

Badania oceny szkód poniesionych przez węgorze migrujące w dół rzeki przechodzące przez nowy zespół prądotwórczy VLH ze sferyczną obudową wirnika zainstalowany na rzece Mozeli w Frouard

Badania z października 2010 roku przeprowadzone na węgorzach żółtych i srebrzystych

Organizacja dostarczająca:Nazwa: 

Adres: 10, avenue de Toulouse 31860 PINS-JUSTARET

Telefon/Fax: 05.62.20.98.24

E-mail: thierry.lagarrigue@ecogea.fr

Kontakt: Thierry Lagarrigue

Redaktor (redaktorzy):

T. Lagarrigue i A. Frey.

Podziękowania:

Przeprowadzenie niniejszych badań nie byłoby możliwe bez udziału licznych osób. W związku z tym, autorzy kierują szczególne podziękowania do:

- Zespołu członków Komitetu Naukowego, który od początku wspierał prowadzone badania:

	Organizacja	Narodowość
M. Larinier – Przewodniczący Komitetu Naukowego	Pôle Ecohydraulique ONEMA / CEMAGREF / IMFT	Francja
P. Baran	Pôle Ecohydraulique ONEMA / CEMAGREF / IMFT	Francja
S. Mougenez	ONEMA - DIR Nord-Est	Francja
D. Monnier	ONEMA - DIR Nord-Est	Francja
A. Gillet	Direction des Aménagements Paysagers	Belgia
P. Orban	Direction des Cours d'eau non navigables	Belgia
D. Sonny	Profish	Belgia
D. Ingendahl	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur - und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen	Niemcy

- Czterech przedstawicieli polskich instytucji, asystujących w prowadzonych badaniach:

	Organizacja	Narodowość
J. Ligięza	Polish Institute of Inland Fisheries	Polska
T. Tyimiński	Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Institute of Environmental Engineering	Polska
S. Ziola	Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Institute of Environmental Engineering	Polska
M. Kasperek-Kawałek	National Water Management Authority (KZGW - Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej)	Polska

- Jacques'a Fonkenella, Nicolasa Kleina i Marca Leclerca ze spółki MJ2 Technologies, którzy nie szczędzili środków niezbędnych do przeprowadzenia badań oraz wykazali duże zaangażowanie osobiste podczas realizacji badań,
- Jeana Cayrola, właściciela elektrowni wodnej w Frouard, za wyrażenie zgody na przeprowadzenie badań w Frouard oraz za serdeczne przyjęcie ekipy badawczej,
- przedstawicieli ONEMA (Direction InterRégionale Nord-Est), a w szczególności do Sébastiena Mougeneza, Davida Monniera i Sébastiena Mannégo, za ich wkład zarówno na etapie przygotowywania badań, jak i podczas ich realizacji,
- stowarzyszenia Associattion Saumon Rhin i jego dyrektora, Gabriela Edela, za ułatwienie kontaktu z profesjonalnym rybakiem niemieckim, bez którego transport węgorzy z Niemiec do Frouard nie byłby możliwy,
- Götza Kuhna, zawodowego rybaka z Karlsruhe, praktykującego po niemieckiej stronie Renu, który dostarczył nam odpowiednich węgorzy,
- Jean-Michela Champevala i Jean-Louisa Rageula, dozorców elektrowni wodnych w Frouard i Trouussy oraz Laurentowi i Didierowi, dwóm nurkom, za ich dyspozycyjność i pracę wykonaną w celu dostosowania różnych narzędzi technicznych wykorzystanych w badaniu.

Spis treści:

Synteza

1. Wprowadzenie

2. Cele badania

3. Partnerzy badania

3.1. Partnerzy finansowi

3.2. Partnerzy naukowci

4. Miejsce badania

4.1. Zabudowa Frouard na Mozeli

5. Opis zastosowanych urządzeń

5.1. Urządzenie do wprowadzania węgorzy

5.2. Urządzenie do odławiania węgorzy

6. Materiał biologiczny

6.1. Pochodzenie węgorzy

6.2. Przechowywanie węgorzy

6.3. Parametry morfometryczne węgorzy

6.3.1. Struktura wielkości i wagi

7. Zastosowany protokół eksperymentalny

7.1. Pochodzenie zastosowanego protokołu

7.2. Badane miejsca podawania ryb

7.3. Skład różnych serii zastosowanych w badaniach

7.4. Typowy przebieg wypuszczania węgorzy

7.5. Wykonane zmiany w celu poprawy współczynników ponownego podjęcia ryb

8. Warunki realizacji badań

8.1. Sposób funkcjonowania turbiny podczas badań

9. Rezultaty

9.1. Współczynnik ponownego podjęcia

9.2. Ocena szkód poniesionych przez węgorze

9.3. Inne gatunki schwyte podczas badań

10. Dyskusja

11. Wnioski – perspektywy

12. Bibliografia

Aneksy

Synteza

Węgorz należy do gatunków ryb wędrownych, dwuśrodowiskowych. Został zaklasyfikowany jako gatunek zagrożony wyginięciem i wpisany do Czerwonej Księgi na poziomie krajowym. Ze względu na niepokojący spadek populacji węgorza europejskiego w trzech stadiach cyklu biologicznego Rada Europejska ustanowiła przepisy służące ochronie i zrównoważonej eksploatacji jego zasobów zawarte w Rozporządzeniu (WE) n° 1100/2007 z dnia 18 września 2007 r. Zgodnie z niniejszym rozporządzeniem, każde państwo członkowskie powinno jak najszybciej wdrożyć odpowiednie środki w celu zmniejszenia śmiertelności węgorzy spowodowanej czynnikami niezwiązanymi z rybołóstwem, w tym także turbinami elektrowni wodnych. Jednym z proponowanych rozwiązań jest zastosowanie specyficznych turbin „przyjaznych rybam” w miejscu istniejących turbin lub w miejscu nowych zabudowań.

Spółka MJ2 Technologies zaangażowała się w promowanie właśnie tego rozwiązania: od kilku lat zajmuje się rozwojem i sprzedażą turbiny VLH (Very Low Head turbine; turbozespół do bardzo niskich spadów), która została zaprojektowana zgodnie z kryteriami „przyjazności rybam”, aby umożliwić swobodną migrację ryb.

Aby ocenić rzeczywistą skuteczność zaprojektowanego rozwiązania, VLH było przedmiotem dwóch serii testów w środowisku naturalnym. Pierwsze badania zostały przeprowadzone w Troussy, usytuowanym w górze rzeki Tarn w pobliżu miasta Millau (ECOGEA, 2007, 2008a et 2008b). Było to pierwsze miejsce, w którym zastosowano turbinę VLH. Podczas działania turbiny przy pełnym otwarciu oraz z pełną mocą, współczynniki ogólnej śmiertelności ryb wynosiły 7.7% dla dużych, dorosłych węgorzy srebrzystych (356 mm – 1045 mm; mediana: 846 mm) i 3.1% dla smoltów łososia atlantyckiego. Już te rezultaty pozwalają uznać VLH jako mniej szkodliwą dla węgorzy srebrzystych i smoltów ryb łososiowatych w porównaniu z klasyczną turbiną Kaplana. Ponadto, na podstawie przeprowadzonych badań określono główne źródło śmiertelności ryb (obszar „zaciśnięcia” ryb między końcami łopat a obudową wirnika), co stanowiło punkt wyjścia do znaczącej poprawy funkcjonowania turbin VLH w zakresie „przyjazności rybam”. W związku z tym, firma MJ2 Technologies zdecydowała się zmodyfikować profil hydrauliczny nowych turbin VLH (profil sferyczny w miejscu obudowy wirnika), aby jeszcze bardziej zredukować śmiertelność ryb migrujących w dół rzeki. Nowa turbina VLH, która została umieszczona w Frouard, była przedmiotem drugiej serii badań. Najważniejsze rezultaty przedstawia niniejszy raport.

Elektrownia „śluzy” zainstalowana na rzece Mozeli w Frouard w pobliżu Nancy zawiera nową turbinę VLH 4500 ze sferyczną obudową wirnika, składającą się z 8 łopat. Jej

maksymalna moc elektryczna, ograniczona przez kontrakt sprzedaży energii, wynosi 400 kW, natomiast wydajność - 22 m³/s wody przy spadzie netto wynoszącym 2.4 m.

Okresem preferencyjnym migracji węgorzy w dół rzeki we Francji jest zwykle okres od października do stycznia. Zasadniczo przebiega ona w nocy, podczas wzrostów przepływu wody („uderzenia hydrauliczne”), którym towarzyszy spadek temperatury i wzrost zmętnienia. W związku z tym, zdecydowaliśmy, aby zrealizować testy w warunkach zbliżonych do tych, które występują w czasie dużych przepływów, to znaczy, że turbina działała prawie przy pełnym otwarciu (95% otwarcia nominalnego), z pełną mocą (ograniczoną do 400 kW przez kontrakt sprzedaży energii) oraz z prędkością obrotową wynoszącą 38 obr./min.

244 węgorze użyte do badań pochodzą z profesjonalnego terenu łowieckiego w niemieckiej części Renu. Ich wielkość zawierała się między 610 mm a 1002 mm (mediana: 761 mm), a waga wynosiła między 557 a 1963 gramami (mediana: 843 g). Węgorze podzielono na dwie kategorie wielkościowe („Duże osobniki”: węgorze o długości całkowitej > 775 mm i „Małe osobniki”: węgorze o długości całkowitej ≤ 775 mm), aby utworzyć 8 serii testowych po 25 osobników każda (4 miejsca podania węgorzy x 2 kategorie wielkościowe). Podczas prowadzenia badań węgorze przetrzymywano w dużych, okrągłych zbiornikach, podając im przez cały czas wodę z Mozeli za pomocą zanurzonych pomp obiegowych.

