

ELIZA SZCZERKOWSKA-MAJCHRZAK, MARIA GRZYBKOWSKA

*Katedra Ekologii i Zoologii Kęgowców  
Uniwersytet Łódzki  
Banacha 12/16, 90-237 Łódź  
e-mail: szczerko@biol.uni.lodz.pl  
mariagr@biol.uni.lodz.pl*

*„Renewables are not green. To reach the scale at which they would contribute importantly to meeting global energy demand, renewable sources of energy, such as wind, water and biomass, cause serious environmental harm. Measuring renewables in watts per square meter that each source could produce smashes these environmental idols. Nuclear energy is green.”*

JESSE H. AUSUBEL

## PIĘTRZENIA RZEK I ENERGIA WODNA; ZA I PRZECIW

To motto znanego amerykańskiego ekologa AUSUBELA (2007), który włączył się w dyskusje nad globalnymi zmianami klimatu, podważając jednocześnie słuszność dotychczasowych twierdzeń o korzyściach płynących z użytkowania odnawialnych źródeł energii. Jego zdaniem najbardziej nieopłacalne jest pozyskiwanie energii z biomasy w jakiegokolwiek formie, odrobinę lepiej jest z energią

wodną czy uzyskiwaną z wiatraków. I chociaż przez niektórych ekologów nazywany jest lekceważąco „demagogiem”, to jednak wielu argumentom nie sposób odmówić słuszności. Przyjrzyjmy się zatem bliżej zbiornikom zaporowym, kosztom i korzyściom z tego rodzaju inwestycji, w tym energii uzyskanej podczas uwalniania z nich wody.

## HISTORIA ZBIORNIKÓW ZAPOROWYCH

Historia istnienia tam sięga starożytnej Mezopotamii i Egiptu. Wzdłuż rzek rozwijały się wielkie cywilizacje; na ich potrzeby gromadzono wodę, zarówno do bezpośredniego spożycia, jak i nawadniania pól. Już około 3110 r. p.n.e. w Egipcie powstała pierwsza 16-metrowa kamienna tama, która miała chronić Memfis przed powodzią. W Turcji odnaleziono kamienną Tamę Hetycką z 1240 r. p.n.e (uruchomiono ją ponownie po 3240 latach od jej wzniesienia!). Zaczęto również wykorzystywać wodę do napędzania młynów, tartaków; pod koniec XVIII w. pojawiły się turbiny napędzające silniki różnego rodzaju maszyn. Gwałtowny rozwój budownictwa wodnego nastąpił w XIX w., gdy opracowano metodę generowania energii

elektrycznej. Zapory kamienne wyparte zostały przez betonowe, a następnie przez najpopularniejsze do dziś, tamy ziemne (ALLAN 1998). PETTS (1984) wyróżnił cztery okresy we współczesnej historii regulacji rzek – lata powyżej 1980 roku zaliczył do czwartego okresu. Dwie ostatnie dekady XX i początek XXI w. charakteryzują dwa trendy: z jednej strony trwa budowa dalszych zapór, jak chociażby docelowo tej największej na świecie, zwanej Tamą Trzech Przełomów, na rzece Jangcy (Chiny), o powierzchni zbiornika 600 000 ha. Z drugiej strony, wobec coraz liczniejszego grona hydrobiologów wykazujących szkodliwy wpływ piętrzenia nie tylko na rzeki, ale i ich całe dorzecza, dokonuje się całkowitej lub częściowej li-

kwidacji zapór, a rzeki ulegają renaturyzacji (POWER i współaut. 1988, SHUMAN 1995, HART i współaut. 2002, ROBINSON i współaut. 2003a, b). W Stanach Zjednoczonych w ostatniej dekadzie zlikwidowano aż 180 tam (BORN i współaut. 1998; JACKSON i współaut. 2001; ROBINSON i współaut. 2003a, b).

Ocenia się, że efektem budownictwa wodnego jest około 40 000 zapór powyżej 15 m wysokości (OUD i MUIR 1997; POFF i HART 2002; ROBINSON i współaut. 2003a, b), a powstające w wyniku piętrzenia sztuczne jeziora pełnią rolę zbiorników wielofunkcyjnych.

#### PLUSY I MINUSY FUNKCJONOWANIA ZBIORNIKÓW ZAPOROWYCH

Zdaniem hydrotechników budowa zapór i kaskad jest inwestycją opłacalną pod względem ekonomicznym (PETTS 1984, DYNIESIUS i NILSON 1994, BŁACHUTA i współaut. 2006). Ich zadaniem jest retencjonowanie wody, wykorzystywanie jej do celów komunalnych, przemysłowych i rolniczych, ochrona przed powodzią, alimentacja rzek w okresach niżówek, utrzymanie żeglowności rzek przez ustabilizowanie przepływu na odpowiednim poziomie, turystyka i rekreacja oraz produkcja energii (ten aspekt zagadnienia został szerzej omówiony w dalszej części pracy). Najczęściej w projektach zbiorników pomijany jest kosztowny aspekt utrzymania odpowiedniej jakości ich wód (przeciwdziałania eutrofizacji). Czytelników zainteresowanych zapobieganiem zakwitom glonów lub/i sinic odsyłamy do bardzo obszernej literatury przedmiotu.

Obok wyżej wymienionych korzyści zbiorniki zaporowe mają ogromny, najczęściej negatywny, wpływ na biocenozę rzek poniżej tamy. Przegrodzenie koryta rzeki powoduje przerywanie jej ciągłości ze wszystkimi konsekwencjami, przede wszystkim bardziej wyrównanym przepływem i zmianą właściwości fizyko-chemicznych wody, zwłaszcza jej termiki. Proces ten jest dobrze udokumentowany, a badaczami, którzy skierowali główny nurt badań z biocenozy zbiorników zaporowych na rzeki byli WARD i STANFORD (1980). Do najbardziej istotnych zmian pośrednio wpływających na stan flory i fauny rzeki, należy zaliczyć w pierwszej kolejności te spowodowane przez nienaturalny reżim hydrologiczny, generowany przez rytm upustów wody z tamy. Do innych niekorzystnych zjawisk, wywołanych spiętrzeniem rzeki i utworzeniem jeziora zaporowego, należą:

- podniesienie się zwierciadła wód gruntowych;
- zmiany miejscowego klimatu;
- okresowe wahania poziomu wody i odsłanianie dna nie tylko zbiornika, ale i rzeki poniżej zbiornika;

- zatopienie „dolin rzecznych” i wyłączenie z użytkownika rolniczego;
- przesiedlenia ludności;
- zalanie zabytków architektonicznych lub/i historycznych.

