



Fundusze Europejskie
Wiedza Edukacja Rozwój

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



„Monitoring parametrów hydraulicznych w rejonie progu piętrzącego zlokalizowano na rzece Wisła w km 223,65 przy przepływach niskich/średnich ”





Fundusze Europejskie
Wiedza Edukacja Rozwój

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



Wykonawca:



ZAKŁAD BADAŃ EKOLOGICZNYCH

31-425 Kraków, ul Rogatka 9, tel. 12 412721, kom. 508 393988, NIP 676=102-23-95

Wykonano na zlecenie:

Wykonano na zlecenie Stowarzyszenia ekologicznego EKO-UNIA w ramach realizacji projektu pn. „Strażnicy dobrego stanu wód – monitoring regulacji środowiskowych”. Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój 2014-2020 Nr projektu: POWR.02.16.00-00-0070/17-00 z inicjatywy i wniosku Towarzystwa na rzecz Ziemi.

Opis terenu i metodyka.....	4
Możliwości pływackie ryb.....	8
Wyniki.....	15
Wnioski.....	16
Literatura.....	16

Przeprowadzona analiza miała na celu monitoring parametrów hydraulicznych w rejonie progu piętrzącego zlokalizowanego na rzece Wisła w km 223,65 jest rozwinięciem cyklu badań prowadzonych na rz. Wiśle w kontekście zdolności migracyjnych ryb.

W ślad za licznymi badaniami wskazać należy, iż oprócz gatunków wędrownych długodystansowych istnieją inne ryby i bezkręgowce podejmują mniej lub bardziej krótkotrwałe migracje z jednej części rzeki na inną w zależności od fazy swoich cykli życiowych. Zaburzenie możliwości migracyjnych powoduje destabilizację populacji a poprzez zanik rozrodów wyjąłowania gatunków i utraty różnorodności biologicznej ciek.

Tym samym łączność migracyjna rzeki musi być zachowana lub przywrócona bez względu na wielkość rzeki, zakres modyfikacji struktury koryta, aktualną jakość wody lub interesy obecnych użytkowników.

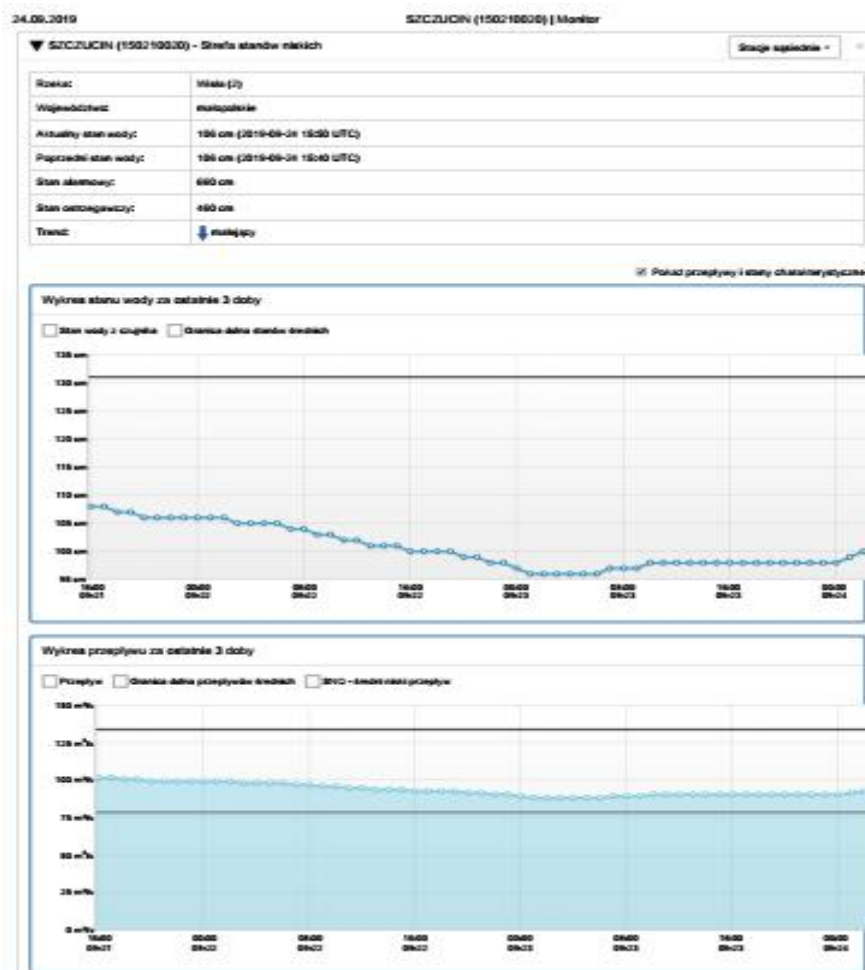
Warto zaznaczyć, iż w przypadku analizowanej przeszkody w jej konstrukcji nie przewidziano lokalizacji żadnej przepławki !!

