KOMUNIKATY RYBACKIE
Nr 5 (166)/2018, 6 – 10

ARTYKUŁ PRZEGLĄDOWY

Tomasz Mikołajczyk[1], Przemysław Nawrocki[2]

[1]Pracownia Ekspertyz i Badań Ichtiologicznych PEBI, Kraków
[2]Fundacja WWF Polska, Warszawa

Zbiornik zaporowy jako bariera behawioralna i migracyjna dla ryb wędrownych

Wprowadzenie

Tematem niniejszego opracowania jest przedstawienie negatywnych skutków oddziaływania samego zbiornika zaporowego i stagnującej w nim wody na populacje ryb wędrownych, głównie na przykładzie anadromicznych ryb łososiowatych. Celem niniejszej analizy jest uświadomienie czytelnikowi, iż nie tylko sama zapora, ale również wygenerowany przez nią zbiornik wody jest realnym i poważnym zagrożeniem dla naturalnie występujących populacji ryb, zarówno dwuśrodowiskowych, jak i jednośrodowiskowych. Rozwój technologii i miniaturyzacji przyczynił się do zastosowania na masową skalę telemetrii radiowej, akustycznej i pasywnej (PIT), co pozwoliło na przeprowadzenie wszechstronnych badań wpływu zbiorników zaporowych na ryby i uzyskanie wyników, które były tylko marzeniem poprzednich pokoleń naukowców. Niniejszy raport jest oparty na analizie światowej literatury przedstawiającej wyniki badań wpływu zbiorników zaporowych na ichtiofaunę rzeczną.

Wpływ zbiorników zaporowych na zachowania ryb wędrownych

Istnienie populacji ryb zależy przede wszystkim od specyficznego dla każdego z gatunków środowiska (siedliska) wodnego, które spełnia wymogi konieczne do życia. Ryby daleko migrujące, a zwłaszcza dwuśrodowiskowe, to ryby szczególne, które wymagają różnych środowisk dla poszczególnych faz ich cyklu życiowego takich jak rozród, podchów wylęgu, wzrost i dojrzewanie płciowe. Poszczególne gatunki w mniejszym lub większym stopniu potrzebują do realizacji etapów cyklu życiowego możliwości przemieszczania się (migracji). Z powodu skomplikowanego cyklu życiowego są wyjątkowo podatne na jakiekolwiek antropogeniczne zmiany w środowisku swojego życia. Zbiornik zaporowy, a więc gigantyczna objętość stagnującej wody powstała w biegu rzeki jest zagrożeniem dla rozmnażających się powyżej zbiornika ryb wędrownych, podejmujących wędrówkę w dół rzeki. Na świecie najwięcej badań przeprowadzono jak dotychczas nad zachowaniem się i przeżywalnością smoltów ryb łososiowatych (troci, łososia atlantyckiego i łososi pacyficznych), napotykających na drodze swojej migracji do morza zbiorniki zaporowe. Na podstawie tych badań można wnioskować, iż podobne sytuacje i zdarzenia mogą mieć miejsce w przypadku innych gatunków migrujących ryb. Lista zagrożeń, jakie czekają na migrujące przez zbiornik zaporowy ryby wędrowne obejmuje następujące zdarzenia.

1. Dezorientacja i utrata kierunku migracji wyznaczonego przez prąd wody.
2. Zmasowane ataki drapieżników, zarówno ryb, jak i ptaków.
3. Narażenie na działanie podwyższonej temperatury w zbiorniku zaporowym.
4. Śmierć z powodu wyczerpania się zasobów energii.
5. Narażenie na ataki pasożytów charakterystycznych dla wody stagnującej.
6. Śmierć lub okaleczenie po przejściu przez turbiny lub upadku z przelewów.
7. Śmierć w efekcie zaburzeń fizjologicznych lub presji drapieżników na okaleczone ryby po przejściu przez systemy upustu wody z zapory.

Wszystkie ww. zagrożenia zostaną opisane i rozwinięte w dalszej części artykułu.

