

Szacunkowe straty w ichtiofaunie Wisły oraz Narwi spowodowane zasysaniem larw ryb i wczesnych form narybkowych do systemów chłodzących Elektrowni Połaniec, Kozienice i Ostrołęka B

Raport z badań prowadzonych w latach 2020 i 2021



Szacunkowe straty w ichtiofaunie Wisły oraz Narwi spowodowane zasysaniem larw ryb i wczesnych form narybkowych do systemów chłodzących Elektrowni Połaniec, Kozienice i Ostrołęka B

Raport z badań prowadzonych w latach 2020 i 2021

ZESPÓŁ AUTORSKI

Tomasz Mikołajczyk	Pracownia Ekspertyz i Badań Ichtiologicznych PEBI, 30-133 Kraków, ul. Lea 236/9
Michał Nowak	Gospodarstwo Rybackie Mazanów, Mazanów 8A, 24-340 Józefów nad Wisłą
Dariusz Skowronek	Pracownia Ekspertyz i Badań Ichtiologicznych PEBI, 30-133 Kraków, ul. Lea 236/9
Łukasz Mikołajczyk	Pracownia Ekspertyz i Badań Ichtiologicznych PEBI, 30-133 Kraków, ul. Lea 236/9 oraz Instytut Nauk o Środowisku, Uniwersytet Jagielloński, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków
Robert Wawręty	Towarzystwo na rzecz Ziemi, ul. Leszczyńskiej 7, 32-600 Oświęcim

PODZIĘKOWANIA

Diana Maciąga i Anna Wawręty

KOREKTA

Diana Maciąga

ZDJĘCIE NA OKŁADCE

Robert Wawręty

PROJEKT GRAFICZNY I SKŁAD

Magda Warszawa

Źródłem pochodzenia danych jest Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy. Dotyczy stron: 18, 23, 24, 30, 47.

WYDAWCA



Towarzystwo na rzecz Ziemi
ul. Leszczyńskiej 7, 32-600 Oświęcim
tel.: 33 842 21 20, 737 692 261
e-mail: biuro@tnz.most.org.pl
tnz.most.org.pl

PARTNER



**Stowarzyszenie Pracownia
na rzecz Wszystkich Istot**
ul. Jasna 17, 43-360 Bystra
pracownia.org.pl

© Towarzystwo na rzecz Ziemi, 2022

ISBN 978-83-60106-18-1

Spis treści

Przedmowa	5
Wstęp	7
Materiał i metody	13
Elektrownia Kozienice	15
Połów dryfujących larw i wczesnych form narybkowych (ichtioplankton) za pomocą pułapek stacjonarnych przy lewym brzegu Wisły	16
Połowy pułapkowe na całej szerokości Wisły	17
Elektrownia Połaniec	22
Połów dryfujących larw i wczesnych form narybkowych (ichtioplankton)	22
Elektropołowy	25
Odłowy włokiem drobnicowym	25
Elektrownia Ostrołęka B.	28
Połów dryfujących larw i wczesnych form narybkowych w strefie brzegowej Narwi	29
Połowy pułapkowe dryfującego ichtioplanktonu na całej szerokości Narwi	30
Elektropołowy oraz odłowy włokiem narybkowym	31
Wyniki	33
Elektrownia Kozienice	35
Oszacowanie liczby larw i wczesnych form narybkowych dostających się do systemów chłodzących Elektrowni Kozienice w 2021 roku na podstawie wyników badań koncentracji ichtioplanktonu na całej szerokości Wisły	36
Elektrownia Ostrołęka B.	42
Oszacowanie liczby larw ryb i wczesnych form narybkowych dostających się do systemów chłodzących Elektrowni Ostrołęka B w 2021 roku na podstawie wyników połowu ichtioplanktonu na całej szerokości Narwi	44
Elektrownia Połaniec	48
Aktualny stan ichtiofauny Wisły i Narwi w rejonach bezpośrednio powyżej lokalizacji Elektrowni Kozienice, Połaniec i Ostrołęka B	56
Szacunkowe straty wśród gatunków chronionych, naturalnych i zagrożonych powodowane przez elektrownie Kozienice, Połaniec i Ostrołęka B	60
Szacowany zasięg oddziaływania Elektrowni Kozienice, Połaniec i Ostrołęka B na ekosystemy Wisły oraz Narwi i ich wpływ na obszary Natura 2000	62
Dyskusja	65
Podsumowanie i rekomendacje	73
Bibliografia	77
Streszczenie	81
Summary	83

Przedmowa

System energetyczny oparty o elektrownie termiczne (węglowe, gazowe i jądrowe) należy do najbardziej destrukcyjnych dla ekosystemów rzecznych. Dzieje się tak za sprawą bloków energetycznych wyposażonych w otwarte (jednoprzepływowe) systemy chłodzenia. W porównaniu z obiektami z układem zamkniętym, elektrownie tego typu do procesu chłodzenia skraplaczy (kondensatorów) wymagają niejednokrotnie ponad sto razy więcej wody. W Polsce pracuje łącznie 12 elektrowni jednoprzepływowych. Ich całkowity średnioroczny pobór wody wynosi ok. 6 mld m³, z czego 53% trafia do Elektrowni Połaniec, Kozienice oraz Ostrołęka B znajdujących się nad Wisłą oraz Narwią. Wraz z wodą do systemów chłodzenia przedostają się miliony organizmów wodnych, które ulegają unicestwieniu.

Badania przedstawione w niniejszym opracowaniu są kontynuacją rozpoczętego w 2018 roku projektu naukowego mającego na celu oszacowanie strat i zagrożeń dla ichtiofauny spowodowanych funkcjonowaniem dwóch siłowni termicznych z otwartym systemem chłodzenia (Kozienice i Ostrołęka B). Dysponując bagażem doświadczeń z poprzednich lat prace w latach 2020–2021 przeprowadzono w zmodyfikowanej formie, która wychodzi naprzeciw roszącym się w miarę postępu badań pytaniom, głównie dotyczącym rozmieszczenia i koncentracji ichtioplanktonu na przekroju rzeki, co może rzutować na precyzję szacunków. Dodatkowo do badań włączono Elektrownię Połaniec. W tym przypadku w analizie pominięto zagadnienie koncentracji ichtioplanktonu na przekroju rzeki. Kolejnym celem prowadzonych badań jest uświadomienie i uczulenie społeczeństwa oraz decydentów na skalę i wagę problemu, zwłaszcza w kontekście postępującej degradacji środowiska, zmian klimatycznych i nieuchronnej transformacji energetycznej jaka czeka Polskę i świat w najbliższym czasie.

Podobnie jak w latach ubiegłych badania zostały wykonane przez Pracownię Ekspertyz i Badań Ichtiologicznych PEBI sp. z o.o. z Krakowa we współpracy z Gospodarstwem Rybackim Mazanów oraz Towarzystwem na rzecz Ziemi z siedzibą w Oświęcimiu. Część prac wykonanych w rejonie Elektrowni Kozienice była prowadzona z pokładu promu pasażersko-samochodowego i uczestniczyło w nich dodatkowo 3 członków załogi promu za co składamy im serdeczne podziękowania.

Badania ichtiofauny Wisły w rejonie Kozienic przeprowadzono na podstawie zezwolenia/decyzji Marszałka Województwa Mazowieckiego nr 17/20/PE-II (sygnatura PE-II.7143.14.2020.SK) z dnia 10 grudnia 2020 r. oraz za zgodą użytkownika rybackiego – Okręgu Polskiego Związku Wędkarskiego w Radomiu (GRW.30.190.2021). Z kolei odłowy badawcze w rejonie Połanica wykonano w oparciu o decyzję Marszałka Województwa Świętokrzyskiego (ROW-I.7142.1.2021) oraz za zgodą użytkownika rybackiego obwodu rybackiego rzeki Wisła nr 5 – Okręgu Polskiego Związku Wędkarskiego w Tarnowie. Natomiast odłowy badawcze ichtiofauny Narwi w rejonie Ostrołęki przeprowadzono na podstawie decyzji Marszałka Województwa Mazowieckiego nr 4/21/PE-II (sygnatura PE-II.7143.1.2021.SK) z dnia 17 lutego 2021 roku oraz za zgodą użytkownika rybackiego obwodu rybackiego Narew nr 6 – Mazowieckiego Okręgu Polskiego Związku Wędkarskiego w Warszawie (L. dz. Zag. 68/2021).

Całość publikacji obok przedstawienia metodyki prowadzonych prac oraz wyników badań zwieńczono podsumowaniem i rekomendacjami. W dużym stopniu są one zbieżne z wcześniejszymi postulatami zamieszczonymi w opracowaniu „Wpływ elektrowni termicznych na ichtiofaunę. Raport z badań ilości ryb (larw i wczesnych form narybkowych) zasysanych przez otwarte systemy poboru wód chłodzących Elektrowni Kozienice oraz Elektrowni Ostrołęka B w latach 2018 i 2019” (Mikołajczyk i in. 2020). Liczymy, że z uwagi na wagę problemu, postępujące zmiany klimatyczne, a także ze względu na konieczność rewizji dotychczasowej polityki energetycznej w związku z trwającym konfliktem wojennym w Ukrainie kwestie ochrony ekosystemów rzecznych przyczynią się ostatecznie do szybszego odejścia od wodochłonnych technologii produkcji energii.

Wstęp



Destrukcyjny wpływ działalności człowieka na ekosystemy rzeczne jest powszechnie znany. Dziesięciolecia badań dowiodły i nagłośniły wpływ takich szkodliwych działań człowieka, jak budowa zapór wodnych i fragmentacja dorzeczy, regulacja koryt rzecznych, nieodwracalne zmiany w zlewniach, przełowienie, nieograniczony pobór wód czy zanieczyszczenia komunalne, przemysłowe i rolnicze (Fremling i Clafflin 1984, Welcomme 1985, Karr 1991, Kondolf 2001, Larinier 2004, Su i in. 2021). Ichtyofauna jest uznawana za najważniejszą grupę wskaźnikową służącą ocenie stanu ekologicznego (integralności ekologicznej) rzek (Karr 1991; Schiemer 2000). Ta wysoka wartość wskaźnikowa wynika z faktu, że ryby mają niezwykle zróżnicowane wymagania siedliskowe i środowiskowe. Te uwarunkowania środowiskowe muszą zapewnić rybom przetrwanie i rozwój podczas całego cyklu życiowego, począwszy od właściwości substratu dennego czy obecności roślinności wodnej niezbędnej dla odbycia tarła oraz rozwoju ikry, po drożność i integralność korytarzy ekologicznych, którymi są koryta i doliny rzek co jest konieczne na przykład do migracji tarłowych czy pokarmowych (Persat i in. 1994, 1995). Pod tym względem okres od wylęgu do końca pierwszego sezonu wegetacyjnego nazywany potocznie etapem „0+” albo YOY (young of the year) jest szczególnie istotny (Schiemer i in. 2001), ponieważ największa śmiertelność w cyklu życiowym ryb wynika ze śmiertelności larw z powodu drapieżnictwa, braku odpowiedniego pokarmu i kilku innych czynników, takich jak nieodpowiednia temperatura, deficyt tlenu czy zdarzenia losowe oraz ingerencja człowieka. Dlatego też sukces lub porażka populacji pod względem liczebności są w dużej mierze determinowane podczas pierwszych tygodni życia ryb, kiedy to są one narażone na największą śmiertelność (Kamler 1992, Urho 1999, Schiemer i in. 2003). Dla przykładu Wei (2003) i Huang (2019) wykazali, że przeżywalność jesiotra chińskiego (*Acipenser chinensis*) w warunkach naturalnych od momentu wyklucia się z jaj aż do 40 dnia biernej migracji do ujścia rzeki Yangcy wynosi zaledwie 5%, a przeżywalność od stadium zapłodnionej ikry do tego samego momentu rozwoju to tylko 0,14%. Mając to na względzie można sobie wyobrazić jak potencjalnie, i niestety realnie, niebezpieczne są jakiekolwiek antropogeniczne modyfikacje warunków środowiskowych w tym okresie rozwojowym ryb.

Dyspersja larw i narybku ryb słodkowodnych jest ważnym zjawiskiem ekologicznym (Lechner i in. 2016) mającym na celu rozprzestrzenienie się populacji i maksymalne zasiedlenie obszaru żerowania, zwiększenie przepływu genów i różnorodności gatunkowej (Pavlov 1979, Muth and Schmulbach 1984, Zimmer i in. 2009, Schwalb i in. 2010). Larwy ryb zazwyczaj rozpraszają się przez dryfowanie za pośrednictwem prądu wody, aby osiedlić się w siedliskach o optymalnej temperaturze, szybkości nurtu i zasobności w pokarm (Keckeis i in. 1997; Schiemer i in. 2003, Pavlov 1994, Lechner i in. 2016), a także, aby unikać rywalizacji o pokarm i kanibalizmu w miejscach tarła (Humphries 2005). Liczne badania nad bierną migracją larw i narybku wielu gatunków ryb słodkowodnych prowadzono w Rosji (Pavlov i in. 1978, 1981, 1994, 2008, 2017), w USA (Harden 1968, Northcote 1978, Thorpe 1990, Brown i Armstrong 1985, Jonston i in., 1995), Wietnamie (Nezdolii i in. 2010), Brazylii (Araujo-Lima i Oliveira 1998, Pompeu i in. 2011), Australii (Gilligan i Schiller, 2003), Chinach (Huang 2019) i w wielu krajach europejskich (Copp i Cellot 1988, Meulenbroek i in., 2018).

Jednym z zagrożeń dla dryfujących z nurtem rzeki młodocianych form ryb jest ich zasysanie wraz z wodą do szeregu instalacji hydrotechnicznych w tym: energetycznych, przemysłowych, komunalnych czy irygacyjnych. Zassanie ichtioplanktonu do ww. systemów kończy się śmiercią larw i narybku albo bezpośrednio (natychmiast) w urządzeniach, lub pośrednio - oddziałuje tak drastycznie w przebieg migracji, że zaburza/przerywa skomplikowany cykl życiowy danego gatunku, co ma dalekosiężne skutki populacyjne w dłuższej perspektywie czasowej. Jednym z rodzajów działalności człowieka bezpośrednio i silnie ingerującym w ekosystemy rzek jest energetyka oparta na spalaniu paliw kopalnych lub wykorzystaniu paliwa jądrowego, która działa w oparciu o otwarty (jednoprzepływowy) system chłodzenia (Sierra Club 2011, Barnthouse 2013). Jego cechą charakterystyczną jest bardzo duże zapotrzebowanie na wodę sięgające dziesiątek lub setek metrów sześciennych na sekundę. Dlatego też tego typu elektrownie zawsze zlokalizowane są na brzegach wielkich rzek, jezior, estuariów lub zatok morskich. Zassany wraz z wodą chłodniczą ichtioplankton (ikra, larwy ryb i narybek) za względu na swoje niewielkie rozmiary oraz brak możliwości przeciwstawienia się prądowi ssącemu przedostaje się przez pierwszą linię krat zabezpieczających ujęcia wody dla elektrowni i ginie na jednym z kolejnych etapów technologicznego wykorzystania pobranej wody chłodniczej: filtrowanie (urazy mechaniczne), pompowanie (szok ciśnieniowy), szok termiczny w komorach chłodzenia kondensatorów pary (Hanson i in. 1977, Chow i in., 1981, EPRI 2005, Barnthouse, 2013). Do strat w ichtiofaunie należy jeszcze dodać śmiertelność większych ryb będącą efektem przyssania do krat filtrujących (impingement), ale problem ten, choć bardzo poważny, nie jest przedmiotem obecnego raportu.

Liczne badania naukowe nad zjawiskiem zasysania ryb do układów chłodzących elektrownie prowadzone są od kilku dekad głównie na terenie USA gdzie problem ten osiągnął katastrofalne rozmiary (Sierra Club 2011, Union of Concerned Scientist 2011). Dane administracji federalnej USA wskazują, że siłownie termiczne w tym kraju pobierają rocznie ok. 100 bilionów galonów (ok. 378 mld metrów sześciennych) wody (słodkiej i słonej) do celów chłodniczych (Riverkeeper 2022). Wystarczy powiedzieć, że w basenie Wielkich Jezior tylko na terenie USA posadowionych jest aż 583 elektrowni (głównie węglowych i atomowych) o łącznej mocy ponad 670 000 MW (Lubner 2015), które pobierają z Wielkich Jezior lub rzek do nich wpadających ok. 882 m³ wody na sekundę. Nad brzegami takich rzek jak Mississippi, Missouri, Ohio czy Hudson jest ich łącznie aż 83 (Sierra Club 2011). To daje wyobrażenie o skali problemu i ogromie strat jakie ponosi środowisko wodne. Problem ten dostrzeżono również w krajach europejskich takich jak Wielka Brytania, Szwecja czy Niemcy (Carter i Reader 2000, Turpenny i Taylor 2000, Greenwood 2007, Thielen i in. 2007, Bryhn i in. 2013). W Polsce pierwsze badania nad problemem zasysania ryb przez elektrownie prowadzono w latach 2018–2019 (Mikołajczyk i in., 2020). Wyniki badań nie pozostawiają cienia wątpliwości, że rozmiary strat w ichtiofaunie są ogromne i sięgają od setek tysięcy do miliardów (sic!) osobników ichtioplanktonu (łącznie z ikrą) rocznie, jak ma to miejsce w przypadku dużej elektrowni termicznej Calvert Cliffs Nuclear Power Plant (EA Engineering, Science and Technology Inc. 2008). Wstępne wyniki badań przeprowadzonych w Polsce w rejonie Elektrowni Kozienice w latach 2018–2019 pozwoliły oszacować straty w ichtiofaunie na poziomie od 64 do 234 mln osobników w zależności od roku. Natomiast w Elektrowni Ostrołęka B mogło w roku 2019 zginąć ok. 37 mln osobników (Mikołajczyk i in. 2020).

Material i metody



Elektrownia Kozienice

Badania prowadzono tylko w 2021 roku. Posłużyły one do oszacowania ilości ichtioplanktonu (larw i wczesnych form narybkowych ryb) zasysanego do systemów chłodzenia Elektrowni Kozienice oraz do określenia jego koncentracji na całej szerokości Wisły zarówno w strefie przydennej jak i powierzchniowej. Odłowów ichtioplanktonu dokonywano za pomocą narzędzi pułapkowych specjalnie skonstruowanych do tego celu. Jako pułapki (2 zestawy) do połowu dryfujących larw i wczesnych form narybkowych ryb posłużyły długie na 220 cm worki z gazy młynskiej (o oczku $507\ \mu\text{m}$) rozpięte na ramach stalowych o wymiarach $250 \times 500\ \text{mm}$ ($1250\ \text{cm}^2$). Badania na Wiśle w Kozienicach przeprowadzono czterokrotnie w terminie: 25–26 kwietnia, 13–14 maja, 7–8 czerwca oraz 11–12 lipca 2021 r. Na ryc. 1 przedstawiono, orientacyjnie, rejon przeprowadzonych prac.



Ryc. 1. Lokalizacja punktów połowu ichtioplanktonu w rejonie Elektrowni Kozienice w 2021 r. Żółte kółka przedstawiają orientacyjne miejsca posadowienia pułapek na dryfujące larwy i narybek ryb. Źródło: Google Earth Pro.

Połów dryfujących larw i wczesnych form narybkowych (ichtioplankton) za pomocą pułapek stacjonarnych przy lewym brzegu Wisły

Podobnie jak w latach ubiegłych pułapki instalowano na wbitych w dno rzeki stalowych palikach o długości 1,2 m (fot. 1).



Fot. 1. Pułapka stacjonarna zamontowana przy lewym brzegu Wisły w trakcie połowu dziennego.

Pułapki montowano ok. 1 do 2,5 m od lewego brzegu Wisły w zależności od stanu wody w Wiśle, na głębokości od 0,6 do 0,8 m. Stanowiska połowowe usytuowane były w rejonie N51.664753, E21.474115, ok. 300 m powyżej ujęcia wody chłodniczej do elektrowni oraz ok. 550 m poniżej wypływu wody pochłodniczej z elektrowni do Wisły w punkcie N51.671056, E21.466189. Pułapki eksponowano przez 15 min. Połowów powyżej elektrowni w kwietniu i w maju dokonywano czterokrotnie w ciągu doby: po południu, godzinę po zachodzie słońca, o północy i godzinę później. Niestety w czerwcu, ze względu na bardzo rozmiękły teren po wezbraniu, mimo podjętych prób, w nocy nie udało się dotrzeć do miejsca gdzie pobierano próby. Ze względów bezpieczeństwa i z uwagi na to, że tej samej nocy pobierano przez kilka godzin próby z promu (patrz akapit poniżej) zrezygnowano z poboru próby brzegowej. W lipcu pobrano próby brzegowe w wyznaczonej lokalizacji tylko raz (ok. 01:45) po zakończeniu badań prowadzonych na promie. Odłowów

dryfujących larw poniżej ogrodzenia terenu elektrowni, dokonano w czerwcu i lipcu. W trakcie pobierania prób w miejscu posadowienia pułapek mierzono prędkość wody za pomocą młynka hydrometrycznego (typ olejowy, model He-Ga 1, nr seryjny 213, średnica wirnika fi 50 mm). Uzyskany tą drogą materiał dryfujący (materiał roślinny, owady oraz ryby) przenoszono do szklanych słoików i utrwalano formaliną (4%). Po zakończeniu badań i przepłukaniu prób przeglądano je pod lupą w celu odseparowania larw ryb, które liczono i fotografowano. Znając czas pobierania prób, powierzchnię łowną pułapki, prędkość wody obliczono jej objętość, z której odłowiono daną liczbę larw. Te dane zostały następnie skonfrontowane z ilością wody pobieranej przez elektrownię. Szczegóły obliczeń przedstawiono w rozdziale „Wyniki”.