Opis terenu i metodyka

Obszarem badań był istniejący, tymczasowy próg piętrzący wodę Wisły dla potrzeb Elektrowni Połaniec. Próg zlokalizowano na rzece Wisła w km 223+065(km 699+024 km rz. Wisły licząc od ujścia), w położona we wsi Zawada koło Połańca.

Badania wykonano w dniu 23 września 2019 r. przy przepływie około 85 m³/s

Przepływ odczytano dla wdk. Szczucin, który znajduje się 27 km przed Elektrownia Połaniec.



Rys. 1 Stan dla wodowskazu Szczucin (150210020) | Monitor <http://monitor.pogodynka.pl>

Wg. Informacji o sytuacji hydrologiczno- meteorologicznej w Polsce w dniu 13.09.2019 r. o godz. 12:00 został uruchomiony elastyczny próg piętrzący w km 223+650 rz. Wisły na wysokości elektrowni Enea w Połańcu.

Pomiary wykonano szwajcarskim przepływomierzem MiniWater20 firmy Schildknecht Messtechnik , certyfikowanej i zgodnej z :

- ISO 9001:2008 (quality management)
- ISO 17025:2005 (SCS 046 – accredited laboratory for flow and pressure)
- EN 13980 (ATEX – explosion protection)

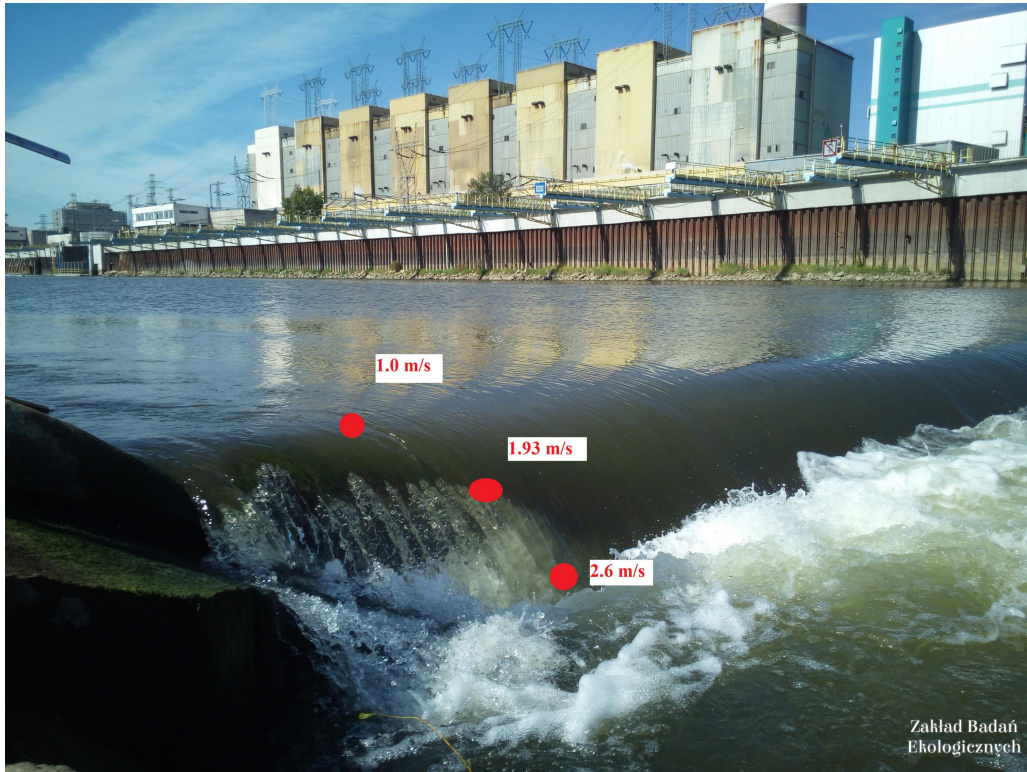
Miejsca pomiaru pokazano na rys 2-5.



Rys. 2. Lokalizacja profili pomiarowych.



Rys. 3. Lokalizacja profili pomiarowych. Widok na górna wodę.



Rys. 4. Jaz piętrzący w Połańcu ,układ punktów pomiarowych. Uzyskane wartości prędkości przepływów. Brzeg prawy.



Rys. 5. Jaz piętrzący w Połańcu ,układ punktów pomiarowych. Uzyskane wartości prędkości przepływów. Brzeg lewy

Możliwości pływackie ryb

Badania możliwości pływackich ryb wykonywano już w pierwszej połowie XX wieku i ten temat w różnych aspektach nadal budzi zainteresowanie badaczy. Te pierwsze badania przyniosły wiele cennych informacji. Historycznie, możliwości pływackie ryb mierzono pod względem prędkości, czasu i odległości. Stosowano wiele różnych metod, które ewoluowały w czasie. Metody te omówił Beamish (1978). W opisie możliwości pływackich ryb stosuje się kilka wskaźników, ale najczęściej stosowane są dwie szybkości: U_{burst} która oznacza szybkość zmęczeniową o czasie 20 sekund i prędkość krytyczną U_{crit} z którą ryba może pływać przez 1 godzinę.

