również doprowadzić do uaktywnienia procesów osuwiskowych. Z konsekwencjami abrazyj należy się liczyć już na etapie planowania budowy zbiornika, co uwidoczniła sytuacja w gospodarce gruntowej podczas tworzenia zbiornika Tresna. Otóż grunty na potrzeby inwestycji wywłaszczone do rzędnej pokrywającej się z maksymalnym poziomem piętrzenia wody w przyszłym zbiorniku, który w praktyce miał być osiągnięty sporadycznie. W trakcie użytkowania już napełnionego zbiornika abrazja doprowadziła do cofnięcia brzegów i zniszczenia wielu graniczników na tym poziomie, zagrażając w dalszej kolejności niektórym zabudowaniom. Konieczne było więc przeprowadzenie dodatkowych wywłaszczeń w strefie przybrzeżnej.

Procesy abrazyjne w obrębie zbiorników Tresna i Porąbka są obserwowane od początku ich funkcjonowania do chwili obecnej [Kostecki 1975, Heliasz 2000, Bałus i in. 2007]. Na abrazję narażone są zwłaszcza brzegi, o które uderzają fale biegnące ku północy, np. w rejonie miejscowości Tresna Mała (zbiornik Tresna) lub w strefie pomiędzy dopływami Wielka Żarnówka i Mała Żarnówka (zbiornik Porąbka). Wiąże się to z wywoływaniem falowania przez wiatry wiejące z sektora południowego. Rozpęd fal w orientacji równoleżnikowej jest ograniczony geomorfologicznym osłonięciem zbiorników. Oczywiście tempo cofania brzegów oraz objętości rozmywanego materiału są mniejsze niż w początkowych okresach funkcjonowania zbiorników.

Ochrona przed procesami abrazyjnymi polega na wykonywaniu różnorodnych umocnień brzegowych. W przypadku brzegów stromych – wysokich, skuteczną ochronę mogą tworzyć jedynie umocnienia w formie narzutów głazowych, murów oporowych, płyt betonowych. Tego typu

umocnienia zostały zainstalowane na wielu odcinkach brzegów zbiornika Tresna, zwłaszcza u podnóży wzniesień Beskidu Małego, opadających stromo ku zbiornikowi. Według informacji podawanych przez Bałusa i in. [2007], początkowo skarpy zabezpieczano narzutem kamiennym w osłonach walcowych lub wykonywano opaskę faszynową z koroną siatkową wypełnioną kamieniem. Takie rozwiązanie nie zdało jednak egzaminu ze względu na korozję elementów stalowych. Rodzaj zabezpieczenia brzegów zmieniono głównie do postaci przyzmy z kamienia łamanego ciężkiego. Koronę przyzmy zasypano żwirem, a skarpe ponad przyzmą plantowano, humusowano i obsiewano mieszanką traw. Według tej technologii umocniono między innymi prawy brzeg w Tresnej na długości 119 m, prawy brzeg w Oczkowie na długości 1135 m (w tym 280 m przy ośrodku wczasowym „Apena”), lewy brzeg w Małej Tresnej Barabasze na długości 250 m oraz w rejonie przystani harcerzy na długości 410 m. Jeśli chodzi o zbiornik Porąbka, to jego brzegi nie były umacniane, z wyjątkiem fragmentów bezpośrednio przy zaporze (na obu brzegach). Brzegi zbiornika Czaniec są zaporami (czołową i bocznymi), stąd też nie można tutaj mówić o procesach abrazyj. O wiele większym zagrożeniem dla tych zapór są zjawiska wezbraniowe, zwłaszcza ze względu na silnie przepływowy charakter zbiornika. Ujawniły to szczególnie powodzie z lat 1996–1997, podczas których na obu brzegach nastąpiło wymycie ziemi spod wielu płyt i przez to ich zapadnięcie z jednoczesnym obsunięciem i deformacją gabionów. Mimo szeroko zakrojonego remontu kolejne fale powodziowe ciągle powodują drobne szkody infrastrukturalne.