#### PRZEPIŁYW

Jak wyżej wspomniano, funkcjonowanie zbiorników zaporowych (szczególnie tych dużych) i stopni wodnych, bardzo silnie zaburza naturalny reżim hydrologiczny rzek. Odnotowywane niskie stany wód, połączone z ograniczeniem okresowego zalewania dolin, często zakłócają lub/i modyfikują cykle życiowe wielu rzecznych organizmów. Efektem jest z reguły spadek różnorodności biocenozy rzecznej, chociaż liczebność bezkręgowców bentosowych może wskazywać różne trendy; odnotowywano zarówno zmniejszenie, jak i zwiększenie czy nawet podobny poziom zagęszczenia w okresie przed i po piętrzeniu (ARMITAGE 1984, PETTS 1984). Jeżeli ustabilizowany przepływ sprzyja rozwojowi glonów bentosowych (zasoby pokarmowe wielu organizmów), to proces ten korzystnie wpływa zarówno na populacje owadów (głównie ochotek, Chironomidae), jak i skąposzczetów (Oligochaeta). Dynamika upustów wody oddziałuje również na charakter dna rzeki poniżej zapory, bądź kumulując osady drobnoziarniste bądź utwardzając dno poprzez ich wypłukiwanie. Znoszone ze zbiornika: fito- i zooplankton, dryfujące bezkręgowce oraz materia organiczna, mogą sprzyjać rozwojowi dużych, ale mało taksonomicznie zróżnicowanych populacji bezkręgowców filtrujących pokarm z toni wodnej, takich jak chruściki (Trichoptera) czy meszki (Simuliidae), preferujących dno żwirowo-kamieniste (ARMITAGE 1984, DUKOWSKA i współaut. 2007).

Brak okresowych wezbrań w rzece uniemożliwia odbycie tarła wielu gatunkom ryb, np. szczupakowi, który składa ikrę na zalanych łąkach. Piętrzenie wpływa również na obniżenie poziomu wody prowadząc, w

krańcowych przypadkach, do osuszenia teras; zanika charakterystyczna dla nich roślinność, a wraz z nią siedliska do rozrodu owadów, płazów czy ptaków. W dolinach rzek, w przypadku ustania lub znacznego ograniczenia intensywności wezbrań, następuje szybka sukcesja gatunków charakterystycznych dla bardziej suchych obszarów.

Organizmy wodne wykazują skłonność do migracji w różnych okresach życia. Zarówno ryby, jak i bezkręgowce podejmują wędrówki w poszukiwaniu odpowiednich siedlisk (dryf rozpraszający bezkręgowców) lub/i żerowisk oraz w celach reprodukcyjnych. Tamy, przerywając ciągłość rzeki, uniemożliwiają te wędrówki nie tylko w dół (dryf), ale również w górę ekosystemu. W przypadku ryb obserwuje się zaburzenia w wędrówkach form nie tylko kata- i anadromicznych, przemieszczających się do morza czy w kierunku źródeł, a także miejscowych gatunków, które tracą dostęp do miejsc składania ikry i żerowisk. Środkiem mającym z założenia łagodzić tego rodzaju utrudnienia są przepławki. Jednakże znaczna ich część nie spełnia swojej roli na skutek błędów konstrukcyjnych, złej lokalizacji czy to przez zbyt niski przepływ. Efektem piętrzenia jest redukcja liczebności ryb reofilnych takich jak brzana, świnka, kleń, boleń, a nawet jaź i jelec. Wzrasta natomiast liczebność gatunków limnofilnych (leszcz) lub też nie wykazujących wyraźnych preferencji w stosunku do rodzaju siedliska (płoc i okoń) i to właśnie te taksony, w krótkim czasie, opowiadają siedliska form reofilnych (BŁACHUTA i WITKOWSKI 1997).

#### TERMIKA

Bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na biocenozę rzeki poniżej piętrzenia jest zaburzenie termiki wody. Jest ona efektem stratyfikacji termicznej w głębszych zbiornikach; górna warstwa wody (epilimnion) jest ciepła, natomiast przydenna (hypolimnion) zimna. Latem woda uwalniania z hypolimnionu obniża temperaturę wody w rzece, natomiast zimą podnosi ją, często zapobiegając jej zamarzaniu na przestrzeni kilku kilometrów poniżej tamy (GRZYBKOWSKA i DUKOWSKA 2002). Nawet niewielkie zmiany temperatury wpływają na cykle życiowe organizmów, często drastycznie ograniczając ilość i różnorodność fauny (PENCZAK i współaut. 1998).

Szereg negatywnych skutków dla środowiska przyrodniczego ma również żegluga, czy to rzeczna czy w zbiornikach; statki poruszając osady dennego prowadzą do śmierci

wielu zwierząt bezkręgowych (zasypywanie lub/i wymywanie) oraz ryb, przede wszystkim zasypując ich ikrę. Sedymentacja detrytusowa na piaszczystych łachach sprawia, że stają się one nieprzydatne jako tarliska (BEDNAREK 2001).

#### ENERGETYKA WODNA

Nieodłącznym elementem zapór są elektrownie wodne; wykorzystywanie energii wodnej uchodzi, obok korzystania z siły wiatru i słońca, za najbardziej „ekologiczny” sposób uzyskiwania prądu elektrycznego. Zdaniem hydrotechników, podczas wytwarzania energii przez elektrownię wodną do atmosfery nie dostają się żadne zanieczyszczenia, a poziom emitowanego hałasu jest niski. Jednakże zarówno sama budowa elektrowni, jak i jej funkcjonowanie znacząco zmieniają nie tylko ekosystem rzeczny (przede wszystkim przepływ), ale i całą przyrodę terenów przyległych (BŁACHUTA i współaut. 2006).