Połowy pułapkowe na całej szerokości Wisły

Oprócz połowów pułapkowych prowadzonych w strefie brzegowej (podobnie jak w latach ubiegłych) przeprowadzono dwukrotnie w nocy (7 na 8 czerwca oraz 11 na 12 lipca) 2021 r. odłowy dryfującego ichtioplanktonu na całej szerokości Wisły za pomocą pułapek zamocowanych na specjalnie do tego celu skonstruowanych stelażach opuszczanych w nurt Wisły z pokładu promu pasażerskiego kursującego przez Wisłę na trasie Świerże Górne–Antoniówka (ryc. 2). Przeprawa promowa zlokalizowana jest ok. 1 km powyżej ujęcia wody dla elektrowni. Na kilkumetrowym stelażu zamocowana była 1 pułapka w taki sposób, aby jej dolna krawędź znajdowała się ok. 10 cm nad dnem Wisły. Druga pułapka (w tym samym czasie) wypuszczana była na linie za promem, a jej konstrukcja i masa pozwalały na to, aby jej górna krawędź znajdowała się ok. 10 do 20 cm pod powierzchnią Wisły. Czas ekspozycji pułapek wynosił 10 min. Ogółem pobrano próby z 7 lokalizacji względem szerokości rzeki. Punkty 1 i 7 to miejsca poboru prób usytuowane ok. 10 m od lewego lub prawego brzegu. Z kolei 2 i 6 są zlokalizowane ok. 35 m od brzegów, a 3 i 5 ok. 60 m od brzegów. Punkt nr 4 znajdował się na środku nurtu Wisły (85 m od brzegów). Takie rozmieszczenie pułapek miało na celu zbadanie koncentracji larw na przekroju całego słupa wody Wisły i na całej szerokości Wisły, która w tym miejscu wynosi ok. 170–175 m. Głębokość Wisły jest tu bardzo wyrównana i kształtowała się pomiędzy 220 a 290 cm w czerwcu i od 145 do 210 cm w lipcu. Wizualizację poboru prób na całej szerokości Wisły przedstawiono na ryc. 2 oraz na fot. 2–7. Odłowy rozpoczynano po zapadnięciu nocy (min. 1 godz. po zachodzie słońca).



Ryc. 2. Prom w Świerżach Górnych. Schematyczna wizualizacja sposobu pobierania prób dryfu ichtioplanktonu na całej szerokości Wisły z pokładu promu. Stalowy stelaż z pułapką denną był mocowany do burty promu od strony górnej wody. Pułapka powierzchniowa dryfowała na kilkumetrowej linii za promem. Na podstawie: <https://cutt.ly/HHpMRlx>.

Procedura utrwalania materiału biologicznego i obliczeń była identyczna z tą zastosowaną w przypadku klasycznych odłowów pułapkowych w strefie brzegowej.

Koncentrację larw ryb w przekroju poprzecznym Wisły w Kozienicach oszacowano na podstawie interpolacji ich zagęszczenia wykonanej metodą Lokalnej Interpolacji Wielomianowej (LPI) w oparciu o wyniki z 15. punktów pomiarowych rozmieszczonych na całej szerokości Wisły i na różnych głębokościach (pułapki brzegowe i promowe).

Tab. 1. Terminy i warunki hydrologiczne w trakcie badań na Wiśle w rejonie powyżej Elektrowni Kozienice w 2021 r.

l.p.	Data badań	Temp. wody (°C)	Przepływ Wisły (wodowskaz Dęblin) ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Poziom Wisły (wodowskaz Dęblin) (cm)
1	25–26 kwietnia	9,7	1080	305
2	13–14 maja	16,4	541	222
3	7–8 czerwca	18,5	406	191
4	11–12 lipca	26,3	275	161



Fot. 2. Przygotowania do nocnych połowów larw z pokładu promu. Montaż pułapki dennej na stelażu na promie w Świerżach Górnych.



Fot. 3. Przygotowanie młynka hydrometrycznego do pomiaru prędkości wód Wisły w czasie trwania poboru prób dryfu.



Fot. 4. Połów ichtioplanktonu pułapką denną na stelażu z pokładu promu.



Fot. 5. Wyciąganie z Wisły pułapki dennej z dryfem.



Fot. 6. Połów ichtioplanktonu pułapką powierzchniową z pokładu promu. W tle Elektrownia Kozienice.



Fot. 7. Pozyskiwanie prób dryfu z pułapek.

Elektrownia Połaniec

Badania liczby dryfujących Wisłą larw i wczesnych form narybkowych za pomocą pułapek przeprowadzono w latach 2020 i 2021. Odłowy wykonano 7 razy w ciągu sezonu, w okresie od połowy kwietnia do końca lipca. Ich celem było oszacowanie ilości ichtioplanktonu (wylęg, larwy oraz wczesne formy narybkowe), który dostaje się do systemów chłodzących Elektrowni Połaniec. Metodyka pobierania prób za pomocą pułapek stacjonarnych montowanych w nurcie rzeki w rejonie brzegowym i procedura opracowania danych była identyczna z tą opisaną powyżej. Orientacyjną lokalizację badań przedstawiono na ryc. 3. Ze względu na stosunkowo niewielką ilość danych dotyczących aktualnego stanu ichtiofauny Wisły w rejonie Połanica w roku 2020 i 2021 przeprowadzono serię odłowów monitoringowych ichtiofauny za pomocą elektropołowu z łodzi oraz odłowów sieciowych włoczkiem narybkowym.

Połów dryfujących larw i wczesnych form narybkowych (ichtioplankton)

Pułapki (2 zestawy) montowane były na wbitych w dno rzeki stalowych palikach. Połów trwał 15 min i prowadzony był czterokrotnie w ciągu doby: pierwsza próba w ciągu dnia (popołudnie), a następnie godzinę po zachodzie słońca około północy oraz godzinę później. Uzyskany tą drogą materiał dryfujący (resztki roślin, owady, skorupiaki oraz ryby) przenoszono ostrożnie do szklanych słoików i utrwalano formaldehydem (4%). Połowy ichtioplanktonu przeprowadzono siedmiokrotnie, od połowy kwietnia do końca lipca. W zależności od poziomu wody w Wiśle pułapki były posadowione blisko lewego brzegu Wisły (dwie pułapki w dwóch punktach o różnej głębokości i szybkości nurtu wody) na odcinku pomiędzy N50.428158, E21.329745, a N50.429258, E21.331759. Rejon ten znajduje się ok. 700–800 m powyżej pierwszego ujęcia wody do Elektrowni Połaniec. W tabelach 2 i 3 przedstawiono terminy oraz warunki hydrologiczne w trakcie trwania badań.



Ryc. 3. Lokalizacja punktów monitoringowych ichtiofauny w rejonie Elektrowni Połaniec. Gwiazdki przedstawiają rejon posadowienia pułapek na dryfujące larwy ryb i narybek w zależności od poziomu wody w Wiśle. Żółta i czerwona elipsa wskazują rejon odłowów sieciowych. Niebieska linia obrazuje trasę spływu łodzi w trakcie elektropotowu. Źródło: Google Earth Pro.

Tab. 2. Warunki hydrologiczne w trakcie badań przy Elektrowni Połaniec w 2020 r.

l.p.	Data	Temp. wody (°C)	Przepływ Wisły (wodowskaz Koło) ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Prędkość nurtu wody w pułapkach (średnia z 6 pomiarów) ($m \cdot s^{-1}$)
1	15–16 kwietnia	10,1	150	0,364
2	7–8 maja	11,5	125	0,337
3	20–21 maja	17,4	122	0,407
4	9–10 czerwca	17,7	317	0,387
5	29–30 czerwca	21,2	531	0,245
6	14–15 lipca	20,1	234	0,288
7	25–26 lipca	22,0	212	0,295

Tab. 3. Warunki hydrologiczne w trakcie badań przy Elektrowni Połaniec w 2021 r.

l.p.	Data	Temp. wody (°C)	Przepływ Wisły (wodowskaz Koło) ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Prędkość nurtu wody w pułapkach (średnia z 6 pomiarów) ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	26–27 kwietnia	9,5	484	0,329
2	8–9 maja	12,1	359	0,494
3	27–28 maja	16,0	356	0,638
4	14–15 czerwca	18,1	220	0,342
5	25–26 czerwca	22,7	259	0,189
6	12–13 lipca	26,8	269	0,479
7	26–27 lipca	22,6	135	0,293

Z uwagi na uwarunkowania techniczne i charakterystykę hydromorfologiczną Wisły przy Elektrowni Połaniec oraz ze względów bezpieczeństwa nie przeprowadzono badań natężenia dryfu ichtioplanktonu na całej szerokości Wisły. Wyniki przedstawione opierają się jedynie na danych uzyskanych za pomocą pułapek stacjonarnych umiejscowionych w strefie brzegowej Wisły.

Pomimo podjętych prób i prośb operator Elektrowni Połaniec nie zgodził się na przeprowadzenie badań (pobór prób wody i dryfu) w kanale zrzutowym elektrowni tłumacząc to względami bezpieczeństwa.



© Fot. R. Wawręty

Fot. 8. Montaż pułapek po zmroku w rejonie Elektrowni Połaniec. Fot. R. Wawręty.

Elektropołowy

Elektropółów z łodzi został przeprowadzony przy pomocy stacjonarnego elektrycznego agregatu połowowego DEKA 5000 (DEKA Geratebau, Niemcy) zgodnie z procedurą pobierania próbek ryb z wykorzystaniem elektryczności, zawartą w PN-EN 14011. Odłowów ryb dokonywano podczas swobodnego dryfu łodzi przy obu brzegach Wisły na odcinku ok. 1500 m. Anodę stanowił kasarek o średnicy 50 cm, a katodę – stalowa blacha o powierzchni ok. 3 m² zamontowana w dnie łodzi. Z uwagi na bardzo dużą przewodność wody zastosowano prąd impulsowy o napięciu 250 V, osiągając średnie natężenie 8–10 A (moc w szczycie impulsu do 7 kW). Połowu dokonywano anodą oraz dodatkowym kasarkiem asekuracyjnym. Punkt początkowy odłowu znajdował się powyżej przeprawy promowej w m. Winnica (N50.422592, E21.310860). Punkt końcowy znajdował się ok. 600 m powyżej ujęcia wody do urządzeń chłodzących Elektrowni Połaniec (N50.429789, E21.332700). Ryby po odłowieniu były przez kilkanaście minut przetrzymywane w zbiorniku ze świeżą wodą. Po zakończeniu połowu ryby były sukcesywnie znieczulane w wodnym roztworze 2 fenoksy-etanolu (3 ml/10 l wody). Po identyfikacji gatunku, zmierzeniu ryb (*longitudo totalis*) z dokładnością do 1 mm były one wybudzane z narkozy i następnie wypuszczane w stanie nienaruszonym, w miejscu złowienia. W przypadku stwierdzenia w połowie gatunków ryb objętych ochroną były one natychmiast, bez mierzenia, wypuszczane na wolność (odnotowywano jedynie liczbę osobników). Badania wykonano dwukrotnie (7 maja oraz 14 lipca 2020 r.), zawsze na tym samym odcinku rzeki (ryc. 3). Ze względu na niskie stany wód Wisły w lecie 2021 r. nie udało się przeprowadzić elektropółów z powodu niemożności zwodowania łodzi na slipach w Winnicy (zniszczone, urwane betonowe slipy sterczały zbyt wysoko nad lustrem wody).

Odłowy włokiem drobnicowym

Odłowy sieciowe przeprowadzono za pomocą włoczka drobnicowego o długości 9 m, wykonanego z bezwęzłowej nylonowej tkaniny sieciowej o boku oczka równym 6 mm. Ryby odławiano wykonując zaciąg włoczka zgodnie z nurtem płynącej wody, na granicy nurtu i stojącej wody na piaszczystym odsypisku utworzonym pomiędzy ostrogami rzecznyymi lub przy płaskim brzegu. Średnia głębokość wody w miejscu łowienia wynosiła ok. 60 cm. Włók prowadzono w przybliżeniu równolegle do brzegu, na odcinku ok. 50 m, pobierając próbę z powierzchni o wielkości ok. 300 m². Na końcu transektu sieć wraz z odłowionymi rybami wyciągano na piaszczysty brzeg. Po identyfikacji gatunku i zmierzeniu długości ciała (lt) ryby w stanie nienaruszonym wypuszczano na wolność

w miejscu złowienia. W trakcie jednej sesji połowowej dokonywano 6 zaciągów siecią. Podobnie jak w przypadku elektropołów, przypadkowo odłowione ryby należące do gatunków chronionych wypuszczano na wolność bez dokonywania żadnych manipulacji. Połowy włokiem w 2020 r. przeprowadzano w tym samym terminie co elektropoły (7 maja i 14 lipca), natomiast w 2021 r. dokonano ich 14 czerwca i 12 lipca.



Fot. 9. Elektropół z łodzi prowadzony powyżej Elektrowni Połaniec.



Fot. 10. Odłów włokiem drobnicowym. W tle Elektrownia Połaniec.



Fot. 11. Młody narybek złowiony w Wiśle powyżej Elektrowni Połaniec przy użyciu włoka drobnicowego.



Fot. 12. Identyfikacja gatunkowa po odłowcie włoczkiem drobnicowym.

Elektrownia Ostrołęka B

Badania koncentracji ichtioplanktonu w wodach Narwi za pomocą narzędzi pułapkowych (połów dryfu) przeprowadzono czterokrotnie w terminie: 19–20 kwietnia, 12–13 maja, 13–14 czerwca oraz 19–20 lipca 2021 roku. Odłowy dryfujących larw i wczesnych form narybkowych z użyciem pułapek miały za zadanie oszacowanie ilości ichtioplanktonu (larwy ryb i wczesne formy narybkowe), jaka dostaje się wraz z nurtem Narwi do systemów chłodzących Elektrowni Ostrołęka B. Na ryc. 4 przedstawiono orientacyjnie miejsce badań. Realizowano je, podobnie jak w przypadku Elektrowni Kozienice, z wykorzystaniem pułapek stacjonarnych w rejonie brzegowym, jak i z łodzi na całej szerokości rzeki. Dodatkowo, podobnie jak w Połańcu w 2021 r. przeprowadzono serię odłowów monitoringowych ichtiofauny za pomocą elektropołowu i narzędzi sieciowych ciągnionych. Badania te miały na celu aktualizację i poszerzenie wiedzy o składzie gatunkowym ichtiofauny Narwi w rejonie Ostrołęki.



Ryc. 4. Lokalizacja punktów monitoringowych ichtiofauny w rejonie Elektrowni Ostrołęka B. Niebieskie kółka przedstawiają miejsce posadowienia pułapek na dryfujące larwy ryb i narybek. Szeroka czerwona linia przedstawia trasę spływu łodzi i elektropołowów. Żółta elipsa wskazuje rejon odłowów sieciowych (włokiem). Połowy dryfu na całej szerokości Narwi przeprowadzono na wysokości pułapek stacjonarnych (czerwona linia). Źródło: Google Earth Pro.

Połów dryfujących larw i wczesnych form narybkowych w strefie brzegowej Narwi

Metodyka połowu ichtioplanktonu za pomocą pułapek stacjonarnych zakotwiczonych w strefie brzegowej Narwi tuż powyżej Elektrowni Ostrołęka B była identyczna z tą zastosowaną w przypadku badań przy Elektrowni Kozienice i Połaniec. Pułapki (2 zestawy) do połowu dryfujących larw rozstawiano przy lewym brzegu Narwi na głębokości ok. 60–100 cm, w niewielkiej odległości od brzegu (1,5–3 m) w zależności od poziomu wody w Narwi. Lokalizacja pułapek to punkt N53.107633, E21.614621, ok. 180 m powyżej ujęcia wody chłodniczej do elektrowni. Pułapki eksponowano przez 15 min. W badaniach w kwietniu i maju wykorzystano 2 pułapki. Natomiast w czerwcu i lipcu użyto tylko jedną ze względu na fakt, iż druga posłużyła w tym samym czasie do połowu dryfu z łodzi. W celu dokładnego określenia okresu dryfu larw i narybku na przestrzeni doby połowy pułapkowe przeprowadzano 4 razy w ciągu doby: raz w ciągu dnia (po południu) oraz trzy razy w nocy (godzinę po zachodzie słońca, o północy oraz godzinę później).



Fot. 13. Montaż pułapki na lewym brzegu Narwi powyżej ujęcia wód Elektrowni Ostrołęka.

W żadnym sezonie badań nie pobierano prób dryfu w kanale zrzutowym Elektrowni Ostrołęka B z kilku powodów. Po pierwsze, kanał zrzutowy jest stosunkowo krótki, jego brzegi są porośnięte bujną roślinnością wodną wynurzoną, która stanowi dogodne siedlisko do odbycia tarła przez ryby fitofilne w okresie, kiedy temperatura wód zrzutowych jest odpowiednia dla tarła (wczesna wiosna). Po drugie, w kanale

umiejscowiona jest duża hodowla sadzowa ryb, co może skutkować pojawieniem się tam młodocianych form ryb – uciekinierów z hodowli.

Tab. 4. Terminy i warunki hydrologiczne w trakcie badań na Narwi w rejonie Elektrowni Ostrołęka B w 2021 r.

l.p.	Data badań	Temp. wody (°C)	Przepływ Narwi (wodowskaz Ostrołęka) ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Prędkość nurtu wody w pułapkach stacjonarnych (średnia z 6 pomiarów) ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	19–20 kwietnia	10,7	112	0,352
2	12–13 maja	16,7	118	0,253
3	13–14 czerwca	20,7	62	0,460
4	12–13 lipca	26,2	80	0,322

Połowy pułapkowe dryfującego ichtioplanktonu na całej szerokości Narwi

W 2021 r. wykonano dwukrotnie (w nocy z 13 na 14 czerwca oraz z 19 na 20 lipca) odłowy dryfującego ichtioplanktonu za pomocą pułapki zamocowanej (holowanej) za rufą zakotwiczonej łodzi. Pułapka była tak skonstruowana, aby stabilnie utrzymywała się w toni wodnej na głębokości ok. 30–50 cm od powierzchni wody. Na całej szerokości Narwi (ok. 50 m) usytuowano 3 lub 4 punkty poboru prób. Dwa z nich były oddalone od brzegów o ok. 5–6 m. Trzeci zlokalizowano na środku rzeki. Czwarty, dodatkowy punkt poboru prób został zastosowany w lipcu i znajdował się ok. 8–10 m od lewego brzegu. Został on uwzględniony w celu zwiększenia precyzji pomiarów przy lewym brzegu Narwi z uwagi na usytuowanie na nim elektrowni. Odłowy prowadzono jedną pułapką przez 15 min na przekroju Narwi w rejonie posadowienia pułapki stacjonarnej (pomiędzy punktami N53.107633, E21.614621 a N53.108162, E21.614440). W trakcie każdego połowu mierzono prędkość nurtu rzeki za pomocą młynka hydrometrycznego. Głębokość Narwi na przekroju wahała się od 1,2 do 2,1 m. Procedura badawcza, utrwalania materiału biologicznego i obliczeń była identyczna z tą zastosowaną w przypadkach opisanych wcześniej. Ze względu na niewielką głębokość Narwi w rejonie prac próby pobierano na jednej głębokości (środek słupa wody), a koncentracja larw w 1 m^3 wody dostającej się do Elektrowni Ostrołęka B to średnia z punktów pomiarowych reprezentujących odpowiedni procent przepływu Narwi zabranego przez elektrownię.



Fot. 14. Przygotowanie do połowu ichtioplanktonu z łodzi w rejonie Elektrowni Ostrołęka.



Fot. 15. Pozyskiwanie prób dryfu na łodzi na rzece Narew w Ostrołęce.

Elektropułowy oraz odłowy włokiem narybkowym

Metodyka elektropułowców i połowów włoczkiem została opisana szczegółowo w rozdziałach dotyczących Elektrowni Połaniec. Odłowów dokonano w dwóch terminach (13 czerwca i 12 lipca 2021 r.) w rejonie Narwi bezpośrednio powyżej ujęcia wody do Elektrowni Ostrołęka B.

Fot. 16.
Elektropołówy
na Narwi w rejonie
Elektrowni
Ostrołęka B.



Fot. 17. Identyfikacja gatunkowa osobników ryb po elektropołowieniu.



Fot. 18. Połów
włokiem
drobnicowym na
Narwi w Ostrołęce.



Wyniki



Elektrownia Kozienice

Liczba larw oraz wczesnych form narybkowych dryfujących swobodnie z nurtem Wisły i dostających się do systemów chłodzących Elektrowni Kozienice w 2021 roku została oszacowana na podstawie wyników odłowów ichtioplanktonu dokonanych pułapkami stacjonarnymi (brzegowymi) oraz zamontowanymi na łodzi (promie) na całej szerokości Wisły. Uzyskane wyniki potwierdzają, że bierna migracja larw ryb z prądem wody ma miejsce prawie wyłącznie podczas fazy nocnej. W połączeniu z danymi z poprzednich sezonów badawczych jednoznacznie wskazują one, że dryf larw odbywa się z podobnym natężeniem przez całą fazę ciemną doby. W kwietniu 2021 r. dryf larw był praktycznie zerowy. W maju koncentracja larw była nadal znikoma. Wiąże się to z długą zimą i wyjątkowo chłodną i deszczową wiosną powodującą opóźnienie rozrodu wielu gatunków ryb. Apogeum ($1,12 \text{ osob./m}^3$) tarła i dryfu larw zaobserwowano w czerwcu. Intensywność dryfu w lipcu była nadal wysoka i sięgała $0,82 \text{ osobnika na } 1 \text{ m}^3$. Szczegółowe dane dotyczące liczby odłowionych larw w poszczególnych miesiącach badań i porach doby przedstawiono w tab. 5.

Tab. 5. Liczba odłowionych larw i wczesnych form narybkowych ichtiofauny odłowionych w strefie brzegowej tuż powyżej ujęcia wód powierzchniowych do Elektrowni Kozienice w trakcie badań w 2021 r.