Brzegi mogą być także umacniane biotechnicznie z wykorzystaniem zwłaszcza wierzb krzewiastych. Najkorzystniejszą postacią takich umocnień jest tzw. brzegosłon faszynowy, inaczej żywa faszyna. W przypadku zabudowy brzegów łagodnych, na przykład w zatokach, gdzie woda jest słabo natleniona, stosuje się wierzbę pięciopięćkową lub wierzbę szarą. Z kolei w warunkach brzegu omywanego wodą dobrze natlenioną najlepiej użyć wierzby wiciowej (wikliny) lub wierzby żółtej. Umocnienia biotechniczne w obrębie zbiorników kaskady Soły można odnaleźć miejscami nad zbiornikiem Tresna, przy czym w ciągu wielu lat funkcjonowania są one albo zniszczone albo uległy asymilacji i rozwojowi, co sprawia trudności w identyfikacji. W ramach

budowy tego zbiornika umocnienia biotechniczne wprowadzano w strefach rozlewisk, wyrobisk materiałów ziemnych oraz osuwisk, w celu ochrony litoralu przed spływem do zbiornika powierzchniowej warstwy gruntu. Pierwotnie były to zwłaszcza umocnienia wiklinowe (o szerokości do kilkunastu metrów) oraz zalesienia (o szerokości 20–30 m).

PODSUMOWANIE

Zamulanie zbiorników zaporowych zagraża ich funkcjonalności z powodu zmniejszenia zdolności retencyjnych. Proces ten dotyczy także kaskady rzeki Soły, pełniącej ważną rolę w zapotrzebowaniu w wodę mieszkańców województwa śląskiego oraz w ochronie przeciwpowodziowej doliny dolnej Soły i górnej Wisły. Zlewnia kaskady jest zlewnią górską, co przesądza o zagrożeniu występowaniem procesów spływu powierzchniowego i erozji. Procesom tym sprzyja brak trwałej okrywy roślinnej, a więc zwłaszcza obecność upraw ornych i terenów zabudowanych. Są one znacznie rozprzestrzenione w przedmiotowej zlewni. Głównym źródłem rumowiska trafiającego do kaskady jest rzeka Soła, która deponuje niesiony materiał przede wszystkim w zbiorniku Tresna, czyli pierwszym i najwyższym zbiorniku kaskady. Strefa dopływu Soły jest nieustannie odmulana maszynowo, ale mimo to średnioroczna wielkość zamulania zbiornika wynosi około 0,31 mln m³. Za zamulanie zbiornika Porąbka jest odpowiedzialna głównie jego zlewnia bezpośrednia, czyli strome skłony Beskidu Małego. W zbiorniku tym corocznie odkłada się średnio 0,042 mln m³ osadów. Zbiornik Czaniec, ze względu na silną przepływowość, jest na bieżąco przepłukiwany z osadów. W zakresie jego odmulania potrzebne jest jedynie odgruzowywanie strefy ujęcia wody, za zasypywanie której jest odpowiedzialny głównie dopływ boczny – potok Wielka Puszcza.

Przedstawiony materiał wskazuje, że problem zamulania dotyczy głównie zbiornika Tresna, ale w całej zlewni kaskady potrzebne są zabiegi ograniczające ten proces. Wykonano wiele umocnień korytowych, jednak wydaje się, że działania powinny zmierzać także (a może raczej) do przeciwozyjnego urządzenia przestrzeni zlewni, w tym transformacji struktury użytkowania terenu w kierunku rozprzestrzeniania trwałych użytków zielonych oraz roślinnych stref ekotonowych.