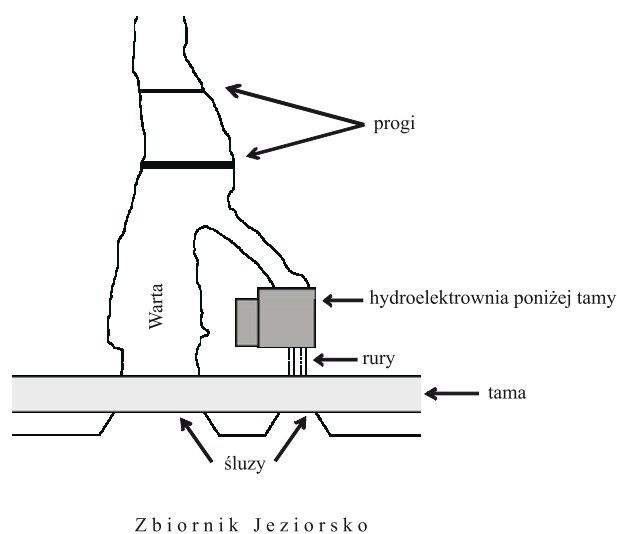
Budowa wymienionej wyżej chińskiej Zapory Trzech Przełomów trwa już kilkanaście lat (od 1993). Długa na 2309 i wysoka na 185 metrów zaporą jest główną częścią elektrowni wodnej; pokryje ona jedną dziewiątą obecnego zapotrzebowania Chin na energię. Tama ma również zapobiec powodziom, które w ciągu ostatnich stu lat pochłonęły mnóstwo ofiar (ponad milion ludzi). Przyczyni się także do rozwoju wielu prowincji; dzięki systemowi śluz statki morskie o nośności 10 tys. ton popłyną aż 2400 km w głąb lądu. O inwestycji tej zdecydowała nie tylko gospodarka, ale również polityka; tama ma być symbolem rosnącej potęgi Chin. Budowę zapory ukończono 20 maja 2006 r.; elektrownia już częściowo pracuje, a po uruchomieniu następnych generatorów (docelowo 26 generatorów o łącznej mocy 18,2 GW) produkować będzie rocznie około 84,7 TWh (terawatogodzin) energii. Ale, o czym się już w mediach rzadziej wspomina, nieujarzmiona Jangcy nanosiła żyzny muł na ogromne obszary, bez którego pola uprawne mogły zostać w niedługim czasie wyjałowione. O innych skutkach na razie się nie mówi.

Do największych, jeśli chodzi o moc produkowanej energii, należy wybudowana w 1983 r. elektrownia na Paranie (Itaipu, na granicy Brazylii i Paragwaju). Elektrownia ta produkuje rocznie 93,4 TWh energii. Nieco mniejsze są: Grand Coulee na rzece Kolumbia w USA (10,080 MW) i Guri, Raul Leoni na rzece Coroni w Wenezueli (10,060 MW). Wysoka na 111 m Tama Asuańska, ujarzmi-

jąca jedną z najdłuższych rzek świata – Nil, tworząca sztuczne jezioro (Lake Nasser) o powierzchni 5244 km<sup>2</sup> i 510 km długości, generuje ponad 10 miliardów kilowatogodzin rocznie, co zaspokaja ponad połowę zapotrzebowania Egiptu na energię. Warto jeszcze wspomnieć o zaporze Akosombo, piętrzącej Białą i Czarną Wolte, w południowo-wschodniej Ghanie. W efekcie powstało największe sztuczne jezioro na świecie, znane jako Jezioro Wolta (uruchomiane w latach 1961–1965). Elektrownia dostarcza energię nie tylko do Ghany, ale także sąsiadujących z nią krajów Afryki Zachodniej. W okresach suszy woda ze zbiornika jest racjonowana; generowana jest też mniejsza ilość energii, co przekłada się na ograniczenie jej użytkowania przede wszystkim przez mieszkańców Ghany.

Znacznie groźniejsze skutki dla biocenozy rzek powodują nie przepływowe hydroelektrownie wodne, ale te, pracujące w okresach szczytowego zapotrzebowania na energię. Konsekwencją zabiegów hydrologicznych umożliwiających funkcjonowanie hydroelektrowni szczytowych są bardzo duże, codzienne wahania poziomu wody. Taka nienaturalna skala przepływu ma katastrofalny wpływ na ekosystem rzeczny, kreując bardzo surowe warunki dla fauny dennej, przede wszystkim przez jej wymywanie (TROELSTRUP i HERGENRADER 1990, MOOG 1993). Skutkiem ich funkcjonowania bywa także eliminacja roślin wraz z fauną naroślinną. Najstarsza tego typu elektrownia powstała w 1907 r. w Szwajcarii. Obecnie największą elektrownią szczytowo-pompową w Europie jest Dinorwic w Walii, natomiast w Polsce Żarnowiec (województwo pomorskie).

Należy podkreślić, że turbiny hydroelektrowni z reguły umieszczane są w koronie zbiornika. Zdarzają się jednak wyjątki od tej reguły. Przykładem jest hydroelektrownia Jeziorsko, położona poniżej tamy zaporowej; przyczyną takiej lokalizacji jest bardzo prosta. Kiedy Zbiornik Jeziorsko już piętrzył wody Warty (od 1986), tworząc drugi co do wiel-



Ryc. 1. Tama i hydroelektrownia zbiornika Jeziorsko na Warcie.

kości, pod względem powierzchni, zbiornik zaporowy w Polsce, wydano zarządzenie, że każdy duży zbiornik musi generować energię elektryczną. Budowę hydroelektrowni, z generatorami poniżej tamy, zakończono w 1994 roku (Ryc. 1).

Zasoby hydroenergetyczne Polski szacuje się na 13,7 TWh rocznie, z czego wykorzystywanych jest 12%. W Polsce najwyższą pojemnością charakteryzuje się zbiornik „Solina”, którego zaporą jest najwyższą budowlą hydrotechniczną (81,8 m). Tama utworzyła jezioro o pojemności 474 mln m<sup>3</sup>, powierzchni ponad 2100 ha oraz maksymalnej głębokości 60 m. Zbiornik obejmuje 27 km długości Sanu oraz 14 km Solinki; przy zaporze znajduje się hydroelektrownia szczytowo-pompowa o produkcji rocznej 112 GWh.