Data połowów	Liczba odłowionych larw (2 pułapki po 15 min)				Średnia liczba larw odłowionych w próbie nocnej	Średnia prędkość wody w pułapkach (m * s ⁻¹)
	DZIEŃ	NOC				
	popołudnie	po zachodzie słońca	północ	przed świtem		
19–20 kwietnia	0	0	1	1	0,66	0,192
12–13 maja	1	10	16	18	14,66	0,537
13–14 czerwca	3	b.d*	b.d*	bd**	bd**	b.d.**
12–13 lipca	1	b.d*	b.d*	40	40	0,215

*) W tym czasie prowadzone były odłowy z promu na całej szerokości Wisły.

**) W trakcie badań w czerwcu ze względu na trudności techniczne oraz bardzo rozmiętkły i niebezpieczny teren (po wezbraniu) nie udało się dotrzeć nocą na miejsce i pobrać prób pułapkami stacjonarnymi. Z tego powodu wartości koncentracji larw w $1 m^3$ wody zostały zinterpolowane na bazie danych zebranych w lipcu. Zachowano te same proporcje między ilością larw między pierwszą próbą promową a próbą brzegową.

Oszacowanie liczby larw i wczesnych form narybkowych dostających się do systemów chłodzących Elektrowni Kozienice w 2021 roku na podstawie wyników badań koncentracji ichtioplanktonu na całej szerokości Wisły

Do obliczeń ilości ichtioplanktonu zasysanego do systemów chłodniczych Elektrowni Kozienice zastosowano wyniki odłowów (pułapki stacjonarne oraz promowe) i pomiarów w terenie oraz dane operatora elektrowni za 2021 r. udostępnione przez WIOŚ. Identyczny zestaw danych posłużył do oszacowania strat w ichtiofaunie w przypadku innych elektrowni. Są to:

1. Liczba odłowionych larw i wczesnych form narybkowych.
2. Czas trwania połowów pułapkowych.
3. Liczba pułapek.
4. Powierzchnia gardzieli pułapki ($1250 cm^2$).
5. Prędkość wody przy wlocie do pułapek (każdy pobór prób mierzony indywidualnie).
6. Objętość wody, jaka przepłynęła przez pułapki i z jakiej uzyskano daną liczbę larw.
7. Dla uproszczenia obliczeń przyjmuje się, że dryf larw odbywa się tylko w ciemnej fazie doby.
8. Średnia długość nocy w poszczególnych miesiącach badań:
 - a) kwiecień – 10 godz. (30 dni);
 - b) maj – 8,5 godz. (31 dni);
 - c) czerwiec – 7,5 godz. (30 dni);
 - d) lipiec – 8,5 godz. (31 dni).
9. Ilość pobranej wody dla każdego miesiąca – dane operatora elektrowni.

Tab. 6. Dane empiryczne zebrane podczas połowów ichtioplanktonu na całej szerokości Wisły w nocy w czerwcu 2021 roku.

	Stanowisko 0 1–2,5 m od lewego brzegu (stacjonarne)	Stanowisko 1 ok. 10 m od lewego brzegu	Stanowisko 2 ok. 35 m od lewego brzegu	Stanowisko 3 ok. 60 m od lewego brzegu	Stanowisko 4 Środek Wisły	Stanowisko 5 ok. 60 m od prawego brzegu	Stanowisko 6 ok. 35 m od prawego brzegu	Stanowisko 7 ok. 10 m od prawego brzegu
Prędkość nurtu (m*s ⁻¹)		0,740	0,788	0,793	0,593	0,868	0,873	0,557
Głębokość Wisły (cm)	60–80	220	240	260	280	290	235	265
Liczba larw koncentracja (osob/m ³) Przy powierzchni	1,12*	22 0,396	21 0,351	4 0,067	12 0,267	9 0,138	18 0,273	75 1,786
Liczba larw koncentracja (osob/m ³) Przy dnie		26 0,467	5 0,091	1 0,017	0 0,00	0 0,00	4 0,061	45 1,072

*) w trakcie badań w czerwcu ze względu na bardzo rozmiękły i niebezpieczny teren (po wezbraniu) nie udało się dotrzeć i pobrać prób z pułapek stacjonarnych. Z tego powodu koncentracja larw w 1 m³ wody została oszacowana na bazie danych zebranych w lipcu. Zachowano te same proporcje między ilością larw w próbie brzegowej (stanowisko 0) i pierwszą próbą promową (stanowisko 1).

Tab. 7. Dane empiryczne zebrane podczas połowów ichtioplanktonu na całej szerokości Wisły w nocy w lipcu 2021 roku.

	Stanowisko 0 1– 2,5 m od lewego brzegu (stacjonarne)	Stanowisko 1 ok. 10 m od lewego brzegu	Stanowisko 2 ok. 35 m od lewego brzegu	Stanowisko 3 ok. 60 m od lewego brzegu	Stanowisko 4 Środek Wisły	Stanowisko 5 ok. 60 m od prawego brzegu	Stanowisko 6 ok. 35 m od prawego brzegu	Stanowisko 7 ok. 10 m od prawego brzegu
Głębokość Wisły (cm)	50–80	160	150	145	210	190	190	210
Prędkość nurtu (m*s ⁻¹)	0,215	0,773	0,771	0,701	0,757	0,893	0,780	0,725
Liczba larw koncentracja (osob/m ³) Przy powierzchni	0,826	15 0,258	10 0,173	6 0,114	4 0,070	6 0,089	21 0,359	26 0,477
Liczba larw koncentracja (osob/m ³) Przy dnie		22 0,379	6 0,104	15 0,285	2 0,035	4 0,059	19 0,324	39 0,716

Dysponując przedstawionymi wyżej danymi, oszacowano liczbę larw ryb dostających się do systemów chłodzących skraplacze Elektrowni Kozienice w każdym miesiącu (kwiecień, maj, czerwiec i lipiec), a na tej podstawie uzyskano ogólną liczbę ginących tu ryb w ciągu 2021 roku.

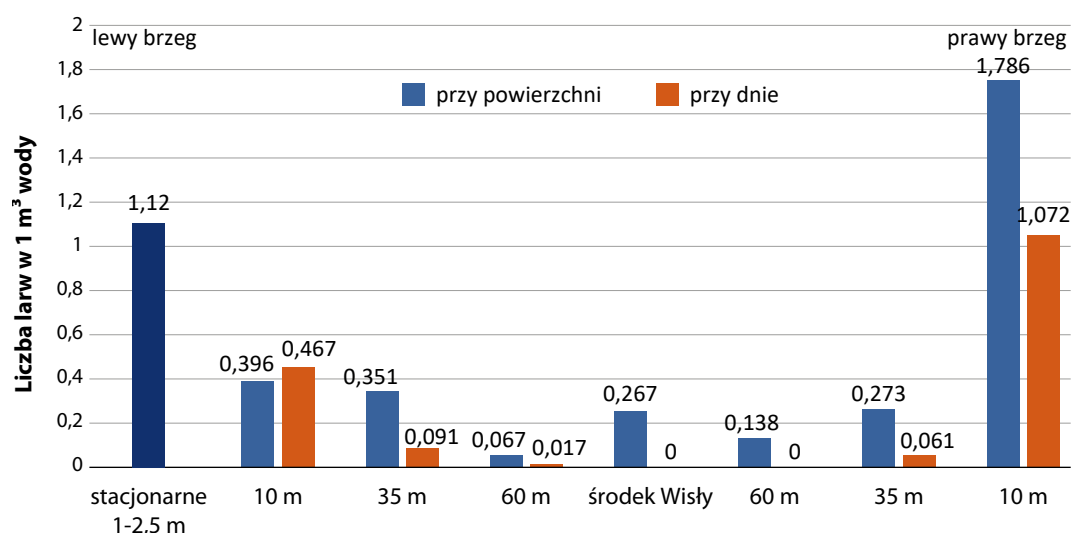
W czerwcu i lipcu dokonano odłowów dryfujących larw ryb poniżej Elektrowni Kozienice. Pułapki stacjonarne (zakotwiczone przy lewym brzegu Wisły poniżej ogrodzenia terenu elektrowni) umiejscowiono ok. 550 m od wypływu wody z instalacji. Odłowy prowadzono jednokrotnie między godz. 1 a 2 w nocy za pomocą jednej pułapki. **W czerwcu udało się odłowić 3 larwy ryb. W próbach pobranych w lipcu nie znaleziono żadnych ryb.** W czerwcu średnia prędkość wody w punkcie pobierania prób wynosiła 0,433 m/s, temperatura wody 24,8 °C, a koncentracja larw **0,0615 osobnika na 1 m³**.



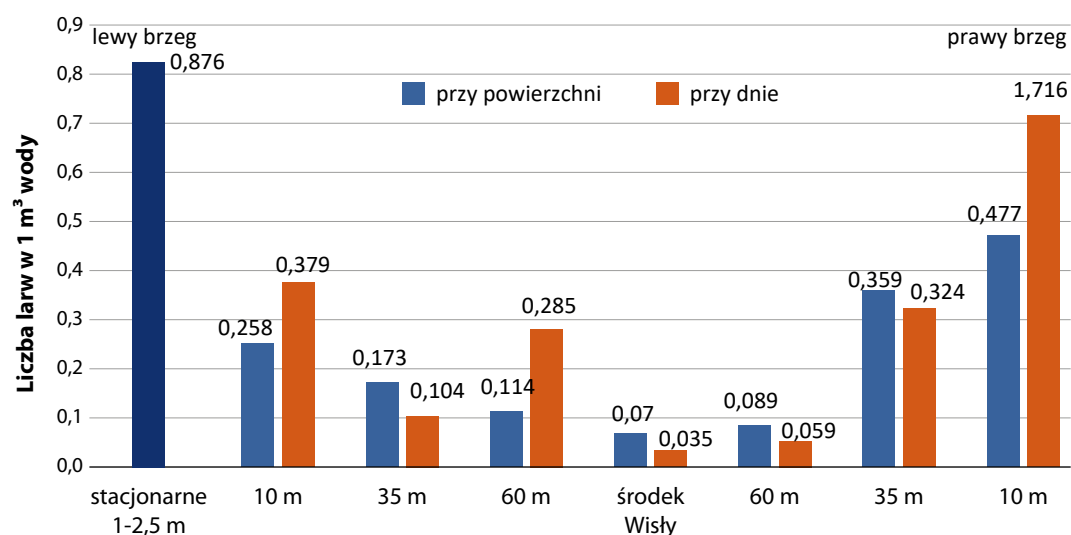
Fot. 19. Widok na kanał ujęcia wód dla Elektrowni Kozienice.

Badania natężenia dryfu ichtioplanktonu na całej szerokości Wisły i na różnych głębokościach przeprowadzanych z pokładu promu pasażerskiego dokonano dwukrotnie – w czerwcu i lipcu 2021 roku. Uzyskane wyniki wskazują, że ichtioplankton dryfuje całą szerokością Wisły, zarówno przy powierzchni, jak i przy dnie, ale jego koncentracja zmienia się w zależności od odległości od brzegów. Najwyższe zagęszczenia odnotowano w próbach pobranych najbliżej brzegu. W miarę oddalania się od brzegu koncentracja larw stopniowo malała. Najniższą zanotowano na środku Wisły, zwłaszcza w próbach dennych. Szczegółowe dane dotyczące zagęszczenia larw w pobranych próbach przedstawiono w tabelach 6 i 7. Nieodłącznym elementem badań dryfu larw na całej szerokości Wisły były próby tzw. brzegowe (stacjonarne) pobierane w odległości 1 do 2,5 m od lewego rzeki. To w nich właśnie stwierdzono największą koncentrację larw ryb. Była ona 2,5-krotnie wyższa, niż

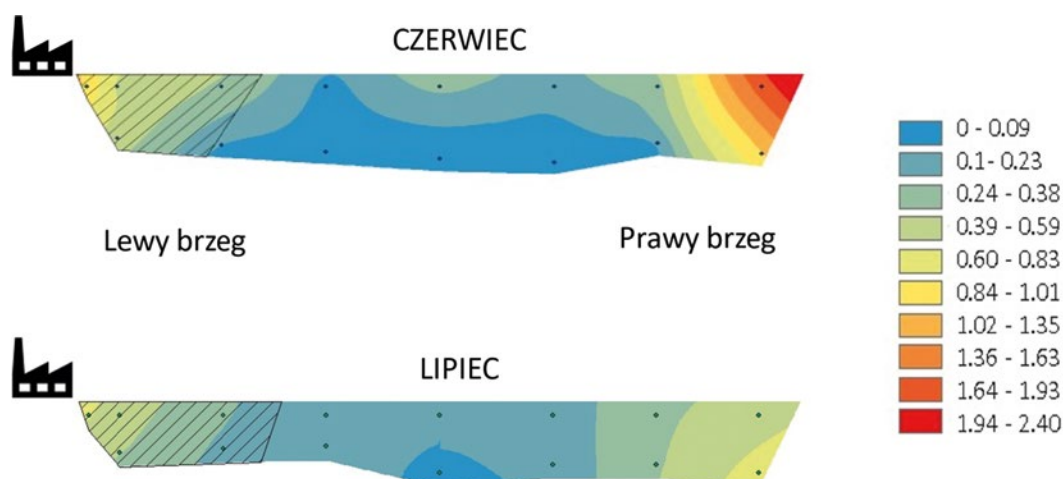
w próbie pobranej 10 m od brzegu z promu (tab. 6 i 7, ryc. 5 i 6). Po dokonaniu analizy zagęszczeń larw na przekroju całego słupa wody Wisły oraz znając wielkość poboru wody przez elektrownię (% przepływu), wyliczono średnią koncentrację ryb w 1 metrze sześciennym wody pobranej przez elektrownię. I tak w czerwcu w wodzie pobranej przez elektrownię (17,82%) wynosiła ona 0,423 osob./m³ a w lipcu, gdy elektrownia pobrała 21,76% wody Wisły kształtowała się na poziomie 0,318 osob./m³ (ryc. 7).



Ryc. 5. Koncentracja ichtioplanktonu (osobniki/m³) w próbach pobranych pod powierzchnią (niebieskie słupki) i przy dnie (czerwone słupki) w różnych odległościach od brzegów w czerwcu 2021 r.



Ryc. 6. Koncentracja ichtioplanktonu (osobniki/m³) w próbach pobranych pod powierzchnią (niebieskie słupki) i przy dnie (czerwone słupki) w różnych odległościach od brzegów w lipcu 2021 r.



Ryc. 7. Wizualizacja koncentracji ichtioplanktonu (osobniki/m³) wg skali (panel po prawej) na przekroju Wisły przed Elektrownią w Kozienicach w oparciu o odczyty na całej szerokości i na różnych głębokościach. Panel górny przedstawia sytuację z czerwca 2021 roku. Panel dolny przedstawia analogiczną sytuację z lipca 2021 r. Widoczna różnica w poziomie Wisły. Obszar zakreskowany reprezentuje część Wisły (%) zabieranej w danym okresie przez elektrownię, odpowiednio 17,82% w czerwcu i aż 21,76% w lipcu. Wyliczone zagęszczenie ryb w pobranej wodzie jest interpolowane za pomocą Lokalnej Interpolacji Wielomianowej (LPI) i wynosi odpowiednio **0,423** i **0,318** osobników na m³ w czerwcu i lipcu. Średnie zagęszczenie larw na całym przekroju Wisły wynosiło odpowiednio 0,343 i 0,265 larw w metrze sześciennym wody w czerwcu i lipcu.

Tab. 8. Dane odnośnie średnich miesięcznych przepływów Wisły i poboru wody przez Elektrownię Kozienice w okresie prowadzenia badań w 2021 r. (dane operatora elektrowni).

Okres badań	Średni przepływ Wisły w rejonie Elektrowni Kozienice w danym okresie (m ³ *s ⁻¹)	Średni pobór wody przez elektrownię w danym okresie (m ³ *s ⁻¹)	Udział poboru wody przez elektrownię w przepływie ogólnym Wisły (%)
kwiecień	773,5	46,6	6,02
maj	696,4	53,3	7,65
czerwiec	352,4	62,8	17,82
lipiec	361,6	78,7	21,76

Ze względu na niemożność wykonywania pomiarów i odczytów codziennie w dalszych rozważaniach interpolowano dane z 2 dni pomiarowych w każdym miesiącu na cały miesiąc.



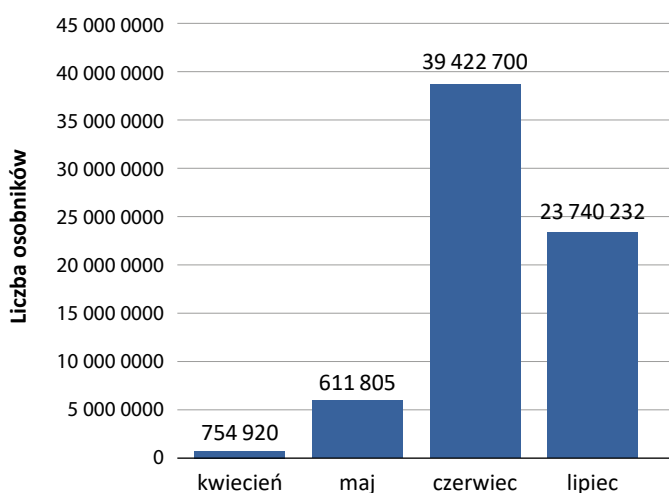
Fot. 20. Larwy ryb nieoznaczonych gatunków pozyskanych z promu przy prawym brzegu Wisły w czerwcu 2021. „Dół” – próba denna, „Góra” – próba powierzchniowa.

Na podstawie otrzymanych wyników oraz danych dotyczących wielkości przepływu Wisły w rejonie Elektrowni Kozienice w danym okresie oraz wielkości pobranych wód do systemów jej chłodzenia (dane od operatora elektrowni) dokonano próby oszacowania liczby larw zassanych do systemów chłodzących elektrowni, mając na względzie fakt, iż koncentracja larw nie jest równomierna na całym przekroju rzeki. W tab. 9 przedstawiono podstawowe dane empiryczne, które posłużyły do szacowania strat w ichtiofaunie. **Wyniki obliczeń na bazie ww. danych wskazują, że straty w ichtiofaunie w okresie od kwietnia do lipca 2021 r. wyniosły ok. 70 mln osobników** (tab. 9 i ryc. 8). Jest to wielkość o ok. 25–30% mniejsza, niż gdyby do obliczeń wykorzystano dane jedynie z pułapek stacjonarnych umiejscowionych w strefie brzegowej Wisły.

Przy użyciu tej samej metody obliczono średnie zagęszczenie larw na całym przekroju Wisły, które wyniosło 0,343 i 0,265 larw/m³ odpowiednio w czerwcu i w lipcu. Znajomość wielkości przepływu Wisły i poboru wód umożliwiła obliczenie udziału procentowego zasysanych do elektrowni larw na tle ogólnej liczby ichtioplanktonu przemieszczającego się Wisłą. Obliczenia te wskazują, że w czerwcu i w lipcu wraz z wodą chłodniczą Elektrownia Kozienice zassała i unicestwiła odpowiednio ok. **21,98%** i **26,12%** ogólnej liczby larw dryfujących Wisłą.

Tab. 9. Oszacowanie strat w ichtiofaunie Wisły w okresie od kwietnia do lipca 2021 r. spowodowane działalnością Elektrowni Kozienice. (1) – szacunki zagęszczenia ryb w oparciu o wyniki odłowów pułapkami brzegowymi. (2) szacunki zagęszczenia ryb w pobranej wodzie interpolowane za pomocą Lokalnej Interpolacji Wielomianowej na bazie wyników odłowów na całej szerokości Wisły.

	Udział poboru wody w przepływie ogólnym Wisły (% m ³)	Liczba larw ryb w 1 m ³ wody	Średni pobór wody przez Elektrownię Kozienice w danym okresie (m ³ *s-1)	Długość nocy w danym miesiącu (s)	Liczba nocy w miesiącu	Ilość wody pobranej przez elektrownię w ciągu 1 nocy w danym miesiącu (m ³)	Ilość wody pobranej przez elektrownię w ciągu nocy w ciągu miesiąca (m ³)	Oszacowana liczba larw, które giną w elektrowni w danym miesiącu
kwiecień	6,02	0,015 (1)	46,6	36 000	30	1 677 600	50 328 000	754 920
maj	7,65	0,121 (1)	53,3	30 600	31	1 630 980	50 560 380	6 117 805
czerwiec	17,82	0,423 (2)	62,8	27 000	30	1 695 600	50 868 000	39 422 700
lipiec	21,76	0,318 (2)	78,7	30 600	31	2 408 220	74 654 820	23 740 232
							Razem	70 035 657



Ryc. 8. Szacowana liczba larw i wczesnych form narybkowych zabitych w systemach chłodzących Elektrowni Kozienice od kwietnia do lipca 2021 roku.