Zastosowane urządzenie umożliwiło wprowadzenie węgorzy w 4 miejscach turbiny, jak najbliżej kierownic, a następnie ich odzyskanie w kanale odpływowym poprzez przefiltrowanie całego przepływu za pomocą siatki (rozpiętość: 6 m x 3.5 m; długość: 14 m; 3 rodzaje oczek: 27 mm, 15 mm, 10 mm) połączonej z zanurzonym w ½ więcierzem podtrzymywanym przez pływającą tratwę.

W trakcie prowadzonych badań współczynniki ponownego podjęcia węgorzy wynosiły od 88% do 100% (średnia: 93%) w przypadku kategorii „dużych osobników” i od 72% do 100% (średnia: 84%) w przypadku kategorii „małych osobników”. Ponadto, w trzech na cztery wprowadzone serie „małych osobników” zaobserwowaliśmy 2 węgorze w serii, które żywe uciekły z siatki w obrębie kieszeni uformowanej przez największe oczka, podczas jej wyciągania za pomocą dźwigu. Biorąc pod uwagę, że współczynnik ponownego podjęcia węgorzy nie obejmował wszystkich osobników dla wszystkich serii, utworzyliśmy podgrupę składającą się z 25 martwych węgorzy, którą wprowadziliśmy blisko piasty. Wszystkie wprowadzone martwe węgorze zostały odłowione, co pozwoliło nam na postawienie

hipotezy, że nieodzyskane osobniki z badanych serii są osobnikami żywymi, zdolnymi do aktywnego szukania dziury w siatce, aby z niej uciec.

W sumie, na 200 wprowadzonych węgorzy (8 serii po 25 osobników każda) nie odnotowano natychmiastowej śmierci żadnego osobnika. Uważna obserwacja wyglądu zewnętrznego 177 węgorzy ponownie odłowionych w siatkę po ich przejściu przez turbinę VLH (brak autopsji osobników) wykazała obecność zewnętrznych skaleczeń i ran u czterech osobników, które nie były jednak śmiertelne w krótkim okresie czasu (brak śmiertelności po obserwacji przeprowadzonej w zbiornikach w czasie 24 – 48 godzin).

Niniejsze badania dowodzą, że wskaźnik skaleczeń i ran, które doprowadzają do natychmiastowej śmierci, jest ekstremalnie niski, a nawet zerowy, oraz że wskaźnik skaleczeń i ran, które nie są śmiertelne w krótkim okresie czasu (24 – 48 godzin), jest bliski 2%. W przeciwieństwie do badań przeprowadzonych w Troussy, nie zaobserwowano wpływu miejsca podawania węgorzy na wskaźniki skaleczeń i ran. Ponadto, w przeciwieństwie do obserwacji wykonanych przy innych typach turbin, nie odnotowano również wpływu wielkości osobników na wskaźniki skaleczeń i ran.

Podczas badań realizowanych w Frouard, oprócz wprowadzonych węgorzy, złapano również: 195 okoni pospolitych (o długości od 66 mm do 185 mm), 8 jazgarzy (o długości od 112 mm a 120 mm), 1 płoć (76 mm), 1 leszcza pospolitego (70 mm) i 3 raki pręgowane (*Orconectes limosus*). W przypadku wymienionych gatunków nie odnotowano bezpośredniej śmiertelności w wyniku przecięcia (choć nie jest możliwe określenie proporcji pomiędzy osobnikami, które w rzeczywistości przeszły przez działającą turbinę VLH a tymi, które przeszły przez wyłączoną VLH czy osobnikami uwięzionymi w kanale odpływowym w wyniku umieszczenia urządzenia do odzyskiwania węgorzy).

Podsumowując: wskaźnik skaleczeń i ran śmiertelnych w krótkim okresie czasu u dorosłych osobników węgorzy (o długości między 60 cm a 1 m), przechodzących przez nową turbinę VLH ze sferyczną obudową wirnika umieszczoną w Frouard, działającą przy pełnym otwarciu oraz z pełną mocą, jest ekstremalnie niski, a nawet zerowy, oraz wskaźnik skaleczeń i ran, które nie są śmiertelne w krótkim czasie (24 – 48 godzin) jest niski, gdyż wynosi 2%.

Otrzymane rezultaty dotyczące śmiertelności osobników w krótkim okresie czasu dowodzą, że nowa generacja turbin VLH ze sferyczną obudową wirnika, działających przy pełnym otwarciu oraz z pełną mocą, jest w bardzo niewielkim stopniu szkodliwa dla węgorzy srebrzystych migrujących w dół rzeki (osobniki o długości między 60 cm a 1 m).

Jednakże, badania przeprowadzone w Frouard nie pozwalają ocenić ani wielkości odroczonej śmiertelności węgorzy, która jest przecież prawdopodobna podczas ich przechodzenia przez turbinę, ani potencjalnej śmiertelności osobników wywołanej działaniem turbiny VLH z mniejszą prędkością obrotową i przy niepełnym otwarciu.

Ponadto, użyteczne byłoby uzupełnienie przeprowadzonych badań badaniami na innych gatunkach ryb o mniejszych rozmiarach, a zwłaszcza na smoltach łososia atlantyckiego, które są również szczególnie narażone na ponoszenie szkód podczas przechodzenia przez turbiny elektrowni wodnych w trakcie ich wędrówki migracyjnej.

1. Wprowadzenie

Ramowa Dyrektywa Wodna (RDW) (dyrektywa 2000/60/CE), która weszła w życie dnia 22 grudnia 2000 r., ustanawia spójność wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej. Jednym z ustalonych celów priorytetowych jest przywrócenie ciągłości ekologicznej,

definiowanej jako swobodna migracja gatunków biologicznych oraz właściwy przebieg naturalnego transportu osadów, co wymaga maksymalnego ograniczenia szkód związanych z migracją ryb w dół rzeki na poziomie elektrowni wodnych.

Problematyka migracji ryb w dół rzeki dotyczy w szczególności gatunków hodowlanych zwanych „wielkimi wędrowcami” („grandes migratrices”), które część cyklu biologicznego spędzają na długiej wędrówce migracyjnej w dół rzeki, podczas której są narażone na pokonywanie różnych przeszkód (m.in. przechodzenie przez liczne zabudowy hydrotechniczne). Wśród nich, szczególnie wrażliwe są młode osobniki łososia atlantyckiego (*Salmo salar* L.) oraz pstrągów morskich (*Salmo trutta* L.), które migrują od górnych części cieków wodnych, jak i schodzące w dół rzeki dorosłe osobniki węgorza europejskiego (*Anguilla anguilla* L.) (zwane „węgorzami srebrzystymi”), które ze względu na swoją wielkość są narażone na ponoszenie znacznych szkód podczas przechodzenia przez turbiny.

Węgorz należy do gatunków ryb wędrownych, dwuśrodowiskowych. Został zaklasyfikowany jako gatunek zagrożony wyginięciem i wpisany do Czerwonej Księgi na poziomie krajowym (KEITH *et al.*, 1992). Stan populacji europejskiej węgorza został oceniony przez specjalistów z „Working Group on Eels¹” (WGE, 2007) jako alarmujący, gdyż jego zasoby mieszczą się poza biologicznymi granicami bezpieczeństwa. Ze względu na niepokojący spadek jego populacji w trzech stadiach cyklu biologicznego, C.I.E.M. (Conseil International pour l’Exploitation de la Mer – Międzynarodowa Rada Badań Morza) zaleca pilne opracowanie planu odnowy zmniejszającego poziom śmiertelności węgorzy srebrzystych migrujących w dół rzeki, wywołanej działalnością człowieka. Rozporządzenie Rady Unii Europejskiej (WE) n° 1100/2007 z dnia 18 września 2007 r. ustanawiające przepisy służące ochronie i zrównoważonej eksploatacji zasobów węgorza europejskiego przewiduje opracowanie przez państwa członkowskie planu gospodarowania zasobami węgorza, których długofalowym celem jest zmniejszenie ich śmiertelności wywołanej działalnością człowieka, a dokładnie - zapewnienie prawdopodobieństwa spłynięcia do morza co najmniej 40% populacji węgorza srebrzystego, która według najbardziej realnych szacunków spływałaby do morza, gdyby nie podlegała wpływowi działalności człowieka. W ramach planu gospodarowania zasobami węgorza każde państwo członkowskie powinno jak najszybciej wdrożyć odpowiednie środki, aby zmniejszyć śmiertelność węgorzy spowodowaną czynnikami niezwiązanymi z rybołówstwem, w tym także turbinami elektrowni wodnych.

¹ Zespół roboczy skupiający członków EIFAC (European Inland Fisheries Advisory Commission) i ICES (International Council for the Exploration of the Sea).

Obecnie, wysiłki badawcze i opracowania dążą do rozwiązania problemów związanych z migracją ryb w dół rzeki w miejscach zabudowań hydrotechnicznych. Skupiają się one na 3 typach rozwiązań (COURRET et LARINIER, 2007):

- konstrukcja miejsc pobierania wody „przyjaznych rybam”, wyposażonych w urządzenie umożliwiające przejście osobników przez zabudowę bez poniesienia szkód (tzw. przepławki),
- okresowe lub całkowite wstrzymanie pracy turbin podczas preferencyjnego okresu migracji w dół rzeki określonego gatunku lub gatunków,
- zastosowanie turbin „przyjaznych rybam” w miejscu istniejących turbin lub w miejscu nowych zabudowań (zwykle progi o niskim spadzie, które nie są jeszcze wyposażone).