Generalnie w Polsce jest około 100 zbiorników i stopni wodnych o pojemności powyżej 1 mln m<sup>3</sup>. Łączna pojemność zbiorników wynosi 4 mld m<sup>3</sup>, co stanowi 6,5% odpływu rocznego. Jednakże część z nich, z różnych powodów, nie nadaje się już do dalszego eksploatacji. Jak dalej z nimi postępować?

## ROZBIERANIE ZAPÓR

W ostatnich dwu dekadach dokonuje się całkowitej lub częściowej likwidacji zapór, a rzeki powracają do naturalnego przepływu (renaturyzacja) (POWER i współaut. 1988; SHUMAN 1995; STANFORD i współaut. 1996;

ŻELAZO i POPEK 2002; ROBINSON i współaut. 2003a, b; MALONEY i współaut. 2008).

Proces starzenia się zbiorników przebiega rozmaicie. W zależności od typu i systemu pracy zapory zbiornikom, w krótszym lub

dłuższym czasie, grozi wypłylenie. Przyпуска się, że przeciętny okres funkcjonowania zbiorników mieści się w zakresie 60-120 lat (DENDY i CHAMPION 1978) i zależy on w dużej mierze od morfometrii zbiornika oraz charakteru zlewni rzeki. Oba wyżej wymienione parametry determinują szybkość procesu sedymentacji transportowanej drobno-cząsteczkowej materii organicznej (MORRIS i FAN 1998). Jedną z możliwości pozbycia się nie spełniającego oczekiwań zbiornika jest rozbieranie jego zapory. Należy przy tym pamiętać, że w pierwszej kolejności o ich destrukcji decydują względy ekonomiczne i społeczne, a dopiero na dalszym miejscu, ekologiczne. Zdaniem zarządzających gospodarką wodną koszty, wynikające z usunięcia tamy i renaturyzacji rzeki są niższe w porównaniu z nakładami poniesionymi na naprawę zapory czy ochronę rzeki przed ewentualnymi katastrofami (KANEHL i współaut. 1997, BORN i współaut. 1998, JOHNSON i GRABER 2002). W opinii hydrobiologów, w przyszłości usuwaniu konstrukcji piętrzących powinny towarzyszyć efektywne zabiegi ograniczające ryzyko katastrof ekologicznych (PEJCHAR i WARNER 2001, HART i współaut. 2002). A te nie są dokładnie poznane; wpływ rozbierania tam i opróżniania zbiorników na biocenozę rzeki nie doczekały się, jak dotąd, zbyt licznych opracowań (POWER i współaut. 1988, SHUMAN 1995, HART i współaut. 2002, POLLARD i REED 2004).

Najczęściej opróżniane są nieduże, wypływające się zbiorniki (o wysokości tamy do 5 m), piętrzące rzeki od około stu lat, których likwidacja, nie powodując zagrożeń w skali „makro, z reguły prowadzi do szybkiej renaturyzacji ekosystemów rzecznych (BORN i współaut. 1998). Tego rodzaju rozwiązanie nie wywołuje także perturbacji w budżetach lokalnych władz (SHUMAN 1995). Likwidacja niewielkich zbiorników to przede wszystkim mniejszy problem (i) ze znośnością do rzek osadów, często silnie toksycznych, deponowanych przez dziesięciolecia na dnie zbiorników (SHUMAN 1995, MORRIS i FAN 1998), (ii) z erozją koryt rzecznych (MOODY i współaut. 1999, BUSHAW-NEWTON i współaut. 2001, HOROWITZ i współaut. 2001), (iii) z zasypaniem dna rzek drobnociąstkowymi cząstkami mineralnymi (kolmatacja) (BRUNKE 1999, DOYLE i współaut. 2003).

Zdarza się, że przemieszczenie osadu do rzeki może być bardzo intensywne zwiększając znacznie mętność wody; po usunięciu tam Grangeville i Lewiston na rzece Clearwater

(Idaho) piasek i osad, zdeponowane w całym zbiorniku, przemieściły się w dół rzeki osiągając od 35 cm, a miejscami nawet do 1,60 m miąższości (WINTER 1990, JARRETT i COSTA 1993, STANLEY i współaut. 2002). Zjawisko to może być jednak rozłożone na wiele lat, a stopniowe uwalnianie osadów może być podstawowym narzędziem łagodzącym negatywne skutki usuwania tam (SIMONS i SIMONS 1991). Zatrzymywanie osadu i osuszanie dna, to inne techniki redukujące przemieszczanie osadu ze zbiornika do rzeki. Zjawisko to może także ulec znacznemu ograniczeniu w wyniku pojawienia się amfifitów (roślin ziemno-wodnych) porastających odsłoniętą miśnię zbiornika, zwłaszcza jeśli opróżnienie zbiornika ma miejsce krótko przed rozpoczęciem sezonu wegetacyjnego (WALKER i współaut. 1986, TSZYDEL 2006).

Reakcja biocenozy rzeki na usunięcie zapory jest tym silniejsza, im bardziej gwałtowne było opróżnianie zbiornika (WOHL i CENDERELLI 2000, HART i współaut. 2002). Wpływ na populacje ma też pora roku; najbardziej korzystne jest opróżnianie zbiornika wczesną wiosną lub późną jesienią, natomiast mniej sprzyjająca jest późna wiosna czy lato, kiedy ekstremalnie wysoki przepływ powoduje wysoką śmiertelność młodych stadiów rozwojowych bezkręgowców (WARD i KONDRATIEFF 1992) oraz kręgowców.

Opróżnienie zbiornika i likwidacja tamy bardzo rzadko od razu prowadzi do powrotu „pierwotnych” rzecznych organizmów, typowych dla okresu sprzed piętrzenia. Początkową fazę tego rodzaju renaturyzacji charakteryzują siedliska różniące się znacznie od poprzednich, o marginalnym znaczeniu dla typowych gatunków (GREGORY i współaut. 2002).