Część badań była związana z określeniem możliwości pokonania prądu wody w przepławkach, Denil 1937. Bainbridge 1958 stwierdził na przykładzie pstrąga, jelca i karasia (złota rybka. *C. auratus*), że powyżej 5 uderzeń ogona na sekundę, prędkość ruchu ryby zależy od częstotliwości uderzeń ogona. Można to wyrazić wzorem $V = \frac{1}{4} (L (3f - 4))$, gdzie V jest prędkością w cm s^{-1} , F - to częstotliwość w uderzeniach na sekundę, a L jest długością ciała w cm. Odległość przebyta na jedno uderzenie (a tym samym prędkość) jest bezpośrednio zależna od amplitudy uderzenia ogonem. Maksymalna amplituda była taka sama dla wszystkich badanych ryb i wynosi około jednej piątej długości ciała. Maksymalna osiągalna częstotliwość uderzeń ogona maleje wraz ze wzrostem wielkości osobnika. Oszacowanie możliwych maksymalnych częstotliwości pozwala przewidzieć maksymalne prędkości, które są w stanie osiągnąć. Bainbridge 1958 sprawdził swoje przewidywania i zmierzył sprint kilku ryb które osiągały szybkość około 10 długości ciała na sekundę. Taki wysiłek powoduje szybkie zmęczenie. Przez 1 sekundę ryba utrzymała szybkość 270 cm s^{-1} ale przez 20 sekund mogła płynąć z szybkością tylko 72 cm s^{-1} . Najmniejsza ryba, 10,3 cm długości, w sprincie osiągała 105 cm s^{-1} tylko przez 1 sek. i tylko 30 cm s^{-1} przez 20 s.

Bainbridge 1958 zebrał wcześniejsze pomiary możliwości pływackich różnych gatunków ryb, Tab. 1.

Oprócz oceny możliwości przejścia ryb przez przepławki Mitchell 1989 badał możliwości przejścia ryb diadromicznych nad innymi szerokimi przeszkodami. Badania prowadził w kanale hydraulicznym i prowadził obserwacje adaptacji behawioralnych niektórych gatunków do pływania przez wysokie wodospady. W przypadku młodych ryb (długość całkowita 30–80 mm) prędkości poniżej $0,3 \text{ m s}^{-1}$ powinny umożliwić nieograniczony przepływ przez przeszkody o długości mniejszej niż 15 m. Pokonanie dłuższych przeszkód wymaga

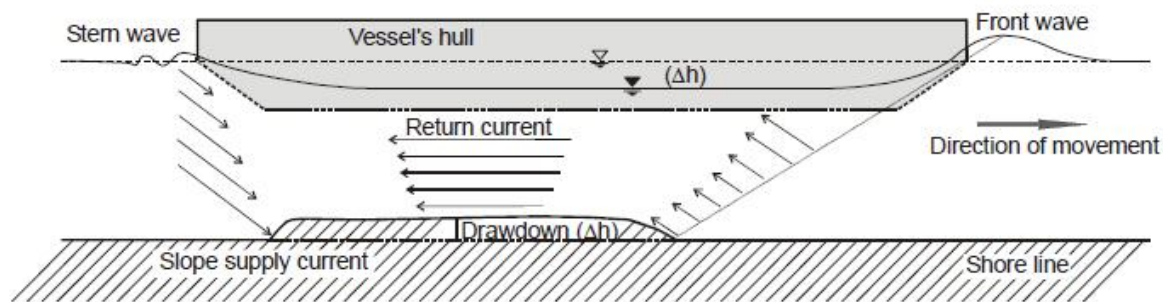
wolniejszego prądu $< 0,25 \text{ m s}^{-1}$. Niektóre gatunki np. *Mugil cephalus* (barwena szara) wymaga znacznie niższych prędkości niż inne gatunki: prędkości wody poniżej $0,15 \text{ m s}^{-1}$ umożliwiłyby mu przepłynięcie nad przeszkodami o długości mniejszej niż 5 m, podczas gdy dłuższe przeszkody, bez miejsc spoczynku, mogą wymagać prędkości tak niskich jak $0,05 \text{ m s}^{-1}$.

Mitchell 1989 wskazuje, że tam, gdzie przepływ ryb lub migracja w górę rzeki nie jest pożądana, prędkości wody większe niż $1,5 \text{ ms}^{-1}$ prawdopodobnie wykluczą wszystkie gatunki oprócz zdolnych do przylegania lub wspinania się.

Muetal 2019 uważają, że w szczelinach przepławki i/lub oknach prędkość przepływu powinna być mniejsza od 76-79 % U_{burst} a w komorze $< 52-60 U_{burst}$. Gdzie U_{burst} oznacza szybkość zmęczenia o czasie < 20 sekund. Stosuje się również prędkość krytyczną U_{crit} z którą ryba może pływać przez 1 godzinę.