Spółka MJ2 Technologies zaangażowała się w promowanie właśnie tego ostatniego rozwiązania: od kilku lat zajmuje się rozwojem i sprzedażą turbiny VLH (Very Low Head turbine; turbozespół do bardzo niskich spadów), która została zaprojektowana zgodnie z kryterium „przyjazności rybam”, aby umożliwić swobodną migrację ryb. Znalazło to odzwierciedlenie w jej charakterystyce, w której na szczególną uwagę zasługuje:

- duża średnica wirnika (4.5 m), dzięki której uzyskano znaczne przestrzenie pomiędzy kierownicami i pomiędzy łopatkami, ułatwiając przejście ryb,
- niska prędkość obrotowa wirnika (rzędu 40 obr./min),
- prędkość przepływu wody wewnątrz wirnika < 2 m/s,
- bardzo słabe wahania ciśnienia.

Aby ocenić rzeczywistą skuteczność zaprojektowanego rozwiązania, VLH było przedmiotem testów w naturalnym środowisku na smółkach i węgorzach srebrzystych w Troussy, usytuowanym w górze rzeki Tarn w pobliżu miasta Millau (ECOGEA, 2007, 2008a et 2008b). Podczas działania przy pełnym otwarciu oraz z pełną mocą, współczynniki ogólnej śmiertelności wynosiły 7.7% dla dużych, dorosłych węgorzy srebrzystych (356 – 1045 mm; mediana: 846 mm) i 3.1% dla smółków łososia atlantyckiego. Już te rezultaty pozwalają uznać VLH jako mniej szkodliwą dla węgorzy srebrzystych i smółków ryb łososiowatych w porównaniu z klasyczną turbiną Kaplana.

Na podstawie przeprowadzonych badań określono źródło śmiertelności ryb (obszar „zaciśnięcia” ryb między końcami łopaty a obudową wirnika), co stanowiło punkt wyjścia do znaczącej poprawy funkcjonowania turbin VLH w zakresie „przyjazności rybnom”.

W związku z tym, firma MJ2 Technologies zdecydowała się zmodyfikować profil hydrauliczny nowych turbin VLH (profil sferyczny w miejscu obudowy wirnika), aby jeszcze bardziej zredukować śmiertelność ryb przechodzących przez turbinę VLH podczas migracji w dół rzeki.

2. Cele badania

Jedną z nowych turbin VLH „ze sferyczną obudową wirnika” została umieszczona w Frouard (54) na rzece Mozeli w lutym 2010. Musiała zostać poddana testom dotyczącym migracji ryb w dół rzeki (w pierwszej kolejności ryb łososiowatych i węgorzy) w celu sprawdzenia czy zastosowane modyfikacje struktury maszyny rzeczywiście wyraźnie obniżają współczynnik śmiertelności ryb.

Niniejszy raport szczegółowo opisuje rezultaty badań przeprowadzonych w październiku 2010 na węgorzach żółtych i srebrzystych przechodzących przez VLH podczas wędrówki migracyjnej w dół rzeki.

3. Partnerzy Badania

3.1. Partnerzy finansowi

Badania przeprowadzone w Frouard otrzymały wsparcie finansowe od:

- Spółki MJ2 Technologies,
- ADEME, département des Energies Renouvelables (ADEME, Departament Energii Odnawialnych),
- France Hydro Electricité,
- Spółki Hydro Electrique de Frouard.

3.2. Partnerzy naukowcy i technicy

Schemat organizacyjny podmiotów współpracujących przy tworzeniu koncepcji protokołu i planu wykonywania badań przedstawia poniższa tabela.

		Organizacja	Narodowość
Zleceniodawca	J. Fonkenell	MJ2 Technologies	Francja
Wykonawca	T. Lagarrigue	Bureau d'études E.CO.G.E.A.	Francja
Przewodniczący Komitetu Naukowego	M. Larinier	Pôle Ecohydraulique ONEMA / CEMAGREF / IMFT	Francja
Komitet Naukowy	P. Baran	Pôle Ecohydraulique ONEMA / CEMAGREF / IMFT	Francja
Komitet Naukowy	S. Mougenez	ONEMA - DIR Nord-Est	Francja
Komitet Naukowy	D. Monnier	ONEMA - DIR Nord-Est	Francja
Komitet Naukowy	A. Gillet	Direction des Aménagements Paysagers	Belgia
Komitet Naukowy	P. Orban	Direction des Cours d'eau non navigables	Belgia
Komitet Naukowy	D. Sonny	Profish	Belgia
Komitet Naukowy	D. Ingendahl	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur - und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen	Niemcy

Tabela 1. Schemat organizacyjny „badań na węgorzach” przeprowadzonych w Frouard

4. Miejsce badania

4.1. Zabudowa Frouard na Mozeli

Elektrownia wodna Frouard, która jest ulokowana na rzece Mozeli w pobliżu Nancy, znajduje się między elektrownią w Aingerey w górze rzeki i Pompey w dole rzeki. Średni przepływ roczny Mozeli w Frouard wynosi około 65 m³/s (63.2 m³/s wg stacji pomiarowej Banque Hydro w Toul, około 10 km w górę rzeki od elektrowni w Frouard, w latach 1960 – 2010).

Elektrownia przetwarza w sumie około 72 m³/s wody przy spadzie brutto (spadzie statycznym) wynoszącym około 2.6 m. Całkowita moc elektryczna wynosi 1500 kW. Działanie przebiega zgodnie z nurtem rzeki. Podczas badań, przepływy wody na wejściu do elektrowni były nieregularne z powodu działania śluz w górze rzeki.

Elektrownia Frouard składa się w rzeczywistości z 3 małych niezależnych elektrowni. Elektrownia „młyna” zawiera 2 turbiny śmigłowe osiągające natężenie przepływu 10 m³/s każda, o mocy jednostkowej wynoszącej 200 kW. Elektrownia „wyspy” zawiera turbinę Kaplana, z pojedynczą regulacją, osiągająca 30 m³/s przy mocy 700 kW. W końcu, elektrownia „śluzy” zawierająca nową turbinę VLH 4500, która była przedmiotem badań.

Turbina ze sferyczną obudową wirnika działa od lutego 2010. Zawiera 8 łopat. Jej maksymalna moc elektryczna, ograniczona przez kontrakt sprzedaży energii, wynosi 400 kW. Natomiast jej wydajność to 22 m³/s przy spadzie netto (spadzie użytecznym) wynoszącym 2.4 m.



Zdjęcie 1. Turbina VLH elektrowni śluzy w Frouard podczas opróżniania komory wody



Zdjęcie 2. Ujście wody z działającej turbiny VLH w Frouard

5. Opis zastosowanych urządzeń

Urządzenie zastosowane do niniejszych badań było bardzo podobne do urządzenia użytego podczas testów w Troussy (ECOGEA, 2007, 2008a, 2008b). Składało się z dwóch podstawowych części: urządzenia do podawania węgorzy do turbiny i urządzenia do podejmowania węgorzy na wyjściu z turbiny.

5.1. Urządzenie do wprowadzania węgorzy

Urządzenie do wprowadzania ryb zostało obmyślane tak, aby zmusić węgorze do przejścia przez turbinę. Było ono niezbędne, gdyż samo wypuszczenie węgorzy w górze rzeki i czekanie aż same przepłyną przez turbinę wiązało się z ryzykiem: a) utraty części osobników, które mogłyby ponownie wpłynąć do kanału doprowadzającego, aby dostać się do Mozeli (brak cienkiej siatki w górze rzeki i mała prędkość przepływu w kanale doprowadzającym) i b) uszkodzenia urządzenia do podejmowania węgorzy (szybkie zatykanie sieci i węża w tej porze roku).

Urządzenie do wprowadzania węgorzy wykorzystane w Frouard, chociaż mniejsze, wzorowało się na różnych badaniach, a w szczególności na badaniach przeprowadzonych w Québecu na rzece Saint-Laurent (DESROCHERS, 1995; THERRIEN, 1999). Składało się ze zbiornika z wodą mieszczącego około dziesięciu węgorzy, który był połączony z rurą PVC (\varnothing 200 mm) umożliwiającą podawanie węgorzy bezpośrednio do kierownic turbiny. W celu wprowadzenia węgorzy w określone miejsce turbiny wykorzystano specjalny metalowy element, który stabilizował rurę tłoczącą w miejscu podawania ryb. Ten metalowy element został umieszczony w komorze z wodą przez dwóch nurków, przy wyłączonej turbinie.



Zdjęcie 3. Zbiornik z wodą połączony z rurą PVC umożliwiającą podawanie węgorzy bezpośrednio do kierownic turbiny



Zdjęcie 4. Widok na rurę tłoczącą połączoną z metalowym elementem zainstalowanym na wieńcu kierownic VLH, komora wody pusta



Zdjęcie 5. Widok z wody na zamieszczony metalowy element do wprowadzania ryb, zachodzący na metalowe szprychy wieńca kierownic turbiny



Zdjęcie 6. Zbiornik wody zawierający węgorze w momencie ich podawania

Aby wprowadzić ryby do turbiny, należało wyciągnąć korek komory, powodując odpływ wody ze zbiornika i wypuszczenie części węgorzy - „głową do przodu”. Pozostałe węgorze trzeba było zmusić do wpłynięcia do rury PVC ręcznie.

5.2. Urządzenie do odławiania węgorzy

Urządzenie do odzyskiwania węgorzy było zbudowane z metalowej ramy 6 x 3.5 metra, umieszczonej na wyjściu z turbiny, wstawionej w szczeliny ścian bocznych komory śluzy i spoczywającej na betonowym dnie. Aby maksymalnie ograniczyć ryzyko ucieczki osobników na wyjściu z turbiny, zaraz po umieszczeniu ramy nurkowie sprawdzili czy nie ma żadnej przestrzeni między ramą a częściami betonowymi (dnem i szczelinami w ścianach bocznych komory śluzy).