Jak wynika z literatury przedmiotu, proces powrotu rzeki do naturalnego stanu może trwać kilka do kilkunastu lat w zależności od wielu charakterystyk tak samej rzeki jak i jej dorzecza, a także od wielkości zbiornika i ilości skumulowanych w nim osadów (KANEHL i współaut. 1997, STANLEY i współaut. 2002). Po likwidacji średniej wielkości zbiorników powrót do naturalnej granulacji podłoża nieorganicznego i ilości materii organicznej pokrywającej dno rzek trwa zwykle 2-5 lat (HOFFMAN i WINTER 1996).

#### TEREN ZBIORNIKA PO USUNIĘCIU ZAPORY

Jak wcześniej wspomniano, funkcjonowanie tamy zmienia temperaturę wody w rzece poniżej (kierunek tych zmian zależy

od miejsca upustu wody przez śluzę – górą bądź dołem) oraz na terenie zbiornika. Usunięcie zapory przywraca rzecę naturalną sezonową dynamikę, redukując średnią w skali roku nawet o około 3°C (PAWŁOWSKI i COOK 1993). Po likwidacji tamy spadło zagęszczenie obcych gatunków, np. karpia, czy innych limnofilnych, ciepłolubnych taksonów, podczas gdy populacje rodzimych gatunków reofilnych, zimnolubnych, takich jak pstrąg, łosoś czy jesiotr, wzrosły (KANEHL i współaut. 1997). Badania wskazują, że usunięcie zapory przywraca także florę i faunę strefy ekotonowej (BEDNAREK 2001).

Likwidacja tamy powoduje przemieszczanie osadów uwieczonych w górę od zapory, przywracając tym samym rzecę i terenom nadrzecznym warunki z okresu przed piętrzeniem. Po rozebraniu tamy, żwir i kamienie zalegające na dnie zbiornika mogą być ponownie odsłonięte w efekcie zmycia drobnoziarnistych osadów. Tego rodzaju podłoże jest bardzo sprzyjające nie tylko dla fauny bezkręgowej (owadów), ale również jako tarlisko dla ryb i miejsca rozwoju ikry (HILL i współaut. 1993, KANEHL i współaut. 1997). Odnotowano również zwiększenie stopnia

pokrycia dna roślinnością (HILL i współaut. 1993, ESTES i współaut. 1993). Obserwacje rzeki po usunięciu tamy Rodman na rzece Ocklawaha (Floryda) wskazały na pozytywny efekt przywrócenia naturalnych przepływów, nawadniających terasę zalewową. Nastąpił rozwój roślinności przybrzeżnej i związanej z nimi fauny (KAUFMAN 1992).

W przypadku usunięcia tamy Edwards na rzece Kennebec (USA) odnowionych zostało 18 mil terenów nadrzecznych, a powyżej tamy przywrócone zostały miejsca składania ikry dla 10 gatunków ryb wędrownych, między innymi w wyniku przywrócenia sekwencji bystrze-płoso (zróznicowanie szybkości prądu i stopnia uziarnienia nieorganicznego substratu na dnie) (DADSWELL 1996).

Bardzo ważne dla biologii wielu organizmów jest usuwanie tam w rzekach wybrzeża; zapory zapobiegają oceanicznym wezbrańom i blokują wędrówkę ryb zarówno z rzek do morza, jak i z morza do rzek (OULLET i DODSON 1985). Zdaniem DADSWELLA (1996) usunięcie takich przeszkód powoduje przywrócenie naturalnych interakcji morze-rzeki i, z reguły, kończy się wzrostem populacji rodzimych gatunków ryb.

#### PRÓBY „RATOWANIA” RZEK PONIŻEJ PIĘTRZENIA

W 1963 r. rzekę Kolorado przegrodzono tamą (Glen Canyon Dam); powstało ogromne sztuczne jezioro (Lake Powell), z ujęciem wody dla 20 milionów ludzi i hydroelektrownią generującą energią dla 400 tysięcy domów. Ucierpiało jednak środowisko poniżej tamy - przepływ poniżej zapory ustabilizowano na niskim poziomie (nie było już wiosennych powodzi), mikroklimat stał się bardziej suchy, zaczęły znikać niektóre gatunki organizmów wodnych (najbardziej zauważalne to ryby). Aby częściowo zrekompensować te straty, już po raz trzeci w ciągu 12 lat, na początku marca 2008 r. wywołano kontrolowaną (trwającą

60 godzin) powódź, której założeniem była rewitalizacja rzeki Kolorado. To spektakularne zjawisko mogliśmy bądź obserwować w naszych mediach, bądź przeczytać o nim w prasie. Zdaniem amerykańskich ekologów „zrobiono taką pokazówkę, by przekonać ludzi, że władze dbają o Wielki Kanion, gdy tymczasem wiele istotnych problemów związanych z funkcjonowaniem tego zbiornika, zaniedbano. Władze federalne i stanowe, zamiast organizować spektakularne powodzie, powinny dążyć do opracowania kompleksowego planu ochrony środowiska najsłynniejszego chyba amerykańskiego pomnika przyrody”.

#### PRZYWRÓCENIE FUNKCJONOWANIA „NIEWYDOLNYM” ZBIORNIKOM

Ciekawym przykładem przywrócenia zdolności retencyjnych staremu zbiornikowi jest Jezioro Drzewieckie, efekt piętrzenia czwartorzędowego, nizinnego odcinka rzeki Drzewiczki. Już w 1780 r. utworzono w Drzewicy Wielki Staw o powierzchni 8,6 ha; uwalnia-

na z niego woda napędzała koła młyńskie, a także była wykorzystywana w kuźnicach. W latach 30. XX w. dla potrzeb zakładu Gerlach S.A. zbiornik powiększono do ponad 80 ha. Spełniał on nie tylko rolę zbiornika przemysłowego, ale wykorzystywany był także re-