Migracja smoltów łososia i troci, a także narybku certy z tarlisk, zlokalizowanych w górnych partiach rzek, do morza odbywa się biernie (Bontemps 1969, Thorpe i in. 1981, Hansen i in. 1984, Greenstreet 1992, Thorstad i in. 2012). Smolty i narybek (parr) wykorzystują nurt rzeki w celu dotarcia do morza, ograniczając poprzez bierne spływanie własny wydatek energetyczny. Poszczególne populacje ryb (łososi) z danego dorzecza mają genetycznie zakodowany moment rozpoczęcia wędrówki w dół rzeki, w zależności od odległości od morza i czasu potrzebnego do pokonania tego dystansu, dzięki czemu wszystkie smolty z całego dorzecza w jednym czasie docierają do morza lub oceanu (Taylor 1991, Parish 2010, Zydlewski i in. 2005, Stewart i in. 2006). Zapory i zbiorniki zaporowe opóźniają migrację smoltów i innych ryb w dół rzeki (Larinier 2001, Budy i in. 2002, Aarestrup i Koed 2003, Caudil i in.

2007, Keefer i in. 2011). Opóźnienie to ma bezpośredni wpływ na sukces migracyjny poprzez:

- Dodatkowy wydatek energetyczny, co powoduje, że zapasy energii w ciele ryb są niewystarczające, aby dotrzeć do celu wędrówki (Acou i in. 2008).
- Niedopasowanie pomiędzy ewolucyjnie wykształconym terminem początku i końca migracji a warunkami środowiskowymi napotkanymi na drodze i końcu migracji (Caudil i in. 2007). W efekcie tego ryby docierają do celu swojej wędrówki w nieodpowiednim czasie.