Elektrownia Ostrołęka B

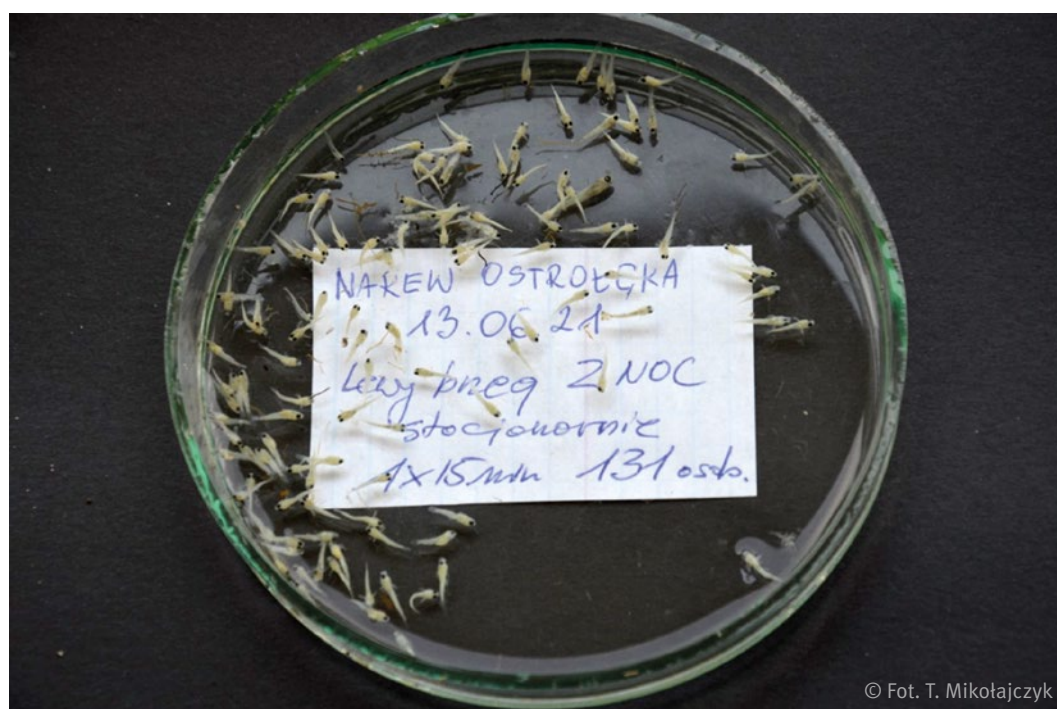
Liczba larw i wczesnych form narybkowych dryfujących swobodnie z nurtem Narwi i dostająca się do systemów chłodzących Elektrowni Ostrołęka B w 2021 r. została oszacowana na podstawie wyników odłowów ichtioplanktonu dokonanych pułapkami stacjonarnymi (brzegowymi) oraz pułapkami zamontowanymi na łodzi, co pozwoliło pobrać próby na całej szerokości rzeki. Odłowy pułapkami w strefie brzegowej odbyły się 4-krotnie, natomiast na całej szerokości Narwi 2-krotnie (czerwiec i lipiec). Szczegóły dotyczące liczby larw odłowionych przez pułapki brzegowe w poszczególnych cyklach badań i porach doby przedstawiono w tab. 10.

Tab. 10. Liczba odłowionych larw i wczesnych form narybkowych ichtiofauny odłowionych w strefie brzegowej pułapkami stacjonarnymi tuż powyżej ujęcia wód powierzchniowych do Elektrowni Ostrołęka B w trakcie badań w 2021 r.

Data połowów	Liczba odłowionych larw (1 lub 2 pułapki po 15 min)				Średnia liczba larw odłowionych w próbie nocnej	Średnia prędkość wody w pułapkach (m*s-1)
	DZIEŃ	NOC				
	popołudnie	godzina po zachodzie słońca	północ	przed świtem		
19–20 kwietnia	0	0	0	0	0	0,352
12–13 maja	1	22	37	45	34,66	0,253
13–14 czerwca	3	116*	131*	126*	124,30	0,460
12–13 lipca	1	7*	7*	6*	6,66	0,322

*) – wyniki uzyskane dzięki jednej pułapce.

Jak można zauważyć, w 2021 roku szczyt migracji (dryfu) larw ryb, przypadł na czerwiec. Nie zaobserwowano dryfu larw w kwietniu, a jego natężenie w lipcu było już znikome. Taka charakterystyka natężenia dryfu odzwierciedla dynamikę tarła ryb w Narwi i jej dopływach, które determinowane było długą i chłodną zimą, wilgotną i chłodną wiosną, a następnie wysokimi temperaturami w czerwcu i lipcu. Koincydencja zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych zaowocowała koncentracją sezonu rozrodczego w czerwcu i masowym spływem larw w tym okresie.



Fot. 21. Larwy nieokreślonych gatunków wypreparowane z drugiej nocnej próby (północ) w czerwcu 2021 r.

Oszacowanie liczby larw ryb i wczesnych form narybkowych dostających się do systemów chłodzących Elektrowni Ostrołęka B w 2021 roku na podstawie wyników połowu ichtioplanktonu na całej szerokości Narwi

Badania natężenia dryfu ichtioplanktonu na całej szerokości Narwi dokonano dwukrotnie – w czerwcu i lipcu 2021 roku. Uzyskane wyniki wskazują, że dryfuje on całą szerokością Narwi, ale jego koncentracja zmienia się w zależności od odległości od brzegów. Największe zagęszczenia larw ryb stwierdzono w pułapkach stacjonarnych ulokowanych w odległości 2 do 3 m od brzegu. W miarę oddalania się od brzegu koncentracja larw stopniowo malała. W odległości ok. 5 do 7 m od lewego brzegu w czerwcu spadła ona dwukrotnie w stosunku do stanowiska brzegowego, natomiast w lipcu utrzymała się na podobnym poziomie. Najniższe zagęszczenie larw zanotowano na środku rzeki. Szczegółowe dane dotyczące koncentracji larw w pobranych próbach przedstawiono na ryc. 9 i 10 oraz w tabelach 11 i 12.



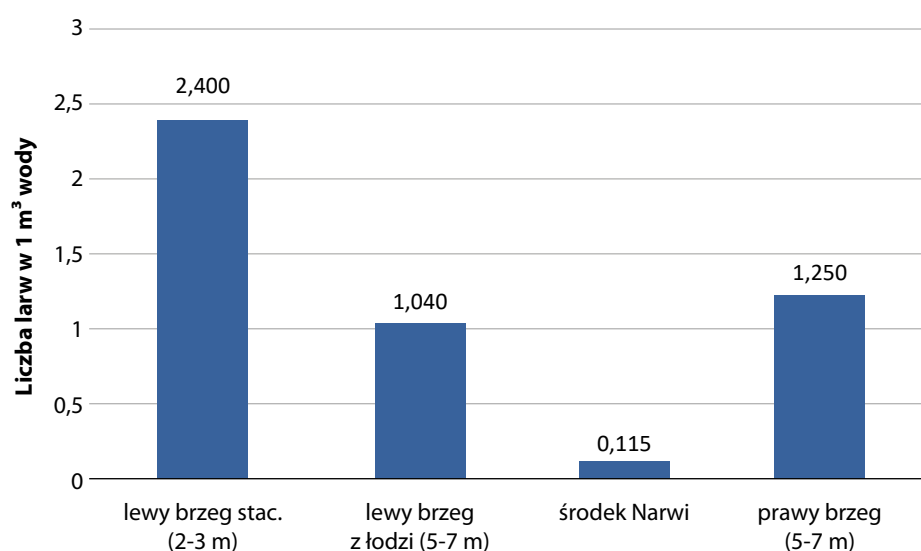
Fot. 22. Ujęcie wody (po lewej) i kanał odprowadzający wody pochłodnicze (po prawej) Elektrowni Ostrołęka.

Tab. 11. Dane empiryczne zabrane podczas połowów ichtioplanktonu na całej szerokości Narwi w czerwcu 2021 r. (1 pułapka x 15 min).

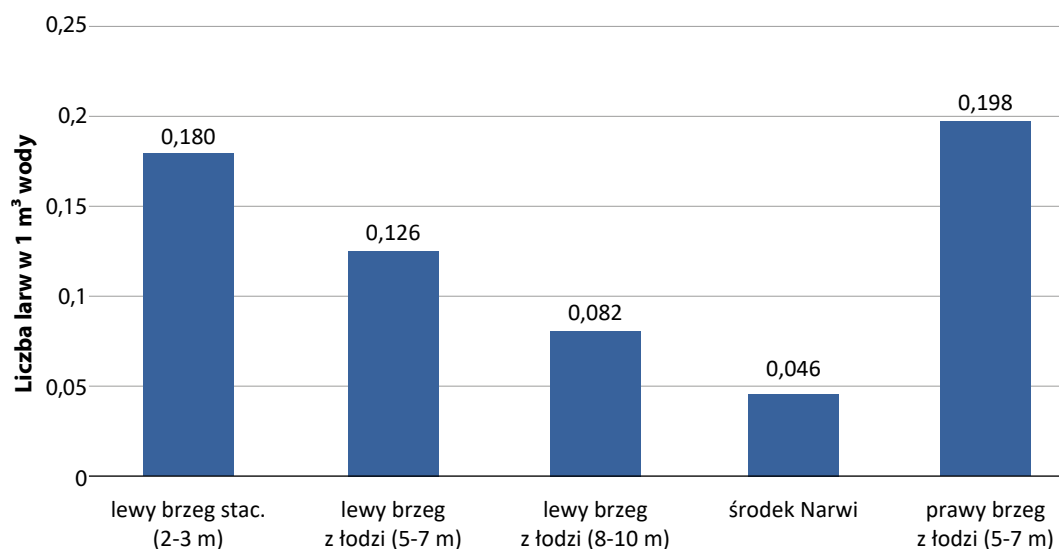
Czerwiec 2021	2–3 m od lewego brzegu (stacj.)	5–7 m od lewego brzegu	Środek rzeki (ok. 25 m od każdego z brzegów)	5–7 m od prawego brzegu
prędkość nurtu wody ($m \cdot s^{-1}$)	0,460	0,576	0,690	0,433
liczba odłowionych larw	124,300	68	9	61
liczba osobników w $1 m^3$ wody	2,400	1,040	0,115	1,250

Tab. 12. Dane empiryczne zabrane podczas połowów ichtioplanktonu z łodzi na całej szerokości Narwi w lipcu 2021 r. (1 pułapka x 15 min).

Lipiec 2021	2–3 m od lewego brzegu (stacj.)	5–7 m od lewego brzegu	8–10 m od lewego brzegu	Środek rzeki (ok. 25 m od każdego z brzegów)	5–7 m od prawego brzegu
prędkość nurtu wody ($m \cdot s^{-1}$)	0,322	0,633	0,591	0,570	0,583
liczba odłowionych larw	6,660	9	6	3	13
liczba osobników w $1 m^3$ wody	0,180	0,126	0,082	0,046	0,198



Ryc. 9. Zagęszczenie larw ryb dryfujących w $1 m^3$ w zależności od umiejscowienia pułapek względem szerokości rzeki. Badanie prowadzone w nocy z 13 na 14 czerwca 2021 r.



Ryc. 10. Zagęszczenie larw ryb dryfujących w 1 m³ w zależności od umiejscowienia pułapek względem szerokości rzeki. Badanie prowadzone w nocy z 19 na 20 lipca 2021 r.



Ryc. 11. Wizualizacja koncentracji ichtioplanktonu (osobniki/m³) wg skali (panel po prawej) na przekroju Narwi przed elektrownią w Ostrołęce w oparciu o odłowy na całej szerokości rzeki. Panel górny - czerwiec 2021 r., panel dolny - lipiec 2021 r. Obszar zakreskowany reprezentuje część Narwi (%) zabieraną w danym okresie przez elektrownię, odpowiednio 20,9% w czerwcu i 19% w lipcu. Wyliczone zagęszczenie ryb w pobranej wodzie interpolowane za pomocą Radialnej Funkcji Bazowej wynoszą **1,175 i 0,122** osobników na metr sześcienny odpowiednio w czerwcu i lipcu. Średnie zagęszczenie larw/m³ na całym przekroju Narwi wynosiło 0,771 w czerwcu i 0,132 w lipcu.

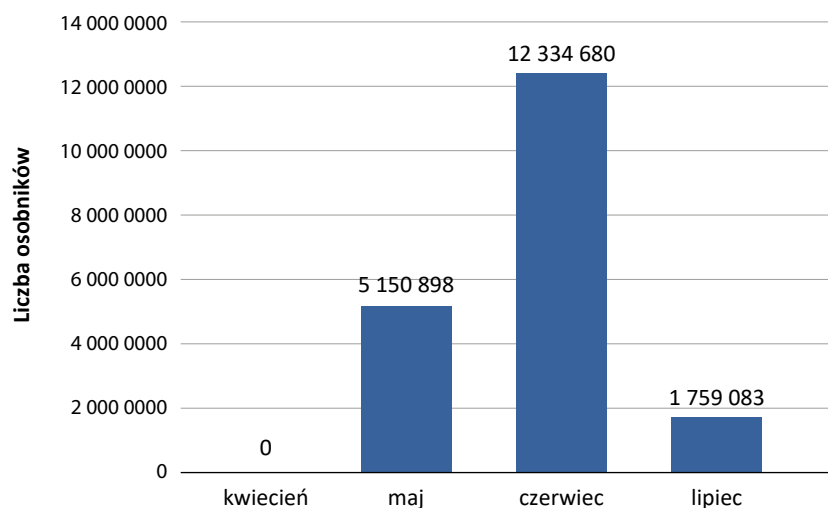
Na podstawie otrzymanych wyników oraz danych dotyczących wielkości przepływu Narwi w danym okresie, a także wielkości poboru wody przez elektrownię dokonano próby oszacowania liczby larw zassanych do systemów chłodzących elektrowni. W kwietniu i maju koncentrację larw w 1 m³ wody pobieranej przez elektrownię oszacowano na bazie wyników z pułapek stacjonarnych usytuowanych w odległości 2–3 m od lewego brzegu Narwi. W czerwcu i lipcu, kiedy dokonano także odłowów dryfu na całej szerokości Narwi, określono ją za pomocą Radialnej Funkcji Bazowej (ryc. 11) mając na względzie fakt, iż zagęszczenie

dryfujących larw nie jest homogenne na przekroju rzeki. W tab. 12 przedstawiono podstawowe dane empiryczne i założenia, które posłużyły do oceny strat w ichtiofaunie Narwi w 2021 r. Uzyskane wyniki wskazują, że straty w ichtiofaunie Narwi mogą **oscylać wokół 19,2 mln osobników** (ryc.12).

Tą samą ww. metodą obliczono średnie zagęszczenie larw na całym przekroju Narwi, które wyniosło 0,771 i 0,132 larw/m³ odpowiednio w czerwcu i w lipcu. Znajomość wielkości przepływu Narwi i poboru wód umożliwiła obliczenie udziału procentowego zasysanych do elektrowni larw na tle ogólnej ilości ichtioplanktonu przemieszczającego się rzeką. Obliczenia te wskazują, że w czerwcu i w lipcu wraz z wodą chłodniczą Elektrownia Ostrołęka B zassała i unicestwiła odpowiednio ok. **31,86%** i **17,62%** ogólnej liczby larw dryfujących Narwią. Daje to obraz ogromu strat w ichtiofaunie generowanych przez elektrownię.

Tab. 13. Oszacowanie liczby larw ryb zassanych do systemów chłodzących Elektrownię Ostrołęka B w 2021 r. na podstawie danych empirycznych i przy założeniu, że woda w Narwi na przekroju elektrowni płynie „równomiernie” na całej szerokości rzeki. Dane skonfrontowano z lokalizacją pułapek i otrzymanych wyników połowów. Średnią liczbę larw w 1 m³ wody zabranej przez elektrownię obliczono na podstawie wyników z pułapek brzegowych (1) lub za pomocą Radialnej Funkcji Bazowej (2) na bazie odłowów na całej szerokości Narwi.

Okres badań	Przepływ Narwi (m ³ *s ⁻¹)	Pobór wody przez elektrownię (m ³ *s ⁻¹)	Udział poboru wody w przepływie Narwi (% m ³)	Średnia liczba larw ryb w 1 m ³ wody	Długość nocy w danym miesiącu (s)	liczba nocy	Ilość wody pobranej przez elektrownię w ciągu nocy w danym miesiącu (m ³)	Oszacowana liczba larw, które giną w elektrowni
kwiecień	112	9,68	8,64	0 (1)	36 000	30	10 454 400	0,0
maj	118	9,05	7,67	0,600 (1)	30 600	31	8 584 830	5 150 898
czerwiec	62	12,96	20,90	1,175 (2)	27 000	30	10 497 600	12 334 680
lipiec	80	15,20	19,00	0,122 (2)	30 600	31	14 418 720	1 759 083
RAZEM								19 244 661



Ryc. 12. Szacowana liczba larw i wczesnych form narybkowych zabitych w systemach chłodzących Elektrowni Ostrołęka B od kwietnia do lipca 2021 roku.

Elektrownia Połaniec

Badania prowadzono tylko za pomocą pułapek stacjonarnych umiejscowionych w odległości od 1 do 5 m od lewego brzegu Wisły. Uzyskane w latach 2020 i 2021 wyniki potwierdzają rezultaty naszych wcześniejszych badań wskazujące, że bierna migracja larw ryb i wczesnych form narybkowych z nurtem wody ma miejsce prawie wyłącznie w nocy. W 2021 r. z powodu długiej zimy, niskich temperatur oraz utrzymujących się długi czas wysokich stanów wód, migracja larw ryb w miesiącach kwiecień – maj była znikoma. Szczyt migracji larw (tarła ryb) przypadał na czerwiec i lipiec. Należy zaznaczyć, że wiosna 2020 r. była wyjątkowo zimna i sucha, a temperatura wody Wisły, aż do końca maja, utrzymywała się na poziomie zbyt niskim, aby do tarła mogła przystąpić większość gatunków ryb wiślanych. W 2021 r. wiosna była również zimna i spóźniona, ale w odróżnieniu od 2020 r. była bardzo wilgotna. Pewną rekompensatą tego zjawiska było opóźnione tarło, które odbywało się intensywnie nawet pod koniec lipca (po wezbraniu czerwcowym). Szczegółowe dane dotyczące liczby odłowionych larw w poszczególnych cyklach i porach badań oraz wszystkie dane empiryczne niezbędne do obliczeń przedstawiono w tabelach 14–19.



Fot. 23. Ujęcia brzegowe wody Elektrowni Połaniec.



Fot. 24. Larwy i drobny narybek nieokreślonych gatunków ryb wypreparowane z drugiej próby nocnej z 12 na 13 lipca 2021 r. w Połańcu.

Tab. 14. Liczba larw i wczesnych form narybkowych ryb stwierdzonych w 2 pułapkach w czasie badań w Połańcu w 2020 roku.

Data połowów	Liczba odłowionych larw (2 pułapki po 15 min)				Średnia liczba larw odłowionych w próbie nocnej (2 pułapki)
	DZIEŃ	NOC			
	popołudnie	godzina po zachodzie	północ	przed świtem	
15–16 kwietnia	0	1	1	2	1,3
7–8 maja	1	2	3	5	3,3
20–21 maja	0	35	28	30	31
9–10 czerwca	5	26	28	68	40,6
29–30 czerwca	2	10	10	11	10,3
14–15 lipca	14	50	46	29	41,6
25–26 lipca	18	30	26	12	22,6

Tab. 15. Liczba larw i wczesnych form narybkowych ryb stwierdzonych łącznie w 2 pułapkach w czasie badań w Połańcu w 2021 roku.

Data połowów	Liczba odłowionych larw (2 pułapki po 15 min)				Średnia liczba larw odłowionych w próbie nocnej (2 pułapki)
	DZIEŃ	NOC			
	popołudnie	godzina po zachodzie słońca	północ	przed świtem	
26–27 kwietnia	0	0	0	0	0
8–9 maja	0	0	3	1	1,33
27–28 maja	1	18	13	16	15,66
14–15 czerwca	2	43	39	43	41,66
25–26 czerwca	13	99	122	137	119,30
12–13 lipca	12	115	262	272	216,30
26–27 lipca	3	51	56	41	49,33

Jak można zauważyć, w 2020 r. szczyt migracji (dryfu) larw ryb w rejonie Elektrowni Połaniec przypadał na czerwiec i lipiec (ryc. 13). Liczba odłowionych larw w tym okresie była wielokrotnie wyższa, niż w maju czy kwietniu. W 2021 r. najwyższe zagęszczenia larw sięgające od 2 do 2,79

osobnika w 1 m³ wody odnotowano w drugiej połowie czerwca i pierwszej połowie lipca (ryc. 14). Zawdzięczamy to bardzo korzystnym warunkom pogodowym i hydrologicznym (czerwcowe wezbranie). W ostatniej dekadzie lipca natężenie dryfu było nadal wysokie 0,7 osobnika na 1 m³, co pozwala przypuszczać, że rozród ryb i dryf larw mógł mieć miejsce jeszcze w sierpniu 2021 r. Należy mieć to na uwadze, planując podobne doświadczenia w latach następnych.

Z udostępnionych przez WIOŚ danych operatora elektrowni wynika, że w okresie 1.04–1.07 2020 roku Elektrownia Połaniec pobierała średnio z Wisły 25,7, 28,7, 30,36 oraz 24,48 m³*s⁻¹ wody odpowiednio w kwietniu, maju, czerwcu i lipcu. Natomiast w okresie 1.04–31.07 2021 r. średniomiesięczny pobór wody wyniósł 37,8, 31,88, 34,27 oraz 36,4 m³*s⁻¹.



Fot. 25. Larwy nieokreślonych gatunków wypreparowane z trzeciej próby nocnej z 25 na 26 czerwca 2021 r.

Tab. 16. Podstawowe dane i obliczenia użyte do szacowania liczby larw i wczesnych form narybkowych zassanych do Elektrowni Połaniec w okresie od połowy kwietnia do końca lipca 2020 roku.

Okres	Średnia liczba odłowionych larw w nocy	Długość ekspozycji pułapek (2 × 15 min)	Powierzchnia gardła pułapki (cm ²)	Uśredniona prędkość wody w pułapkach (m ³ *s ⁻¹)	Objętość wody filtrowana przez pułapki (m ³ *s ⁻¹)	Objętość wody (m ³) filtrowana przez 2 pułapki w ciągu 15 min	Liczba larw i narybku odfiltrowana z 1 m ³ wody
15–30 kwietnia	1,33	30 min	1250	0,364	0,046	82,80	0,016
1–15 maja	3,33	30 min	1250	0,337	0,042	75,82	0,044
16–31 maja	31	30 min	1250	0,407	0,050	91,57	0,338
1–15 czerwca	40,66	30 min	1250	0,387	0,048	87,07	0,466
16–30 czerwca	10,33	30 min	1250	0,245	0,030	55,12	0,187
1–15 lipca	41,66	30 min	1250	0,288	0,036	64,80	0,642
16–31 lipca	22,66	30 min	1250	0,295	0,037	66,70	0,340

Tab. 17. Podstawowe dane oraz szacunkowe obliczenia dotyczące liczby larw i drobnego narybku zassanych do systemów chłodzących Elektrowni Połaniec w okresie od 15 kwietnia do 31 lipca 2020 roku.