kreacyjnie. Dodatkowo pod koniec lat 70. na Drzewiczce, poniżej tamy, zbudowano sztuczny tor dla kajakarzy górskich, który, z krótką przerwą na czas bagrowania zbiornika i modernizacji toru (początek XXI w.), funkcjonuje do dziś. Ukształtowanie rynn toru spełnia wszystkie normy dotyczące organizacji zawodów najwyższej rangi; to tutaj, jeszcze na starym torze, odbywały się treningi wicemistrzów olimpijskich z Sidney. Ale Zbiornik Drzewiecki, kumulując wleczone rumowisko, stopniowo się wypłycał. Podjęto decyzję o jego bagrowaniu; jest to inwestycja

bardzo kosztowna. W marcu 2002 r. opróżniono go; nastąpiło całkowite odsłonięcie dna misy Zbiornika. Już w następnym miesiącu rozpoczęto bagrowanie. Ponieważ był to proces trwający kilka lat znaczne fragmenty dna szybko porosły rośliny ziemnowodne. Ograniczyły one spływ części zdeponowanych w zbiorniku osadów do rzeki. Szczegółowe zmiany w biocenozie Drzewiczki przed- i w czasie bagrowania zostały opisane przez TSZYDLA (2006), DUKOWSKĄ i współaut. (2007) oraz SZCZERKOWSKĄ (2007).

#### KATASTROFY W PRZESZŁOŚCI I TE, PROGNOZOWANE W PRZYSZŁOŚCI

Czasem powódzie poniżej tamy są wynikiem katastrof. Przykładem jest tragedia, do jakiej doszło w 1963 r., we włoskim miasteczku Longarone, gdzie w ciągu 5 minut około 50 mln m<sup>3</sup> wody przelało się przez koronę zapory do wąskiego gardła wąwozu Vaiont, tworząc szalejącą rzekę o głębokości 70 m, pędzącą z prędkością 27 m s<sup>-1</sup> (96 km/godz.) i zmiatającą z powierzchni ziemi wszystkie budowle napotkane na swej drodze. W ciągu kilku minut zginęło ponad dwa tysiące osób.

W Polsce bardzo wiele mówi się o stopniu wodnym we Włocławku. Istniejącej od ponad 30 lat hydrokonstrukcji na Wiśle grozi awaria lub nawet katastrofa budowlana. Jest to wynik wieloletniego występowania niekorzystnych zjawisk poniżej tamy, takich jak przyśpieszona erozja wgłębna koryta rzeki powodująca szybkie i nadmierne obniżanie dna (około 4,0 m w bezpośrednim sąsiedztwie tamy) i obniżanie poziomu wody (o 2,5–3,0 m) na odcinku ponad 30 km poniżej stopnia (BAGIŃSKI 2007).

#### PODSUMOWANIE

W wielu państwach dokonuje się likwidacji tam, chociaż krytycznie patrzą na to zjawisko hydrotechnicy. Polscy inżynierowie, posługując się argumentami natury techniczno-ekonomicznej, są zwolennikami budowy coraz to nowych zapór, przekonując do podjęcia takich inwestycji lokalne władze, które widzą w nich szansę na gospodarcze ożywienie regionu, i, co za tym idzie, ograniczenie bezrobocia. Nie zwracają przy tym uwagi lub/i przywiązują zbyt małą wagę do zmian rzeki i jej dorzecza. Analiza kosztów i zysków, prowadzona przez rzeczników takich inwestycji wskazuje, iż budowa zapór i kaskad jest inwestycją opłacalną pod względem ekonomicznym, natomiast trudno jest zbilansować te korzyści z trudnymi do wycenienia stratami dla środowiska. Badania naukowców i propa-

gowanie ich wyników (ŻELAZIŃSKI 2008) powinny przekonać hydrotechników do głębszej analizy przed podjęciem decyzji o budowie. Niestety głosy hydrobiologów, uczestniczących w konferencjach dotyczących funkcjonowania zbiorników zaporowych, są z reguły „niezauważane” przez hydrotechników, o czym miałyśmy okazję osobiście się przekonać.

Powróćmy do zacytowanego fragmentu pracy AUSUBELA (2007). W chwili obecnej decydenci „zapatrzeni” są w rozmaite dyrektywy, które sugerują Polsce, jaką ilość energii w bilansie paliwowo-energetycznym, należy uzyskiwać z różnego rodzaju źródeł odnawialnych. Czy powinniśmy być bezkrytycznymi za wszelką cenę wykonawcami tych zaleceń? To zagadnienie pozostawiamy otwartym.

## IMPOUNDING RIVERS AND WATER POWER: PROS AND CONS.

## Summary

For a long period obtation of energy from renewable sources was favoured by specialists as the least invasional method to environment. Energy from dammed rivers belongs to such ecological sources. The time of maximum intensity of impounding rivers was till the 60s of the 20th century when profits of retention and other benefits, including economical considerations, dominated. At present there are two trends: 1) to build new huge reservoirs like the China Three Gorges Dam of the Yangcy River, 2) to liquidate some reservoirs (dam removal). The second trend is partially a result of shallowing of reservoirs and partially of hydrobiologists' investigations. From 1980 (Ward and Stanford) ecologists have been stressing the negative influence of dams on river biocenoses.

The strongest influences on riverine organisms' biology are exerted by changeable flow regime and water temperature. Dams also reduce the migrations of both fish and macroinvertebrates, which ensue from interrupting the river continuum. Because, due to their aging, reservoirs possess the predicted time of their functioning (about 100 years), in some countries (USA) the trend of dam removal has started. It concerns mostly small and mid-sized reservoirs. Also, other methods of improving rivers have occasionally been implemented (for example application of artificial floods on the Colorado River, downstream of the Glen Canyon Dam). Thus water energy, produced by impoundments, constitutes a considerable threat to nature.