W omawianym przypadku będzie to zbyt późne dotarcie do morza, już po zamknięciu się tzw. smolt window, czyli krótkiego okresu (300-400 stopniodni), kiedy smolty mają fizjologiczną zdolność do zmiany środowiska z słodkowodnego na morskie (McCormick i in. 1998, McCormick i in. 1999, Zydlewski i in. 2005, Stefansson i in. 2008). Po dotarciu do zbiornika zaporowego smolty tracą kierunek wędrówki (spływu) i zamiast biernie spływać, zdezorientowane zaczynają aktywnie się przemieszczać (Søndergard i Jepsen 2007). Jak wykazały badania Venditti i in. (2000) i Jepsen i in. (1998) smolty przejawiają 3 typy zachowań. Część smoltów (ok. 50%) aktywnie płynie przez zbiornik (najczęściej w toni przy jednym z brzegów). Część przez wiele dni (nawet do 10 dni) chaotycznie pływa w rejonie cofki, zanim podejmie migrację w dół zbiornika. Znaczna część smoltów (ok. 20%) podejmuje migrację powrotną do rzeki, pokonując znaczne odległości nawet do 14 km w górę cieku (Venditti i in. 2000). Z badań duńskich prowadzonych na stosunkowo niewielkich zbiornikach zaporowych (8 m wysokość, 12 km długości) jasno wynika, że reakcją prawie wszystkich smoltów łososia po dotarciu do zbiornika zaporowego był powrót do rzeki (upstream migration). Zaledwie 15% z nich mogło, w efekcie końcowym, przebrnąć przez zbiornik i zaporę, a następnie podjąć dalszą wędrówkę do morza (Holdesgaard i in. 1997). Jeszcze gorszą „pokonywalność" zbiorników zaporowych i przeżywalność (zaledwie 10%) raportują Aarestrup i in. (1999) zaznaczając jednocześnie, że czas potrzebny do pokonania zbiornika zależy od uwarunkowań genetycznych i od tego, czy są to ryby hodowlane, czy dzikie. Ma to niebagatelne znaczenie w sytuacji, gdy w programach restytucyjnych używa się najczęściej ryb wychowanych w warunkach wylęgarni. Bardzo podobne wyniki w USA, odnośnie szybkości przechodzenia przez zbiorniki zaporowe ryb hodowlanych i dzikich, uzyskał Holbrook i in. (2011). Na szczególną uwagę zasługuje fakt, iż opóźnienie w migracji powodują nie tylko wielkie zbiorniki wodne, ale jak pokazują przykłady europejskie, nawet małe jazy o wysokości od 0,6 do 2,5 m. Tworzone przez nie małe zbiorniki (stawy) mogą skutecznie (o kilka dni) wydłużyć wędrówkę smoltów łososia (Aarestrup i Koed 2003), czy troci (Olsson i in. 2001) w dół rzeki. Można więc być pewnym, że ryby, które błądziły przez wiele dni zanim pokonały zbiornik i zaporę nie dożyją wieku dorosłego, gdyż nie zaadaptują się do warunków morskich z powodu zamknięcia się „smolt window" i niemożności przystosowania do życia w słonej wodzie (Achord i in. 2007). Znaczne, nawet kilkudniowe opóźnienie w migracji może być również spowodowane różnicą pomiędzy głębokością ujęcia wody na turbiny elektrowni a głębokością, na jakiej znajdują się migrujące ryby (najczęściej przy powierzchni) w sytuacji, gdy zapora cały upust wody realizuje przez turbiny, a nie upusty górne. Taki przypadek został opisany dla niektórych gatunków łososi pacyficznych migrujących w dół zbiornika zaporowego na rzece Willamette i Snake (Venditti i in. 2000, Johnson i Dauble 2006). Efekt opóźnienia migracji będzie się pogłębiał, gdy na rzece istnieje więcej niż jedna zapora, gdyż każda z nich będzie powodować kolejne, narastające trudności z jej pokonaniem i kolejne, kumulujące się straty (Norrgard i in. 2013). W USA, zakrojone na olbrzymią skalę badania nad ratowaniem populacji łososi pacyficznych w systemie silnie zabudowanych hydrotechnicznie rzek Columbia i Snake (8 dużych hydroelektrowni, każda wyposażona w stosunkowo nowoczesne przepławki) wykazały, że w zależności od gatunku łososia od 58 do 93% smotów nie jest w stanie pokonać (z różnych przyczyn) systemu zapór i zbiorników (Ferguson i in. 2005). Dodatkowo, najnowsze badania przeprowadzone w USA (Zydlewski i in. 2010) wykazały, że przejście smoltów łososia przez turbiny elektrowni wodnych bądź przez ich upusty (spillways), jeśli nawet nie zabija ryb to powoduje utratę części łusek (smolty są bardzo delikatne). Wykazano, że utrata zaledwie 10% łusek powoduje istotne zaburzenia fizjologiczne związane z osmoregulacją, skutkujące niemożnością przystosowania się do środowiska morskiego (Zydlewski i in. 2010). Z dużą dozą prawdopodobieństwa można też przypuszczać, że podobna sytuacja ma miejsce w przypadku migracji narybku innych ryb, takich jak troć, jesiotr czy certa.

Wpływ drapieżnictwa na populacje ryb wędrownych w zbiornikach zaporowych

Kolejnym zjawiskiem mającym olbrzymi, jak się okazało, wpływ na migracje ryb, wyjaśnionym w dużej mierze w ostatnich latach dzięki zastosowaniu zaawansowanych metod telemetrycznych, jest podatność migrujących ryb na ataki drapieżników, zarówno ryb, jak i ptaków. Od dawna przypuszczano, że śmiertelność wśród migrujących smoltów czy narybku innych ryb wędrownych jest w dużej mierze spowodowana drapieżnictwem, ale dopiero zastosowanie telemetrii dostarczyło niezbitych dowodów na to, że może to być najważniejszy czynnik decydujący o ogólnej przeżywalności ryb podczas wędrówek. W warunkach naturalnych najwyższą śmiertelność smoltów z powodu drapieżników wykazano w rejonach przyujściowych rzek (estuariach), czyli w miejscach, gdzie nie ma już nurtu rzeki,