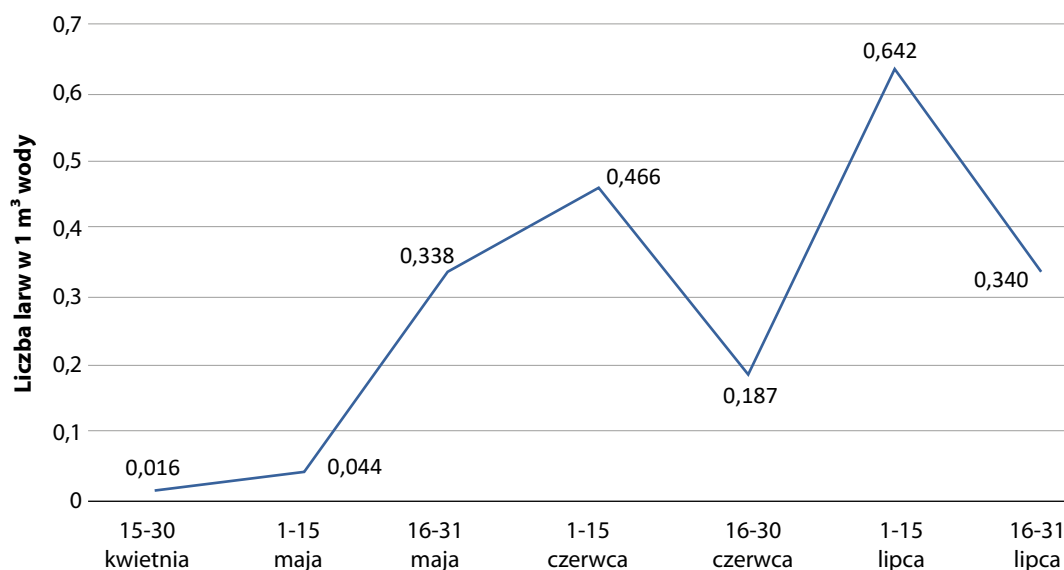
Okres	Liczba larw w 1 m ³	Długość nocy (h)	Długość nocy (s)	Liczba nocy w okresie	Uśredniony pobór wody w ciągu nocy w danym miesiącu (m ³ *s ⁻¹)	Ilość wody pobrana w nocy w danym okresie (m ³)	Liczba larw i narybku zassanych w ciągu okresu
15–30 kwietnia	0,016	10	36 000	15	25,70	13 878 000	222 048
1–15 maja	0,044	8,5	30 600	15	28,70	13 173 300	579 625
16–31 maja	0,338	8,5	30 600	16	28,70	14 051 520	4 749 413
1–15 czerwca	0,466	7,5	27 000	15	30,36	12 295 800	5 729 842
16–30 czerwca	0,187	7,5	27 000	15	30,36	12 295 800	2 299 314
1–15 lipca	0,642	8,5	30 600	15	24,48	11 236 320	7 213 717
16–31 lipca	0,340	8,5	30 600	16	24,48	11 985 408	4 075 038
RAZEM od 15.04 do 31.07 – 2020 r.							24 868 997

Tab. 18. Podstawowe dane i obliczenia użyte do szacowania liczby larw i wczesnych form narybkowych zassanych do Elektrowni Połaniec w okresie od połowy kwietnia do końca lipca 2021 roku.

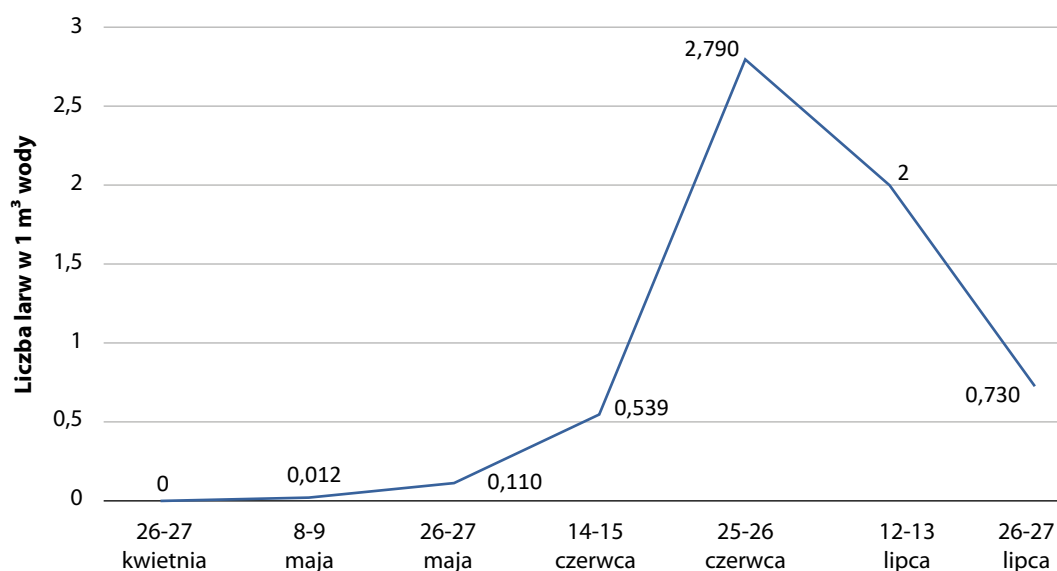
Okres	Średnia liczba odłowionych larw w nocy	Długość ekspozycji pułapek (2 × 15 min)	Powierzchnia gardła pułapki (cm ²)	Uśredniona prędkość wody w pułapkach (m*s-1)	Objętość wody (m ³) filtrowana przez 2 pułapki w ciągu 15 min	Liczba larw i narybku w 1 m ³ wody
15–30 kwietnia	0	30 min	1250	0,329	74,16	0
1–15 maja	1,33	30 min	1250	0,494	111,60	0,012
16–31 maja	15,66	30 min	1250	0,638	144,00	0,110
1–15 czerwca	41,66	30 min	1250	0,342	77,40	0,539
16–30 czerwca	119,30	30 min	1250	0,189	42,66	2,790
1–15 lipca	216,30	30 min	1250	0,479	107,80	2
16–31 lipca	49,33	30 min	1250	0,293	66,06	0,730

Tab. 19. Dane empiryczne służące oszacowaniu liczby larw i drobnego narybku zassanych do systemów chłodzących Elektrowni Połaniec w okresie od 15 kwietnia do 31 lipca 2021 roku.

Okres	Liczba larw w 1 m ³	Długość nocy (h)	Długość nocy (s)	Liczba nocy w okresie	Uśredniony pobór wody w ciągu nocy w danym miesiącu (m ³ *s-1)	Ilość wody pobrana w nocy w danym okresie (m ³)	Liczba larw i narybku zassanych w ciągu okresu
15–30 kwietnia	0	10	36000	15	37,80	20 412 000	0,00
1–15 maja	0,012	8,5	30600	15	31,88	14 632 920	175 595
16–31 maja	0,110	8,5	30600	16	31,88	15 608 448	1716 929
1–15 czerwca	0,539	7,5	27000	15	34,27	13 879 350	7 480 969
16–30 czerwca	2,790	7,5	27000	15	34,27	13 879 350	38 723 386
1–15 lipca	2	8,5	30600	15	36,40	16 707 600	33 415 200
16–31 lipca	0,730	8,5	30600	16	36,40	16 940 160	12 366 316
RAZEM od 15.04 do 31.07 – 2021 r.							93 878 395

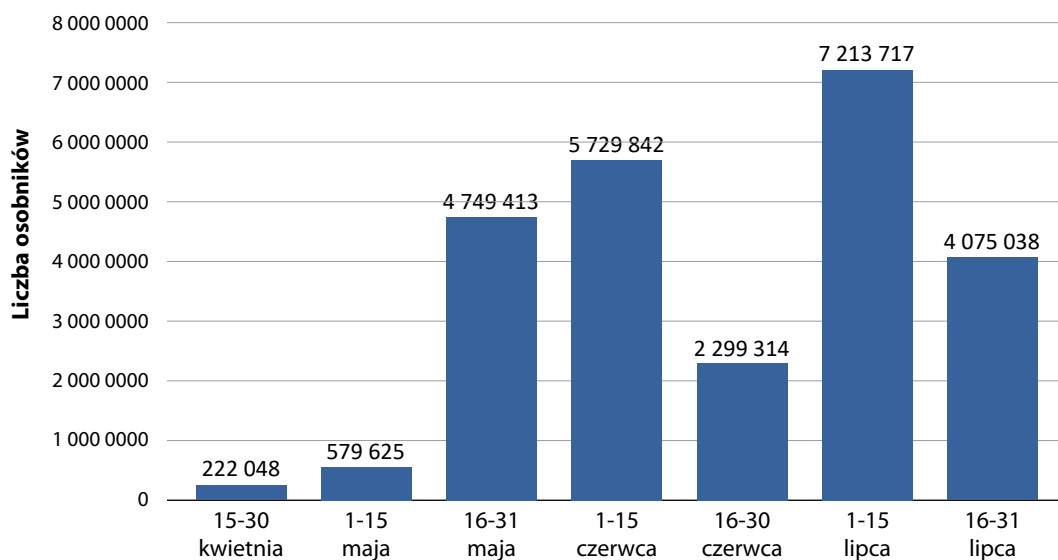


Ryc. 13. Liczba larw ryb w 1 m³ wody Wisły w Połaniecu w okresie badań w 2020 r.

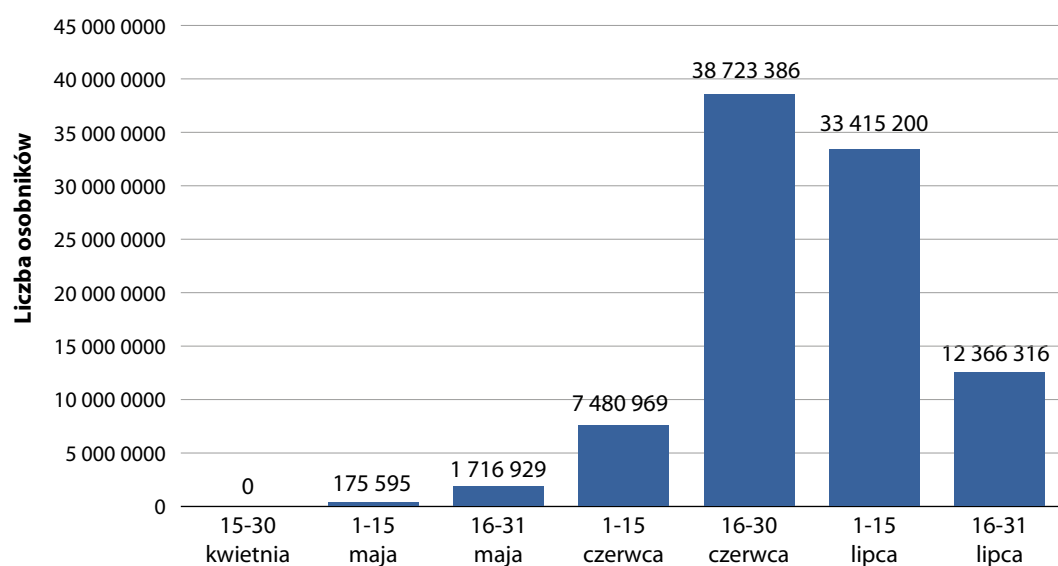


Ryc. 14. Liczba larw ryb w 1 m³ wody Wisły w Połaniecu w okresie badań w 2021 r.

Z dokonanych obliczeń wynika, że w okresie od 15 kwietnia do 31 lipca (tylko w godzinach nocnych) w urządzeniach chłodzących Elektrowni Połaniec w 2020 r. **mogło zginąć ok. 24,8 mln larw i wczesnych form narybkowych** (ryc. 15) **natomiast w 2021 r. liczbę larw unicestwionych w tym samym okresie oszacowano na 93,9 mln osobników** (ryc. 16). Ta prawie czterokrotna różnica wynika z kilku faktów. Po pierwsze, zapotrzebowanie na wodę chłodniczą w 2021 roku było wyraźnie wyższe, niż w 2020 r. Po drugie, intensywność dryfu w 2021 r. była znacznie wyższa, niż w 2020 r. co można tłumaczyć wystąpieniem bardzo korzystnych warunków do tarła w czerwcu i lipcu ze względu na wysokie temperatury i wystąpienie dużego wezbrania na Wiśle co było impulsem do tarła wielu gatunków ryb.



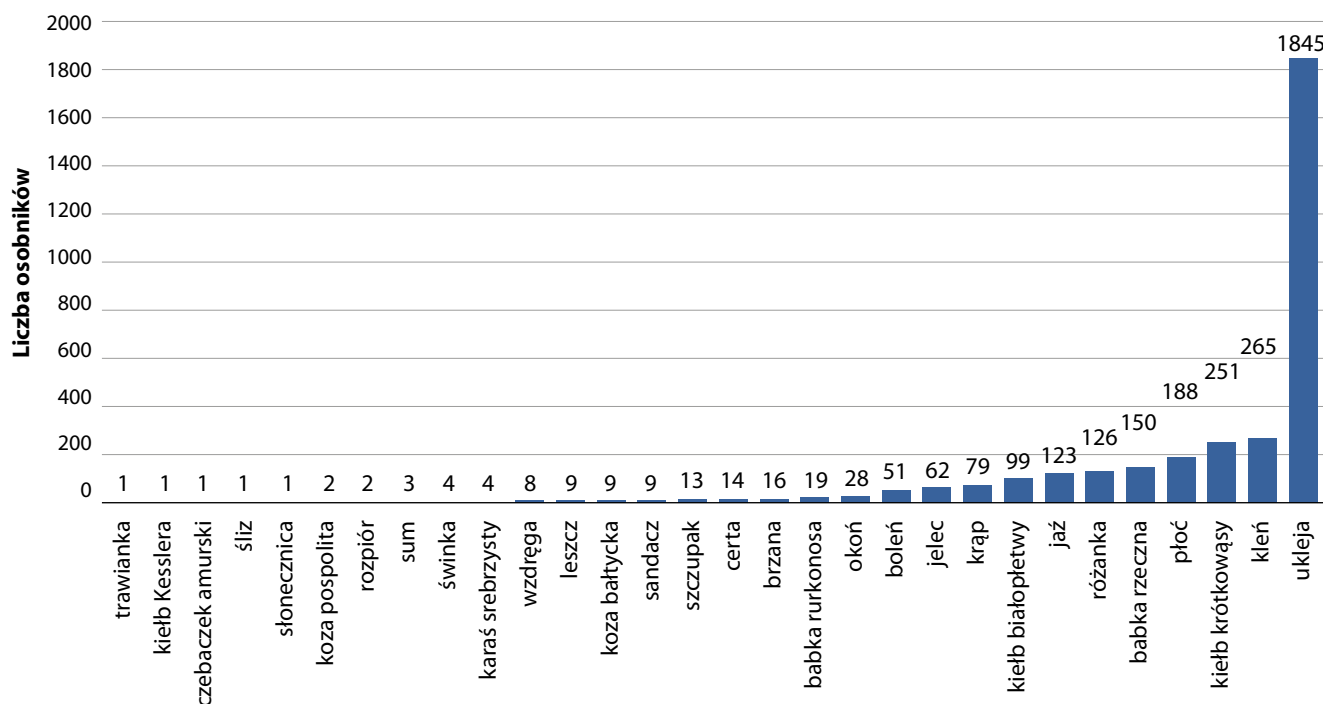
Ryc. 15. Szacowana liczba larw i wczesnych form narybkowych zabitych w systemach chłodzących Elektrowni Połaniec od kwietnia do lipca 2020 roku.



Ryc. 16. Szacowana liczba larw i wczesnych form narybkowych zabitych w systemach chłodzących Elektrowni Połaniec od kwietnia do lipca 2021 roku.

Aktualny stan ichtiofauny Wisły i Narwi w rejonach bezpośrednio powyżej lokalizacji Elektrowni Kozienice, Połaniec i Ostrołęka B

Na odcinkach rzek w każdej z lokalizacji badań oprócz odłowów pułapkowych dryfujących larw przeprowadzano regularnie odłowy monitoringowe w celu ustalenia aktualnego stanu i składu gatunkowego ichtiofauny oraz struktury zespołu ryb. Odłowy monitoringowe prowadzono przy użyciu metody elektropołów z łodzi oraz połówów sieciowych włóczkiem drobnicowym. Wyniki badań monitoringowych ichtiofauny (sumaryczne dane z lat 2018–2021) przedstawiono w tab. 20, 21 i 22, a graficznie na ryc. 17, 18, 19 odpowiednio w rejonach Elektrowni Kozienice, Ostrołęka B i Połaniec.



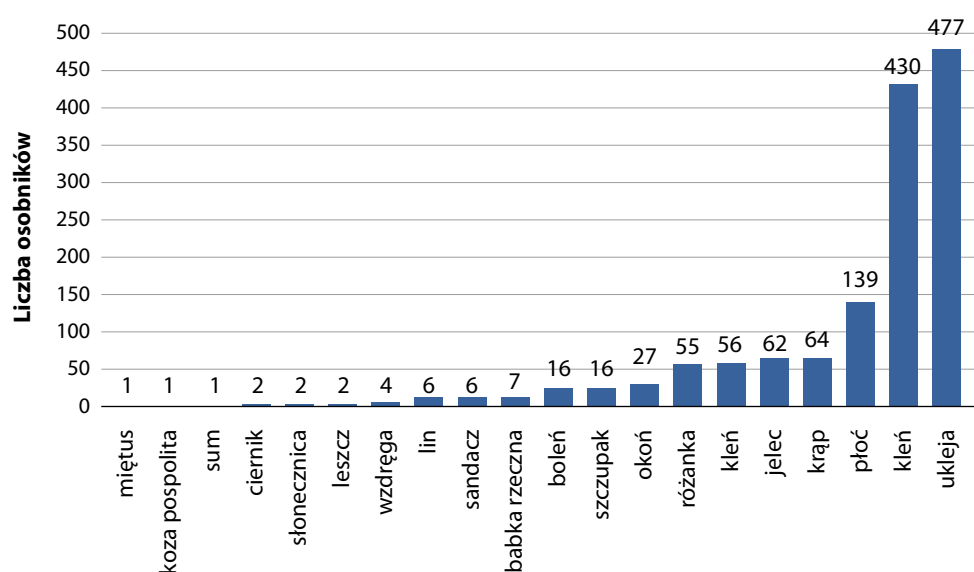
Ryc. 17. Sumaryczne zestawienie liczby osobników poszczególnych gatunków ryb odłowionych we trakcie badań w latach 2018–2020 w rejonie Elektrowni Kozienice.

Tab. 20. Sumaryczne zestawienie składu gatunkowego ichtiofauny, udziału poszczególnych gatunków w zespole ryb oraz ich status ochrony (DS – Dyrektywa Siedliskowa UE, IUCN – Czerwona Lista, OG – ochrona gatunkowa) w rejonie Elektrowni Kozienice. Skład ichtiofauny ustalono w oparciu o własne badania monitoringowe z lat 2018, 2019 i 2020. Ogólna, szacowana liczba larw zassanych do systemów chłodzących Elektrowni Kozienice w 2021 r. to ok. 70 mln osobników.

I.p.	Gatunek	Udział w zespole ryb (%)	Liczba odłowionych osobników	DS	IUCN	OG
1	ukleja (<i>Alburnus alburnus</i>)	54,52	1845	–	LC	–
2	kleń (<i>Squalius cephalus</i>)	7,83	265	–	LC	–
3	kiełb krótkowąsy (<i>Gobio gobio</i>)	7,42	251	–	LC	–
4	pltć (<i>Rutilus rutilus</i>)	5,56	188	–	LC	–
5	babka rzeczna (<i>Neogobius fluviatilis</i>)	4,43	150	–	obcy	–
6	różanka (<i>Rhodeus amarus</i>)	3,72	126	Zał. II	VU	TAK
7	jaź (<i>Leuciscus idus</i>)	3,63	123	–	LC	–
8	kiełb białopłetwy (<i>Romanogobio belingi</i>)	2,93	99	Zał. II	VU	TAK
9	krąp (<i>Blicca bjoerkna</i>)	2,33	79	–	LC	–
10	jelec (<i>Leuciscus leuciscus</i>)	1,83	62	–	NT	–
11	boleń (<i>Aspius aspius</i>)	1,51	51	Zał. V	NT	–
12	okoń (<i>Perca fluviatilis</i>)	0,83	28	–	LC	–
13	babka rurkonosa (<i>Proterorhinus semilunaris</i>)	0,56	19	–	obcy	–
14	brzana (<i>Barbus barbus</i>)	0,47	16	Zał. V	NT	–
15	certa (<i>Vimba vimba</i>)	0,41	14	–	CR	–
16	szczupak (<i>Esox lucius</i>)	0,38	13	–	LC	–
17	leszcz (<i>Abramis brama</i>)	0,27	9	–	LC	–
18	koza bałtycka (<i>Sabanejewia baltica</i>)	0,27	9	–	VU	TAK
19	sandacz (<i>Sander lucioperca</i>)	0,27	9	–	LC	–
20	wzdreęa (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>)	0,24	8	–	LC	–
21	świnka (<i>Chondrostoma nasus</i>)	0,12	4	–	EN	–
22	karaś srebrzysty (<i>Carassius gibelio</i>)	0,12	4	–	obcy	–
23	sum (<i>Silurus glanis</i>)	0,09	3	–	LC	–
24	koza pospolita (<i>Cobitis taenia</i>)	0,06	2	Zał. II	LC	TAK
25	rozpiór (<i>Ballerus ballerus</i>)	0,06	2	–	LC	–
26	trawianka (<i>Perccottus glenii</i>)	0,03	1	–	obcy	–
27	kiełb Kesslera (<i>Romanogobio kessleri</i>)	0,03	1	Zał. II	NT	TAK
28	czebaczek amurski (<i>Pseudorasbora parva</i>)	0,03	1	–	obcy	–
29	śliz (<i>Barbatula barbatula</i>)	0,03	1	–	LC	TAK
30	słonecznica (<i>Leucaspis delineatus</i>)	0,03	1	–	LC	–
Razem		100	3384			

Tab. 21. Sumaryczne zestawienie składu gatunkowego ichtiofauny, udziału poszczególnych gatunków w zespole ryb oraz ich status ochrony (DS – Dyrektywa Siedliskowa UE, IUCN – Czerwona Lista, OG – ochrona gatunkowa) w rejonie Elektrowni Ostrołęka B. Skład ichtiofauny ustalono w oparciu o własne badania monitoringowe z lat 2019 i 2021. Szacowana ogólna liczba larw ryb zassanych do systemów chłodzących Elektrowni Ostrołęka B w 2021 r. wyniosła ok. 19,2 mln osobników.