Hipoteza wąskiego gardła siedliska – narrow bottleneck hypothesis (NBH).

Dane dla 75 gatunków ryb słodkowodnych opracowanych w 168 badaniach przeanalizowali Wolter i Arlinghaus 2004. Autorzy analizowali możliwości pływackie młodych ryb w kontekście żeglugi śródlądowej. Na ograniczonych śródlądowych drogach wodnych statki w ruchu zwykle indukują prądy powrotne $0,7-1,1 \text{ m s}^{-1}$ i dynamiczne przepływy działające wzdłuż linii brzegowej. Różnica między maksymalną zdolnością pływania nowo wyklutych ryb w zakresie od $0,06-0,2 \text{ ms}^{-1}$ do indukowanego nawigacją progu fizycznej szybkości prądu ($0,7 \text{ m s}^{-1}$) odpowiadającego sprintowi ryby o długości 42 mm i ryby o długości 71 mm z prędkością krytyczną, doprowadziło do postawienia hipotezy wąskiego gardła siedliska wywołanego nawigacją (NBH). Według NBH ograniczona dostępność niezbędnych żłobków we wczesnych stadiach życia ryb wynikająca z ich ograniczonych zdolności pływania jest głównym wąskim gardłem w rekrutacji ryb na drogach wodnych.



Rys. 6. Główne efekty fizyczne wywołane nawigacją na ograniczonych drogach wodnych (cienkie linie ilustrują wzorce przepływu) wg. Wolter i Arlinghaus 2004.

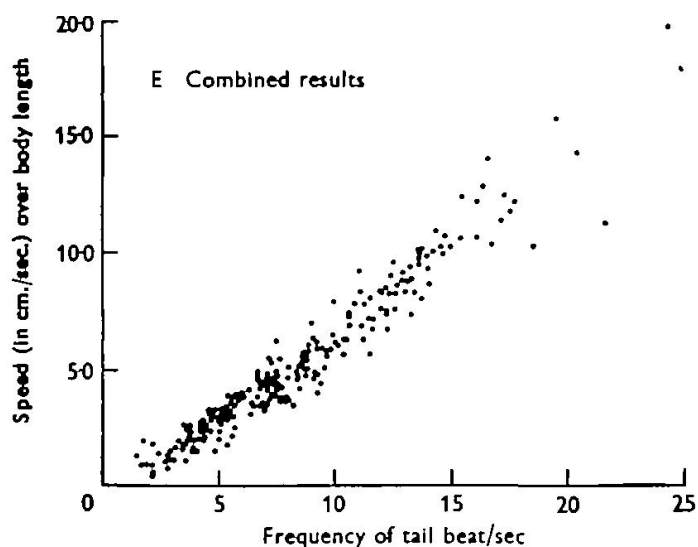
Małe ryby niezależnie od gatunku osiągają taką samą szybkość przy pływaniu sprintem U_{burst} . Wytrzymałość pływacka u większych ryb różnicuje się. W krytycznym trybie pływania (do 1 godziny do zmęczenia) tę samą prędkość ($1,0 \text{ m s}^{-1}$) osiągnie ryba karpowata o długości 133 mm, ogólnie ryba o długości 179 mm lub łosoś o długości 201 mm. W tym trybie przedłużonym reofilne karpowate pływają znacznie lepiej niż łososiowate lub inne ryby.

Nie wykryto znaczących różnic w wydajności pływania U_{burst} między małymi osobnikami karpowatych, łososiowatych i innymi taksonami.

Tablica I. Publikowane dane o prędkości ruchu ryb, z Bainbridge 1958.