a ryby zatrzymują się na pewien czas, aby dostosować się do nowego środowiska (Mather 1998, Koed i in. 2006). Zbiorniki zaporowe w pewnym stopniu imitują warunki panujące w estuariach. Są przede wszystkim idealnym miejscem do zakładania kolonii przez ptaki rybożerne (kormorany, czaple i inne), a także doskonałym miejscem rozwoju dla typowych drapieżników, takich jak szczupak (Europa), czy reprezentujący rodzinę ryb karpiowatych, podobny z wyglądu do bolenia *Ptychocheilus oregonensis* (northern pikeminnow) w Ameryce Północnej. Sytuacji nie poprawia fakt, że zbiorniki zaporowe stają się często polem intensywnej gospodarki rybackiej i są zarybiane gatunkami obcymi dla rzeki, w tym i drapieżnikami.

Dobrym przykładem negatywnego oddziaływania jest *Ptychocheilus oregonensis*, który dokonał ekspansji w systemie rzeki Columbia i jej dopływu Snake po wybudowaniu na nich 8 zbiorników zaporowych. Gatunek ten uważany jest w tej chwili za głównego sprawcę załamania się programu restytucji łososi w tych rzekach. Ocenia się, że zjada w ciągu roku 16 milionów smoltów, co stanowi 8% ich populacji (Beamesderfer i in. 1996). W 2012 roku wyznaczono nagrodę za każdego złowionego osobnika pikeminnow w wysokości od 4 do 8 USD w zależności od ilości złowionych sztuk; im więcej, tym drożej. Według badań Rieman i in. (1991) prowadzonych w tym samym rejonie, *Ptychocheilus oregonensis* odpowiedzialny jest za 78% strat wśród smoltów powodowanych przez ryby drapieżne. Inne drapieżniki (sandacze, szczupaki i bassy) dopełniają dzieła zniszczenia i powodują, że aż 14% wszystkich smoltów pada ofiarą ryb drapieżnych typowych dla wód stojących lub o spowolnionym przepływie (jezior i zbiorników). Jeszcze bardziej zatrważające wyniki uzyskali naukowcy duńscy, badający przeżywalność smoltów w małych zbiornikach zaporowych zlokalizowanych na rzece Gudenå (Jepsen i in. 1998, Aarestrup i in. 1999). Wykazano, że zaledwie 10% (!) smoltów łososia jest w stanie pokonać stosunkowo niewielki, bo 12 km długości, zbiornik zaporowy. W obu przypadkach większość smoltów padała ofiarą szczupaków (odpowiednio 56 i 36%). Ilość ta mogła być wyższa, gdyż część znaczków telemetrycznych została znaleziona na dnie zbiornika, co może świadczyć o wydaleniu ich wraz z ekskrementami ryb lub ptaków. Badania fińskie (Kekäläinen i in. 2008) również wskazują szczupaka, jako drapieżnika stanowiącego największe zagrożenie dla migrujących smoltów.