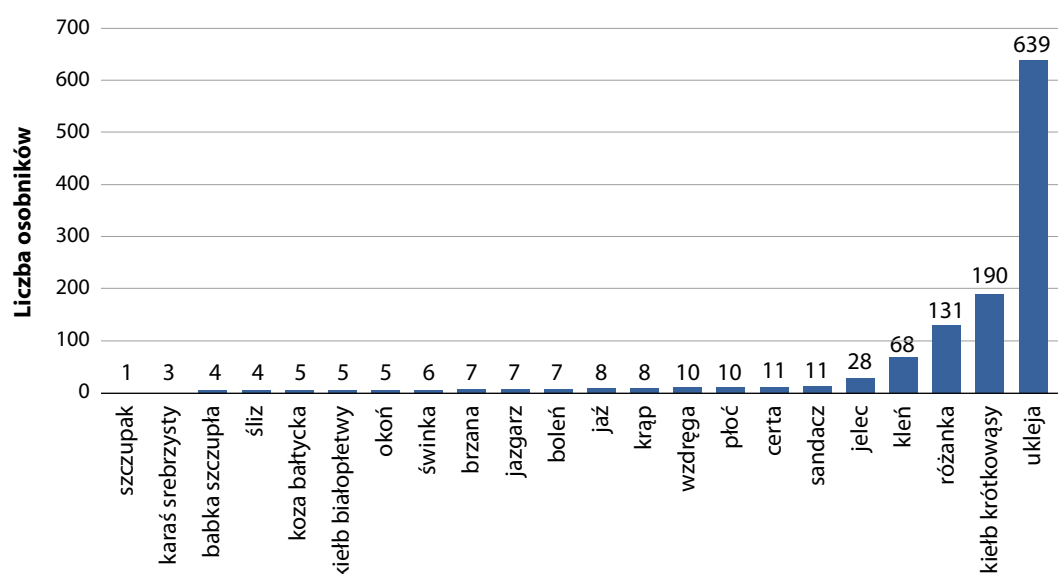
l.p.	Gatunek	Udział w zespole ryb (%)	Liczba odłowionych osobników	DS	IUCN	OG
1	ukleja (<i>Alburnus alburnus</i>)	34,71	477	–	LC	–
2	płoć (<i>Rutilus rutilus</i>)	31,29	430	–	LC	–
3	krąp (<i>Blicca bjoerkna</i>)	10,11	139	–	LC	–
4	jelec (<i>Leuciscus leuciscus</i>)	4,65	64	–	NT	–
5	kleń (<i>Leuciscus cephalus</i>)	4,51	62	–	LC	–
6	różanka (<i>Rhodeus amarus</i>)	4,07	56	Zał. II	VU	TAK
7	okoń (<i>Perca fluviatilis</i>)	4	55	–	LC	–
8	szczupak (<i>Esox lucius</i>)	1,96	27	–	LC	–
9	babka rzeczna (<i>Neogobius fluviatilis</i>)	1,16	16	–	obcy	–
10	boleń (<i>Aspius aspius</i>)	1,16	16	Zał. V	NT	–
11	sandacz (<i>Sander lucioperca</i>)	0,5	7	–	LC	–
12	wzdreğa (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>)	0,43	6	–	LC	–
13	lin (<i>Tinca tinca</i>)	0,43	6	–	LC	–
14	leszcz (<i>Abramis brama</i>)	0,29	4	–	LC	–
15	ciernik (<i>Gasterosteus aculeatus</i>)	0,14	2	–	LC	–
16	świnka (<i>Chondrostoma nasus</i>)	0,14	2	–	EN	–
17	słonecznica (<i>Leucaspius delineatus</i>)	0,14	2	–	LC	–
18	miętus (<i>Lota lota</i>)	0,07	1	–	LC	–
19	koza pospolita (<i>Cobitis taenia</i>)	0,07	1	Zał. II	LC	TAK
20	sum (<i>Silurus glanis</i>)	0,07	1	–	LC	–
	Razem	100	1374			



Ryc. 18. Sumaryczne zestawienie liczby osobników poszczególnych gatunków ryb odłowionych we trakcie badań w latach 2019 i 2020 w rejonie Elektrowni Ostrołęka B.

Tab. 22. Sumaryczne zestawienie składu gatunkowego ichtiofauny, udziału poszczególnych gatunków w zespole ryb oraz ich status ochrony (DS – Dyrektywa Siedliskowa UE, IUCN – Czerwona Lista, OG – ochrona gatunkowa) w rejonie Elektrowni Połaniec. Skład ichtiofauny ustalono w oparciu o własne badania monitoringowe z lat 2020 i 2021. Szacowana ogólna liczba larw ryb zassanych do systemów chłodzących Elektrowni Połaniec w latach 2020 i 2021 wynosi ok. 118,7 mln osobników.

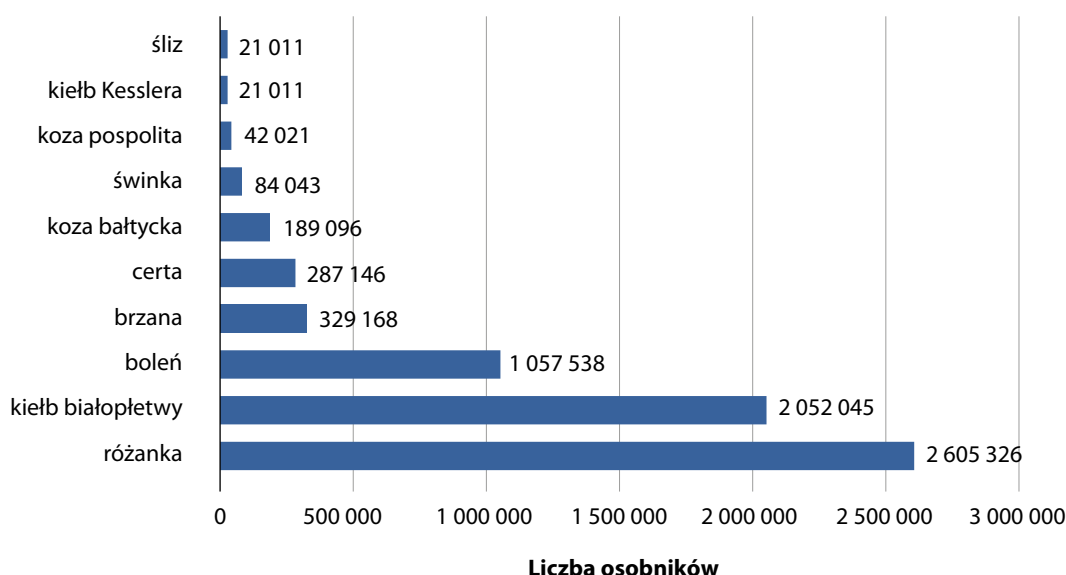
l.p.	Gatunek	Udział w zespole ryb (%)	Liczba odłowionych osobników	DS	IUCN	OG
1	ukleja (<i>Alburnus alburnus</i>)	54,71	639	–	LC	–
2	kielb krótkowąsy (<i>Cottus microstomus</i>)	16,27	190	–	LC	–
3	różanka (<i>Rhodeus sericeus</i>)	11,22	131	Zał. II	VU	TAK
4	kleń (<i>Squalius cephalus</i>)	5,82	68	–	LC	–
5	jelec (<i>Leuciscus leuciscus</i>)	2,4	28	–	NT	–
6	certa (<i>Vimba vimba</i>)	0,94	11	–	CR	–
7	sandacz (<i>Sander lucioperca</i>)	0,94	11	–	LC	–
8	wzdreğa (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>)	0,86	10	–	LC	–
9	płoc (<i>Rutilus rutilus</i>)	0,86	10	–	LC	–
10	jaź (<i>Leuciscus idus</i>)	0,68	8	–	LC	–
11	krąp (<i>Blicca bjoerkna</i>)	0,68	8	–	LC	–
12	brzana (<i>Barbus barbus</i>)	0,6	7	Zał. V	NT	–
13	jazgarz (<i>Gymnocephalus cernua</i>)	0,6	7	–	LC	–
14	boleń (<i>Leuciscus aspius</i>)	0,6	7	Zał. V	NT	–
15	świnka (<i>Chondrostoma nasus</i>)	0,51	6	–	EN	–
16	koza bałtycka (<i>Sabanejewia baltica</i>)	0,43	5	–	VU	TAK
17	kielb białopłetwy (<i>Romanogobio belingi</i>)	0,43	5	Zał. II	VU	TAK
18	okoń (<i>Perca fluviatilis</i>)	0,43	5	–	LC	–
19	babka szczupła (<i>Neogobius fluviatilis</i>)	0,34	4	–	obcy	–
20	śliz (<i>Barbatula barbatula</i>)	0,34	4	–	LC	TAK
21	karaś srebrzysty (<i>Carassius gibelio</i>)	0,26	3	–	obcy	–
22	szczupak (<i>Esox lucius</i>)	0,09	1	–	LC	–
Razem		100	1168			



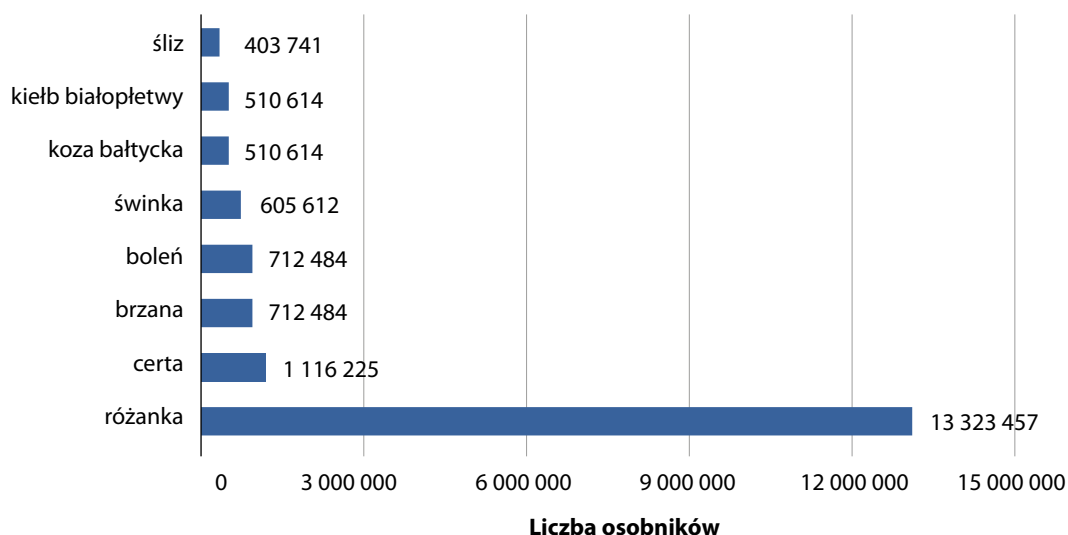
Ryc. 19. Sumaryczne zestawienie liczby osobników poszczególnych gatunków ryb odłowionych we trakcie badań w latach 2020 i 2021 w rejonie Elektrowni Połaniec.

Szacunkowe straty wśród gatunków chronionych, naturalnych i zagrożonych powodowane przez elektrownie Kozienice, Połaniec i Ostrołęka B

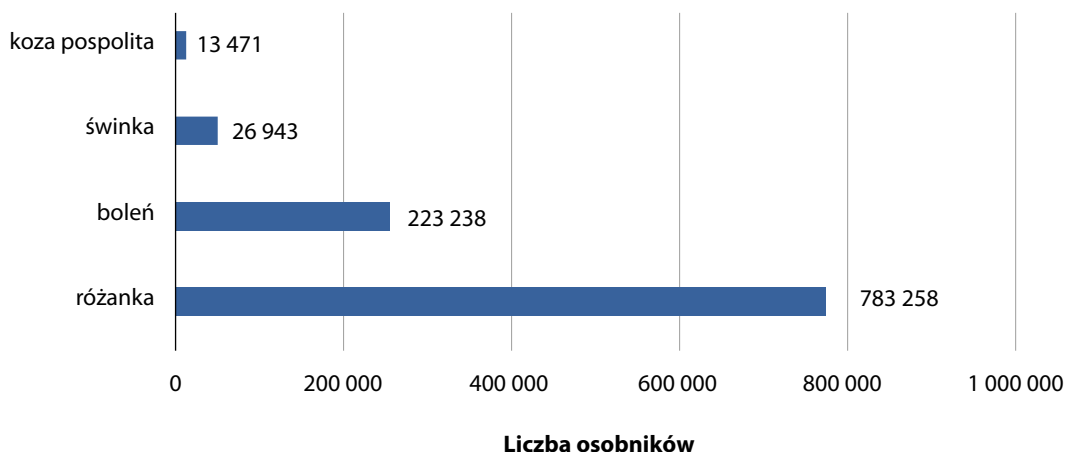
Znajomość składu gatunkowego i struktury gatunkowej ichtiofauny Wisły i Narwi w rejonie elektrowni pozwala na oszacowanie strat w poszczególnych gatunkach, mając na uwadze zwłaszcza te objęte ochroną gatunkową, ujęte w załącznikach II i/lub V Dyrektywy Siedliskowej UE, a także o podwyższonym statusie zagrożenia IUCN. Szacunek ten zakłada, że poszczególne gatunki reprezentowane są w strukturze ichtioplanktonu w sposób proporcjonalny do struktury zespołu osobników dorosłych. W praktyce założenie to może być obarczone błędem (zarówno *in plus*, jak i *in minus*) wynikającym z różnych strategii rozrodczych poszczególnych gatunków, jak również z różnych zachowań larw i narybku ryb w początkowych dniach i tygodniach życia, zwłaszcza dotyczących zachowań migracyjnych (patrz dyskusja). Szacunkową liczbę gatunków chronionych, naturalnych i zagrożonych, które giną w systemach chłodzących Elektrowni Kozienice, Połaniec i Ostrołęka B przedstawiono na ryc. 20, 21 i 22. Ich udział procentowy w ogólnej liczbie gatunków ryb zabijanych przez systemy chłodzące wynosił w przypadku Kozienic 9,55%, Połania 15,07% a Ostrołęki B 5,44%.



Ryc. 20. Szacunkowa liczba ryb z gatunków chronionych, naturalnych oraz o podwyższonym statusie zagrożenia IUCN zabitych w systemach chłodzących Elektrowni Kozienice w okresie kwiecień–lipiec 2021.



Ryc. 21. Szacunkowa liczba ryb z gatunków chronionych, naturalnych oraz o podwyższonym statusie zagrożenia IUCN zabitych w systemach chłodzących Elektrowni Połaniec w okresie kwiecień–lipiec 2020 oraz 2021.



Ryc. 22. Szacunkowa liczba ryb z gatunków chronionych, naturalnych oraz o podwyższonym statusie zagrożenia IUCN zabitych w systemach chłodzących Elektrowni Ostrołęka B w okresie kwiecień–lipiec 2021.

Wśród osobników ryb ginących w systemach chłodzenia Elektrowni Kozienice, Połaniec oraz Ostrołęka B odnotowano gatunki objęte ochroną gatunkową. W Elektrowni Kozienice mogły zginąć osobniki z 6 gatunków chronionych. Wśród nich znalazło się 5 objętych ścisłą ochroną (różanka, kiełb białopłetwy, koza bałtycka, koza pospolita, kiełb Kesslera) oraz osobniki gatunku objętego ochroną częściową (śliz). Z kolei w Elektrowni Połaniec mogły zginąć osobniki z 3 gatunków objętych ścisłą ochroną (różanka, kiełb białopłetwy, koza bałtycka) oraz osobniki z gatunku objętego ochroną częściową (śliz), a w Elektrowni Ostrołęka B osobniki z 2 ściśle chronionych gatunków (różanka, koza pospolita). Ponadto we wszystkich trzech instalacjach ginęły osobniki bolenia i świnki, a w przypadku Kozienic oraz Połania dodatkowo brzana i certa. Choć te 4 gatunki nie są objęte ochroną gatunkową, należą

do gatunków naturowych (boleń, brzana) lub wg IUCN mają status gatunków krytycznie zagrożonych (certa) i silnie zagrożonych (świnka).

Szacowany zasięg oddziaływania Elektrowni Kozienice, Połaniec i Ostrołęka B na ekosystemy Wisły oraz Narwi i ich wpływ na obszary Natura 2000

W zależności od gatunku oraz przebiegu warunków pogodowych (temperatura wody), hydrologicznych, jak również dostępności odpowiednich siedlisk i żerowisk, dryf larw ryb i wczesnych form narybkowych może trwać od kilku do kilkunastu dni (nocy) od wyklucia się z jaj aż do momentu, kiedy osiągną odpowiednią wielkość i znajdą siedlisko odpowiednie do dalszego rozwoju (Pavlov 1994). Wobec powyższego można pokusić się o próbę oszacowania zasięgu oddziaływania ujęcia wody chłodniczej interesujących nas elektrowni w rejonie powyżej ich lokalizacji. Posiadamy dostateczną ilość danych, aby określić wielkość obszaru (długość rzeki), z jakiego dryfujące larwy i narybek niektórych gatunków będą skazane na zagładę w systemach chłodzących elektrownie, oraz jak długi odcinek rzeki poniżej elektrowni nie będzie zasiedlony przez dryfujące larwy i inne organizmy wodne zabite w systemach chłodzących elektrowni. Znając prędkość nurtu Wisły i Narwi w strefie przybrzeżnej (charakteryzującej się najwyższą koncentracją ichtioplanktonu) oraz długość fazy nocnej doby, w której odbywa się bierna migracja larw, można obliczyć odległość jaką przebywają larwy w jednostce czasu i oszacować, z jak daleka dryfują larwy ryb, które następnie giną w elektrowni, lub jak długi odcinek rzeki poniżej nie będzie zasiedlony przez nowe pokolenie ryb. Dane empiryczne i założenia użyte do obliczeń przedstawiono w tab. 23. Wynika z nich, że w przypadku dryfu trwającego zaledwie jedną noc zasięg oddziaływania elektrowni to dystans od 9 do 12 km. W przypadku gatunków ryb, które dryfują kilka nocy z rzędu, a dotyczy to głównie ryb karpiowatych i okoniowatych (Pavlov i in. 2008) to dystans ten wydłuża się do 67–84 km. Aby lepiej zobrazować sytuację można sobie wyobrazić, że w Elektrowni Kozienice giną larwy i narybek gatunków ryb, których rodzice odbyli tarło w okolicach Kazimierza Dolnego. W Elektrowni Połaniec mogą ginąć ryby, które wylęgły się w Uściu Solnym (ujście Raby do Wisły) lub w Dunajcu w okolicach Tarnowa. W Elektrowni Ostrołęka B mogą ginąć ryby z tarlisk położonych kilka kilometrów poniżej ujścia Biebrzy do Narwi lub w Pisie w okolicach Wincenty.

Tab. 23. Przybliżony zasięg oddziaływania Elektrowni Kozienice, Połaniec i Ostrołęka B na Wisłę oraz Narew powyżej i poniżej elektrowni w zależności od czasu trwania migracji larw poszczególnych gatunków.