Authority	Common name	Species	Speed in lengths/sec.	Data given	Remarks
Regnard, 1893	Carp	<i>Cyprinus carpio</i>	5.2	6 g, fish at 59 cm./sec. 5 g, fish at 52 cm./sec. 5 g, fish at 22 cm./sec.	(Carpe)
	Bleak	<i>Alburnus alburnus</i>	10.0	1 g, fish at 50 cm./sec.	(Ablette)
Magnan, 1930	Chub	<i>Squalius cephalus</i>	2.0	15 g, fish at 24 cm./sec.	(Chevaine)
	Sea trout	<i>Salmo trutta</i>	2.7	34.1 g, fish at 92 cm./sec.	(Truite de mer)
	Mackerel	<i>Scomber scombrus</i>	3.2	25.2 g, fish at 81 cm./sec.	(Maquereau)
	Twaite shad	<i>Alosa finita</i>	2.5	29.7 g, fish at 75 cm./sec.	(Alose finta)
	Perch	<i>Perca perca</i>	3.6	18.4 g, fish at 66 cm./sec.	(Perche)
	Meagre	<i>Sciaena aquila</i>	3.8	29.5 g, fish at 113 cm./sec.	(Maigre)
	Whiting	<i>Gadus merlangus</i>	1.3	17.7 g, fish at 23 cm./sec.	(Whiting)
	Bib or Pout	<i>G. luscus</i>	3.3	16.5 g, fish at 55 cm./sec.	(Tacaud)
	Grey mullet	<i>Mugil capito</i>	2.3	26.0 g, fish at 61 cm./sec.	(Mulet céphale)
	Rudd	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	6.0	18.8 g, fish at 114 cm./sec.	(Rotengle)
	Lesser weever	<i>Trachinus vipera</i>	1.8	22.4 g, fish at 40 cm./sec.	(Vive)
	Hake	<i>Merluccius vulgaris</i>	3.5	23.7 g, fish at 79 cm./sec.	(Merlus)
	Pike	<i>Esox lucius</i>	3.9	37.8 cm., fish at 148 cm./sec.	(Brocket)
	Red gurnard	<i>Trigla pini</i>	2.4	19.2 cm., fish at 47 cm./sec.	(Rouget)
	John Dory	<i>Zeus faber</i>	1.6	19.7 cm., fish at 30 cm./sec.	(Saint Pierre)
	Black bass	<i>Micropterus salmoides</i>	4.1	21.3 cm., fish at 88 cm./sec.	—
	Gurnard	<i>Trigla sp.</i>	5.0	26.2 cm., fish at 131 cm./sec.	(Grondin corbeau)
Norway haddock	<i>Sebastes dactylopterus</i>	3.6	26.8 cm., fish at 98 cm./sec.	(Sébaste)	
Denil, 1937	Trout	<i>Salmo fario</i>	10.0	35 cm., fish at 3.5 m./sec.	—
	Salmon	<i>S. salar</i>	6.4	75 cm., fish at 4.79 m./sec.	—
	Salmon	<i>S. salar</i>	5.8	85 cm., fish at 4.95 m./sec.	—
	Salmon	<i>S. salar</i>	8.4	80 cm., fish leaping 2 m.	Calculated from reported data
	Trout	<i>S. fario</i>	19.4	25 cm., fish leaping 1 m.	
Salmon	<i>S. salar</i>	8.0	ca. 75 cm., fish at 6 m./sec.	—	
Lane, 1941	Tuna	<i>Thunnus thynnus</i>	13.4	60 lb. fish travelling at 44 m.p.h.	—
Fry & Hart, 1948	Goldfish	<i>Carassius auratus</i>	6.36	Fish of average wt. 4.37 gm. swimming at 100 ft./min.	Average of many measurements and sustained for 20-25 min. at 25° C.

Authority	Common name	Species	Speed in lengths/sec	Data given	Remarks
Davidson, 1949	Salmon	<i>Salmo salar</i>	4.0	$\left. \begin{array}{l} 5.2 \text{ cm. fish, av. speed} \\ 21.6 \text{ cm./sec.} \\ 4.3 \text{ cm. fish, av. speed} \\ 16.7 \text{ cm./sec.} \\ 3.2 \text{ cm. fish, av. speed} \\ 13.1 \text{ cm./sec.} \end{array} \right\}$	Each an average of twenty fish
Wales, 1950	Western sucker	<i>Catostomus occidentalis</i>	9.8	Fish 12-14 in. swimming at 2 ft./sec. in water flowing at 8.6 ft./sec.	Sustained 5 sec.
Radcliffe, 1950	Goldfish	<i>Carassius auratus</i>	3.4	3.38 body lengths/sec.	Normal
	Goldfish	<i>C. auratus</i>	4.9	4.90 body lengths/sec.	After clipping fins
Gero, 1952	Southern ground shark	<i>Carcharinus leucas</i> (= <i>commersonii</i>)	3.4	60 in., fish at 17.1 ft./sec.	'Piscatometer'
	Southern ground shark	<i>C. leucas</i> (= <i>commersonii</i>)	3.9	21 lb., fish at 13.3 ft./sec.	
	Spotted jewfish	<i>Promicrops itaiara</i>	1.8	17 lb., fish at 5.7 ft./sec.	
	Lemon shark	<i>Negaprion brevirostris</i>	1.3	72.5 in., fish at 8.0 ft./sec.	
	Barracuda	<i>Sphyaena barracuda</i>	9.4	51.0 in., fish at 40.0 ft./sec.	
Gray, 1953	Rainbow trout	<i>Salmo irideus</i>	8.5	20 cm., fish at 1.7 m./sec.	Photography of darting fish
	Pike	<i>Esox lucius</i>	12.7	16.5 cm., fish at 2.1 m./sec.	
	Pike	<i>E. lucius</i>	7.5	20 cm., fish at 1.5 m./sec.	
	Carp	<i>Cyprinus carpio</i>	12.6	13.5 cm., fish at 1.7 m./sec.	
	Rudd	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	5.9	22 cm., fish at 1.3 m./sec.	
	Dace	<i>Leuciscus leuciscus</i>	9.2	18.15 cm., fish at 1.7 m./sec.	
	Salmon	<i>Salmo salar</i>	9.2	3 ft., fish assumed jumping 6 ft.	
	Salmon	<i>S. salar</i>	12.2	3 ft., fish assumed jumping 10 ft.	—



Rys.7. Zależność między szybkością pływania a częstością a uderzeń ogona jelca *L. leuciscus*.