Zdjęcia 7 i 8. Stelaż podtrzymujący siatkę zamontowany za pomocą dźwigu

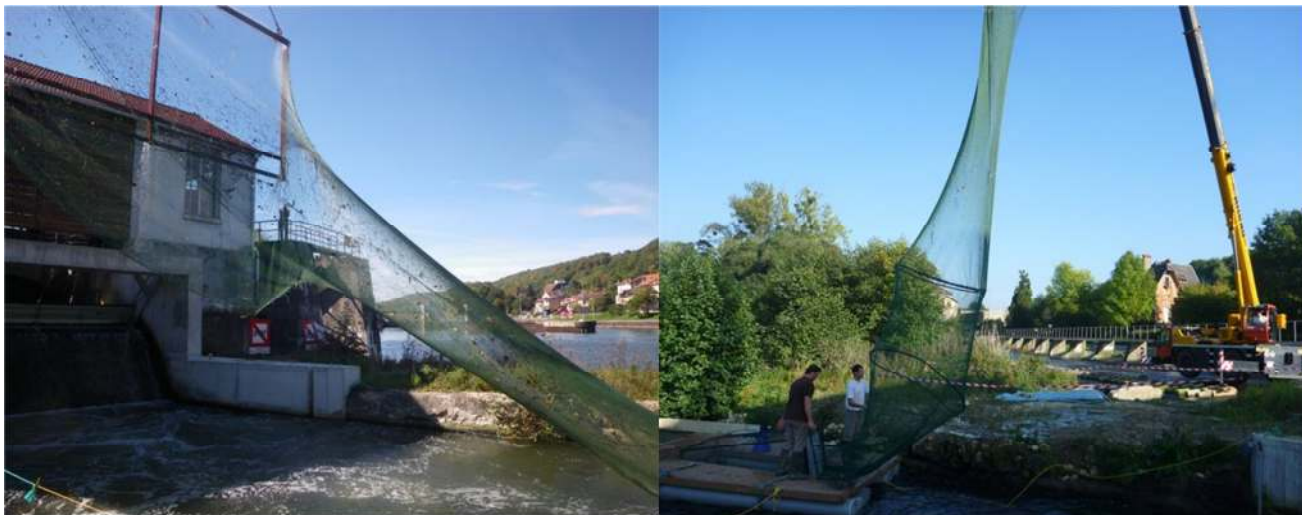


Zdjęcie 9. Nurkowie kontrolujący połączenia między betonem a stelażem



Zdjęcie 10. Widok z wody na właściwe połączenie między stelażem a betonowym dnem

Stelaż służył jako wspornik dla bezwęzłowej siatki poliamidowej, która była bardzo elastyczna i nieuszkodzająca dla ryb (patrz: Aneks). Siatka składała się z 3 malejących oczek (27 mm, 15 mm i 10 mm) i mierzyła około 14 metrów.



Zdjęcie 11. Widok na kieszeń uformowaną na poziomie największych oczek przed wejściem do „skarpetki” uformowanej przez dwa mniejsze oczka

Zdjęcie 12. Zbliżenie na dwie podłużnice w końcowej części siatki podtrzymywane przez dźwig

Siatka była wyposażona w dwa elementy usztywniające, które utrzymywały otwartą kieszeń siatki do czasu jej opróżnienia w zarybionym zbiorniku wodnym (wymiary: 1,5 x 1 x 1 metry – patrz: Aneks), umożliwiając przetrzymywanie i odzyskiwanie ryb. Zbiornik, sztywno połączony z pływającą tratwą, był zanurzony w $\frac{2}{3}$. Wlot do zbiornika wyposażono w system przeciw powrotny, aby ryby nie mogły się z niego wydostać. Pokryto go bezwęzłową siatką poliamidową z oczkami o wielkości 10 mm. Przejścia pomiędzy brzegiem a tratwą odbywały się za pomocą łodzi.



Zdjęcie 13. Urządzenie do podejmowania ryb, VLH podczas pracy



Zdjęcie 14. Podejmowanie za pomocą czepaka węgorzy znajdujących się w zbiorniku wodnym podtrzymywanym przez pływającą tratwę

Ryby podjęte ze zbiornika wodnego za pomocą czepaka transportowano do miejsca ich przetrzymywania w plastikowych pojemnikach (odległość do przebycia wnosila około 80 m).

Całą konstrukcję do podejmowania węgorzy zainstalowano za pomocą dźwigu (udźwig: 40 ton). Najpierw umieszczano tratwę podtrzymującą zarybiony zbiornik wodny. Następnie stelaż. Na końcu wykonano połączenie pomiędzy siatką a zbiornikiem wodnym.



Zdjęcie 15. Dźwig przy zbiorniku



Zdjęcie 16. Montowanie stelaża za pomocą dźwigu

6. Materiał biologiczny

6.1. Pochodzenie węgorzy

244 węgorze użyte do badań to węgorze złapane za pomocą elektropułowu (co wyjaśnia jednocześnie uzyskanie węgorzy żółtych i srebrzystych). Zostały kupione od zawodowego rybaka niemieckiego (M. Götz Kuhn), stacjonującego w Karlsruhe i praktykującego po niemieckiej stronie Renu. Transport do Frouard został zrealizowany przez Towarzystwo Association Saumon Rhin, które dysponuje przyczepą ze zbiornikiem i systemem natleniania, przystosowaną do tego typu zadań. Aby nie przeciążyć zbiornika transportowego, transport wykonano dwukrotnie - 29.09.2010 i 01.10.2010.

6.2. Przechowywanie węgorzy

Węgorze przetrzymywano w 6 okrągłych zbiornikach (o pojemności 600 litrów) i podawano im przez cały czas wodę z Mozeli za pomocą 2 zanurzonych pomp obiegowych. Zbiorniki zostały umieszczone w elektrowni w Frouard, w pobliżu turbiny VLH.



Zdjęcie 17. Widok na pięć z sześciu okrągłych zbiorników do przechowywania węgorzy

Zdjęcie 18. Widok na sześć przykrytych zbiorników do przechowywania ryb i przelewanie się wody z rur przelewowych (po dwie na zbiornik)

	Woda w Mozeli – pomiary w zbiornikach
O ₂	9.90 mg/l
	98% nasycenia
Temperatura o 10 ⁰⁰	13.9°C

Tabela 2. Podstawowe właściwości fizykochemiczne wody z Mozeli

Właściwości fizykochemiczne wody z Mozeli odnotowane w zbiorniku dnia 07.10.2010, o godzinie 10⁰⁰ wskazują, że woda jest dobrze utleniona, ale jeszcze relatywnie „ciepła” jak na tę porę roku.

6.3. Parametry morfometryczne węgorzy

Po dokonaniu znieczulenia wszystkich osobników za pomocą goździka, oszacowano ich stan zdrowia. Następnie zanotowano otrzymane wyniki uwzględniając schematyczną lokalizację ewentualnych wad rozwojowych oraz ran i skaleczeń (martwice, wrzody, ropnie, itp.). Wszystkie ryby zostały zmierzone (z dokładnością do 1 mm), a tylko próbka 55 osobników została indywidualnie zważona (z dokładnością do 1 g).

Poziom srebrzystości osobników nie został dokładnie oceniony (nie stosowano np. pomiaru wskaźnika długości płetwy piersiowej). Dokonano jakościowej oceny wielkości oka ryb i ogólnego ubarwienia, co umożliwiło wyciągnięcie wniosku, że 20 - 25% węgorzy użytych do badań to węgorze srebrzyste.

6.3.1. Struktura wielkości i wagi

	Taille (mm)	Poids (g)
médiane	761	843
moyenne	760.5	886
min	610	557
max	1002	1963
nb. individus	244	55

Tabela 3. Parametry wielkości i wag węgorzy użytych do badań

Kolumny: Wielkość (mm), Waga (g)

Wiersze: mediana, średnia, min, max, liczba osobników

Wielkość 244 węgorzy użytych do badań w Frouard mieściła się między 610 mm a 1002 mm (mediana: 761 mm). Ich wielkość minimalna wynosząca 610 mm wskazuje, że prawdopodobnie były to tylko samice (w Loarze, wielkość samców srebrzystych < 47 cm).

Waga 55 zważonych węgorzy zawierała się między 557 g a 1963 g (mediana: 843 g).

7. Zastosowany protokół eksperymentalny

Badania odbywały się między 4 a 8 października, po testach wstępnych przeprowadzonych w czerwcu 2010 na hodowlanych pstrągach tęczowych w celu przetestowania urządzenia.

7.1. Pochodzenie zastosowanego protokołu

Zastosowany protokół, bardzo podobny do protokołu badań użytego w Troussy (ECOGEA, 2007, 2008a, 2008b), wzorował się w dużej części na protokole eksperymentalnym zastosowanym pod koniec lat 80-tych, dla doświadczeń prowadzonych na kilku rzekach

francuskich (DARTIGUELONGUE et LARINIER, 1987 ; LARINIER et DARTIGUELONGUE, 1989) i zagranicznych (MONTREAL ENGINEERING COMPANY, 1981 et 1982 ; KYNARD *et al.*, 1982 ; GLOSS et WALH, 1983 ; BELL et KYNARD, 1985 ; MONTEN, 1985). Polegał na wprowadzeniu ryb w pobliże wejścia do wirnika i na ich podjęciu bezpośrednio na wyjściu z turbiny poprzez przefiltrowanie całego przepływu za pomocą siatki.