## LITERATURA

- ALLAN J. D., 1998. *Ekologia wód płynących*. PWN, Warszawa, 1-451.
- AUSUBEL J. H., 2007. *Renewable and nuclear heresies*. Int. J. Nucl. Gov. Econom. Ecol. 1, 229-243.
- ARMITAGE P. D., 1984. *Environmental changes induced by stream*. [W:] *Regulated rivers*. LILHAMMER A., SALTVEIT J. (red.). Universitetsforlaget, Oslo, 139-165.
- BAGIŃSKI L., 2007. *Wybrane problemy stanu bezpieczeństwa stopnia wodnego Włocławek*. Nauka Przyroda Technologie 1, 1-12.
- BEDNAREK A. T., 2001. *Undamming rivers: a reviews of the ecological impacts of dam removal*. Environ. Mgmt. 27, 803-814.
- BŁACHUTA J., WITKOWSKI A., 1997. *Problemy gospodarki wędkarskiej w rzekach*. [W:] *Wędkarstwo w ochronie wód i rybostanów*. Konferencja Naukowa, Łódź 26-27.05.1997, PZW, Warszawa, 11-28.
- BŁACHUTA J., JELONEK M., PANASIUK D., ROGGENBUCK A., MYŚLAJEK R., STÓJ M., 2006. *Zapory a powoździe*. Raport Towarzystwa Na Rzecz Ziemi i Polskiej Zielonej Sieci. Kraków, 1-66.
- BORN S. M., GENSKOW K. D., FILBERT T. L., HERNANDEZ-MORA N., KEEFER M. L., WHITE K. A., 1998. *Socio-economic and institutional dimension of dam removals: the Wisconsin experience*. Environ. Mgmt. 22, 359-370.
- BRUNKE M., 1999. *Colmation and depth filtration within streambeds: retention of particles in hyporheic interstices*. Int. Rev. Hydrobiol. 84, 99-117.
- BUSHAW-NEWTON K. L., ASHLEY J. T., BOETTNER A. R., DEALTERIS J., KIRY P., KREEGER D. A., RAKSANY D., VELINSKY D. J., 2001. *The Manatawny Creek Dam removal: Biogeochemical processes and sediment contaminants*. J. N. Am. Benthol. Soc. 18, 172.
- DENDY F. E., CHAMPION W. A., 1978. *Sediment deposition in United States Reservoirs*. Summary of data reported through 1975. USDA Washington DC Publication 1362, 1-84.
- DADSWELL M. J., 1996. *The removal of Edwards Dam, Kennebec River, Maine: Its effects on the restoration of anadromous fishes*. Draft Environmental Impact Statement, Kennebec River, Maine, Appendices 1-3, 1-99.
- DOYLE M. W., STANLEY E. H., HARBOR J. M., 2003. *Channel adjustments following two dam removal in Wisconsin*. Water Resour. Res. 39, 1-15.
- DUKOWSKA M., SZCZERKOWSKA E., GRZYBKOWSKA M., TSZYDEL M., PENCZAK T., 2007. *Effects of flow manipulations on benthic fauna communities in a lowland river: interhabitat comparison*. Pol. J. Ecol. 55, 99-110.
- DYNESIUS M., NILSSON D., 1994. *Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world*. Science 266, 753-762.
- ESTES J. R., MYERS R. A., MANTINI L., 1993. *Fisheries investigation of Newnans Lake*. State of Florida Game and Fresh Water Fish Commission. A Wallop-Breaux Project F-55-6, Study 4, 1-34.
- GREGORY S. V., ASHKENAS L. R., OETTER D., MINEAR P., WILDMAN K., 2002. *Historical Willamette River channel change*. [W:] *Willamette River Basin Atlas: Trajectories of environmental and ecological change*. HULSE D., GREGORY S., BAKER J. (red.). Oregon State University Press, 18-25.
- GRZYBKOWSKA M., DUKOWSKA M., 2002. *Communities of Chironomidae (Diptera) above and below a reservoir on a lowland river: long-term study*. Annls. zool. 52, 235-247.
- HART D. D., JOHNSON T. E., BUSHAW-NEWTON K. L., HORWITZ R. J., BEDNAREK A. T., CHARLES D. F., KREEGER D. A., VELINSKY D. J., 2002. *Dam removal: challenges and opportunities for ecological research and river restoration*. BioScience 52, 669-681.
- HILL M. J., LONG E. A., HARDIN S., 1993. *Effects of dam removal on Dead Lake, Chipola River, Florida*. Apalachicola River Watershed Investigations, Florida Game and Fresh Water Fish Commission. A Wallop-Breaux Project F-39-R, 1-12.
- HOFFMAN C. H., WINTER B. D., 1996. *Restoring aquatic environments: a case study of the Elwha River*. [W:] *National parks and protected areas: their role in environmental protection*. WRIGHT R. G. (red.). Blackwell Science, Cambridge, 303-323.
- HOROWITZ A. J., ELRICK K. A., SMITH J. J., 2001. *Estimating suspended sediment and trace element fluxes in large river basins: Methodological considerations as applied to the NASQAN program*. Hydrol. Process. 15, 1107-1132.
- JACKSON R. B., CARPENTER S. R., DAHM C. N., MCKNIGHT D. M., NAIMAN R. J., POSTEL S. L., RUNNING S. W., 2001. *Water in a changing world*. Ecol. Appl. 11, 1027-1045.
- JARRETT R. D., COSTA J. E., 1993. *Hydrology and geomorphology of the 1982 Lawn Lake Dam fail-*