Dane o możliwościach pływackich zwłaszcza ryb łososiowatych podawane przez polskich autorów wymagają weryfikacji z innymi badaniami. Handeland i in., 2003, 2008 podają, że łosoś atlantycki osiąga prędkość krytyczną U_{crit} jako miara szczytowych możliwości pływania w 18 °C. Ten gatunek przez większość swojego cyklu życia po smoltyfikacji doświadczy temperatur poniżej 8 °C (Reddin, 1985; Lacroix, 2013; Jensen i in., 2014), a może nawet behawioralnie unikać temperatur powyżej 15 °C (Johansson et al., 2009; Lacroix, 2013).

Łosoś atlantycki jest intensywnie badany ze względu na kwestie ochrony i jego znaczenie gospodarcze w akwakulturze. Hvas et al. 2017 badali łososie atlantyckie (~ 450 g) na dużym

respiratorze pływackim. Krytyczna prędkość pływania osiągnęła szczyt w 18 °C ($93,1 \pm 1,2$ cm s⁻¹) i znacznie spadła w ekstremalnych temperaturach do $74,8 \pm 0,5$ cm s⁻¹ i $84,8 \pm 1,6$ cm s⁻¹ odpowiednio w 3 °C i 23 °C. **W 23 °C skumulowana śmiertelność osiągnęła 20% w ciągu czterech tygodni, podczas gdy żadna ryba nie umarła podczas aklimatyzacji w niższych temperaturach. Ponadto ryby w temperaturze 23 °C miały słaby apetyt i niższy współczynnik kondycji, mimo że nadal miały wysoki metabolizm tlenowy.**

Remen et al. 2016 badali prędkości krytyczne pływania U_{crit} łososia atlantyckiego w grupach 3 klas wielkości (małe postsmolty, duże postsmolty i dorosłe) w tunelu do pływania. Możliwości pływackie U_{crit} (w cm s⁻¹) zwiększały się z rozmiarem. Wyniki sugerują, że U_{crit} może być stosowane jako maksymalny próg tolerancji prędkości prądu w akwakulturze, gdzie dłuższe okresy powyżej tej wartości byłyby szkodliwe dla dobrostanu i funkcji fizjologicznej ryby.

W dużym tunelu pływackim U_{crit} zwiększało się z klasą wielkości od $80,6 \pm 0,5$ do $90,9 \pm 1,2$ i $99,5 \pm 3,7$ cm s⁻¹ u małych postsmoltów (80 ± 1 g), u dużych postsmoltów (289 ± 9 g) i dorosłych (1750 ± 175 g), odpowiednio. W doświadczeniach MacNutt et al. 2006, łososie *Oncorhynchus gorbuscha* długości ($FL = \text{fork length}$) 53.5 cm i *Oncorhynchus nerka* 59.3 cm pływały z podobną szybkością $2,25 FL s^{-1}$. Łosoś *O. nerka* pływał do wyższego bezwzględnego U_{crit} ($125,9$ cm s⁻¹) niż łosoś *O. gorbuscha* ($116,4$ cm s⁻¹) ze względu na ich większy rozmiar. Niemniej jednak trzy łososie *O. gorbuscha* ($U_{crit-max} = 173,6$ cm s⁻¹) pływały szybciej niż jakikolwiek łosoś *O. nerka* ($U_{crit-max} = 157,0$ cm s⁻¹), co wskazuje, *O. gorbuscha* jest znacznie lepszym pływakiem niż wcześniej zakładano.

Zakładając, że migrujące trocie i łososie mają długość fork length FL 0.7 m to wyliczona prędkość $U_{krytyczne}$ wyniesie $2,25 \times 0,7 = 1,57$ m s⁻¹. Większe ryby mają odpowiednio większe możliwości pływackie a mniejsze ryby mniejsze.

Wytyczne dla przepławek

Przed wszystkim przepływ wody na przepławce nie może być zbyt turbulentny - miarą turbulencji jest współczynnik rozproszenia energii „E” (DWA-M 509, 2010.2014. **Norma** Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke - Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung: Merkblatt DWA-M 509 (Entwurf) **wymaga aby urządzenia dla migracji pozwalały na migrację w zadowalającym stopniu największych jak i najslabszych gatunków.** Wielkość rozpraszania energii w przepławkach bliskich naturze powinna być mniejsza niż:

W krainie brzany 150*; 200 W/m³

W krainie leszcza 125* ; 175 W/m³

W krainie jazgarza i stynki 100*; 150 W/m³

Dla gatunków małych i narybku 100 W/m³

* – wartości dla przepławek szczelinowych.

Podręcznik FAO 2002 zaleca: volumetric power dissipation should not exceed $E = 150 \text{ W/m}^3$ in general, or $E = 200 \text{ W/m}^3$ within the salmonid region, in order to ensure low-turbulence flows in the pools.