7.2. Badane miejsca podawania ryb

Nie wiedząc *a priori*, w którym miejscu wirnika węgorze spływające „naturalnie” w dół rzek są narażone na wkręcenie się, wprowadziliśmy ryby w 4 miejscach (3 miejsca były już testowane w Troussy: blisko piasty, w połowie łopaty i na obwodzie wirnika).

Płaszczyznę wirnika turbiny podzielono na cztery pierścienie o jednakowej powierzchni. Każdy pierścień charakteryzował się inną szerokością, której środek wyznaczał miejsce podawania ryb (patrz: Aneks).

7.3. Skład różnych serii zastosowanych w badaniach

Aby oszacować ewentualny „wpływ wielkości” ryb na współczynniki śmiertelności spowodowane przez turbinę VLH, podzieliliśmy węgorze na 2 kategorie wielkościowe. Żeby nie trzeba było dwukrotnie znieczulać wszystkich węgorzy (pierwszy raz, aby uzyskać medianę wielkości 244 osobników i drugi raz, aby podzielić je na 2 grupy), granicę grup wielkościowych wyznaczono podczas pomiaru próbki 40 osobników i zastosowano do pozostałych osobników, to znaczy:

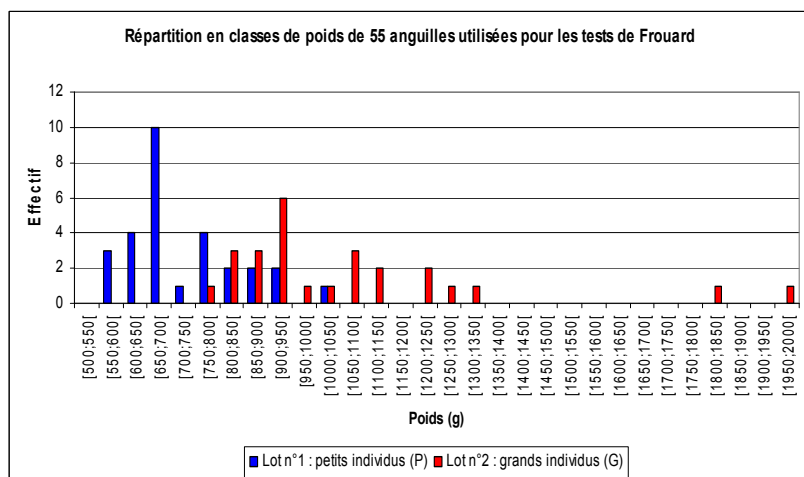
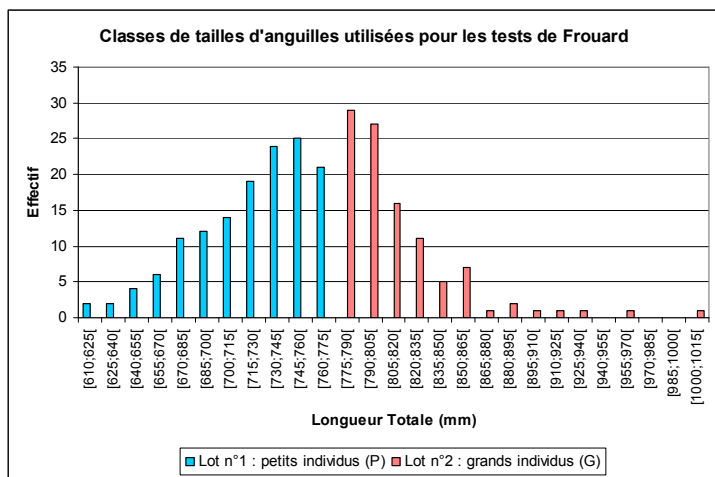
- „Duże osobniki”: węgorze o długości całkowitej > 775 mm (108 osobników),
- „Małe osobniki”: węgorze o długości całkowitej ≤ 775 mm (136 osobników).

Classe de taille	Taille (mm)		Poids (g)	
	"Petites"	"Grandes"	"Petites"	"Grandes"
médiane	726	800	687	959
moyenne	719	812	726	1065
min	610	778	557	785
max	775	1002	1090	1963
nb. individus	136	108	29	26

Tabela 4. Parametry wielkości i wag dwóch kategorii wielkościowych węgorzy

Kolumny: Kategoria wielkościowa, Wielkość (mm) („Małe”, „Duże”), Waga (g) („Małe”, „Duże”)

Wiersze: mediana, średnia, min, max, liczba osobników.



Ilustracja 1. Rozkład wielkości węgorzy użytych do badań w Frouard

Ilustracja 2. Rozkład wagi węgorzy użytych do badań w Frouard

Wykres po lewej: Kategorie wielkościowe węgorzy użytych do badań w Frouard

- oś pozioma: Długość całkowita (mm); niebieski: Seria n°1: małe osobniki (P); czerwony: Seria n°2: duże osobniki (G)
- oś pionowa: Liczebność

Wykres po prawej: Rozkład grup ze względu na wagę 55 węgorzy użytych do badań w Frouard

- oś pozioma: Waga (g); niebieski: Seria n°1: małe osobniki (P); czerwony: Seria n°2: duże osobniki (G)
- oś pionowa: Liczebność

W ten sposób, utworzono 9 serii:

- „Duże osobniki” (dł. > 775 mm): 4 serie po 25 osobników do wprowadzenia w czterech miejscach urządzenia,
- „Małe osobniki” (dł. ≤ 775 mm): 4 serie po 25 osobników do wprowadzenia w czterech miejscach urządzenia,
- Węgorze martwe (mieszanka dwóch kategorii wielkościowych): 1 seria składająca się z 25 martwych węgorzy w celu oszacowania współczynnika odzyskania martwych osobników.

7.4. Typowy przebieg wypuszczania węgorzy

Urządzenie do odławiania (stelaż z siatką połączoną z wężem na pływającej tratwie) zostało umieszczone dopiero po uruchomieniu turbiny VLH i ustawieniu jej parametrów pracy na niską moc (od 100 kW do 150 kW). Dzięki temu wytworzono nurt, który pozwolił na uniknięcie przyczepienia się siatki do dna kanału odpływowego.

Zastosowanie urządzenia do odławiania umożliwiło bezpieczne podjęcie serii węgorzy oraz ich transport do zbiorników przeznaczonych do przechowywania. Węgorze przygotowane do wpuszczenia zostały przyniesione w pojemniku wypełnionym wodą na prawy brzeg ściany bocznej komory śluzy i wlane do zbiornika połączonego z przewodem do wprowadzania. Gdy tylko stan pracy turbiny się ustabilizował (pełne otwarcie i pełna moc), korek zbiornika został wyjęty, a węgorze „wprowadzono” przez przewód PVC bezpośrednio na wysokości kierownicy turbiny.



Zdjęcie 19. „Ręczne” podawanie ostatnich węgorzy ze zbiornika

Po pół godzinie od wprowadzenia większość węgorzy odnalazła się w siatce przeznaczonej do odzyskiwania, po przejściu przez turbinę. Utrzymując sposób funkcjonowania turbiny z pełną mocą, aby uniknąć ucieczki niektórych osobników, stelaż został podniesiony przez żuraw, co umożliwiło skupienie osobników w dolnej części siatki. Po tej czynności siatka została odłączana, a jej zawartość opróżniono do zbiornika, z którego odłowiono węgorze za pomocą czerpaka.



Zdjęcie 20 i 21. Zdjęcie siatki przy pomocy dźwigu powodujące koncentrację węgorzy w dolnej części siatki



Zdjęcie 22. Przenoszenie ryb z dolnej części siatki do zbiornika



Zdjęcie 23. Odławianie węgorzy za pomocą czerpaka

Wszystkie złapane gatunki (węgorze oraz inne) przeniesiono do pojemników przeznaczonych do ich przechowywania. Gatunki inne niż węgorze były w większości tylko identyfikowane, liczone i mierzone. Natomiast węgorze policzono, a następnie uważnie obejrzano w celu ustalenia ewentualnych uszkodzeń lub ran (ślady uderzeń, zadrapania, przecięcia, zdeformowany kręgosłup, itp.). Ponadto, węgorze poddano obserwacji podczas kolejnych 24 – 48 godzin (ocena ewentualnej odroczonej śmiertelności).

7.5. Wykonane zmiany w celu poprawy współczynników ponownego podjęcia ryb

Współczynnik ponownego podjęcia dwóch pierwszych serii testowanych ryb był niezadowalający, gdyż wynosił zaledwie 32% (8/25) dla kategorii „małych” węgorzy i 68% (17/25) dla „dużych”. A zatem, chociaż nie odnotowano śmiertelności wśród odzyskanych osobników z tych dwóch serii, to zdecydowaliśmy się powtórzyć test po wprowadzeniu następujących zmian:

- przeznaczylimy więcej czasu na całkowitą i drobiazgową kontrolę siatki, aby przed ponowieniem badań zidentyfikować i naprawić jak najwięcej dziur występujących na jej całej długości,
- pozostawiliśmy turbinę VLH działającą z pełną mocą przez co najmniej 25 minut po wprowadzeniu węgorzy (ten czas było o wiele krótszy w dwóch pierwszych seriach).

W konsekwencji, te dwie zmiany umożliwiły wyraźną poprawę współczynników odzyskania węgorzy w przypadku obu kategorii wielkościowych.

8. Warunki realizacji badań

Odnotowaliśmy, że woda w Mozeli podczas badań była stosunkowo ciepła jak na tę porę roku, gdyż mieściła się w przedziale między 12.5 °C a 14.2 °C w zależności od dnia i godziny pomiaru. W pewnym stopniu jest to związane ze niskimi parametrami hydrologicznymi w trakcie testów.