Kolejne, i co ważne, większe niż spowodowane przez ryby drapieżne straty wśród migrujących ryb powodują rybożerne ptaki, takie jak kormorany i rybitwy. Podobnie jak w przypadku ryb drapieżnych, w warunkach niezmienionego środowiska ich ataki ograniczone były głównie do estuariów. W momencie zabudowy rzek zbiornikami zaporowymi stworzono dla ptaków związanych ze środowiskiem wodnym (w tym i dla drapieżników) nowe, idealne warunki środowiskowe. Po pierwsze, powstaje olbrzymie lustro wody i setki kilometrów linii brzegowej. Po drugie, w strefie umiarkowanej i chłodnej woda wypływająca ze zbiorników zaporowych nigdy nie zamarza. Wiele kilometrów rzek, poniżej zapór, płynie wolne od lodu nawet w najsroższe zimy. Powoduje to, że niektóre ptaki wodne nie musza już odlatywać na południe, aby przetrwać zimę. Dobitnym przykładem na to, jaki wpływ na migrujące do morza ryby mają nowo powstałe na zbiornikach zaporowych kolonie rybitw, kormoranów i innych rybożernych ptaków, są badania amerykańskie w systemie rzeki Columbia. Wykazały one, że tylko jeden gatunek – rybitwa wielkodzioba (*Sterna caspia*) w ciągu roku zjada 9-16 milionów sztuk smoltów! Stanowi to 13% wszystkich smoltów spływających rzeką Columbia (Roby i in. 2003). Kolonia tych ptaków na jednej tylko wyspie (Crescent Island) położonej w połowie biegu rzeki zjada 550-825 tysięcy smoltów rocznie, w zależności od liczebności kolonii w poszczególnych latach badań (Antolos i in. 2005). Podobne straty powodują kormorany (*Phalacrcrax auritus*). Wykazano, że są one odpowiedzialne za 11,5% strat w populacji migrujących pstrągów tęczowych (steelhead) tylko na jednym zbiorniku zaporowym – Bonneville Dam (Ryan i in. 2003). Wpływ drapieżnictwa ptaków na przeżywalność smoltów na innych zbiornikach zaporowych w USA opisał również Ruggerone (1986), który wykazał, że w trakcie intensywnej migracji smoltów (kwiecień – maj) zaledwie jeden gatunek rybożernego ptaka – mewa delawarska (*Larus delawarensis*) zjada, poniżej wypływu z elektrowni Wanapum, ok. 120 tys. szt. smoltów, co stanowi 2% wszystkich smoltów spływających rzeką Columbia. Autor sugeruje, że intensywne drapieżnictwo poniżej elektrowni spowodowane jest chwilowym oszołomieniem smoltów po przejściu przez turbiny (gdzie ginie 17% smoltów) i zajmowaniem stanowisk przy powierzchni wody, co zdecydowanie ułatwia ataki ptaków. Podobny fenomen opisał York i in. (2000) poniżej zapory Priest Rapids na rzece Columbia. O znaczeniu drapieżnictwa ptaków na populacje ryb migrujących przez zbiorniki zaporowe świadczą również prace z terenu Europy (Jepsen i in. 1998, Aarestrup i in. 1999, Koed i in. 2006, Jepsen 2016). Łojko (2008) opisał sytuację powstałą w wyniku pojawienia się kolonii kormoranów w okolicach Zbiornika Włocławskiego (kluczowej przeszkody dla migracji wszelkich ryb z rejonu środkowej i górnej Wisły). Przeprowadzone badania wykazały obecność 1700 par lęgowych, co w szczytowym okresie odchowu młodych ptaków daje liczbę około 6 tys. osobników, które zjadały rocznie prawie 400 ton ryb, co daje 48 kg z hektara powierzchni zbiornika. Sytuację pogarsza fakt, że jak wykazało wiele prac, ryby wyhodowane w wylęgarniach (a takie najczęściej używane są do prac restytucyjnych i reintrodukcyjnych), są o wiele bardziej podatne na drapieżnictwo (zwłaszcza ptaków) niż ryby dzikie, gdyż przejawiają tendencje do przebywania bli-

sko powierzchni wody, a co najważniejsze przemieszczają się w dzień, podczas gdy smolty dzikie preferują porę wieczorową i nocną (McCormick i in. 1998, Collis i in. 2001).

Podsumowanie

Zbiornik zaporowy, a zwłaszcza system zbiorników jest obcą i wrogą strukturą dla rzeki i dla ryb w niej żyjących. Stanowi barierę ekologiczną, której przebycie staje się dla ryb często niemożliwe bądź okupione wielkimi stratami (Jepsen 2017). W niniejszym raporcie opisano szczegółowo zaledwie trzy mało znane i przez to często bagatelizowane czynniki, mające wpływ na przeżywalność ryb migrujących przez zbiornik: błądzenie i opóźnienie migracji oraz nasilone drapieżnictwo ryb i ptaków. Do innych, ale również ważnych zagrożeń należy dodać zasysanie ryb do przelewów, turbin i systemów nawodnień i wodociągów, jak również narażenie ryb na chorobę gazową tuż po przejściu przez zaporę. Zagadnienia te zasługują na osobne opracowanie, nie wspominając już o wpływie samej zapory na migracje w górę rzeki, co było i jest najlepiej zbadanym problemem. Te i wiele innych czynników powodują, że zdecydowana większość zapór na świecie, nawet tych wyposażonych w różnego rodzaju systemy wspomagające i umożliwiające wędrówki ryb i innych organizmów wodnych, stanowi bardzo poważne zagrożenie dla gatunków ryb daleko migrujących i wymagających środowiskowo (Rescoe i Hinch 2010, Noonan i in. 2012).