LITERATURA

1. Bałus S., Boros-Meinike D., Drzyżdżyk W., Fiedler K., Olszewski A., Osuch-Chacińska L., Ryżak R., Stanach-Balus K.: Kaskada rzeki Soły – Zbiorniki Tresna, Porąbka, Czaniec. Monografie Budowli Hydrotechnicznych w Polsce. IMGW, RZGW w Krakowie, Warszawa 2007.
2. Cyberski J.: Badania akumulacji rumowiska w zbiornikach retencyjnych w Polsce. *Gospodarka Wodna*, 1970, nr 2, 43–46.
3. Dmitruk U., Kloze J., Sieński E.: Zamulenie polskich zbiorników retencyjnych. Diagnostyka stanu i proponowane przeciwdziałania. [W:] Zrównoważone gospodarowanie zasobami wodnymi oraz infrastrukturą hydrotechniczną w świetle prognozowanych zmian klimatycznych (red. W. Majewski i T. Walczykiwicz). Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB, Warszawa 2012, 161–229.
4. Fatyga J.: Zapobieganie erozji na gruntach ornych w terenach górskich – zalecenia praktyczne. Materiały informacyjne IMUZ, 36. Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty 2001.
5. Heliasz Z.: Zjawiska geodynamiczne w strefach brzegowych zbiorników Solina-Myczkowiec i Tresna-Porąbka. [W:] Dynamiczna ocena i prognoza geologicznych zagrożeń wywołanych powodzią – na przykładzie Nysy Kłodzkiej, górnej Soły i górnego Sanu-Solinki (red. S. Ostaficzuk). Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2000, 169–190.
6. Kostecki M.: Wstępne informacje nad transformacją brzegów zbiornika w Tresnej. *Gospodarka Wodna*, 1975, nr 4, 144–145.
7. Kurek S., Głuszecki K., Jagła S., Kostuch R., Pawlik-Dobrowolski J.: Przyrodnicze podstawy użytkowania ziemi w Karpatach. Materiały instruktażowe IMUZ 25. Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty 1978.
8. Leszczyński W., Mroziński J. (wraz z zespołem): Badania zmian pojemności zbiornika Tresna. Zadanie „Przeciwdziałanie degradacji polskich zbiorników retencyjnych”. Ośrodek Technicznej Kontroli Zapór IMGW, Warszawa 2010 (maszynopis).
9. Łajczak A.: Studium nad zamulaniem wybranych zbiorników zaporowych w dorzeczu Wisły. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk, 8. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1995.
10. Łajczak A.: Retencja rumowiska w zbiornikach zaporowych Karpackiego dorzecza Wisły. *Czasopismo Geograficzne*, 1986, nr 1, 47–75.
11. Łajczak A.: Deltas in dam-retained lakes in the Carpathian part of the Vistula drainage basin. *Prace Geograficzne UJ*, 2006, nr 116, 99–109.

12. Majewski W. i Walczykiewicz T. (red.): Zrównoważone gospodarowanie zasobami wodnymi oraz infrastrukturą hydrotechniczną w świetle prognozowanych zmian klimatycznych. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB, Warszawa 2012.
13. Mroczek J., Ratomski J., Waclawski M.: Sedymentacja rumowiska w zbiorniku Tresna. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk, 13. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997, 31–45.
14. Niescieruk P., Wójcik A., Perski Z., Wojciechowski T., Warmuz B., Dacka J.: Dokumentacja geologiczna z prac monitoringowych wykonanych na osuwisku w m. Międzybrodzie Bialskie / Łaski. Państwowy Instytut Geologiczny PIB (Oddział w Krakowie), Ministerstwo Środowiska, Kraków 2013 (maszynopis).
15. Pasternak K.: Właściwości osadów zbiornika zaporowego w Porąbce. *Acta Hydrobiologica*, 1969, nr 3, 361–376.
16. Pasternak K., Gliński J.: Occurrence and cumulation of microcomponents in bottom sediments of dam reservoirs of Southern Poland. *Acta Hydrobiologica*, 1972, nr 3, 225–255.
17. Prochal P.: Przyrodnicze i techniczne podstawy walki z erozją gleb w górnym dorzeczu Soły. *Roczniki Nauk Rolniczych*, 1960, 74-F-2, 287–327.
18. Rutkowski J.: Osady jezior w Polsce – charakterystyka i stan rozpoznania, metodyka badań, propozycje. *Studia Limnologica et Telmatologica*, 2007, 1(1), 17–24.
19. Rzętała M.: Funkcjonowanie zbiorników wodnych oraz przebieg procesów limnicznych w warunkach zróżnicowanej antropopresji na przykładzie regionu górnośląskiego. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice 2008.
20. Rzętała M.A., Jaguś A., Machowski R., Rzętała M.: The development of freshwater deltas and their environmental and economic significance. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 2015, vol. 22, no. 1, 107–123.
21. Sobczak J., Stonawski J.: Ocena stanu i prognoza załadowania istniejących i projektowanych zbiorników retencyjnych w dorzeczu górnej Wisły. Projekt PR-7.05.08.14. Politechnika Krakowska, Kraków 1983 (maszynopis).
22. Spaleny M.: Badanie zamulenia zbiornika Tresna na Sole. *Gospodarka Wodna*, 1977, nr 10, 304–309.
23. Stachowicz K., Czernoch M.: Charakterystyka ekologiczna zbiorników zaporowych na Sole. Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Warszawa 1992.