8.1. Sposób funkcjonowania turbiny podczas badań

Chociaż migrację węgorzy w dół rzeki we Francji można obserwować od lipca do wiosny, a w przypadku niekorzystnych warunków hydroklimatycznych nawet przez cały rok, to okresem preferencyjnym jest zwykle okres od października do stycznia. (GOSSET *et al.*, 2002 ; DURIF, 2003). Zasadniczo przebiega ona etapami odbywającymi się w nocy, w czasie wzrostu przepływu wody („uderzenia hydrauliczne”), któremu towarzyszy spadek temperatury i wzrost zmętnienia (GOSSET *et al.*, 2002 ; SUBRA *et al.*, 2003 ; TRAVADE *et al.*, 2010).

Podczas okresu roku o wysokich parametrach hydrologicznych przepływ rzeki jest przeważnie wyższy od możliwości elektrowni o niskim spadzie, która jest wyposażona w turbinę VLH. W związku z tym, zdecydowaliśmy, aby zrealizować testy w warunkach zbliżonych do tych, które występują w czasie dużych przepływów, to znaczy, że turbina działała prawie przy pełnym otwarciu (95% otwarcia nominalnego), z pełną mocą (ograniczoną do 400 kW przez kontrakt sprzedaży energii) oraz z prędkością obrotową wynoszącą 38 obr./min.

9. Rezultaty

9.1. Współczynnik ponownego podjęcia

W przypadku kategorii „dużych osobników”, współczynniki ponownego podjęcia wynosiły od 88% do 100% (średnia: 93%). Ponadto, nie zaobserwowano żadnego osobnika uciekającego z siatki.

Natomiast, współczynniki ponownego podjęcia dla kategorii „mały osobników” wynosiły od 72% do 100% (średnia: 84%). W trzech na cztery wprowadzone serie „małych osobników”, zaobserwowaliśmy po 2 węgorze w serii, które żywe uciekły z siatki podczas jej wyciągania za pomocą dźwigu. Za każdym razem uciekały w tym samym miejscu, to znaczy w obrębie

kieszoni uformowanej przez największe oczka, przed wejściem do „skarpetki” utworzonej z dwóch mniejszych oczek.



Zdjęcie 24. Węgorz z grupy „małych osobników” w trakcie ucieczki z kieszonki uformowanej w górnej części siatki



Zdjęcie 25. Węgorz z grupy „małych osobników” zablokowany w kieszonce uformowanej w górnej części siatki przed ucieczką z niej



Zdjęcie 26. Śluz pozostawiony przez węgorza z grupy „małych osobników” podczas przejścia przez duże oczka na w miejscu kieszonki uformowanej w górnej części siatki

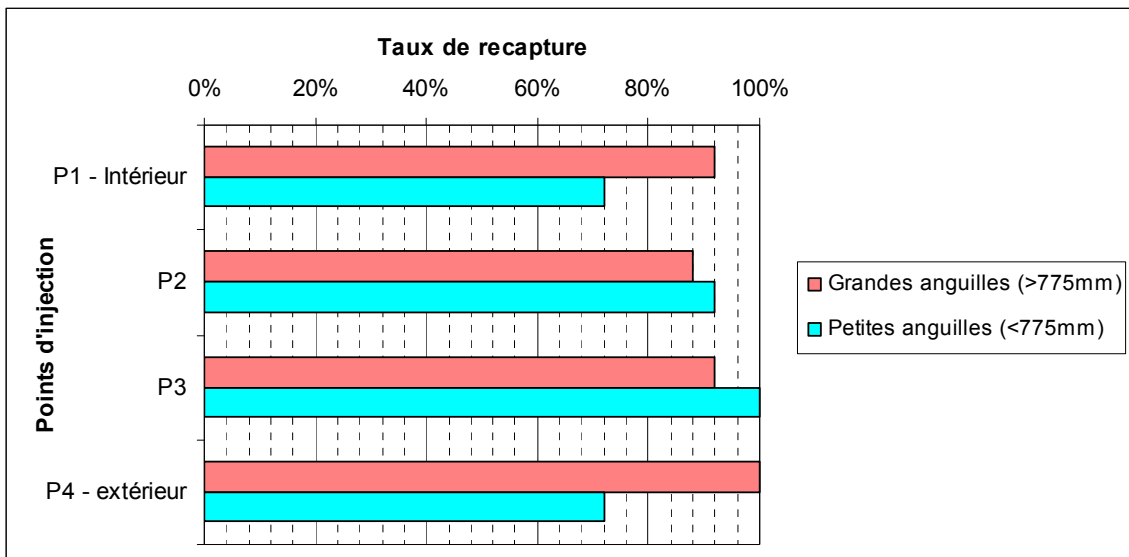
Seria n°9 – Węgorze martwe

Biorąc pod uwagę, że współczynnik ponownego podjęcia nie obejmował wszystkich osobników dla wszystkich serii, utworzyliśmy podgrupę składającą się z 25 martwych węgorzy (mieszanka dwóch kategorii wielkościowych), którą poddaliśmy testom w miejscu P1 (blisko piasty).

Wszystkie wprowadzone martwe węgorze zostały odłowione (współczynnik ponownego podjęcia wyniósł 100%), co pozwoliło nam na postawienie hipotezy, że nieodzyskane osobniki z badanych serii są osobnikami żywymi, zdolnymi do aktywnego szukania dziury w siatce, aby z niej uciec. Takie same obserwacje poczyniliśmy w trzech na cztery serie wprowadzonych węgorzy z kategorii „małych osobników” podczas wyciągania siatki.

Test n°	Miejsce podania (odległość między piastą a miejscem podania)	Kategoria wielkościowa	Liczba węgorzy			Współczynnik ponownego podjęcia
			wprowadzonych	odłowionych	nieodłowionych, ale widziane żywe podczas ucieczki	
1	P1 – Część wewnętrzna (30 cm)	« Duże osobniki » (Dł. > 775 mm)	25	23	-	92%
2		« Małe osobniki » (Dł. ≤ 775 mm)	25	18	2	72%
3	P2 (76 cm)	« Duże osobniki » (Dł. > 775 mm)	25	22	-	88%
4		« Małe osobniki » (Dł. ≤ 775 mm)	25	23	2	92%
5	P3 (113 cm)	« Duże osobniki » (Dł. > 775 mm)	25	23	-	92%
6		« Małe osobniki » (Dł. ≤ 775 mm)	25	25	-	100%
7	P4 – Część zewnętrzna (146 cm)	« Duże osobniki » (Dł. > 775 mm)	25	25	-	100%
8		« Małe osobniki » (Dł. ≤ 775 mm)	25	18	2	72%
9	P1 – Część wewnętrzna (30 cm)	Mieszanka martwych « dużych i małych osobników »	25 martwych	25 martwych	-	100%

Tabela 5. Współczynniki ponownego podjęcia ze względu na kategorię wielkościową węgorzy i miejsce ich podania





Ilustracja 3. Współczynniki ponownego podjęcia różnych serii wprowadzonych węgorzy

Wykres:

- **oś pionowa:** Miejsca podania (P1 – część wewnętrzna, P2 – część zewnętrzna)
- **oś pozioma:** Współczynnik ponownego podjęcia
- **legenda:**
 - » Duże osobniki (> 775 mm)
 - » Małe osobniki (< 775 mm)

9.2. Ocena szkód poniesionych przez węgorze

Test n°	Miejsce podania (odległość między piastą a miejscem podania)	Kategoria wielkościowa	Liczba węgorzy				Zdjęcia powierzchniowych ran
			odłowionych	nieuszkodzonych	uszkodzonych	żywych, ale ze śladami uderzeń	
1	P1 – Część wewnętrzna (30 cm)	« Duże osobniki » (Dł. > 775 mm)	23	23	0	0	
2		« Małe osobniki » (Dł. ≤ 775 mm)	18	18	0	0	
3	P2 (76 cm)	« Duże osobniki » (Dł. > 775 mm)	22	21	0	1 (zadrapanie z krwawieniem pod głową)	
4		« Małe osobniki » (Dł. ≤ 775 mm)	23	21	0	2 (jedno zadrapanie z krwawieniem i jedno krwawienie z wieczka skrzelowego)	
5	P3	« Duże osobniki » (Dł. > 775 mm)	23	23	0	0	

6	(113 cm)	« Małe osobniki » (Dł. ≤ 775 mm)	25	25	0	0	
7	P4 – Część zewnętrzna (146 cm)	« Duże osobniki » (Dł. > 775 mm)	25	24	0	1 (lekki ślad uderzenia na ciele)	Brak zdjęcia
8		« Małe osobniki » (Dł. ≤ 775 mm)	18	18	0	0	

Tabela 6. Główne rezultaty przeprowadzonych badań

W sumie, na 200 wprowadzonych węgorzy (8 serii po 25 osobników każda) nie odnotowano natychmiastowej śmierci żadnego osobnika (jak na przykład w Troussy, w wyniku przecięcia).