Literatura

Aarestrup K., Koed A. 2003 – Survival of migrationg sea trout (*Salmo trutta*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts negotiationg weirs in small Danish rivers – Ecol. Fresh. Fish 12: 169-176.

Aarestrup K., Jepsen N., Rasmussen G. 1999 – Movements of two strains of radio tagged Atlantic salmon, *Salmo salar* L., smolts through a reservoir – Fisheries Menagement and Ecology 6: 97-107.

Achord S., Zabel R.W., Sandford B.J. 2007 – Migration timing, growth and estimated parr-to-smolt survival rates of wild Snake River spring-summer Chinook salmon from the Salmon River basin, Idaho, to the lower Snake River – Trans. Am. Fish. Soc. 136: 142-154.

Acou A., Laffaille P., Legault A., Feunteun E. 2008 – Migration pattern of silver eel (*Anguilla anguilla* L.) in an obstructed river system – Ecol. Fresh. Fish 17: 432-442.

Antolos M., Roby D.D., Lyons D.E., Collins K., Evans A.F., Hawbecker M., Ryan B.A. 2005 – Caspian Tern predation on Juvenile salmonids in the Mid-Columbia River – Trans. Am. Fish. Soc. 134: 466-480.

Beamesderfer R.C.P., Ward D.L., Nigro A.A. 1996 – Evaluation of the biological basis for predator control program on northern squawfish (*Ptychocheilus oregonensis*) in the Columbia and Snake rivers – Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53: 2898-2908.

Bontemps S. 1969 – Wędrówki rozrodcze stada cert (*Vimba vimba* L.) w systemie Wisły – Roczniki Nauk Rolniczych, seria H, 90 (4): 607-638.

Budy P., Thiede G.P., Bouwes N., Petrosky C.E., Schaller H. 2002 – Evidence linking delayed mortality of Snake River salmon to their earlier hydrosystem experience – N. Am. J. Fish. Manage. 22: 35-51.

Caudil C.C., Daigle R., Keefer M.L., Boggs C.T., Jepson M.A., Burke B.J., Zabel R.W., Bjornn T.C., Peery C.A. 2007 – Slow dam passage in adult Columbia River salmonids associated with unsuccessful migration: delayed negative effects of passage obstacles or condition-dependent mortality? – Can. J. Fish. Aquat. Sci. 64: 979-995.

Collis K., Roby D.D., Craig D.P., Ryan B.A., Ledgerwood R.D. 2001 – Colonial water bird predation on juvenile salmonids tagged with passive integrated transponders in the Columbia River estuary: vulnerability of different salmonid species, stocks, and rearing types – Trans. Am. Fish. Soc.130: 385-396.

Ferguson J.W., Matthews G.M., McComas L.R., Absolon R.F., Brege D.A., Gessel M.H., Gilbreath L.G. 2005 – Passage of Adult and Juvenile salmonids through federal Columbia River power system dams. NOAA Technical Memorandum NMFS-NWFSC-64. U.S. Department of Commerce: 121 s.

Greenstreet S.P.R. 1992 – Migration of hatchery reared juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts down the release ladder. 1. Environmental effects on migratory activity – J. Fish Biol. 40: 655-666.

Hansen L.P., Jonsson B., Doving K.B. 1984 – Migration of wild and hatchery reared smolts of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., through lakes – J. Fish Biol. 25: 617-623.

Holbrook C.M., Kinnison M.T. Zydlewski J. 2011 – Survival of migrating Atlantic salmon smolts through the Penobscot River, Maine: a prerestoration assessment – Trans. Am. Fish. Soc. 140: 1255-1268.