Lokalizacja elektrowni	Średnia prędkość nurtu wody w strefie brzegowej (m*s ⁻¹)	Średnia prędkość nurtu wody (km*h ⁻¹)	Średnia długość nocy od kwietnia do lipca (h)	Przybliżony dystans dryfu larw w ciągu 1 nocy (km)	Przybliżony dystans dryfu larw w ciągu 3 nocy (km)	Przybliżony dystans dryfu larw w ciągu 7 nocy (km)
Kozienice Wisła	0,314	1,130	8,5	9,60	28,81	67,20
Połaniec Wisła	0,394	1,418	8,5	12,05	36,16	84,39
Ostrołęka B Narew	0,346	1,245	8,5	10,58	31,76	74,06

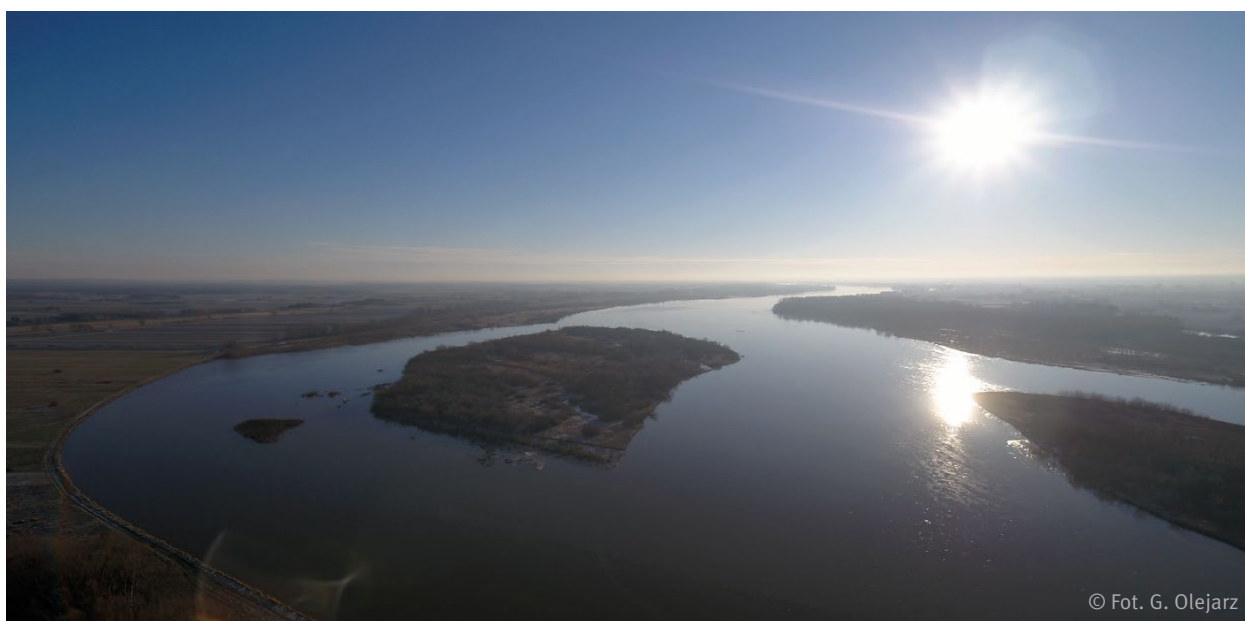
Sytuacja ta nie pozostaje bez negatywnego wpływu na obszary Natura 2000, dla których przedmiotem ochrony jest boleń. W tabeli 24 przedstawiono listę obszarów siedliskowych Natura 2000 znajdujących się w bezpośrednim zasięgu negatywnego oddziaływania analizowanych elektrowni. Za obszary tego typu uznano te, z których spływający w ciągu siedmiu dni dryf dostaje się bezpośrednio do ujęć wód chłodniczych, a następnie dostaje się do systemów chłodzenia, gdzie ulega on unicestwieniu. Ponadto uwzględniono obszary zlokalizowane poniżej elektrowni, które zostają pozbawione dopływu części ichtioplanktonu z górnej części dorzecza Wisły i Narwi w wyniku zasysania ich do systemów chłodzenia. Łącznie zidentyfikowano 7 takich obszarów siedliskowych. W dużym uproszczeniu można przyjąć, że w wyniku pracy Elektrowni Połaniec w latach 2019 i 2020 w jej systemach chłodzenia mogło zginąć 0,712 mln osobników bolenia, w 2020 r. w Elektrowni Kozienice - 1,057 mln, a w Elektrowni Ostrołęka B - 0,222 mln.

Tab. 24. Obszary Natura 2000 objęte bezpośrednim negatywnym oddziaływaniem Elektrowni Połaniec, Kozienice i Ostrołęka B. W nawiasach podano odległości pomiędzy obszarami a ujęciami wód pochłodniczych.

Połaniec	Kozienice	Ostrołęka B
Powyżej ujęcia wody do elektrowni w odległości od 67–84 km		
PLH26000 Ostoja Nidziańska (48 km)	PLH060051 Dolny Wieprz (38 km)	PLH200024 Ostoja Narwiańska (7 km)
PLH120085 Dolny Dunajec (63 km)	PLH060045 Przełom Wisły w Małopolsce (51 km)	PLH200023 Dolina Pisy (27 km)
Poniżej ujęcia wody do elektrowni w odległości od 67–84 km		
PLH180049 Tarnobrzaska Dolina Wisły (3 km)	–	–
PLH060045 Przełom Wisły w Małopolsce (64 km)	–	–



Fot. 26. Widok na fragment obszaru siedliskowego Natura 2000 Ostoja Narwiańska znajdującego się w zasięgu oddziaływania Elektrowni Ostrołęka.



Fot. 27. Widok na fragment Wisły powyżej 13 km od ujęcia wody dla Elektrowni Kozienice.

Dyskusja

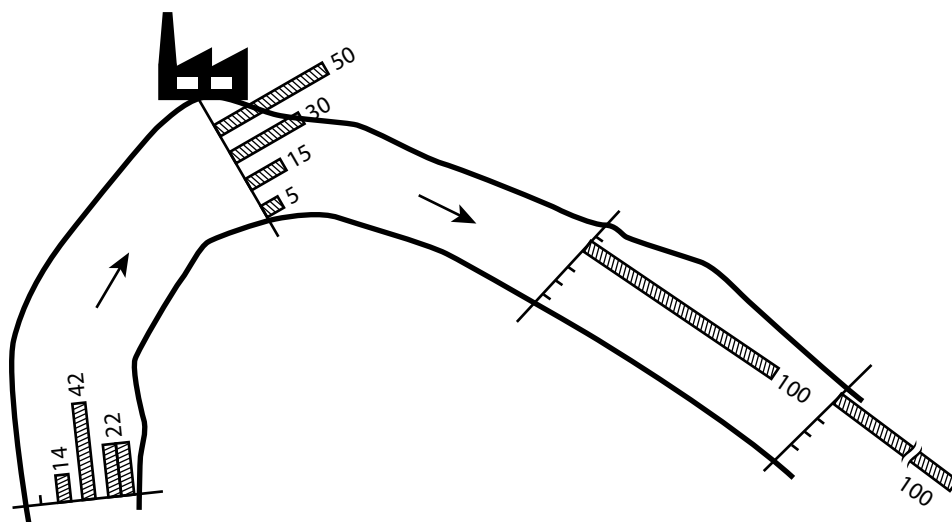


Wyniki badań liczby larw ryb zasysanych wraz z wodą chłodniczą do Elektrowni Połaniec, Kozienice i Ostrołęka B uzyskane w 2020 i 2021 r. nie odbiegają od tych otrzymanych w latach 2018–2019. Obserwowane niewielkie różnice w szacunkach rok do roku spowodowane są szeregiem losowych czynników, do których w pierwszej kolejności należy zaliczyć panujące warunki pogodowe oraz wynikający z nich moment i przebieg tarła poszczególnych gatunków ryb, warunki hydrologiczne czy częstotliwość poboru prób. Wszystkie te czynniki mogą rzutować na precyzję szacunków. Oprócz weryfikacji i potwierdzenia otrzymanych wcześniej wyników głównym celem badań prowadzonych w 2021 roku była próba doprecyzowania metody szacowania liczby larw ryb zasysanych do elektrowni poprzez określenie zagęszczenia dryfujących larw na całej szerokości Wisły i Narwi w rejonach bloków energetycznych. Impulsem do podjęcia takich badań były doniesienia naukowe świadczące o tym, że koncentracja dryfujących larw ryb w dużych rzekach nie zawsze jest homogenna na przekroju słupa wody i zależy od układu nurtu, kształtu koryta rzecznego, głębokości czy odległości od brzegu (Pavlov i in., 2008, Pavlov i Mikheev 2017, Lechner i in. 2014, Lechner i in. 2016, Gale i Mohr 1978).



Fot. 28. Widok na Elektrownię Kozienice.

Wyniki badań przedstawione w niniejszej pracy wskazują jednoznacznie, że w obu przypadkach (Wisła w Kozienicach i Narew w Ostrołęce) dryf larw ryb odbywa się na całej szerokości i głębokości rzeki. Największą koncentrację larw zawsze stwierdzano w punktach pomiarowych zlokalizowanych najbliżej brzegów. W miarę oddalania się od brzegu koncentracja larw stopniowo malała by osiągnąć swoje minimum na środku rzek. Co ciekawe, obecność larw stwierdzano nawet na środku Wisły, która w rejonie badań ma ok. 170 m szerokości (od lewego brzegu do szczytu ostróg regulujących prawy brzeg) zarówno przy dnie, jak i przy powierzchni. Koncentracja larw w strefie brzegowej Wisły była 8 do 15 razy wyższa, niż na środku rzeki. W przypadku Narwi ta różnica była 4–20-krotna w zależności od terminu badań. Nie zmienia to faktu, że najwyższe zagęszczenia dryfujących larw, a co za tym idzie ich absolutna większość, dryfuje w strefie brzegowej o szerokości kilku–kilkunastu metrów. Otrzymane wyniki są zbieżne z tymi uzyskanymi na Wołdze (Pavlov i in. 2008 i Pavlov i Mikheev 2017), które dodatkowo wskazują, że gradient prędkości wody na meandrach rzeki może drastycznie zmienić dystrybucję larw. W szeregu badań autorzy wykazali, że o ile na długich, prostych odcinkach zagęszczenie larw jest stosunkowo homogenne, o tyle na zakrętach rzeki (meandrach), zwłaszcza przy większych prędkościach ($> 1,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) może nastąpić koncentracja larw przy brzegu wklęsłym, tam, gdzie płynie główny nurt, a prędkości osiągane są największe (Pavlov 1979). Z taką dokładnie sytuacją mamy do czynienia w przypadku wszystkich 3 badanych elektrowni. Wybudowano je na szczycie meandra, na wklęsłym brzegu, aby w ten sposób zapewnić im dostateczną ilość wody (patrz ryc. 23). Na bazie uzyskanych wyników i przykładów z literatury naukowej można wysnuć wniosek, że umiejscowienie elektrowni i konfiguracja koryta Wisły i Narwi są wyjątkowo niekorzystne dla dryfującego ichtioplanktonu. Istnieje wysokie prawdopodobieństwo, że taka lokalizacja ujęć wody chłodniczej względem rzeki powoduje, że po stronie elektrowni dryfuje większość migrujących larw, aczkolwiek wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że przy prawym brzegu Wisły tuż przed elektrownią koncentracja larw jest również bardzo wysoka najprawdopodobniej z powodu zawężenia nurtu rzeki przez ostrogi.



Ryc. 23. Koncentracja dryfujących larw ryb (%) na fragmencie górnego biegu Wołgi za Pavlovem (1979) i Pavlovem i in. (2008, zmodyfikowane). Dodatkowo zaznaczono lokalizację hipotetycznej elektrowni w miejscu podobnym jak na Wiśle i Narwi.

Problem zasysania ryb do systemów chłodzących elektrownie termiczne z otwartym systemem chłodzenia jest intensywnie studiowany od kilku dekad (Hanson i wsp. 1977, Barnthouse i Van Winkle 1988, Boreman i Goodyear 1988, Hillbricht-Ilkowska i Zdanowski 1988, Carter i Reader 2000, Barnthouse 2000, Lewis i Seegert 2000, Greenwood 2007, White i in. 2010, Normandeau Associates 2019, Patrick i in. 2020). Zagadnienie to jest szczegółowo omawiane w obszernych pracach przeglądowych (Barnthouse 2013, UNESCO 1979). Wyróżnia się dwie podstawowe przyczyny śmierci ryb w elektrowniach. Pierwsza z nich to przyssanie do krat (impingement), co dotyczy ryb o niewielkich rozmiarach oraz słabych zdolnościach pływackich, które nie są w stanie aktywnie przeciwstawić się prądowi ssącemu. Problem ten, choć bardzo poważny, nie jest przedmiotem niniejszych rozważań. Drugą jest zassanie ryb do systemu chłodzącego w elektrowni, złożonego z pomp, różnego rodzaju filtrów i komory skraplaczy pary, gdzie następuje gwałtowny skok temperatury. Dotyczy to tzw. ichtioplanktonu, na który składają się ikra, larwy i wczesne formy narybkowe, które ze względu na swoje niewielkie rozmiary przechodzą przez wszelkie systemy zabezpieczające. Zakłada się, że cały ichtioplankton ginie na jednym z ww. etapów wykorzystania wody chłodniczej. Dowody na to można znaleźć w wielu publikacjach naukowych (Marcy 1975, Muessing i in. 1988, Carter i Reader 2000, Mikołajczyk i in. 2020). Niemniej istnieją również doniesienia o tym, że w niektórych elektrowniach stwierdzono pewien niewielki stopień przeżywalności larw po ich opuszczeniu (Mayhew i in. 2000), co może mieć związek z odmiennymi rozwiązaniami technicznymi w instalacjach chłodniczych.

Oszacowana w latach 2020–2021 liczba larw i wczesnych form narybkowych ryb zassanych do systemów chłodzących elektrowni w Kozienicach, Połańcu i Ostrołęce zasadniczo nie różni się od wielkości uzyskanych w latach 2018–2019. Straty w ichtiofaunie w 2021 roku to wielkość rzędu od 19,2 mln osobników w przypadku Elektrowni Ostrołęka B i ok. 70 mln osobników w Kozienicach, przez 24,8–93,9 mln w Połańcu w latach 2020–2021, które giną od kwietnia do końca lipca. Ze względu na swoje rozmiary i zainstalowaną moc, a co za tym idzie ilość pobieranej wody, elektrownie w Połańcu i Kozienicach unicestwiają znacznie więcej ryb, niż dużo mniejsza elektrownia w Ostrołęce. Jednak należy pamiętać, że Narew w rejonie Ostrołęki jest rzeką wielokrotnie mniejszą (przepływ w trakcie badań od 62 do 118 m³*s⁻¹), niż Wisła w Połańcu (130–480 m³*s⁻¹), a zwłaszcza w Kozienicach (275–1080 m³*s⁻¹) wobec czego rozmiar strat w ichtiofaunie w obu badanych rzekach jest porównywalny.

Uzyskane liczby zabitych ryb w analizowanych elektrowniach są zbliżone do danych pochodzących z badań przeprowadzonych w USA i kilku krajach europejskich. Poniżej przedstawiono kilka przykładów, które dobitnie wskazują, że straty w ichtiofaunie generowane przez trzy oceniane elektrownie nie odbiegają rozmiarami od tych obserwowanych w innych krajach. Jak można zauważyć, różnice w liczbie osobników zabitych w instalacjach elektrowni zależą od bardzo wielu czynników takich jak przede wszystkim rozmiar elektrowni, strefa geograficzna czy źródło wody (rzeka, jezioro, estuarium czy zatoka morska), a co za tym idzie całkowicie odmienna strategia i termin rozrodu bytujących tam ryb. Z dostępnej literatury wynika, że „rekordzistą” pod względem liczby zabitych jaj, larw i stadiów juwenalnych ryb jest elektrownia atomowa Calvert Cliffs (EA Engineering 2008) posadowiona nad zatoką Chesapeake (największe estuarium w USA przy ujściu rzeki Potomac). W ciągu dwóch lat badań (2006–2007), pobierając ok. 75 m³*s⁻¹ zasysała i unicestwiała ok. 6 mld (!) osobników rocznie. Elektrownia Muddy Run nad rzeką Susquehanna zasysa ok. 56 mln osobników rocznie (Snyder 1975), a Elektrownia Quad Cities nad Mississippim od 10 do 14 mln osobników (Truchan 1975). Badania nad wpływem elektrowni nad rzeką Wabash w Indianie wykazały, że zasysa ona 132 mln osobników ichtioplanktonu rocznie, co jak oszacowano stanowi 23% zasobów rzeki (Lewis i Seegert 2000). Patrick i in. (2020) raportują o stratach w ichtiofaunie rzędu 105 mln osobników rocznie generowanych przez elektrownię atomową Darlington pobierającą z jeziora Ontario (Kanada) ok. 45 m³*s⁻¹ wody. Jacobson i in. (2004) badający przez wiele lat wpływ Elektrowni Connecticut Yankee na ichtiofaunę rzeki Connecticut ocenili, że 4% ikry i larw ryb przepływających obok elektrowni jest zasysane i zabite w jej systemie chłodniczym. Boreman i Goodyear (1998) oszacowali straty w rybostanie rzeki Hudson (9 gatunków) spowodowane działalnością

5 elektrowni pracujących w systemie otwartym oraz 3 w systemie zamkniętym. Wykazali, że w przypadku otwartego systemu chłodzenia, straty w populacji poszczególnych gatunków wynoszą od 10 do 79%. Straty w populacji spowodowane przez elektrownie z zamkniętym systemem chłodzenia były o 30 do 90% niższe w zależności od badanego gatunku ryb. Wykazano również, że najbardziej podatne na zassanie i zagrożone są młodociane stadia rozwojowe (ikra, wylęg i narybek).



Fot. 29. Widok na Ostoję Narwiańską PLH200024.

Na zakończenie kilka zdań komentarza do wyników uzyskanych w trakcie odłowów w kanale ciepłowniczym poniżej Elektrowni Kozienice w czerwcu 2021 roku. Był to jedyny raz w ciągu 3 lat badań, gdy udało się odłowić 3 osobniki larw ryb ($0,0615 \text{ osob/m}^3$) w wodzie pochlodniczej. Ze względu na lokalizację miejsca poboru prób (ok. 550 m poniżej wypływu wody z instalacji elektrowni) można postawić hipotezę, że są to larwy ryb, które odbyły tarło w kanale ciepłowniczym (gatunki lito lub psammofilne). Innym możliwym wyjaśnieniem zaistniałej sytuacji jest bardzo mało prawdopodobne, ale teoretycznie możliwe, przeżycie pewnego odsetka larw po przejściu przez systemy chłodzące elektrowni, co sugerowano w niektórych publikacjach naukowych (Mayhew i in. 2000).

Pytaniem, na które na chwilę obecną nie znamy odpowiedzi jest: jaki jest rzeczywisty skład gatunkowy dryfującego ichtioplanktonu zasysanego do instalacji chłodniczych badanych elektrowni. Innymi słowy, czy wszystkie stwierdzone w Wiśle i Narwi gatunki ryb w okresie larwalnym podejmują bierną migrację i co ważne jak długo ona trwa. Nieliczne doniesienia naukowe wskazują, że poszczególne gatunki czy grupy ryb mają różne strategie dyspersji w pierwszych dniach i tygodniach

życia, oraz że sposób, jak i zasięg ich biernej migracji wraz z nurtem rzeki jest specyficzną cechą gatunkową (Gale i Mohr 1978, Gilligan i Schiller 2003, Pavlov i in. 2008, Lechner i in. 2016, Pavlov i Mikheev 2017). W naszym przypadku posiadanie takiej wiedzy może być niezwykle istotne. Da nam bowiem informację, czy w elektrowniach giną wszystkie gatunki obecne w rzece w podobnych proporcjach jak udział poszczególnych gatunków w zespole ryb, czy tylko niektóre z nich, a zwłaszcza te rzadkie, zagrożone czy chronione. Obecnie istnieją techniczne możliwości, aby nowoczesnymi metodami genetyki molekularnej w stosunkowo łatwy, i co najważniejsze pewny oraz szybki sposób precyzyjnie określić skład gatunkowy dryfującego ichtioplanktonu. Tego typu badania zapewne będą naturalną konsekwencją i kontynuacją obecnych badań.

Podsumowanie i rekomendacje



- Z obliczeń wynika, iż w Elektrowni Połaniec w okresie od połowy kwietnia do końca lipca 2020 oraz 2021 r. mogło zginąć odpowiednio ok. 24,8 i 93,9 mln larw i narybku z 22 gatunków ryb. Z kolei w roku 2021 Elektrownia Kozienice mogła unicestwić ponad 70 mln osobników z 27 gatunków ryb. Natomiast w Elektrowni Ostrołęka B w 2021 r. mogło zginąć ok. 19,2 mln osobników ryb należących do co najmniej 20 gatunków. Analiza koncentracji ichtio-planktonu na całym przekroju Wisły i Narwi wykazała, że larwy ryb zassane do systemów chłodzących elektrownie w Kozienicach i Ostrołęce stanowiły odpowiednio od 21,98 do 26,12% wszystkich larw dryfujących Wisłą oraz od 17,62 do 31,86 % wszystkich larw dryfujących Narwią w rejonie elektrowni w zależności od terminu badań.
- Wśród osobników ryb ginących w systemach chłodzenia Elektrowni Kozienice, Połaniec oraz Ostrołęka B odnotowano gatunki objęte ochroną gatunkową, gatunki naturalne i zagrożone. Ich udział procentowy w ogólnej liczbie gatunków unicestwianych ryb wynosił w przypadku Kozienic 9,55%, Połanica 15,07% a Ostrołęki B 5,44%.
- Dryf larw i narybku, który dostaje się do systemów chłodzenia elektrowni odbywa się całą szerokością rzeki, aczkolwiek jego natężenie jest nierównomierne. Koncentracja dryfujących larw ryb z reguły jest najwyższa w strefie brzegowej. Ostatecznie przekłada się to na liczbę osobników trafiających do systemów chłodzenia.
- Ze względu na swoje rozmiary i zainstalowaną moc, a co za tym idzie ilość pobieranej wody, elektrownie w Połancu i Kozienicach unicestwiają znacznie więcej ryb, niż dużo mniejsza elektrownia w Ostrołęce. Jednak biorąc pod uwagę wielkość Narwi, która jest rzeką wielokrotnie mniejszą, rozmiar strat w ichtiofaunie jest porównywalny.
- Teoretyczny zasięg oddziaływania poszczególnych elektrowni na rzekę powyżej i poniżej ujęcia wód chłodniczych (dystans od elektrowni, na którym dryfują larwy) wynosi (w zależności od długości trwania dryfu poszczególnych gatunków ryb) dla Elektrowni Kozienice od 9 do 67 km, dla Elektrowni Połaniec od 12 do 84 km a dla Elektrowni Ostrołęka B od 10 do 74 km (odpowiednio dla 1 lub 7 nocy dryfu larw).