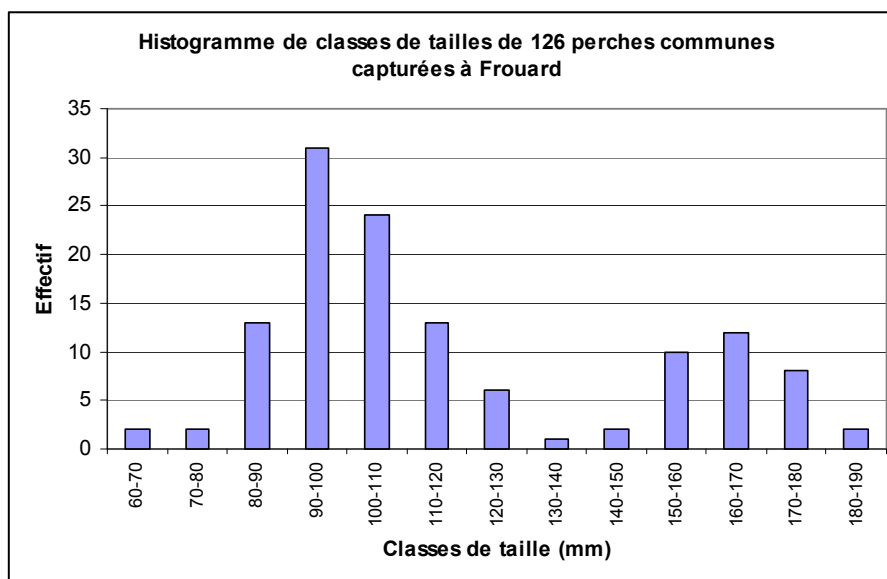
Wśród 177 węgorzy ponownie odłowionych w siatkę po ich przejściu przez turbinę VLH, uważna obserwacja ich wyglądu zewnętrznego (brak autopsji osobników) wykazała obecność zewnętrznych skaleczeń i ran u czterech osobników (po dwa w każdej kategorii wielkościowej). Nie były one jednak śmiertelne w krótkim okresie czasu (brak śmiertelności po obserwacji przeprowadzonej w zbiornikach w czasie 24 – 48 godzin). Ponadto, nie można wykluczyć, że skaleczenia i rany powstały podczas odzyskiwania węgorzy, a zwłaszcza w trakcie prób ucieczki węgorzy przez oczka siatki.

Niniejsze badania dowodzą, że wskaźnik skaleczeń i ran, które doprowadzają do natychmiastowej śmierci, jest ekstremalnie niski, a nawet zerowy, oraz że wskaźnik skaleczeń i ran, które nie są śmiertelne w krótkim okresie czasu, jest bliski 2%.

W przeciwieństwie do badań przeprowadzonych w Troussy, nie zaobserwowano wpływu miejsca podawania węgorzy na wskaźniki skaleczeń i ran. Ponadto, w przeciwieństwie do obserwacji wykonanych przy innych typach turbin, nie odnotowano również wpływu wielkości osobników na wskaźniki skaleczeń i ran.

9.3. Inne gatunki schwytane podczas badań

Podczas badań realizowanych w Frouard, oprócz wprowadzonych węgorzy, złapano również: 195 okoni pospolitych (o długości od 66 mm do 185 mm), 8 jazgarzy (o długości od 112 mm a 120 mm), 1 płóc (76 mm), 1 leszcza pospolitego (70 mm) i 3 raki pręgowane (*Orconectes limosus*).



Ilustracja 4. Histogram kategorii wielkościowych okoni pospolitych złapanych w Frouard

Wykres :

Histogram kategorii wielkościowych 126 okoni pospolitych złapanych w Frouard

- **oś pionowa:** Liczba
- **oś pozioma:** Kategoria wielkościowa (mm)

Chociaż nie jest możliwe określenie proporcji pomiędzy osobnikami, które w rzeczywistości przeszły przez działającą turbinę VLH a tymi, które przeszły przez wyłączoną VLH czy osobnikami uwięzionymi w kanale odpływowym poprzez umieszczenie urządzenia do odzyskiwania węgorzy - nie zaobserwowano bezpośredniej śmiertelności w wyniku przecięcia w przypadku innych gatunków.

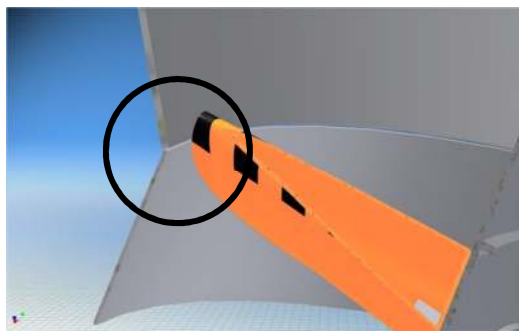
10. Dyskusja

Modyfikacja profilu hydraulicznego turbin VLH

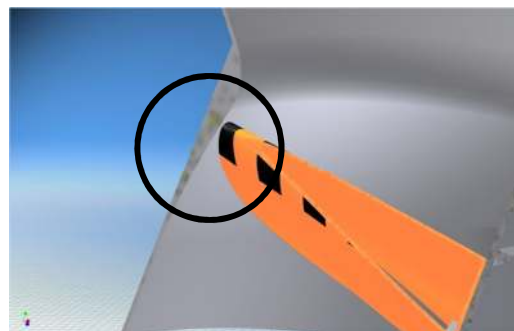
Podczas badań w Troussy, dzięki wprowadzeniu węgorzy w trzech miejscach turbiny VLH, wykazano, że współczynnik śmiertelności ryb był zerowy w pobliżu piasty, pośredni w połowie łopaty, a maksymalny na obwodzie wirnika. Ze względu na maksymalną śmiertelność na obwodzie wirnika, typ i wyrazistość stwierdzonych skaleczeń i ran (węgorze i pstrągi przecięte na dwie części), względnie niską prędkość obrotową wirnika i mocno zaokrąglony profil krawędzi natarcia łopat doszliśmy do wniosku, że zaobserwowane rany i skaleczenia nie mogły powstać w wyniku zderzenia z łopatami i że najprawdopodobniej osobniki zostały przecięte między obudową wirnika a zakończeniem łopaty (cylindryczna

obudowa wirnika turbiny VLH na zakończeniu łopaty tworzyła przestrzeń, która wystarczyła, aby nawet węgorz dużych rozmiarów mógł się w niej zaklinować i zostać przecięty).

W związku z tym, producent zdecydował się zmodyfikować profil hydrauliczny na zakończeniach łopat w kierunku profilu sferycznego, prawie całkowicie usuwając przestrzeń, która stanowiła wysoce prawdopodobne źródło śmiertelności ryb. W ten sposób powstały nowe turbiny VLH, jak na przykład ta zainstalowana w Frouard.



Ilustracja 5. Cylindryczna obudowa turbiny VLH w Troussy i potencjalny obszar przecięcia osobników na zakończeniu łopaty



Ilustracja 6. Sferyczna obudowa na zakończeniu łopaty nowych turbin VLH zmniejszająca potencjalny obszar przecięcia osobników

Aby sprawdzić, czy zastosowane modyfikacje struktury maszyny rzeczywiście obniżają współczynniki śmiertelności ryb, przeprowadzono badania w Frouard. W celu uzyskania jak najdokładniejszej oceny śmiertelności węgorzy, wprowadzono je w 4 miejscach urządzenia.

Sposób funkcjonowania turbiny podczas badań

Badania zostały przeprowadzone podczas działania turbiny przy pełnym otwarciu oraz z pełną mocą, tzn. przy typowym sposobie jej funkcjonowania w okresie migracji ryb. Okresem preferencyjnym migracji węgorzy w dół rzeki we Francji jest zwykle okres od października do stycznia (GOSSET *et al.*, 2002 ; DURIF, 2003). Migracja węgorzy przebiega podczas wzrostów przepływu wody, którym towarzyszy spadek temperatury i wzrost zmętnienia (GOSSET *et al.*, 2002 ; SUBRA *et al.*, 2003 ; TRAVADE *et al.*, 2010). Przeprowadzone badania wykazały, że występuje tendencja do znacznego zwiększenia śmiertelności ryb w przypadku częściowego otwarcia turbin (GOMES et LARINIER, 2008), co jest jednak równoważone słabszym przepływem. Z tego względu ograniczyliśmy się do przetestowania turbin przy pełnym otwarciu. Tym samym, wnioski dotyczące funkcjonowania nowej turbiny VLH odnoszą się do jej działania przy pełnym otwarciu.

Współczynnik ponownego podjęcia

Współczynnik ponownego podjęcia w Frouard był niższy od współczynnika uzyskanego w Troussy, który wynosił 100% dla 3 testów w przypadku kategorii „dużych osobników” (Dł. > 850 mm) oraz od 90.5% do 93.3% (średnia: 91.9%) dla „małych osobników” (Dł. ≤ 850 mm). Zaobserwowane różnice mogą wyjaśnić dwa czynniki. Po pierwsze, podczas badań w Frouard użyto tej samej siatki, co wcześniej w Troussy: zestarzała się i stała się bardziej krucha. W związku z tym, mimo wielokrotnej kontroli siatki podczas badań, nie zidentyfikowano wszystkich dziur, przez które z całą pewnością mogły uciekać węgorze. Po drugie, ułożenie kanału odpływowego w Frouard różni się od ułożenia kanału odpływowego w Troussy i jest mniej korzystne do przeprowadzenia ponownego podjęcia węgorzy. Kanał odpływowy w Frouard jest znacznie głębszy od tego w Troussy, a prędkości są niższe. Z tego powodu, ryby nie są wystarczająco dobrze prowadzone w kierunku siatki, a później do zbiornika. W Troussy, prawie wszystkie wprowadzone osobniki znajdowały się w zbiorniku wodnym w ciągu zaledwie kilku minut od podania. Natomiast w Frouard turbina musiała działać z pełną mocą przez parędziesiąt minut, a i tak tylko niewielka część węgorzy trafiała do zbiornika - większość pozostawała w siatce, a znaczna część znajdowała się w kieszonce uformowanej w górnej części siatki (na poziomie największych oczek) przed wejściem do „skarpetki” uformowanej przez dwa mniejsze oczka. Jeśli nowe badania miałyby być przeprowadzone w Frouard (albo gdzie indziej?), należałoby przerobić siatkę tak, aby była krótsza, miała przekrój stożkowy i składała się tylko z dwóch najmniejszych oczek, aby ograniczyć do minimum ryzyko ucieczki ryb.