Holdensgaard G., Pedersen C., Thomassen S. 1997 – Preliminary results from the River Gudenå salmon reintroduction project – FOS-Laks Report No. 1 49 pp. (in Danish).

Jepsen N., Aerestrup K., Okland F., Rasmussen G. 1998 – Survival of radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and trout (*Salmo trutta* L.) smolts passing a reservoir during seaward migration – Hydrobiologia 371/372: 347-353.

Jepsen N. 2016 – The conflict between cormorants and fisheries. Facts and management. file:///C:/Users/HP/Downloads/Liite_6_M.pdf

Jepsen N. 2017 – Loss of smolts in reservoirs and the effects of barrier removal in lowland rivers. International Conference on Engineering and Ecohydrology for Fish Passage 2017. University of Massachusetts Amherst: 1-48.

Johnson G.E., Dauble D.D. 2006 – Surface Flow Outlets to Protect Juvenile Salmonids Passing Through Hydropower Dams – Reviews in Fisheries Science 14(3) : 213-244.

Kekäläinen J., Niva T., Huuskonen H. 2008 – Pike predation on hatchery-reared Atlantic salmon smolts in a northern Baltic river – Ecol. Fresh. Fish. 17: 100-109

Keefer M.L., Taylor G.A., Garletts D.F., Helms C.K., Gauthier G.A., Pierce T.M., Caudill C.C. 2011 – Reservoir entrapment and dam passage mortality of juvenile Chinook salmon in the Middle Fork Willamette River – Ecol. Fresh. Fish. 21: 222-234.

Koed A., Baktoft H., Bak B.D. 2006 – Coauses of mortality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) smolts in a restored river and its estuary – River Research and Applications 22: 69-78.

Larinier M. 2001 – Dams, fish and fisheries – FAO Fisheries Technical Paper: 45-89.

Łojko J. 2008 – Użytkownik Rybacki a kormorany. Problemy I skutki wywiązywania się z podpisanych umów – Użytkownik Rybacki – Nowa rzeczywistość, PZW: 120-122.

Mather M.E. 1998 – The role of context-specific predation in understanding patterns exhibited by anadromous salmon – Can. J. Aquat. Sci. 55 (suppl. 1): 232-246.

McCormick S.D. Hansen L.P., Quinn T.P., Saunders R.L. 1998 – Movement, migration and smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*) – Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55: 77-92.

McCormick S.D., Cunjak R.A., Dempson B., O'Dea M.F., Carey J.B. 1999 – Temperature-related loss of smolt characteristic in atlantic salmon (*Salmo salar*) in the wild – Can. J. Fish. Aquat. Sci. 56: 1649-1658.

Noonan M.J. Grant J.W.A., Jackson C.D. 2012 – A quantitative assessment of fish passage efficiency – Fish Fish. 13: 450-464.

Norrgard J.R., Greenberg L.A., Piccolo J.J., Schmitz M., Bergman E. 2013 – Multiplicative loss of landlocked atlantic salmon *Salmo salar* L. smolts during downstream migration trough multiple dams – River Research and Applications 29: 1306-1317.

Olsson C.I., Greenberg L.A., Eklov A. 2001 – Effect of an artificial pond on migrating brown trout smolts – N. Am. J. Fish. Manage. 21: 498-506.

Parish GD. 2010 – Testing population models of Atlantic salmon in tributaries of the Connecticut River. Completion Report. US Dept. of Commerce. National Marine Fisheries Service: 1-60.

Rieman B.E., Beamesderfer R.C., Vigg S., Poe T.P. 1991 – Estimated loss of juvenile salmonids to predation by northern squawfish, walleyes, and smallmouth bass in John Day Reservoir, Columbia River – Trans. Am. Fish. Soc. 120: 448-458.

Rescoe D.W., Hinch S.G. 2010 – Effectiveness monitoring of fish passage facilities: historical trends, geographic patterns and future directions – Fish Fish. 11: 12-33.