Małe ryby zostają „splukane z przepławki w dół” w ciągu 3 minut gdy prędkość prądu przekracza około 6-krotną długość ciała/sek, Cowx i Welcomme 1998. **Dla większości gatunków europejskich prędkość pływania V jest w zakresie 0.7 - 0.9 m/sek**, Malevanchik i Nikonorov 1984.

Videler (1993) podał równanie dla ryb o długości $< 0.50 \text{ m}$ pozwalające wyliczyć maksymalną prędkość pływania (m/s) w relacji do długości ciała L (m):

$$V_{\max} = 0.4 + 7.4 L$$

Po przeliczeniu dla zakresu obowiązywania równania uzyskujemy prędkości maksymalne V_{\max} :

Tabela 2. Prędkości maksymalne

Długość ryby L [m]	Krotność długości ciała	m/s
0.1	1.14	0.114
0.2	1.88	0.376
0.3	2.62	0.786
0.4	3.36	1.344
0.5	4.1	2.05

Marszową prędkość pływania określa równanie $V_{\text{cr}} = 2.3 L^{0.8}$

Tabela 3. Marszową prędkość pływania

Długość ryby L [m]	V marszowa [m-s]
0.1	0.36
0.2	0.63
0.3	0.88
0.4	1.11
0.5	1.32

Dla dorosłego łososa maksymalna prędkość wynosi 1.7 do 2.5 m/s, dla smoltów łososa o długości 0.15-0.20 m około 0.50-0.60 m/s, dla 60 cm pstrąga w zależności od długości osobniczej do 1.3 m/s a, Videler (1993) .

Tabela 4. Graniczne prędkość dla łososa i pstrąga

Ryba	Wymiar [cm]	V [m-s]
Dorosły łosoś	60	1.7-2.5
Smolty łososa	0.15-0.20	0.50-0.60
Pstrąg	60	1.3

Dla okonia amerykańskiego Peake 2004 ustalił na bieźni dla ryb, że krytyczna prędkość prądu wynosi 65- 98 cm/s dla osobników o długości 24-44 cm, Dla stadiów juvenilnych prędkość prądu nie powinna być większa niż 25 cm/s, Del Signore i in. 2016. Przez analogię te same wartości możemy przyjąć dla europejskich okoni.

W przypadku łososa/troci/pstrąga cechą charakterystyczną jest to, że te gatunki próbują przeskakiwać przeszkody. Obserwowano że maksymalna częstotliwość skoków łososa miała miejsce w strefie prędkość przepływu rzędu 1,0-1,5 m/sek. Odpowiada to maksymalnej prędkości przemieszczania się gatunków o średniej długości cm został określonej na 132,8 cm/sek. Jest to zgodne z obserwacjami telemetrycznymi, Poddubniy, 1971, które wskazują, że łosoś *Salmo salar* często pokonuje prędkość przepływu 0,8 m/s, ale ma tendencję do dryfowania z powrotem, gdy prąd osiąga 1,2 m /sek. Wynika z tego, że granicą strefy wyszukiwania przejścia jest linia, wzdłuż której prąd ma prędkość równą prędkości maksymalnej pływania ryb.

Przy rozważaniach o roli szybkości prądu należy wspomnieć, że progowa prędkość prądu wymagana dla orientacji ryb to 1 – 30 cm/s.

Tabela 5. Krytyczne wartości prądu U_{crit} , LT – krotność długości całkowitej ryby.

Gatunek	L [cm]	U_{crit} m s ⁻¹	LT s ⁻¹	
Karp <i>C. carpio</i>	11	0,59	5,2	Bainbridge (1958)
Karaś złocisty <i>Carassius auratus auratus</i>	6	0,42	7,0	Bainbridge (1960)
Kiełb <i>Gobio gobio</i>	10 12,3	0,54 60		Tudorach et al. (2007)
Płoc <i>Rutilus rutilus</i>	15,7	1,11		Tudorach et al. (2007)
Pstrąg potokowy. <i>S. trutta fario</i>	7,8	65,4		Tudorach et al. (2007)
Karp <i>C. carpio</i>	22,8	87,1		Tudorach et al. (2007)
Okoń <i>Perca fluviatilis</i>	17,8	113		Tudorach et al. (2007)
Węgorz <i>Anguilla anguilla</i>	77,3	94 (64 optymalna)		Tudorache et al 2015
Brzana <i>Barbus bocagei</i>		0·81 ± 0·11	3·1 ± 0·86	Mateus i in 2008

Wyniki

Maksymalne pomierzone prędkości wody wynosiły 2.8 m/s, rys 5, tab.5. Jedyne od strony wody górnej, gdy woda jeszcze się nie rozpędziła prędkość przepływu była na poziomie 0.9 m/s.

W pozostałych miejscach była znacznie wyższa.

Dla potrzeb analizy wykonano profil rozkładu prędkości u ujścia kanału zrzutowego wody dla potrzeb chłodzenia elektrowni(km 696+567).