- Biorąc pod uwagę zasięg oddziaływania Elektrowni Połaniec, Kozienice oraz Ostrołęka B powyżej miejsca ich lokalizacji, a także związane z tym faktem uszczuplenie liczby osobników ichtiofauny poniżej tych instalacji, powodują one bezpośrednie negatywne oddziaływanie łącznie na 7 obszarów Natura 2000 powołanych dla ochrony bolenia. Straty w poszczególnych gatunkach w tym bolenia prawdopodobnie odzwierciedlają sytuację ogólną i mogą sięgać od kilkunastu do kilkudziesięciu procent. Szczególnie zagrożoną ostoją jest Przełom Wisły w Małopolsce PLH060045. W tym przypadku mamy do czynienia z klasycznym skumulowanym oddziaływaniem, gdzie od strony górnej części obszaru dochodzi do uszczuplenia liczby przedstawicieli ichtiofauny przez Elektrownię Połaniec, a od dolnej strony do zasysania ich przez Elektrownię Kozienice.
- Umieszczenie Elektrowni Kozienice, Połaniec i Ostrołęka B oraz konfiguracja koryta Wisły i Narwi są wyjątkowo niekorzystne dla dryfującego ichtioplanktonu. Istnieje wysokie prawdopodobieństwo, że taka lokalizacja ujęć wody chłodniczej względem rzeki powoduje, że po stronie elektrowni dryfuje większość migrujących larw, aczkolwiek wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że przy prawym brzegu Wisły tuż przed elektrownią koncentracja larw jest również bardzo wysoka najprawdopodobniej z powodu zawężenia nurtu rzeki przez ostrogi.
- Zamiana bloków węglowych na gazowe nie jest działaniem wystarczającym dla ochrony ichtiofauny, jeśli równocześnie nie zostanie dokonana zmiana otwartego systemu chłodzenia na układ zamknięty. Tymczasem część budowanych lub planowanych w Polsce gazowych bloków energetycznych, jak np. Dolna Odra i Kozienice jest lub ma być realizowana w oparciu o istniejącą infrastrukturę otwartych systemów chłodzenia. Jest to droga donikąd, gdyż ani nie poprawi warunków bytowania przedstawicieli ichtiofauny, ani nie przybliży nas do osiągnięcia neutralności klimatycznej.
- Mając na uwadze rozmiar strat dla fauny wodnej w wyniku pracy elektrowni ciepłych z otwartym systemem chłodzenia, a także zmiany klimatyczne związane ze spalaniem w nich paliw kopalnych, konieczne jest jak najszybsze odejście od wodochłonnych technologii produkcji energii w kierunku poprawy efektywności energetycznej i zdecentralizowanych systemów energetycznych. Jest to nie tylko potrzeba chwili, ale jedno z najważniejszych wyzwań naszych czasów. Do tego momentu, w okresie od 15 kwietnia do 31 lipca, należy pilnie ograniczyć pobór wód przez elektrownie termiczne z otwartym systemem chłodzenia i obciążyć ich operatorów odpowiednio wysokimi kosztami za powodowanie strat w ichtiofaunie.

Bibliografia

- Barnthouse L.W. 2000. Impacts of power-plant cooling system on estuarine fish populations: the Hudson River after 25 years, *Environ. Sci. Pol.* 3, 341–348.
- Barnthouse L.W. 2013. Impacts of entrainment and impingement on fish populations: A review of scientific evidence. *Environ. Sci. Policy* 31, 149–156.
- Barnthouse L.W., Van Winkle W. 1988. Analysis of impingement impacts on Hudson River fish populations. *Am. Fish. Soc. Mon.* 4, 182–190.
- Boreman J., Goodyear C.P., 1998. Estimates of entrainment mortality for striped bass and other fish species inhabiting the Hudson River estuary. *Am. Fish. Soc. Mon.* 4, 152–160.
- Brown A.V. and Armstrong M.L. 1985. Propensity to drift downstream among various species of fish. *J. Fresh. Ecol.* 3, 3–17.
- Bryhn A.C. Bergenius M.A.J., Dimberg P.H., Adill A. Biomass and number of fish impinged at a nuclear power plant by the Baltic Sea. 2013. *Environ. Monit. Assess.* 185, 10073–10084.
- Araujo-Lima C.A.R.M. and Oliveira E.C. 1998. Transport of larval fish in the Amazon. *J. Fish Biol.* 53, 297–306.
- Carter, L.K. and Reader, P.J. (2000) Patterns of drift and power station entrainment of 0+ fish in the River Trent, England. *Fish. Management and Ecology* 7, 447–464.
- Chow W., Murarka I.P., Brocksen R.W. 1981. Entrainment and impingement in power plant cooling systems. *J. Wat. Poll. Cont. Fed.* 53, 965–973.
- Copp G.H., Cellot B. 1988. Drift of embryonic and larval fishes, especially *Lepomis gibbosus* L. in the Upper Rhone River. *J. Fresh. Ecol.* 4, 419–424.
- EA Engineering, Science and Technology Inc. 2008. Entrainment characterization data report for Calvert Cliffs Nuclear Power Plant. Constellation Energy Final Report June 2008.
- Electric Power Research Institute EPRI. 2005. Entrainment abundance monitoring technical support document. Technical Report 1011280. Palo Alto (CA).
- Gale W.F., Mohr Jr G.H.W. 1978. Larval fish drift in a large river with a comparison of sampling methods. *Trans. Am. Fish. Soc.* 107, 46–55.
- Gilligan D and Schiller C. 2003. Downstream transport of larval and juvenile fish in the Murray River. NSW Fisheries Final Report Series No. 50.
- Greenwood M.F.D. 2007. Fish mortality by impingement on the cooling-water intake screens of Britain's largest direct-cooled power station. *Mar. Pol. Bull.* 56, 723–739.
- Hanson C.H., White J.R., Hiram W.Li. 1977. Entrapment and impingement of fishes by power plant cooling-water intakes: an overview. MFR paper 1266 Marine Freshwater Rev. 39, 7–17.
- Hillbricht-Ilkowska A., Zdanowski B. 1988. Changes in lake ecosystems connected with the power-generating industry (the outline of problem); the Konin lakes (Poland) as the study sites - *Ekol. pol.* 36: 5–21.

- Huang Z. 2019. Drifting with flow versus self-migrating – How do young anadromous fish move to the sea? *iScience* 19. 772–785.
- Humphries P. 2005. Spawning time and early life history of Murray cod, *Maccullochella peelii* (Mitchell) in an Australian river, *Environ. Biol. Fishes* 72. 393–407.
- Jacobson P.M., Dixon D.A., Laggett W.C., Marcy Jr. B.C., Massengill R.R. (eds). 2004. The Connecticut River Ecological Study (1965–1973). Revisited: Ecology of the lower Connecticut River 1979–2003. American Fisheries Society Monograph 9.
- Johnston T.A., Gaboury M.N., Janusz R.A. and Janusz L.R. 1995. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52. 2423–2431.
- Kamler E. 1992. Early life history of fish. An energetics approach. Chapman and Hall. Pp 267
- Karr J.R. 1991. Biological integrity: a long neglected aspect of water resource management. *Ecol. Appl.* 1, 66–84.
- Kondolf G. M. 2001. Planning approaches to mitigate adverse human impact on land/water ecotone. *Ecohydro. Hydrobiol.* 1, 111–116.
- Larinier M. 2004. Environmental issues, dams and fish migration. Dams, Fish and Fisheries Opportunities, challenges and conflict resolution. FAO Fish. Tech. Pap. No. 419. FAO, Rome.
- Lechner A., Keckeis H. and Humphries P. 2016. Patterns and processes in the drift of early developmental stages of fish in rivers: a review. *Rev. Fish Biol. Fisheries* 26. 471–489.
- Lewis R.B., Seegert G. 2000. Entrainment and impingement studies at power plants on the Wabash River in Indiana. *Environ. Sci. Pol.* 3, 303–312.
- Lubner V. 2015. Climate change impacts on energy in the Great Lakes Basin. https://uwm.edu/centerforwaterpolicy/wp-content/uploads/sites/170/2013/10/Wingspread_Energy_Final.pdf
- Marcy B.C. Jr. 1975. Entrainment of organisms at power plants, with emphasis on fishes – an overview. In *Fisheries and energy Production: A Symposium*, Salla, S.B. (Ed.), Heath, Lexington, MA.
- Mayhew D.A., Jensen L.D., Hanson D.F. and Muessig P.H. 2000. A comparative review of entrainment survival studies at power plants in estuarine environments. *Environ. Sci. Pol.* 3, 295–301.
- Meulenbroek P, Drexler S, Huemer D, Gruber S, Krumbock S, Rauch P, Stauffer C, Waidbacher V, Zirgoi S, Zwettler M, Waidbacher H. 2018. *River Res. Applic.* 2018, 1–9.
- Mikołajczyk T., Nowak M., Skowronek D., Mikołajczyk Ł., Wawręty R. 2020. Wpływ elektrowni termicznych na ichtiofaunę. Raport z badań ilości ryb (larw i wczesnych form narybkowych) zasysanych przez otwarte systemy poboru wód chłodzących Elektrowni Kozienice oraz Elektrowni Ostrołęka B w latach 2018 i 2019. Towarzystwo na rzecz Ziemi, 2020. ISBN 987–83–60106–16–7.
- Muessig P.H., Young J.R., Vaughan D.S., Smith B.A. 1988. Advances in field and analytical methods for estimating entrainment mortality factors. In: Barnthouse L.W., Klauda R.J., Vaughan D.S., Kendell R.L. (Eds.), *Science, Law, and Hudson River Power Plants, a case study in Environmental Impact assessment*. Am. Fish. Soc. Monograph 4. Bethesda MD.
- Nezdolii V.K., Pavlov D.S., Lan T.T., Phuong P.H. and Khanh N.Q. 2010. Downstream migration of juvenile fish in the Krasnaya River (Vietnam). *J. Ichtiol.* 50, 1002–1013.
- Normandeau Associates Inc. 2019. Peach Bottom atomic power station entrainment characterization study 2012. PBAPS Report Rev. 0. 2013.
- Patrick P.H., Di Giuseppe M., Manolopoulos H., Tai M-K., Poulton J.S., Wright J. 2020. Entrainment of fish eggs and larvae at an operating nuclear generating station using improved methodology. *Lake Reserv. Manag.* 37, 186–198.
- Pavlov D.S. 1979. Biological basis of the control on fish behaviour in the water flow. Nauka. Moskwa (po rosyjsku).
- Pavlov D.S. 1994. The downstream migration of young fishes in rivers: mechanisms and distribution. *Folia Zool.* 43, 193–208.
- Pavlov D.S., Kuragina G.N., Nezdolii V.K., Nekrasova N.P., Brodskiy D.A., Ersler A.L. 1978. Some features of the downstream migrations of juvenile fishes in Volga and Kuban Rivers. *J. Ichthyol.* 17, 63–374.

- Pavlov D.S., Nezdolii V.K., Khodrevskaya R.P., Ostrovskii M.P. and Popova I.K. 1981. Migration of fish juveniles in the Volga and Ili Rivers. Nauka, Moskwa. (po rosyjsku).
- Pavlov D.S., Mikheev V.N., Lupandin A.I., Skorobogatov M.A. 2008. Ecological and behavioural influences on juvenile fish migrations in regulated rivers: a review of experimental and field studies. *Hydrobiologia* 609, 125–138.
- Pavlov D.S. and Mikheev V.N. 2017. *Can. J. Aquat. Sci.* 74, 1312–1323.
- Persat H., Olivier J., Pont. 1994. Theoretical habitat templates, species traits and species richness: fish in the Upper Rhone River and its floodplain. *Freshwater Biol.* 31, 439–454.
- Persat H., Olivier J., Bravard J.P. 1995. Stream and riparian management of large braided Mid-European rivers, and consequences for fish. In: Armantrout, N.B. (Ed.), *Condition of the Worlds Aquatic Habitats: Proc. Of the World Fisheries Congress, Theme 1*. Oxford and IBH Publishing Co, New Delhi, pp. 139–169.
- Pompeu P.S., Nogueira L.B., Godinho H.P., Martinez C.B. 2011. Downstream passage of fish larvae and eggs through a small-sized reservoir, Mucuri River, Brazil. *Zoologia* 28, 739–746.
- Riverkeeper 2014. Power Plant Fish Kills. Power plant's extreme water withdrawals kill staggering numerous of fish and deplete ecosystems. <https://www.riverkeeper.org/campaigns/stop-polluters/power-plants/power-plant-fish-kills/>
- Schiemer F. 2000. Fish as indicators for the assessment of the ecological integrity of large rivers. *Proceedings on a workshop on ecological integrity in Vienna. Hydrobiologia* 423/424, 271–278.
- Schiemer F., Flore L., Keckeis H. 2001. 0+ Fish as indicators of the ecological status of large rivers. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 135, 115–116.
- Schiemer F., Keckeis H., Kamler E. 2003. The early life history stages of riverine fish: ecophysiological and environmental bottlenecks. *Comp. Bioch. Physiol. Part A* 133, 439–449.
- Sierra Club. 2011. Giant Fish Blenders: How power plants kill fish & damage our waterways. <http://www.sierraclub.org/pressroom/media/2011/2011-08-fish-blenders.pdf>
- Snyder D.E. 1975. Passage of fish eggs and young through a pumped storage generating station. *J. Fish. Res. Board Can.* 32, 1259–1266.
- Su G., Logez M., Shengli Tao J.X., Villeger S., Brosse S. 2021. Human impact on global freshwater fish biodiversity. *Science* 371, 835–838.
- Thielen F., Weibel U., Hirt J., Munderle M., Marten M., Taraschewski H., Sures B. 2008. Ichthyofauna in the upper Rhine River close to the city of Karlsruhe as determined by the analysis of fish impingement by cooling-water intakes of the power plant. *Limnologica* 38, 76–85.
- Truchan J.G. 1975. Guidelines to determine best available technology for the location, design, construction, and capacity of cooling water intake structures for minimizing adverse environmental impact. Sec. 316(b) P.L. 92–500. U.S. Environ. Prot. Agency. pp 69.
- Turnpenny A.W.H., Taylor C.J.L. 2000. An assessment of the effect of the Sizewell power stations on fish populations. *Hydroecol. Appl.* 12, 87–134.
- UNESCO. 1979. Predicting effects of power plant once-through cooling on aquatic systems. Majewski W., Miller D.C. (Eds.), *A state-of-art report of IHP Working Group 6.2 on the effects of thermal discharges. Technical Papers in Hydrology*. 171 pp.
- Union of Concerned Scientists 2011. <http://www.ucsusa.org/electricity-water-use>.
- Urho L. 1999. Relationship between dispersal of larvae and nursery areas in the Baltic Sea *ICES J. Mar. Sci.* 56 Suppl. 114–121.
- Vasconcelos L.P., Alves D.C., Agostinho A.A., Hahn L., Da Camara L.F., Gomez L.C. 2021. Fish eggs and larvae drifting through hydropower reservoirs: case study in the Brazilian Amazon. *Hydrobiologia* 849, 357–372.
- Wei Q.W. 2003. Reproductive behavioral ecology of Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis* Gray) with its stock assessment. Ph. D thesis. Institute of Hydrobiology Chinese Academy of Science. <http://ir.ihb.ac.cn/handle/342005/19195>.
- Welcomme R.L. 1985. River Fisheries. FAO Fish. Tech. Pap. No. 262. FAO, Rome.

White J.W., Nickols K.J., Clarke L., Largier J.L. 2010. Larval entrainment in cooling water intakes: spatially explicit models reveal effects on benthic metapopulations and shortcomings of traditional assessments. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 67, 2014–2031.

Streszczenie

W okresie od kwietnia do końca lipca 2021 r. prowadzono badania nad liczbą larw i wczesnych form narybkowych ryb (ichtioplankton), które dostawały się do systemów chłodzących Elektrowni Kozienice oraz Ostrołęka B dryfując biernie z nurtem rzek. W przypadku Elektrowni Połaniec badania prowadzono w 2020 i 2021 r. Wymienione elektrownie węglowe są wyposażone w otwarte systemy chłodzenia i wykorzystują do tego celu olbrzymie ilości wody pobranej z Wisły i Narwi. Odłowów dryfującego ichtioplanktonu dokonywano w rejonie ujęć wód chłodniczych za pomocą specjalistycznych siatek planktonowych. W przypadku Elektrowni Połaniec odłowów dokonano 7-krotnie (co 2 tygodnie). Badania w rejonie Elektrowni Kozienice i Ostrołęka B przeprowadzono 4-krotnie, ale rozszerzono je o badania natężenia dryfu ichtioplanktonu na całej szerokości rzeki. Uzyskane wyniki wykazały, że w okresie od kwietnia do maja natężenie dryfu larw i narybku we wszystkich trzech lokalizacjach było niewielkie (zwłaszcza w kwietniu, kiedy dryfu praktycznie nie obserwowano). Apogeum dryfu, podobnie jak w latach ubiegłych, przypadło na czerwiec. We wszystkich lokalizacjach wykazano, że intensywny dryf larw był jeszcze widoczny pod koniec lipca. Ma to związek z przebiegiem warunków pogodowych i hydrologicznych wiosną i z początkiem lata 2020 i 2021. Zarówno na Wiśle, jak i na Narwi dryf larw obserwowano na całej szerokości rzeki, aczkolwiek koncentracja larw była zawsze najwyższa w strefie brzegowej i stopniowo malała w miarę oddalania się od brzegu. Na podstawie uzyskanych wyników odłowów ichtioplanktonu oraz danych dotyczących zużycia wody chłodniczej przez poszczególne elektrownie w kolejnych miesiącach oszacowano przybliżoną liczbę larw i wczesnych form narybkowych, które zostały zassane do ich systemów chłodzących. Z obliczeń wynika, iż w Elektrowni Połaniec w okresie od połowy kwietnia do końca

lipca 2020 oraz 2021 r. mogło zginąć odpowiednio ok. 24,8 i 93,9 mln larw i narybku z 22 gatunków ryb. Z kolei w roku 2021 Elektrownia Kozienice mogła unicestwić ponad 70 mln osobników z 27 gatunków ryb. Natomiast w Elektrowni Ostrołęka B w 2021 r. mogło zginąć ok. 19,2 mln osobników ryb należących do co najmniej 20 gatunków. Analiza koncentracji ichtioplanktonu na całym przekroju Wisły i Narwi wykazała, że larwy ryb zassane do systemów chłodzących elektrownie w Kozienicach i Ostrołęce stanowiły odpowiednio od 21,98 do 26,12% wszystkich larw dryfujących Wisłą oraz od 17,62 do 31,86 % wszystkich larw dryfujących Narwią w rejonie elektrowni w zależności od terminu badań. W trakcie badań dokonano odłowów monitoringowych ichtiofauny na odcinkach rzek powyżej elektrowni w celu uzupełnienia i aktualizacji wiedzy na temat jej składu gatunkowego. Oszacowano też teoretyczny zasięg oddziaływania poszczególnych elektrowni na rzekę powyżej i poniżej ujęcia wód chłodniczych (dystans od elektrowni, na którym dryfują larwy). W zależności od długości trwania dryfu poszczególnych gatunków ryb wynosi on od 9 do 67 km dla Elektrowni Kozienice, od 12 do 84 km dla Elektrowni Połaniec oraz od 10 do 74 km dla Elektrowni Ostrołęka B (odpowiednio dla 1 lub 7 nocy dryfu larw). W efekcie przedmiotowe elektrownie powodują bezpośrednie negatywne oddziaływanie łącznie na 7 obszarów Natura 2000 powołanych dla ochrony bolenia. Spośród nich szczególnie zagrożoną ostoją jest Przełom Wisły w Małopolsce PLH060045.

Summary

From April to the end of July 2021, the research was carried out on the number of larvae and early fish fry (ichthyoplankton) the cooling systems of Koźienice and Ostrołęka B Power Plants while drifting passively with the river current. In the case of Połaniec Power Plant, the research was conducted in 2020 and 2021. These coal-fired power plants are equipped with open cooling systems which use huge quantities of water taken from the Vistula and Narew rivers. Drifting ichthyoplankton was sampled in the area of cooling water intakes with the use of specialized plankton nets. In the case of Połaniec Power Plant, captures were made 7 times (every 2 weeks). Catching in the area of Koźienice and Ostrołęka B Power Plants was carried out 4 times, but they were extended to include ichthyoplankton drift intensity across the entire width of the river. The results showed that from April to May, the intensity of larvae and fry drift was low in all three locations (especially in April, when the drift was practically not observed). The peak drift, as in previous years, occurred in June. In all locations intensive larval drift was still observed at the end of July. This is related to the course of weather and hydrological conditions in spring and early summer of 2020 and 2021. Both in the Vistula and Narew rivers, larval drift was observed across the entire width of the river, although the concentration of larvae was always highest in the coastal zone and gradually decreased towards the middle of the river. Based on the results of ichthyoplankton captures and data on cooling water consumption by individual power plants in successive months, an approximate number of larvae and early juvenile forms that had been sucked into the cooling systems of these power plants was estimated. The calculations show that from mid-April to the end of July 2020 and 2021 about 24.8 and 93.9 million larvae and fry of 22 fish species could die in Połaniec Power Plant, respectively. In

2021, Kozienice Power Plant could cause annihilation over 70 million individuals of 27 fish species and Ostrołęka B Power Plant could kill about 19.2 million fish of at least 20 species. The analysis of ichthyoplankton concentration along the entire cross-section of Vistula and Narew showed that, depending on the study date, fish larvae sucked into the cooling systems of the power plants in Kozienice and Ostrołęka constituted 21.98 to 26.12% of all larvae drifting in Vistula and 17.62 to 31.86% of all larvae drifting in the Narew River in the area of the respective power plant. During the study, monitoring catches of ichthyofauna were made in river sections upstream of the power plants in order to complete and update the knowledge on its species composition. The theoretical range of impact of individual power plants on the river above and below the cooling water intake (distance from the power plant at which larvae drift) was also estimated. Depending on the drift duration of individual fish species, it ranges from 9 to 67 km for Kozienice Power Plant, from 12 to 84 km for Połaniec Power Plant and from 10 to 74 km for Ostrołęka B Power Plant (for 1 or 7 nights of larval drift, respectively). The results of the study indicate that the examined power plants cause direct negative impact on 7 Natura 2000 sites designated for asp (*Leuciscus aspius*) protection, among which the most endangered is the Vistula Gorge in Małopolska PLH060045.