Roby D.D., Lyons D.E., Craig D.P., Collins K., Visser G.H. 2003 – Quantifying the effects of predators on endangered species using a bioenergetics approach: Caspian terns and juvenile salmonids in the Columbia River estuary – Can. J. Zool. 81: 250-265.

Ruggerone G.T. 1986 – Consumption of migrating juvenile salmonids by gulls foraging below a Columbia River dam – Trans. Am. Fish. Soc. 115: 736-742.

Ryan B.A., Smith S.G., Butzerin J.A.M., Ferguson J.W. 2003 – Relative Vulnerability to avian predation of juvenile salmonids tagged with passive integrated transponders in the Columbia River estuary, 1998-2000 – Trans. Am. Fish. Soc. 132(2): 275-88.

Søndergard M., Jeppsen E. 2007 – Anthropogenic impacts on lake and stream ecosystems, and approaches to restoration – J. Appl. Ecol.44: 1089-1094.

Stefansson S.O., Björnsson B.Th., Ebbesson L.O.E., McCormick S.D. 2008 – Smoltification – In: Fish Larval Physiology (Red.) Finn R.N. and Kapoor B.G.

Stewart D.C., Middlemas S.J., Youngson A.F. 2006 – Population structuring in Atlantac salmon (*Salmo salar*): evidence of genetic influence on timing of smolt migration in sub-catchment stock – Ecol. Freshw. Fish. 15: 552-558.

Taylor E.B. 1991 – A review of local adaptation in Salmonidae, with particular reference to Pacific and Atlantic salmon – Aquaculture 9: 185-207.

Thorpe J.E., Ross L.G., Struthers G., Watts W. 1981 – Tracking Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.) through Loch Voil, Scotland – J. Fish Biol. 19: 519-537.

Thorstad E.B., Whoriskey F., Uglem I., Moore A., Rikardsen A.H., Finstad B. 2012 – A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: behavior and survival during the smolt and initial post-smolt migration – J. Fish Biol. 81: 500-542.

York D.L., Cummings J.L., Steuber J.E., Pochop P.A., Yoder C.A. 2000 – Importance of migrating salmon smolt in ring-billed (*Larus delawaresis*) and California gull (*L. californicus*) diets near Priest Rapids Dam, Washington – Western North American Naturalist 60: 216-220.

Venditti V.A., Rondorf D.W., Kraut J.M. 2000 – Migratory behavior and forebay delay of radio-tagged juvenile fall Chinook salmon in a lower Snake River impoundement – N. Am. J. Fish. Manage. 20: 41-52.

Zydlewski G.B., Haro A. Mc Cormick S.D. 2005 – Evidence for cumulative temperature as an initiating and terminating factor in the downstream migratory behavior of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts – Can. J. Fish. Aquat. Sci. 62: 68-78.

Zydlewski J., Zydlewski G., Danner R.G. 2010 – Descaling injury impairs the osmoregulatory ability of Atlantic salmon smolts entering seawater – Trans. Am. Fish. Soc. 138: 129-136.

Przyjęto po recenzjach 28.09.2018 r.

DAM RESERVOIRS AS BEHAVIORAL AND MIGRATION BARRIERS FOR MIGRATORY FISH

Tomasz Mikołajczyk, Przemysław Nawrocki

ABSTRACT. This article is a review of the world literature focusing on the problem of dam reservoirs as barriers to the migration of migratory fish (primarily salmon and trout smolts) during downstream migrations to oceans. While the topic of inhibiting or blocking upstream spawning migrations is widely discussed, the destructive impact dam reservoirs have on downstream migration appears to not have garnered equal attention. Among the many factors impacting fish migratory behavior and fish survival during migration through dam reservoirs, three of the most important were selected for review. The first is delayed migration stemming from disorientation or, in extreme cases, the abandonment of further migration after exiting reservoir basins. The second threat is predation by fish inhabiting reservoirs that are alien to river environments. The third is predation by birds that find ideal habitat conditions on the shores of dam reservoirs. All three of these elements mean that not only the dam but the reservoir, too, present very serious, real threats to the existence of populations of migratory fish species in given rivers.

Key words: dam reservoir, downstream migration, smolt, predation