Tak zmieniony odcinek rzeki o znacznie podwyższonych prędkościach przepływu stanowi nieprzekraczalną przeszkodę behawioralną dla wędrówek ryb. Uruchomienie jazu powłokowego w okresach wzmożonej migracji ryb zwiększa negatywne skutki i powinno zostać zakwalifikowane, jako oddziaływanie znaczące.

Tym samym istniejąca bariera behawioralna dla wędrówek wstępujących i zstępujących jaką jest jaz powłokowy Elektrowni Połaniec skutkuje negatywnymi oddziaływaniami trwałymi, dla których nie podjęto prób zastosowania środków łagodzących.

Tabela 6. Wyniki pomiarów prędkości wody. Punkty pomiarowe, jak na rysunku 3-5

Głębokość [m]	Numer punktu			
	LB [m/s]	1[m/s]	PB[m/s]	Kanał[m/s]
0	1.10	0.90	1.00	0.80
0.5	1.90	1.60	1.93	0.95
1.0	2.8		2.60	0.91

Wnioski

- Prędkość prądu na progu przy uruchomieniu jazu powłokowego może wynosić ponad 2.5 m/s. Tak wysoka prędkość uniemożliwia przejście ryb w górę rzeki. Dla większości gatunków europejskich ryb prędkość pływania V jest w zakresie 0.7 - 0.9 m/sek. Dla łososia maksymalna prędkość wody jaka jest w stanie pokonać, waha się w przedziale 1.7 do 2.5 m/s, dla 60 cm pstrąga w zależności od długości osobniczej około 1.3 m/s a dla smoltów łososia o długości 0.15-0.20 cm jest to już prędkość 0.50-0.60 m/s.
- Dla analizowanego jazu nie zastosowano działań minimalizujących w postaci przepłatki tym samym istniejący jaz stanowi trwałą barierę behawioralną dla wędrówek wstępujących.
- Jedyna efektywna migracja możliwa jest tylko w przypadku dużych ryb w chwili nie korzystania przez Elektrownię z jazu powłokowego.

Literatura

- Baldwin, N. W.(1956). Food consumption and growth of brook trout at different temperatures. Transactions of the American Fisheries Society 86, 323-328
- Beitinger et al. 2000. Temperature Tolerances of North American Freshwater Fishes Exposed to Dynamic Changes in Temperature.
- Bleninger T., G.H. 2011. **Mixing zone regulation for effluent discharges into EU waters.** W: Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management 164 , 8, September 2011, pp. 387-396

- Brett J.R. 1944. Some lethal temperature relations of Algonquin park fishes. Univ. Toronto Studies, Biol. Ser. 52, pp.49.
- Chadwick, Joseph G. Jr, "Temperature Effects on Growth and Stress Physiology of Brook Trout: Implications for Climate Change Impacts on an Iconic Cold-Water Fish" (2012).Masters Theses 1911 - February 2014. 897.Retrieved from <https://scholarworks.umass.edu/theses/897>
- Cherry D.S., Dickson K.L., Cairns J. Jr. 1977. Preferred, avoided, and lethal temperatures of fish during rising temperature conditions. J. Fish. Res. Board Can. t4:239-24
- Cocking, A.W. 1959. The effects of high temperatures on roach (*Rutilus rutilus*). II. The effects of temperature increasing at a known rate. J. Exp. Biol. 36: 217-226.
- Dwyer, W. P., Piper, R. G., and Smith, C. E.(1983). Brook Trout Growth Efficiency As Affected by Temperature. Progressive Fish-Culturist45, 161-163
- ELI: <http://data.europa.eu/eli/dir/2006/44/oj>
- Hasnain S.S., Minns C.K. Shuter B.J. 2010. Key Ecological Temperature Metrics for Canadian Freshwater Fishes. Climate change research report ; CCRR-17.
- Videler J.J. 1993. Fish swimming. London, Chapman and Hall. Pp 260
- Bainbridge R. 1958. The Speed of Swimming of Fish as Related to Size and to the Frequency and Amplitude of the Tail Beat. J. Exp. Biol. 35: 109-133;
- Bainbridge R. 1962. Speed and stamina in three fish. J Exp. Biol, 1962 129-153.
- Beamish, F.W.H. 1978. Swimming capacity. Fish physiology. Academic Press, New York.
- Denil, G. 1937. La mecanique du poisson de riviere. Chapitre X. Les capacites mecaniques de la truite et du saumon. *Ann. Trav. publ. Belg.* 38, 412-33.
- Mitchell C.P.1989. Swimming performances of some native freshwater fishes, New Zealand J. Mar. Freshw. Res., 23,2, 181-187, DOI:10.1080/00288330.1989.9516354
- Mu X., Cao P., Gong L., Baiyin B., and Li X. 2019. A Classification Method for Fish Swimming Behaviors under Incremental Water Velocity for Fish way Hydraulic Design. Water 2019, 11, 2131
- Wolter C., Arlinghaus R. 2004. Burst and critical swimming speed of fish and their ecological relevance in waterways. Annual Report 2003. Berichte des IGB Heft 20/2004