Współczynniki śmiertelności oraz wskaźniki skaleczeń i ran

Przyczyną występowania wyższych współczynników śmiertelności dorosłych osobników węgorzy jest najczęściej ich wielkość (LARINIER et TRAVADE, 2002). Współczynniki śmiertelności dorosłych osobników węgorzy są od czterech do pięciu razy wyższe w porównaniu ze współczynnikami śmiertelności młodych osobników łososia. Wynoszą one od 15% do 30% w przypadku turbin Kaplana o dużej średnicy stosowanych przy niskich spadach, a mogą dochodzić nawet od 50% do 100% w przypadku turbin o małej średnicy, które stanowią wyposażenie większości małych zabudowań hydrotechnicznych i/lub w przypadku dużych spadów (DESROCHERS, 1985; MONTEN, 1985; LARINIER et DARTIGUELONGUE, 1989).

W miejscach zabudowań hydrotechnicznych o bardzo niskim spadzie, jak w Troussy czy Frouard, przeprowadzono bardzo niewiele badań dotyczących śmiertelności ryb przechodzących przez klasyczne turbiny Kaplana, które byłyby porównywalne z wynikami otrzymanymi dla turbiny VLH (najczęściej są to turbiny o podobnej wielkości lub większe, ale o zdecydowanie większym przepływie – LARINIER, *komentarz od autora*). W związku z tym, aby porównać współczynniki śmiertelności ryb uzyskane dla turbiny VLH z wynikami, które byłyby otrzymane dla takiego samego przepływu przy użyciu klasycznej turbiny Kaplana, spróbowaliśmy ustalić parametry „turbiny Kaplana równoważnej” do turbiny VLH zainstalowanej w Frouard. Uwzględniając parametry turbin zaproponowane przez większość konstruktorów oraz biorąc pod uwagę dotychczasowe urządzenia występujące w podobnych miejscach, porównywalna klasyczna turbina Kaplana dla maksymalnego przepływu wynoszącego 20 m³/s przy spadzie 2.5 m powinna charakteryzować się następującymi właściwościami: średnica wirnika - 2.4 m; prędkość obrotowa wirnika - ok. 115 obr./min; wirnik zawierający 4 łopaty.

Współczynnik śmiertelności ryb otrzymany dla wyznaczonej równoważnej klasycznej turbiny Kaplana, oszacowany w oparciu o najnowsze metody predykcyjne śmiertelności opracowane przez GOMES i LARINIER (2008), wynosiłby od 30% do 37% w przypadku węgorzy o długości 70 cm i zawierałby się w przedziale między 45% a 53% w przypadku osobników o długości 90 cm.

Badania w Troussy przeprowadzone na pierwszej generacji turbin VLH wykazały, że współczynniki śmiertelności ryb były znacznie niższe w porównaniu ze współczynnikami obliczonymi dla równoważnej turbiny Kaplana, gdyż wynosiły 7.7% (ECOGEA, 2008a).

W następstwie badań w Troussy dokonano modyfikacji struktury turbiny VLH. W ten sposób powstała druga generacja turbin VLH ze sferyczną obudową wirnika. Jedna z nich została umieszczona w elektrowni w Frouard. W rezultacie, uzyskano znaczącą poprawę funkcjonowania turbin VLH w zakresie „przyjazności rybam”, gdyż wskaźnik skaleczeń i ran, które doprowadzają do natychmiastowej śmierci, był ekstremalnie niski, a nawet zerowy, oraz wskaźnik skaleczeń i ran, które nie są śmiertelne w krótkim okresie czasu (24 – 48 godzin), był bliski 2%.

Śmiertelność odroczone

Podczas badań prowadzonych w Frouard nie oceniano odroczonej śmiertelności węgorzy. Wszystkie żywe osobniki z 8 wprowadzanych serii, które zostały odłowione w siatkę (tzn. 177 węgorzy), poddano obserwacji w czasie 24 - 48 godzin w zbiornikach przeznaczonych do ich przechowywania. Nie odnotowano żadnego przypadku śmiertelnego. Wszystkie węgorze, oprócz czterech osobników mających powierzchowne rany, były w dobrym stanie, nie były uszkodzone (brak śladów uderzeń, zadrapań, zdeformowanego kręgosłupa, itp.) ani nie wykazywały oznak jakichkolwiek zaburzeń (prawidłowy sposób poruszania się, właściwa reaktywność na dotyk, itp.).

W obliczu uzyskanych rezultatów, zdecydowaliśmy się nie oceniać odroczonej śmiertelności badanych ryb. W podjęciu tej decyzji kierowaliśmy się dwoma czynnikami: po pierwsze, trudno jest poprawnie ocenić odroczoną śmiertelność u węgorzy (przetrzymywanie węgorzy przez kilka tygodni pod obserwacją wiąże się z dużym ryzykiem wystąpienia epizootii, zwłaszcza w przypadku węgorzy srebrzystych, które stanowiły przecież co najmniej ponad 20% badanych osobników), a po drugie, nawet jeśli przeprowadzona ocena odroczonej śmiertelności ryb skoryguje uzyskane wyniki badań, to nie wyeliminuje "niekorzystnego" wpływu badań na zachowanie, migrację i reprodukcję przetrzymywanych węgorzy (HOLZNER, 2000 in GOMEZ et LARINIER, 2008).

Brak wpływu wielkości osobników

Wraz ze wzrostem wielkości ryb, wzrasta ich śmiertelność w trakcie przechodzenia przez turbinę (MONTEN, 1985; LARINIER et DARTIGUELONGUE, 1989; GOMES et LARINIER, 2008). Opierając się na dotychczasowej wiedzy celowo użyliśmy dużych osobników, aby zwiększyć wymagania prowadzonych badań (średnia długość: 761 mm; długość maksymalna: 1002 mm). Jednakże, nie odnotowaliśmy wpływu wielkości węgorzy na współczynnik ich śmiertelności.

Warto by było przeprowadzić badania na gatunkach ryb o mniejszych rozmiarach (np. smoltach), aby sprawdzić, czy nie istnieje obszar stanowiący ewentualne źródło ich śmiertelności, mimo, że nie stanowi on zagrożenia dla większych gatunków ryb, jak np. węgorzy (minimalna długość węgorzy użytych do badań w Frouard wynosiła 610 mm).

Brak wpływu miejsca podania węgorzy

Chociaż węgorze wprowadzono w czterech miejscach turbiny VLH, nie zaobserwowano wpływu miejsca podania ryb ani na ich śmiertelność w krótkim okresie czasu (współczynnik śmiertelności był bardzo niski bez względu na miejsce podania) ani na występowanie skaleczeń lub ran, które nie są śmiertelne w krótkim okresie czasu (3 na 4 zranione węgorze zostały wprowadzone w połowie łopaty). Wszystko wskazuje na to, że zastosowane modyfikacje struktury turbiny VLH zlikwidowały obszar „zaciśnięcia” ryb między końcami łopat a cylindryczną obudową wirnika, który został zidentyfikowany w pierwszej generacji turbin VLH, jak np. w turbinie w Trouussy.

11. Wnioski - perspektywy

Podsumowując: wskaźnik skaleczeń i ran, które doprowadzają do natychmiastowej śmierci dorosłych osobników węgorzy (o długości między 60 cm a 1 m), przechodzących przez nową turbinę VLH ze sferyczną obudową wirnika umieszczoną w Frouard, działającą przy pełnym otwarciu oraz z pełną mocą, jest ekstremalnie niski, a nawet zerowy, oraz wskaźnik skaleczeń i ran, które nie są śmiertelne w krótkim czasie (24 – 48 godzin) jest niski, gdyż wielkości rzędu 2%.

Należy zwrócić uwagę, że węgorze przechodzące przez turbinę stanowią tylko część populacji ryb migrujących w dół rzeki. Inne osobniki mogą wykorzystywać odmienne sposoby przechodzenia przez turbinę (zapora, urządzenia przepustowe, kraty, itp.). Proporcja pomiędzy tymi dwoma grupami może się bardzo różnić w zależności od stopnia wyposażenia i właściwości urządzenia, parametrów hydrologicznych w okresie migracji ryb w dół rzeki oraz zachowania osobników.

Otrzymane rezultaty dotyczące śmiertelności osobników w krótkim okresie czasu dowodzą, że nowa generacja turbin VLH ze sferyczną obudową wirnika, działających przy pełnym otwarciu oraz z pełną mocą, jest w bardzo niewielkim stopniu szkodliwa dla węgorzy srebrzystych migrujących w dół rzeki (osobniki o długości między 60 cm a 1 m).

Jednakże, badania przeprowadzone w Frouard nie pozwalają ocenić ani wielkości odroczonej śmiertelności węgorzy, która jest przecież prawdopodobna podczas ich przechodzenia przez turbinę, ani potencjalnej śmiertelności osobników wywołanej działaniem turbiny VLH z mniejszą prędkością obrotową i przy niepełnym otwarciu.

Ponadto, użyteczne byłoby uzupełnienie przeprowadzonych badań badaniami na innych gatunkach ryb o mniejszych rozmiarach, a zwłaszcza na smoltach łosiosia atlantyckiego, które są również szczególnie narażone na ponoszenie szkód podczas przechodzenia przez turbiny elektrowni wodnych w trakcie wędrówki migracyjnej.