- ure, Colorado. [W:] *Ecological effects of the Lawn Lake flood of 1982, Rocky Mountain National Park*. MCCUTCHEN H. E., HERRMANN R., STEVENS D. R. (red.). Washington (DC): US Department of the Interior, National Park Service, Scientific Monograph NPS/NR-ROMO/NRSM-93/21, 1-17.
- JOHNSON S. E., GRABER B. E., 2002. *Enlisting the Social Sciences in Decisions about Dam Removal*. *BioScience* 52, 731-38.
- KANEHL P. D., LYONS J., NELSON J. D., 1997. *Changes in the habitat and fish community of the Milwaukee River, Wisconsin, following removal of the Woolen Mills Dam*. *Nat. Am. J. Fish Mgmt.* 17, 387-400.
- KAUFMAN J. H., 1992. *Effects on wildlife of resorting the riverin forest in the Rodman Pool area*. [W:] *The case for restoring the free-flowing Ocala-choma River*. Florida Defenders of the Environment, 38-41.
- MALONEY K. O., DODD H. R., BUTLER S. E., WAHL D. H., 2008. *Changes in macroinvertebrate and fish assemblages in medium-size river following a breach of a low-head dam*. *Freshwat. Biol.* 53, 1055-1068.
- MOODY J. A., PIZZUTO J. E., MEADE R. H., 1999. *Ontogeny of a flood plain*. *Geol. Soc. Am. Bull.* 111, 291-303.
- MOOG O., 1993. *Quantification of daily peak hydro-power effects on aquatic effects on aquatic fauna and management to minimise environmental impacts*. *Regul. Rivers: Res. Mgmt.* 8, 5-14.
- MORRIS G. L., FAN J., 1998. *Reservoir sedimentation handbook: design and management of dams, reservoirs and watershed for sustainable Use*. New York, McGraw-Hill.
- LOUD E., MUIR T., 1997. *Engineering and economic aspects of planning, design, construction and operation of large dam projects*. [W:] *Large dams: learning from the past, looking at the future*. DORCEY T. (red.). The World Conservation Union, Gland, Switzerland and the World Bank, Washington DC, 1-247.
- OULLET P., DODSON J. J., 1985. *Tidal exchanges of anadromous rainbow smelt (*Osmerus mordax*) larvae between a shallow spawning tributary and the St. Lawrence estuary*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42, 1352-1358.
- PAWLOSKI J. T., COOK L. A., 1993. *Sailing dam draw-down and removal*. Unpublished manuscript presented at The Midwest Region Technical Seminar on Removal of Dams, Association of State Dam Safety Officials, Kansas City, Missouri. 30 September-1 October 1993.
- PEJCHAR L., WARNER K., 2001. *A River Might Run Through It Again: Criteria for Consideration of Dam Removal and Interim Lessons from California*. *Environ. Mgmt.* 28, 561-575.
- PENCZAK T., GŁOWACKI Ł., GALICKA W., KOSZALIŃSKI H., 1998. *A long-term study (1985-1995) of fish populations in the impounded Warta River, Poland*. *Hydrobiologia* 368, 157-173.
- PETTS G. E., 1984. *Impounded rivers. Perspectives for ecological management*. Chichester. Wiley and Sons, 1-326.
- POFF L. N., HART D. D., 2002. *How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal*. *BioScience* 52, 659-668.
- POLLARD A., REED T., 2004. *Benthic invertebrate assemblage change following dam removal in a Wisconsin stream*. *Hydrobiologia* 513, 51-58.
- POWER M. E., STOUT R. J., CUSHING C. E., HARPER P. P., HAUER F. R., MATTHEWS W. J., MOYLE P. B., STATZNER B., DE BADGEN I. R. W., 1988. *Biotic and abiotic controls in river and stream communities*. *J. Nat. Am. Benthol. Soc.* 7, 456-479.
- ROBINSON C. T., UEHLINGER U., MONAGHAN M. T., 2003a. *Effects of a multi-year experimental flood regime on macroinvertebrates downstream of a reservoir*. *Aquat. Sci.* 65, 210-222.
- ROBINSON C. T., UEHLINGER U., MONAGHAN M. T., 2003b. *Stream ecosystem response to multiple experimental floods from a reservoir*. *River Res. Appl.* 20, 359-377.
- SHUMAN J. R., 1995. *Environmental considerations for assessing dam removal alternatives for river restoration*. *Regul. Rivers: Res. Mgmt.* 11, 249-261.
- SIMONS R. K., SIMONS D. B., 1991. *Sediment problems associated with dam removal - Muskegon River, Michigan*. [W:] *Hydraulic Engineering*. Proceedings of the 1991 National Conference of the American Society of Civil Engineers, American Society of Civil Engineers, 29 July- 2 August. Nashville, Tennessee, 202-203.
- STANFORD J. A., WARD J. V., LISS W. L., FRISSELL C. A., WILLIAMS R. N., LICHATOVICH J. A., COUTANT C. C., 1996. *A general protocol for restoration of regulated rivers*. *Regul. Rivers: Res. Mgmt.* 12, 391-413.
- STANLEY E. H., LUEBKE M. A., DOYLE M. W., MARSCHALL D. W., 2002. *Short-term changes in channel form and macroinvertebrate communities following low-head dam removal*. *J. Nat. Am. Benthol. Soc.* 21, 172-187.
- SZCZERKOWSKA E., 2007. *Bentofauna w nizinnej rzece o silnie modyfikowanym przepływie*. Rozprawa doktorska. Biblioteka Uniwersytetu Łódzkiego.
- TROELSTRUP N. H., HERGENRADER G. L., 1990. *Effect of hydropower peaking fluctuations on community structure and feeding guilds of invertebrates colonizing artificial substrates in a large impounded river*. *Hydrobiologia* 199, 217-228.
- TSZYDEL M., 2006. *Wpływ renaturyzacji nizinnej rzeki na biologię chrzączków (*Trichoptera*)*. Rozprawa doktorska. Biblioteka Uniwersytetu Łódzkiego.
- WARD J. S., STANFORD J. A., 1980. *Tailwater biota: Ecological response to environmental alternations*. Proceedings of the symposium on surface water impoundments ASCE, Minneapolis, Minnesota, 1516 - 1525.
- WARD J. V., KONDRATIEFF B. C., 1992. *An illustrated guide to the mountain stream insects of Colorado*. University Press of Colorado, Niwot, 1-191.
- WALKER L. R., ZASADA J. C., CHAPIN F. S., 1986. *The role of life history processes in primary succession on an Alaskan floodplain*. *Ecology* 67, 1243-1253.
- WINTER B. D., 1990. *A brief river of dam efforts in Washington, Oregon, Idaho, and California*. U.S. Department of Commerce, NOAA Tech. Memo. NMFS F/NWR 28, 1-13.
- WOHL E. E., CENDERELLI D. A., 2000. *Sediment and transport patterns following reservoir sediment release*. *Water Resour. Res.* 36, 319-334.
- ŻELAZIŃSKI J., 2008. *Mity hydrologów*. *Tygodnik Pow-szechny*. 39/2008.
- ŻELAZO J., POPEK Z., 2002. *Podstawy renaturyzacji rzek*. SGGW, Warszawa, 1-320.